

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 509

**Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke
– Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung**

Mai 2014

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 509

**Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke
– Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung**

Mai 2014



Herausgabe und Vertrieb:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Korrigierte Auflage:

Februar 2016

Satz:

DWA

Druck:

Druckhaus Köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-942964-91-3

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2014

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblattes darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Angesichts zahlreicher Querbauwerke, die sowohl die lineare Durchgängigkeit der Flusssysteme als auch die laterale Anbindung von Neben- und Auegewässern für Fische und aquatische Wirbellose unterbrechen, ist die Beseitigung oder, sofern dies nicht möglich ist, ein fischpassierbarer Umbau der Wanderhindernisse oder die Errichtung funktionsfähiger Fischaufstiegsanlagen erforderlich. Um die Qualität solcher Bauwerke im Sinne der Gewährleistung des Fischaufstiegs zu verbessern, erschien 1996 das Merkblatt DVWK-M 232 „Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle“ (DVWK 1996a), das sich großer Wertschätzung erfreut und zwischenzeitlich auf Japanisch (1997), Finnisch (1999), Englisch (2002), Chinesisch (2003) und Türkisch (2010) veröffentlicht ist.

Im Laufe der Jahre wurde allerdings deutlich, dass das Merkblatt DVWK-M 232/1996 wichtige Aspekte nicht ausreichend präzise formuliert oder behandelt. Dies betrifft z. B. die großräumige Einbindung von Fischaufstiegsanlagen in den Gewässerquerschnitt und ihre kleinräumige Anbindung im Unterwasser des eigentlichen Wanderhindernisses. Auch bedurften verschiedene geometrische und hydraulische Vorgaben zur Gewährleistung der Passierbarkeit von Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken für Fische aller Größen, Gestalt und Leistungsfähigkeit einer Überarbeitung. Zudem fehlten Aussagen zu Hochwasserrückhaltebecken, Kreuzungs- sowie Siel- und Schöpfbauwerken, die wie Stauanlagen ebenso eine Wirkung als Wanderbarrieren entfalten können. Schließlich haben zwischenzeitlich durchgeführte biologische sowie ingenieurwissenschaftliche Projekte und Felduntersuchungen das Verständnis über das Wanderverhalten aquatischer Organismen erweitert. Dieser Wissenszuwachs erlaubt es nun, die verschiedenen Anforderungen an funktionsfähige Aufstiegsanlagen präziser zu benennen und zu fassen.

Vor diesem Hintergrund sowie der Entwicklung neuer Konstruktionstypen berief der DWA-Hauptausschuss „Wasserbau und Wasserkraft“ nach entsprechender Veröffentlichung des Vorhabens (ATV-DVWK 2001) praxiserfahrene Biologen und Wasserbauingenieure in einen Fachausschuss, um das 1996 erschienene Merkblatt DVWK-M 232 zu aktualisieren. Damit auch Neuentwicklungen adäquat berücksichtigt werden konnten, waren Erfinder und Hersteller zu einer Präsentation aufgerufen (ATV-DVWK 2003a, 2003b, 2003c, 2003d). Zudem fanden auch die im Rahmen des DWA-Fachsymposiums „Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna“ auf der „Wasser und Gas Berlin 2006“ gewonnenen, internationalen Anregungen und Erkenntnisse Eingang in die Überarbeitung (DWA 2006a).

Das hiermit vorliegende Merkblatt DWA-M-509 befasst sich mit der Gewährleistung stromaufwärts gerichteter Fischwanderungen, wobei unter dem Begriff „Fische“ gemäß einschlägiger Definitionen der Landesfischereigesetze auch Rundmäuler und benthale Wirbellose zu verstehen sind. Energiepolitische und sozioökonomische Aspekte der Wasserkraftnutzung sind ebenso wenig Thema, wie Techniken und Verfahren zum Schutz stromabwärts wandernder Fische, insbesondere bei der Passage von Wanderhindernissen. Solche Informationen sind dem DWA-Themenband „Fischschutz- und Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle“ zu entnehmen (DWA 2005), der auch in Englisch verfügbar ist.

Das vorliegende Merkblatt ist das fachgerechte Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher Gemeinschaftsarbeit des DWA-Fachausschusses WW-8 „Durchgängigkeit der Fließgewässer für die aquatische Fauna“. Wir bedanken uns bei Frau Andrea Knobloch (Ruhrverband, Essen) und Frau Dipl.-Ing. Edith Massmann (Ingenieurbüro Floecksmühle, Aachen), die die meisten technischen Abbildungen angefertigt haben. Ferner danken wir Herrn Dipl.-Biol. Maarten Bruijs von KEMA Power Generation & Sustainables (Arnheim, Niederlande), der als Gast unseres Ausschusses eine Vielzahl internationaler Kontakte vermittelt hat.

Der Fachausschuss bedankt sich darüber hinaus bei der DWA-Arbeitsgruppe WW-8.2 „Funktionskontrolle von Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit“ für umfangreiche Zuarbeiten zu den Abschnitten „Qualitätssicherung“ und „Biologische Untersuchungen“ sowie der DWA-Arbeitsgruppe WW-1.2 für Anregungen zum Abschnitt „Naturnahe Sohlenbauwerke“. Wir bedanken uns ferner bei allen nationalen und internationalen Sachverständigen und Fachleuten aus Behörden und Verbänden, die die vorliegende Arbeit maßgeblich unterstützt haben; stellvertretend seien genannt:

- Alle Entwickler und Hersteller neuer Konstruktionstypen von Fischaufstiegsanlagen für die Bereitstellung umfangreichen Informationsmaterials.
- Herr Prof. Heiko Brunken von der Universität Bremen für seinen Fachbeitrag über Siel- und Schöpfbauwerke.
- Herr Dr. Volker Thiele vom Institut biota GmbH für seinen Fachbeitrag über Fluss-Seensysteme.
- Herr Dr.-Ing. Reinhard Hassinger von der Universität Kassel für seine Diskussionsbeiträge zu hydraulischen Fragen und zum Borstenfischpass.

- Herr Dipl.-Ing. Gregor Overhoff vom Bayerischen Landesamt für Umwelt und Repräsentant des DWA-Fachausschusses WW-4 „Talsperren“ für seine Zuarbeit zu Hochwasserrückhaltebecken.
- Herr Dr.-Ing. Boris Lehmann und Herr Dr.-Ing. Peter Oberle vom Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung für ihre Beiträge zu hydraulischen Fragen und numerischen Simulationen.
- Unsere besondere Dankbarkeit gilt schließlich Herrn Prof. em. Michel Larinier (Universität Toulouse) und Herrn Francois Travade (Energie de France, Paris) für diverse Arbeitstreffen mit intensiven und anregenden Fachdiskussionen.

Das Merkblatt DWA-M-509 repräsentiert den Stand des Wissens und der Technik zu Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken. Die formulierten Empfehlungen stellen einen Maßstab für ein einwandfreies technisches Verhalten dar und sind eine wichtige Erkenntnisquelle für ein fachgerechtes Verhalten im Regelfall. Das Merkblatt kann allerdings nicht alle Sonderfälle betrachten, in denen neben der korrekten Planung, baulichen Ausführung und dem Betrieb von Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken weitergehende Maßnahmen geboten sein können, um u. a. den guten ökologischen Zustand eines Gewässers zu sichern oder zu erreichen (EG-WRRL). Entsprechend entzieht sich bei der Anwendung des Merkblattes DWA-M 509 niemand der Verantwortung für das eigene Handeln.

Essen und Kirtorf-Gleimenhain, im Oktober 2013

Rainer Bosse und Beate Adam

Frühere Ausgaben

Merkblatt DVWK-M 232/1996

Verfasser

Das Merkblatt wurde vom DWA-Fachausschuss WW-8 „Durchgängigkeit der Fließgewässer für die aquatische Fauna“ erstellt, dem folgende Mitglieder angehören:

ADAM, Beate	Dr. Dipl.-Biol., Sachverständige für Fischereiwirtschaft, Kirtorf-Gleimenhain (bis 2010 Obfrau)
BOSSE, Rainer	Dipl.-Ing., RWE Power Aktiengesellschaft; Steuerung und Betrieb Wasserkraftwerke, Essen (seit 2010 Obmann)
DUMONT, Ulrich	Dipl.-Ing., Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH, Aachen
GÖHL, Christian	Dr.-Ing., RMD-Consult GmbH, München
GÖRLACH, Jens	Dipl.-Fischereingenieur, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Jena
HEIMERL, Stephan	Dr.-Ing., Fichtner Water & Transportation GmbH, Stuttgart
KALUSA, Bernhard	Dipl.-Ing., E.ON Wasserkraft GmbH, Landshut
KRÜGER, Frank	Dr.-Ing., Landesamt für Umwelt, Gesundheits- und Verbraucherschutz Brandenburg, Frankfurt/Oder
REDEKER, Marq	Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing., Arcadis Deutschland GmbH, Köln
SCHWEVERS, Ulrich	Dr. Dipl.-Biol., Institut für angewandte Ökologie, Kirtorf-Wahlen (stellvertretender Obmann)
SELLHEIM, Peter	Dipl.-Biol., Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Hannover/Hildesheim

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

SCHRENK, Georg	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
----------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	5
Bilderverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis.....	22
Benutzerhinweis.....	25
Einleitung	25
1 Anwendungsbereich.....	27
2 Begriffe	28
2.1 Definitionen	28
2.2 Symbole und Abkürzungen	29
3 Biologische Grundlagen.....	33
3.1 Lebensraum Fließgewässer	33
3.1.1 Vorbemerkungen.....	33
3.1.2 Strömung und Dynamik.....	33
3.1.3 Gewässergrund und Sohlenstruktur	35
3.1.4 Biologische Fließgewässerzonierung	37
3.1.4.1 Fischregionen und autochthone Fischfauna	37
3.1.4.2 Fischfauna spezieller Gewässerlandschaften	42
3.2 Wanderungen aquatischer Organismen.....	46
3.2.1 Wanderungen aquatischer Wirbelloser.....	46
3.2.2 Fischwanderungen	47
3.2.3 Typen von Wanderungen	49
3.2.3.1 Vorbemerkungen.....	49
3.2.3.2 Anadrome Wanderungen	49
3.2.3.3 Katadrome Wanderungen	51
3.2.3.4 Amphidrome Wanderungen	52
3.2.3.5 Potamodrome Wanderungen	53
3.2.4 Wanderdistanzen	53
3.2.5 Wandergeschwindigkeiten	54
3.2.6 Aufwandernde Entwicklungsstadien	55
3.2.7 Aufwanderrhythmen	58
3.2.8 Zeitgeber und Auslöser für die Aufwanderung.....	60
3.2.9 Die Aufwanderung hemmende Einflüsse.....	60
3.3 Schwimmverhalten und Schwimmgeschwindigkeit.....	62
3.3.1 Bewegungsablauf.....	62
3.3.2 Orientierung von Fischen	63
3.3.3 Schwimmverhalten	64
3.3.3.1 Rheoaktive Geschwindigkeit	64
3.3.3.2 Schwimmen gegen die Strömung.....	64
3.3.3.3 Schwimmen mit der Strömung.....	65
3.3.3.4 Vertikalwanderung.....	66
3.3.4 Schwimmgeschwindigkeit und Ausdauer	67

3.3.5	Auswirkungen der Turbulenz auf Fische	70
3.3.6	Sprungverhalten	70
3.3.7	Wanderrouten im Gewässerquerschnitt.....	71
3.4	Störungen und Beeinträchtigungen der Durchgängigkeit.....	73
3.4.1	Vorbemerkungen.....	73
3.4.2	Wehre, Sohlenbauwerke und Stauräume	73
3.4.3	Gering durchflossene Gewässerabschnitte.....	75
3.4.4	Massive Sohlen- und Ufersicherung	75
3.4.5	Pegelbauwerke.....	76
3.4.6	Kreuzungsbauwerke.....	76
3.4.7	Siel- und Schöpfbauwerke.....	78
4	Allgemeine Anforderungen.....	80
4.1	Vorbemerkungen.....	80
4.2	Zielarten und -stadien	81
4.3	Betriebszeiten	82
4.4	Wanderkorridor	83
4.5	Auffindbarkeit.....	84
4.5.1	Vorbemerkungen.....	84
4.5.2	Großräumige Anordnung im Gewässer	84
4.5.2.1	Vorbemerkungen.....	84
4.5.2.2	Querbauwerke ohne Wassernutzung.....	85
4.5.2.3	Standorte mit Flusskraftwerk	87
4.5.2.4	Standorte mit Wasserausleitung.....	89
4.5.2.5	Beispiel zur großräumigen Auffindbarkeit	94
4.5.3	Leitströmung.....	99
4.5.3.1	Vorbemerkungen.....	99
4.5.3.2	Austrittswinkel.....	99
4.5.3.3	Strömungsverhältnisse im Unterwasser.....	100
4.5.3.4	Strömungsgeschwindigkeit	101
4.5.3.5	Dotation und Strömungsimpuls	102
4.5.4	Positionierung des Einstiegs.....	105
4.5.5	Ausgestaltung des Einstiegs.....	109
4.5.5.1	Vorbemerkungen.....	109
4.5.5.2	Anpassung an schwankende Unterwasserstände	110
4.5.5.3	Anbindung an die Gewässersohle.....	113
4.6	Passierbarkeit.....	114
4.6.1	Vorbemerkungen.....	114
4.6.2	Wanderkorridore in Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken	115
4.6.3	Geometrische Grenzwerte	116
4.6.3.1	Vorbemerkungen.....	116
4.6.3.2	Wassertiefe im Wanderkorridor	119
4.6.3.3	Wassertiefe an Engstellen	120
4.6.3.4	Breite von Schlitzten	120
4.6.3.5	Dimensionen der Schlupflöcher konventioneller Beckenpässe.....	121
4.6.3.6	Lichter Abstand zwischen Einbauten in Fließrichtung.....	121
4.6.3.7	Lichte Breite beckenartiger Strukturen.....	122
4.6.3.8	Breite des Wanderkorridors	122
4.6.3.9	Zusammenfassung der geometrischen Grenzwerte.....	122

4.6.4	Hydraulische Grenzwerte.....	124
4.6.4.1	Vorbemerkungen.....	124
4.6.4.2	Maximale Strömungsgeschwindigkeit	124
4.6.4.2.1	Vorbemerkungen.....	124
4.6.4.2.2	Beckenartige Bauformen	126
4.6.4.2.3	Gerinneartige Bauformen.....	127
4.6.4.2.4	Störsteinbauweisen	127
4.6.4.3	Minimale Strömungsgeschwindigkeit.....	128
4.6.4.4	Leistungsdichte	129
4.6.5	Vorgehensweise bei der Festlegung geometrischer und hydraulischer Grenzwerte	130
4.6.6	Gestaltung der Sohle.....	132
4.6.7	Lichtverhältnisse	133
4.6.8	Einspeisung von Fremdwasser.....	133
4.7	Gestaltung des Ausstiegs	133
4.8	Wartung und Betrieb.....	134
5	Rückbau von Wanderhindernissen.....	135
6	Passierbarkeit von Quer- und Kreuzungsbauwerken	137
6.1	Kreuzungsbauwerke.....	137
6.1.1	Neubau von Kreuzungsbauwerken.....	137
6.1.2	Umgestaltung von bestehenden Kreuzungsbauwerken.....	138
6.1.2.1	Vorbemerkungen.....	138
6.1.2.2	Wiederherstellung der Durchgängigkeit an Auslasskolken und Abstürzen.....	139
6.1.2.3	Nachrüstung eines Durchlasses mit Lamellen oder Rauheitselementen.....	141
6.2	Pegelbauwerke.....	141
6.2.1	Vorbemerkungen.....	141
6.2.2	Messgerinne	141
6.2.3	Pegelschwellen und Messwehre	142
6.3	Siel- und Schöpfbauwerke.....	143
6.3.1	Vorbemerkungen.....	143
6.3.2	Aufwanderung gegen die Strömung.....	143
6.3.3	Aufwanderung mit der Strömung.....	145
6.3.4	Gesamteinschätzung	146
6.4	Hochwasserrückhaltebecken	146
6.4.1	Vorbemerkungen.....	146
6.4.2	Anforderungen.....	146
6.4.3	Mögliche Störungen der Passierbarkeit	147
6.4.4	Beseitigung von Störungen	147
6.4.4.1	Verklausung.....	147
6.4.4.2	Sedimentation.....	148
6.4.4.3	Sohlenerosion	148
6.4.5	Passierbarkeit der Stauanlage	148
6.4.5.1	Vorbemerkungen.....	148
6.4.5.2	Unterscheidung von Bauweisen	148
6.4.5.3	Offene Bauweise	149
6.4.5.4	Geschlossene Bauweise	150
6.4.5.5	Teiloffene Bauweise	150
6.4.6	Gesamteinschätzung	150

6.5	Schiffsschleusen und Bootsgassen	151
6.5.1	Vorbemerkungen.....	151
6.5.2	Schiffsschleusen	151
6.5.2.1	Vorbemerkungen.....	151
6.5.2.2	Auffindbarkeit.....	152
6.5.2.3	Passierbarkeit.....	153
6.5.3	Bootsgassen	154
6.5.4	Gesamteinschätzung	154
7	Fischpassierbare Raugerinne.....	155
7.1	Vorbemerkungen.....	155
7.2	Bautypen.....	156
7.3	Hydraulische und geometrische Anforderungen an fischpassierbare Raugerinne	156
7.3.1	Vorbemerkungen.....	156
7.3.2	Definition der maßgebenden Fließtiefen bei Raugerinnen	157
7.3.3	Definition der Fließgeschwindigkeiten bei Raugerinnen	158
7.3.4	Ermittlung der Fließgeschwindigkeiten bei Raugerinnen	159
7.3.5	Gestaltung des Profils und der Sohle von fischpassierbaren Raugerinnen	160
7.3.6	Wanderkorridor in fischpassierbaren Raugerinnen	160
7.4	Raugerinne ohne Einbauten	161
7.4.1	Vorbemerkungen.....	161
7.4.2	Bemessungswerte für Raugerinne ohne Einbauten.....	162
7.4.3	Hydraulische Bemessung von Raugerinnen ohne Einbauten	163
7.5	Raugerinne mit Störsteinen.....	171
7.5.1	Vorbemerkungen.....	171
7.5.2	Bemessungswerte.....	173
7.5.3	Hydraulische Bemessung von Raugerinnen mit Störsteinen	175
7.6	Raugerinne mit Beckenstruktur.....	181
7.6.1	Vorbemerkungen.....	181
7.6.2	Bemessungswerte für Raugerinne mit Beckenstruktur	184
7.6.3	Hydraulische Bemessung von Raugerinnen mit Beckenstruktur	186
7.7	Anordnung von Raugerinnen	195
7.8	Umgestaltung von Querbauwerken in Raugerinne	196
7.9	Optimierung von Raugerinnen.....	197
7.9.1	Vorbemerkungen.....	197
7.9.2	Gewässerbreite Beckenstrukturen	198
7.9.3	Geteilte Raugerinne	200
7.9.4	Gestaltung von Raugerinnen an Ausleitungswehren	203
7.9.5	Aufgelöste Raugerinne	204
7.10	Umgehungsgerinne	207
7.10.1	Funktionsprinzip	207
7.10.2	Gestaltung.....	208
7.10.3	Gerinnequerschnitt	210
7.10.4	Ein- und Auslaufgestaltung	211
7.10.5	Kreuzungsbauwerke in Umgehungsgerinnen	212
7.11	Bauweisen von Raugerinnen	212
7.11.1	Vorbemerkungen.....	212
7.11.2	Gesetzte Raugerinne	212
7.11.3	Geschüttete Raugerinne	213

7.11.4	Raugerinne mit Beckenstruktur oder Störsteinen	213
7.11.5	Aufgelöste Riegelbauweise	214
7.11.6	Nachbettsicherung	214
7.11.7	Steinklassen und Steingrößen	215
7.11.8	Filterstabiler Aufbau	216
7.11.9	Baudurchführung	216
7.12	Probelauf	217
7.13	Unterhaltung	217
7.14	Gesamteinschätzung	218
8	Fischaufstiegsanlagen	221
8.1	Vorbemerkungen	221
8.2	Beckenartige Fischaufstiegsanlagen	221
8.2.1	Vorbemerkungen	221
8.2.2	Allgemeine Grundlagen und Funktionsprinzip	221
8.2.2.1	Vorbemerkungen	221
8.2.2.2	Grundriss	223
8.2.2.3	Längsschnitt	225
8.2.2.4	Grenz- und Bemessungswerte für die Auslegung	226
8.2.3	Konventioneller Beckenpass	227
8.2.3.1	Vorbemerkungen	227
8.2.3.2	Beckenabmessungen	229
8.2.3.3	Einbauten	230
8.2.3.4	Hydraulische Bemessung	230
8.2.3.5	Gesamteinschätzung konventioneller Beckenpässe	236
8.2.3.6	Sonderbauweisen des konventionellen Beckenpasses	236
8.2.3.6.1	Rhomboidpass	236
8.2.3.6.2	Wulstfischpass	237
8.2.3.6.3	Weitere Sonderbauweisen	238
8.2.4	Schlitzpass	239
8.2.4.1	Vorbemerkungen	239
8.2.4.2	Beckenabmessungen und Einbauten	239
8.2.4.3	Hydraulische Bemessung	242
8.2.4.4	Gesamteinschätzung von Schlitzpässen	250
8.2.4.5	Sonderbauweisen des Schlitzpasses	251
8.2.4.5.1	Schlitzpass mit zwei Schlitzen	251
8.2.4.5.2	Schlitzpass mit versetzter Beckenreihung	251
8.2.4.5.3	Rundbeckenpass	252
8.2.5	Raugerinne-Beckenpass	255
8.3	Gerinneartige Fischaufstiegsanlagen	257
8.3.1	Denil-Pass	257
8.3.1.1	Funktionsprinzip	257
8.3.1.2	Gerinnegestaltung	258
8.3.1.3	Ein- und Auslauf	258
8.3.1.4	Einbauten	259
8.3.1.5	Hydraulische Anforderungen	260
8.3.1.6	Hydraulische Bemessung	262
8.3.1.7	Gesamteinschätzung des Denil-Passes	265
8.3.2	Borstenfischpass	265
8.3.2.1	Allgemeine Grundlagen und Funktionsprinzip	265

8.3.2.2	Anordnung am Bauwerk und Grundriss	266
8.3.2.3	Anordnung der Borstenpakete.....	266
8.3.2.4	Bemessungswerte für die Auslegung	268
8.3.2.5	Hydraulische Berechnung	270
8.3.2.6	Betrieb und Unterhaltung	272
8.3.2.7	Gesamteinschätzung des Borstenfischpasses	273
8.3.3	Aalleiter	273
8.3.3.1	Vorbemerkungen.....	273
8.3.3.2	Funktionsprinzip	274
8.3.3.3	Passierbarkeit.....	274
8.3.3.4	Auffindbarkeit.....	277
8.3.3.5	Gesamteinschätzung der Aalleiter	278
8.4	Sonderkonstruktionen.....	278
8.4.1	Vorbemerkungen.....	278
8.4.2	Fischschleuse	279
8.4.2.1	Vorbemerkungen.....	279
8.4.2.2	Borland-Schleuse	280
8.4.2.3	Pavlov-Schleuse	283
8.4.2.4	Deelder-Schleuse.....	284
8.4.3	Fischaufzug.....	285
8.4.4	Transportsysteme.....	289
8.4.5	Gesamteinschätzung der Sonderkonstruktionen	291
9	Qualitätssicherung	292
9.1	Vorbemerkungen.....	292
9.2	Bewertungsverfahren	292
9.2.1	Vorbemerkungen.....	292
9.2.2	Erster Bewertungsschritt	294
9.2.3	Zweiter Bewertungsschritt	294
9.3	Qualitätssicherung während der Planung.....	296
9.4	Einsatzmöglichkeiten von hydraulischen Modellen und ethohydraulischen Tests	298
9.5	Qualitätssicherung während Bau und Inbetriebnahme.....	300
9.6	Qualitätssicherung während des Betriebes	301
9.7	Bewertung bestehender Aufstiegsanlagen	302
10	Biologische Untersuchungen	302
10.1	Vorbemerkungen.....	302
10.2	Reusenfänge	303
10.3	Sichtbeobachtungen.....	308
10.4	Markierung	309
10.5	Transponder-Technologie	310
10.6	Telemetrie.....	311
10.7	Elektrobefischung	312
10.8	Automatische Zählanlagen	313
10.9	Hydroakustik.....	314
10.10	Untersuchungen zum Wanderverhalten benthaler Wirbelloser	314
11	Kosten	315
11.1	Herstellkosten	315
11.2	Aufwand für Betrieb, Wartung und Instandhaltung	316
12	Liste der verwendeten Artnamen	318

Anhang A Glossar	319
Quellen und Literaturhinweise	321

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Anpassungen der Körperform von Fischen im Profil und im Querschnitt an unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten	34
Bild 2:	Körperhaltung von Eintagsfliegenlarven der Gattung <i>Baetis</i>	35
Bild 3:	In Fließgewässern bilden sich hinter Steinen turbulente Zonen aus	35
Bild 4:	Vielgestaltige Sohlenstrukturen im Quer- und Längsprofil eines naturnahen Gewässerbetts	36
Bild 5:	Beispiel für die Substratverteilung in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit	36
Bild 6:	Zonierung der Fließgewässer in Regionen, schematisch	38
Bild 7:	Obere Forellenregion der Felda (Hessen)	39
Bild 8:	Äschenregion der Ilz (Bayern)	39
Bild 9:	Barbenregion der Wupper (Nordrhein-Westfalen)	39
Bild 10:	Brachsenregion der Oder (Brandenburg)	39
Bild 11:	Kaulbarsch-Flunder-Region der Weser (Niedersachsen)	39
Bild 12:	Flussauenlandschaft des Rheins zwischen Speyer und Worms nach der Tulla'schen Korrektur	43
Bild 13:	Altarme der Spree (Brandenburg)	43
Bild 14:	Altwasser in fortgeschrittenem Sukzessionsstadium in der Aue der Fulda (Hessen)	43
Bild 15:	Typische Vertreter der verschiedenen strömungsökologischen Gilden	44
Bild 16:	Luftaufnahme eines Fluss-Seen-Systems: Havel bei Ketzin, den Trebelsee durchfließend	45
Bild 17:	Wanderungen der Fische zwischen unterschiedlichen Teillebensräumen	48
Bild 18:	Lebenszyklus anadromer Arten am Beispiel des Lachses	49
Bild 19:	Adulte Exemplare einiger in Deutschland heimischer anadromer Arten	50
Bild 20:	Lebenszyklus katadromer Wanderfische am Beispiel des Aals	51
Bild 21:	Die verschiedenen Entwicklungs- und Wanderstadien des Aals	52
Bild 22:	Längenfrequenz der in den Jahren 2009 und 2010 an der Elbe-Staustufe Geesthacht aufgestiegenen Lachse	56
Bild 23:	Längenfrequenz der 1998/99 in den Unterlauf des Mains aufgestiegenen Aale ($n = 1.747$)	56
Bild 24:	Jahresperiodik des Lachsaufstiegs in Rhein ($n = 561$); Sieg ($n = 1.695$) und Lahn ($n = 43$)	58
Bild 25:	Tagesrhythmik des Aufstiegs von Lachsen im Fischpass Iffezheim am Rhein	60
Bild 26:	Tagesrhythmik des Aufstiegs von Meerforellen im Fischpass Iffezheim am Rhein	60
Bild 27:	Tagesrhythmik des Aufstiegs von Döbeln im Fischpass Iffezheim am Rhein	60
Bild 28:	Mündung der Ahr (Rheinland-Pfalz) bei extrem niedrigem Abfluss: Lachse und Meerforellen sind aufgrund zu geringer Wassertiefen nicht in der Lage, in das Seitengewässer einzuwandern	61
Bild 29:	Mutterbett einer Wasserkraftanlage an der Perf (Hessen), das aufgrund zu geringer Wassertiefe nicht durchwanderbar ist	61
Bild 30:	Hemmung des Fischaufstiegs in der Lahn (Rheinland-Pfalz) durch Anstieg des pH-Werts	62
Bild 31:	Aufbau des Wirbeltierkörpers aus der Wirbelsäule sowie segmental angeordneten Myomeren und Illustration der Verbiegung des Körpers durch alternierende Kontraktion der Myomere	62
Bild 32:	Aal: Schwimmen durch horizontale Wellenbewegungen des Körpers	62
Bild 33:	Bewegungsstudie eines Fisches: Schnellstart einer Regenbogenforelle	63
Bild 34:	Typische Flossenstellung eines Fisches	63
Bild 35:	Längsschnitt durch den Seitenlinienkanal eines Fisches	63
Bild 36:	Im Kopfbereich der Fische konzentrieren sich Seitenlinienkanäle; Poren entlang des Oberkiefers sowie am Vorderrand des Kiemendeckels markieren ihren Verlauf beim Hecht	64
Bild 37:	Vektoren bei der flussaufwärts gerichteten Wanderung	65

Bild 38:	Korrelation zwischen dem Rheinwasserstand sowie der Wanderintensität und -richtung von Güstern zwischen dem Altrhein Grietherort und dem Rheinbanner Strang.....	66
Bild 39:	Schwimmgeschwindigkeiten von Fischen	68
Bild 40:	Sprintgeschwindigkeit von Salmoniden in Abhängigkeit von der Körperlänge und der Wassertemperatur	69
Bild 41:	Ausdauer von Salmoniden in Abhängigkeit von der Körperlänge und der Wassertemperatur	69
Bild 42:	Von Salmoniden unterschiedlicher Größe im Sprint maximal überwindbare Strecke in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit und der Temperatur.....	69
Bild 43:	Springende Bachforelle an einem Aufstiegs Hindernis	70
Bild 44:	Juvenile Döbel, die versuchten, den Höhenunterschied zwischen den Becken eines hydraulisch überlasteten Fischpasses im Sprung zu überwinden und auf dem Ufer landeten.....	71
Bild 45:	Von adulten Lachsen und Bachforellen maximal überwindbare Strecke in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit.....	72
Bild 46:	An einem Stein in der Strömung festgesaugtes, pausierendes Flussneunauge	72
Bild 47:	Die Schmerle entzieht sich am Gewässergrund der maximalen Strömung, ohne hierbei die Orientierung an der Hauptströmung aufgeben zu müssen.....	72
Bild 48:	Typen von Sohlenbauwerken	73
Bild 49:	Durch die Staustufe Geesthacht brachen die Quappenpopulationen der Unterelbe zusammen, weil ihre Laichwanderungen unterbrochen wurden	74
Bild 50:	Aufgestaute Lahn bei Gießen (Hessen): Im Stauraum sind die hydraulischen und morphologischen Bedingungen so stark verändert, dass viele, vor allem rheophile Arten, ihren Lebensraum verloren haben	74
Bild 51:	Der Emsbach in Würges (Hessen) ist aufgrund hoher Fließgeschwindigkeiten stromaufwärts unpassierbar	75
Bild 52:	Die Beise in Beiseförth (Hessen) ist aufgrund geringer Wassertiefen über der Betonsohle nicht durchwanderbar	75
Bild 53:	Pegel können die Aufwanderung aufgrund hoher Fließgeschwindigkeiten, geringer Wassertiefen und befestigter Sohle beeinträchtigen	76
Bild 54:	Pegel mit einem Sohlenabsturz stellen gravierende Wanderhindernisse dar	76
Bild 55:	Rohr- und Rahmendurchlass	77
Bild 56:	Rohrdurchlass im Stöbber an der Pritzhagener Mühle mit unterwasserseitigem Absturz.....	78
Bild 57:	Traditionelles Sieltor am Mummertsiel (Brandenburg)	78
Bild 58:	Flussschöpfwerk Alt Tornow im Freienwalder Landgraben (Brandenburg)	78
Bild 59:	Sielbauwerk (Schütztafelwehr) in der Medem von der Binnen- und der Meerseite	79
Bild 60:	Reduktion der Anzahl und Verlegung sowie Verbau natürlicher Flussmündungen mit Siel- und Schöpfbauwerken.....	79
Bild 61:	Natürlicherweise trockenfallende Versickerungsstrecke im Oberlauf der Fulda (Hessen)	80
Bild 62:	Der Rheinfluss von Schaffhausen (Schweiz) bildet für alle Arten mit Ausnahme des Aals eine unpassierbare Aufstiegsbarriere	80
Bild 63:	Jahresganglinie und -dauerlinie	82
Bild 64:	Der Wanderkorridor erstreckt sich vom Unterwasser eines Wanderhindernisses über eine Fischaufstiegsanlage bzw. ein fischpassierbares Bauwerk bis ins Oberwasser.....	83
Bild 65:	Schon der Vergleich der Größenverhältnisse von Fischaufstiegsanlage und Gesamtanlage zeigt, dass der Auffindbarkeit des Einstiegs eine Schlüsselfunktion im Verlauf des Wanderkorridors zukommt	84
Bild 66:	Aufwandernde Fische treffen im Bereich des Prallhangs auf ein Wanderhindernis.....	85
Bild 67:	Positionierung einer Fischaufstiegsanlage bei einem schräg im Gewässer liegenden Wehr.....	85
Bild 68:	Positionierung einer Fischaufstiegsanlage inmitten eines V-förmigen Wehrs	86
Bild 69:	Positionierung einer Fischaufstiegsanlage an einem Wehr ohne Wasserkraftnutzung.....	86
Bild 70:	Positionierung von zwei Fischaufstiegsanlagen an einem senkrecht zur Strömung angeordneten Querbauwerk ohne Wasserkraftnutzung.....	86

Bild 71:	Leiteinrichtung im Unterwasser eines Querbauwerks zur Verbesserung der Auffindbarkeit der Fischaufstiegsanlagen.....	87
Bild 72:	Aufwandernde Fische verteilen sich im Unterwasser eines Querbauwerks entsprechend der Strömungsaufteilung.....	88
Bild 73:	Positionierung einer Fischaufstiegsanlage an einem Flusskraftwerk.....	88
Bild 74:	Schema einer Aufstiegsгалerie.....	89
Bild 75:	Aufstiegsгалerie an der Staustufe Carbonne an der Garonne (Frankreich) mit drei über dem Saugschlauch des Kraftwerks angeordneten Einstiegsöffnungen.....	89
Bild 76:	Konkurrenzsituation zwischen dem Abfluss im Unterwasserkanal eines Ausleitungskraftwerks und dem Abfluss im Mutterbett.....	90
Bild 77:	Zusammenfluss von Mutterbett und Unterwassergraben des Wasserkraftwerks Auer Kotten an der Wupper sowie Querprofile bei einer Mindestwasserdotations von 0,5 m ³ /s gegenüber 12 m ³ /s...	91
Bild 78:	Aufwandersperre, Prinzipskizze.....	92
Bild 79:	Nach Bild 78 konstruierte Aufwandersperre im Unterwasserkanal der Reuschenberger Mühle an der Wupper.....	92
Bild 80:	Bresle in Eu (Frankreich), ein rotierendes Absperrgitter verhindert das Einschwimmen von Fischen in den Unterwasserkanal.....	93
Bild 81:	Kraftwerk Monistrol am Allier (Frankreich): Ein Verbindungskanal leitet aufsteigende Fische vom Unterwasserkanal ins Mutterbett, dem sie bis zur eigentlichen Fischaufstiegsanlage am Ausleitungswehr folgen.....	93
Bild 82:	Turbinenauslauf des Kraftwerks Monistrol am Allier mit Verbindungskanal zum Mutterbett.....	93
Bild 83:	Prinzipskizze des Beispielstandorts.....	94
Bild 84:	Einmündung des Unterwasserkanals ins Mutterbett bei einem Gesamtabfluss < 6 m ³ /s.....	94
Bild 85:	Aktuelle Konkurrenzsituation zwischen dem Ausleitungswehr und der Fischaufstiegsanlage.....	95
Bild 86:	Abflussdauerlinie des Beispielgewässers, mittlere Werte der Jahre 1956 bis 2003.....	95
Bild 87:	Verteilung des Gesamtabflusses auf die einzelnen Teilströme am Ausleitungswehr.....	96
Bild 88:	Abflussanteil von Mutterbett und Unterwasserkanal.....	96
Bild 89:	Prozentuale Aufteilung des Mutterbettabflusses auf Wehr, Fischaufstiegsanlage und geplantes Wasserkraftwerk in Abhängigkeit vom Gesamtabfluss.....	97
Bild 90:	Zeitliche Bilanz der großräumigen Auffindbarkeit im Regeljahr.....	98
Bild 91:	Einmündung einer Fischaufstiegsanlage im Unterwasser.....	100
Bild 92:	Beeinflussung der Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen durch die Abflusssteuerung eines mehrfeldrigen Wehrs.....	101
Bild 93:	Verhinderung von Kehrströmungen im Unterwasser von Fischaufstiegsanlagen durch Leiteinrichtungen.....	102
Bild 94:	In ein Beruhigungsbecken zur Verstärkung der Leitströmung einmündender Bypass.....	104
Bild 95:	Fischaufstiegsanlage Langeac am Allier (Frankreich): Über ein Beruhigungsbecken wird ein zusätzlicher Bypassabfluss durch einen Feinrechen als mechanische Barriere in das Dotationsbecken abgegeben.....	104
Bild 96:	Dotationsbecken des Fischpasses Iffezheim am Rhein (Baden-Württemberg).....	105
Bild 97:	Der Wehrüberfall des Holyoke-Dammes am Connecticut River (USA) bildet aufgrund hoher Fließgeschwindigkeiten und starker Turbulenzen eine selbst für schwimmstarke Fische unüberwindbare hydraulische Barriere.....	106
Bild 98:	Schwere Verletzungen der Schnauze eines Lachses belegen die Hartnäckigkeit und Energie mit der der Fisch versucht hat, ein Wanderhindernis zu überspringen.....	106
Bild 99:	Lage des Einstiegs in eine Fischaufstiegsanlage.....	107
Bild 100:	Auslauf des beckenartigen Raugerinnes Plettenberg-Ohle an der Lenne (Nordrhein-Westfalen) neben dem Saugschlauch des Wasserkraftwerks.....	107
Bild 101:	So nah wie bautechnisch möglich neben dem Wehrfuß positionierter Einstieg in das Umgehungsgerinne am Wehr der Brötzenmühle am Elbbach (Hessen).....	107
Bild 102:	Anordnung des Einstiegs einer Fischaufstiegsanlage an einem schräg im Gewässer gelegenen Wehr....	108
Bild 103:	Zu weit ins Unterwasser vorgebaute Fischaufstiegsanlage: Häufig sind Fische zu beobachten, die im spitzen Winkel zwischen Wehr und Aufstiegsanlage vergeblich aufzuwandern versuchen.....	108

Bild 104:	Korrekt im spitzen Winkel zwischen Ufer und Wehr positionierter Beckenpass in St. Martin an der Ardèche	108
Bild 105:	Der Fischpass Iffezheim am Rhein (Baden-Württemberg) mit einer stromabwärts von den beiden neben dem Turbinenauslass gelegenen Haupteinstiege gelegenen dritten Einstiegsöffnung für leistungsschwache Fische	109
Bild 106:	Einstieg des Beckenpasses Kostheim am Main (Hessen)	110
Bild 107:	Abhängigkeit des Aufstiegsgeschehens an der Staustufe Kostheim am Main (Hessen) vom Unterwasserstand	111
Bild 108:	Prinzipskizze eines Beckenpasses mit zwei Einläufen zum Kurzschluss der oberen Becken bei hohen Unterwasserständen	112
Bild 109:	Bei höheren Tidewasserständen wird das Umgehungsgerinne am linken Ufer der Staustufe Geesthacht an der Elbe (Niedersachsen) so stark eingestaut, dass keine wahrnehmbare Strömung mehr ausgebildet ist	112
Bild 110:	Am Doppelschlitzpass am rechten Ufer der Staustufe Geesthacht an der Elbe sorgen schwimmergesteuerte, variable Zusatzdotationen dafür, dass die Fließgeschwindigkeit der Leitströmung auch bei Tidehochwasser nicht unter 0,3 m/s sinkt	112
Bild 111:	Anbindung des Einstiegs einer Fischaufstiegsanlage an die tieferliegende Gewässersohle durch Anrampung	113
Bild 112:	Wasserkraftwerk Wahnhausen an der Fulda (Hessen)	113
Bild 113:	Vergeblicher Versuch einer Meerforelle, ein Wehr an der Bresle in Eu im Sprung zu überwinden....	115
Bild 114:	Wehr an der Bresle in Eu (Frankreich): Meerforelle, die das Hindernis innerhalb des abgelösten Überfallstrahls schwimmend zu passieren versucht	115
Bild 115:	Doppelreihiger Querriegel in einer Fischaufstiegsanlage, der aufwandernden Fischen aufgrund seiner kompakten Anordnung keinen passierbaren Wanderkorridor bietet	115
Bild 116:	Umgehungsgerinne der Stauanlage Harkortsee an der Ruhr mit von der Sohle bis zur Wasseroberfläche reichenden Durchlässen, die Fischen die Passage innerhalb des Wassers gestatten	116
Bild 117:	Dimensionierungsrelevante Körpermaße von Fischen	117
Bild 118:	Die Wassertiefe wird von oberhalb der Steinspitzen der Stützsteine bis zur Wasseroberfläche gemessen	119
Bild 119:	Verhaltensbeobachtungen mit Fischen in einer Laborrinne zur minimal zulässigen Wassertiefe im Wanderkorridor	119
Bild 120:	Raugerinne mit zu geringer Wassertiefe	120
Bild 121:	Aufgrund von Ablösungen am linken Rand des Durchlasses steht nur ein Teil des Schlitzes aufsteigenden Fischen tatsächlich zur Verfügung	121
Bild 122:	Dimensionierung der Umlenkbecken beckenartiger Fischaufstiegsanlagen	121
Bild 123:	Absolute Geschwindigkeit ($v_{\text{überGrund}}$) eines Fisches, der mit $v_{\text{rel}} = 2 \text{ m/s}$ gegen die Strömung anschwimmt, in Abhängigkeit von der Anströmung v_A sowie der Zeit T , die er für die Überwindung einer Strecke von 1 m benötigt	125
Bild 124:	Maximal von einem Fisch passierbare Strecke in Abhängigkeit von seiner Körperlänge L_{Fisch} und der Anströmgeschwindigkeit v_A	125
Bild 125:	Je schmaler die Trennstrukturen zwischen den Becken von Aufstiegsanlagen, umso kürzer ist die Strecke, die ein Fisch mit maximaler Schwimmleistung überwinden muss und umso geringer ist die Größenselektivität der Anlage hinsichtlich kleiner und leistungsschwacher Exemplare	126
Bild 126:	Eine der Zusatzdotationen im Verlauf des Doppelschlitzpasses Geesthacht an der Elbe	128
Bild 127:	Sohlensubstrat im Doppelschlitzpass Geesthacht an der Elbe (Schleswig-Holstein)	132
Bild 128:	Raues Sohlensubstrat im Schlitzpass der Staustufe Mülheim-Raffelberg an der Ruhr	132
Bild 129:	Schema des Substrataufbaus in einer Aufstiegsanlage	133
Bild 130:	Mehrere Einläufe auf unterschiedlichen Niveaus gewährleisten auch bei schwankenden Oberwasserständen den Ausstieg der Fische aus einer Aufstiegsanlage	134
Bild 131:	Schlitzpass in Kossenblatt an der Spree (Brandenburg); ein parallel verlaufender Wartungssteg gewährleistet eine sichere Zugänglichkeit	135
Bild 132:	Wehrstandort im Mühlbach (Rheinland-Pfalz) vor und nach dem Schleifen des Bauwerks	136

Bild 133:	Sprengung eines Wehrs an der Werra (Thüringen)	136
Bild 134:	Ein Schöpfrad an der Wied (Rheinland-Pfalz) dient der Beschickung eines Fischteiches	136
Bild 135:	Großer Durchlass mit gewässertypischem Substrat in Sichelreuth an der Föritz.....	137
Bild 136:	Durchlass mit unterwasserseitigem Raugerinne an der Düssel	140
Bild 137:	Tosbecken oder Raugerinne aus Wasserbausteinen stromab eines Auslasses zur Auflösung eines Absturzes.....	140
Bild 138:	Das unbefestigte Messprofil der stabilen Gewässersohle am Pegel Rappelsdorf an der Schleuse (Thüringen) ist kein Migrationshindernis	141
Bild 139:	20 m lange Messstrecke mit Niedrigwasserrinne und Messsteg am Pegel Tantow im Salveybach.....	142
Bild 140:	Fischaufstiegsanlage „Dornicker Schleuse“ (Nordrhein-Westfalen), die den Biener Altrhein über den Grietherorter Altrhein an den Rhein anbindet	144
Bild 141:	Oberer Teil der Fischaufstiegsanlage „Dornicker Schleuse“ (Nordrhein-Westfalen).....	144
Bild 142:	Von den fünf verschließbaren Einläufen ist in dieser Situation nur der unterste geöffnet.....	145
Bild 143:	Schematischer Aufbau des Siphon-Fischpasses	145
Bild 144:	Anadrome Wanderform des 3-stacheligen Stichlings	145
Bild 145:	Räumlicher Rechen als Verkläusungsschutz, Hochwasserrückhaltebecken Insenbach	148
Bild 146:	Vorgeschalteter Grobrechen aus Holz am selben Standort.....	148
Bild 147:	Schematische Darstellung eines Kreuzungsbauwerks an einem Hochwasserrückhaltebecken in offener Bauweise.....	149
Bild 148:	Betriebsauslass am Hochwasserrückhaltebecken Dirlewang (Bayern)	150
Bild 149:	Kammerschleuse Serrig an der Saar (Rheinland-Pfalz).....	151
Bild 150:	Staustufe Lahnstein an der Lahn (Rheinland-Pfalz), Aufstiegszählungen wurden zeitgleich an der Schleuse und der teilweise betriebenen Aufstiegsgalerie durchgeführt	152
Bild 151:	Anteile verschiedener Fischgilden am Gesamtaufstieg über die Schiffsschleuse und die Aufstiegsgalerie in Lahnstein in den Jahren 1996 und 1997	153
Bild 152:	Mit einem Schütz verschließbare Öffnung im Obertor der Schleuse Lahnstein zur Gewährleistung des Fischaufstiegs, bei gesetztem Revisionsverschluss.....	153
Bild 153:	Kontrollreue zum Nachweis über die Schleuse Lahnstein (Rheinland-Pfalz) aufwandernder Fische, bei gesetztem Revisionsverschluss	154
Bild 154:	In konventionellen Bootsgassen herrschen in der Regel so hohe Strömungsgeschwindigkeiten, dass ein Fischaufstieg nicht möglich ist (Hattingen an der Ruhr, Nordrhein-Westfalen)	154
Bild 155:	Einteilung von Raugerinnen in Bautypen sowie mögliche hydraulische Bauformen	155
Bild 156:	Definition der lokalen Fließtiefe bei Raugerinnen: Fischrelevant ist die Wassertiefe über den Spitzen der Rauheit (h_{eff}); hydraulisch ist die mittlere Fließtiefe h_m maßgebend.....	157
Bild 157:	Definition der hydraulisch wirksamen mittleren Fließtiefe h_m über das Profil eines Raugerinnes, der Breite des Gerinnes b_{sp} und des benetzten Umfangs U	158
Bild 158:	Definition der effektiven Wassertiefen $h_{u,eff}$, h_u und h_o bei Raugerinnen mit Beckenstruktur im unteren Betriebspunkt Q_{30}	158
Bild 159:	Geschwindigkeitsverteilung in einem naturnahen Fließgewässer	159
Bild 160:	Vereinfachte Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung in einem natürlichen Fließgewässer entsprechend Bild 159; dargestellt sind die maximalen Fließgeschwindigkeiten über die Gewässerbreite sowie die über das gesamte Profil gemittelte Geschwindigkeit v_m	159
Bild 161:	Maximale und mittlere Fließgeschwindigkeit bei einem Raugerinne mit Störsteinen	160
Bild 162:	Maßgebende Fließgeschwindigkeit unmittelbar unterhalb der Öffnung in einem Riegel.....	160
Bild 163:	Raugerinne ohne Einbauten mit gerader Linienführung, in dem Bereiche mit geringerer Fließgeschwindigkeit nahezu fehlen.....	161
Bild 164:	Längsschnitt durch ein Raugerinne ohne Einbauten	162
Bild 165:	Vergleich der Berechnungsergebnisse für die Fließgeschwindigkeit in einem breiten Raugerinne mit $I = 1:100$, mit den Berechnungsansätzen nach COLEBROOK & WHITE Gl. (7.2) und MANNING-STRICKLER Gl. (7.3) für Wasserbausteine der Klasse III sowie abgerundete Steine der gleichen Größe...	164

Bild 166:	Raugerinne ohne Einbauten in der Luppe östlich der BAB 9 (Sachsen-Anhalt); auf der Krone ist eine kurze Beschleunigungsstrecke zu erkennen, an die das Raugerinne anschließt, in dem sehr gleichförmige Fließverhältnisse herrschen	165
Bild 167:	Bestimmung des Oberwasserstands bei Raugerinnen ohne Einbauten mit strömendem Fließzustand.....	165
Bild 168:	Querschnitt des Raugerinnes	168
Bild 169:	Schlüsselkurven für das Berechnungsbeispiel	169
Bild 170:	Berechnungsbeispiel für einen in Teilflächen unterteilten Querschnitt eines Raugerinnes.....	171
Bild 171:	Längsschnitt eines Raugerinnes mit Störsteinen	172
Bild 172:	Umgehungsgerinne in Form eines Raugerinnes mit Störsteinen am Elbbach bei Hadamar.....	172
Bild 173:	Teilbreites Raugerinne in Störsteinbauweise im Döllnfließ am Wehr Höpen (Brandenburg).....	173
Bild 174:	Definition der Dimensionen bei Raugerinnen mit Störsteinen	173
Bild 175:	Definition des Verdeckungsgrades F_v	176
Bild 176:	Skizze des Grundrisses und des Querschnitts zum Berechnungsbeispiel.....	179
Bild 177:	Skizze zur Standsicherheit von Einzelsteinen	180
Bild 178:	Raugerinne mit Beckenstruktur; $b_s =$ Durchlassbreite, $y_s > 2 \cdot b_s$ Versatzmaß der Öffnungen.....	181
Bild 179:	Längsschnitt eines Raugerinnes mit Beckenstruktur	182
Bild 180:	Qualitätssicherung eines Raugerinnes mit Beckenstruktur vor der Inbetriebnahme am Harkortsee an der Ruhr (Nordrhein-Westfalen)	182
Bild 181:	Raugerinne mit Beckenstruktur am Standort „Düker“ an der Wertach südlich von Augsburg.....	182
Bild 182:	Steiles Raugerinne mit Beckenstruktur ($I = 1:20$) in Belrieth an der Werra, deren Riegel nur bei hohem Abfluss überströmt sind, sodass sich Treibgut leicht verfängt	183
Bild 183:	Flaches Raugerinne mit einem Gefälle von 1:50 wie in Butlar an der Ulster (Thüringen) mit bereits unterhalb Mittelwasser überströmten Riegeln neigen weniger zur Verklausung	183
Bild 184:	Maßnahme zur Verminderung von Verklausungen durch Treibgut: Flache Bauweise mit bereits früh überströmten Riegeln.....	183
Bild 185:	Um die Verklausungsgefahr zu minimieren, empfiehlt es sich, den Durchlass an der Oberkante der Steinriegel breiter auszubilden als an der Sohle, Raugerinne im Elbbach bei Hadamar (Hessen).....	184
Bild 186:	Dimensionen in Raugerinnen mit Beckenstruktur; $h_{u,eff}$ ist die Wassertiefe unmittelbar unterhalb des Riegels über den Spitzen der Rauheit.....	185
Bild 187:	Fließzustände in einem Raugerinne mit Beckenstruktur: a) Beckenabfluss; b) gewellter Abfluss	187
Bild 188:	Rückstaubeiwert σ	188
Bild 189:	Definitionen für die hydraulische Berechnung von Raugerinnen mit Beckenstruktur und NW-Schwelle.....	189
Bild 190:	Beispiele für die Leistungsdichte der Energiedissipation an einem Riegel eines beckenartigen Raugerinnes bei Manschnow in der Alten Oder (Brandenburg) bei unterschiedlichen Abflüssen; 60 W/m^3 und 130 W/m^3	190
Bild 191:	Aufbau von Niedrigwasserschwellen: a) ungünstig: lange Schwellen in den Durchlässen beeinträchtigen die Passierbarkeit; b) günstig ist hingegen ein Durchlass mit einer kurzen NW-Schwelle.....	190
Bild 192:	Durchströmte Steinriegel ohne NW-Schwelle. h_o und h_u sind die hydraulisch wirksamen Wassertiefen überhalb und unterhalb des Riegels	191
Bild 193:	Skizze mit Bezeichnungen zur Ermittlung der Kolkentiefe	192
Bild 194:	Kolkbildung unterhalb eines Riegels im Modellversuch.....	192
Bild 195:	Skizze zum Berechnungsbeispiel	193
Bild 196:	Mittels Trennwand nach oberstrom verschobenes teilbreites Raugerinne mit Beckenstruktur in Wuppertal-Barmen an der Wupper (Nordrhein-Westfalen); die Gesamtabsturzhöhe beträgt bei Mittelwasser etwa 0,75 m.....	196
Bild 197:	Umgestaltung eines bestehenden Querbauwerks zu einem Raugerinne.....	197
Bild 198:	Erste Phase der Bauarbeiten zur Umgestaltung eines Sohlenabsturzes an der Ruhr in Olsberg	197
Bild 199:	Zweite Phase der Bauarbeiten zur Umgestaltung desselben Sohlenabsturzes	197

Bild 200:	Bei gewässerbreiten Raugerinnen stellen sich bei den Abflüssen Q_{30} und Q_{330} unterschiedliche Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten ein.....	198
Bild 201:	Hydraulische Bemessungen und Nachweise des Wanderkorridors beziehen sich auf die Fließtiefe h_{eff} oberhalb der Spitzen der Sohlenrauheit sowie die Breite b_{wk}	198
Bild 202:	Teilbreites Raugerinne mit Beckenstruktur am Wehr der Reuschenberger Mühle an der Wupper.....	198
Bild 203:	Wabenförmige Beckenstruktur auf einem gewässerbreiten Raugerinne mit mehreren möglichen Wanderkorridoren.....	199
Bild 204:	Wabenförmige Beckenstruktur auf einem gewässerbreiten Raugerinne, dessen Absturzhöhe an den Riegeln maximal 0,2 m beträgt.....	199
Bild 205:	Gewässerbreites Raugerinne mit mittiger eingebundener Floßgasse in der Salzach bei Fluss-km 51,9.....	200
Bild 206:	Ablaufschema zur Bemessung geteilter Raugerinne.....	200
Bild 207:	Bei geteilten Raugerinnen können die hydraulischen Bedingungen in den verschiedenen Teilbereichen so optimiert werden, dass die Bemessungswerte stets in mindestens einem Wanderkorridor eingehalten sind.....	201
Bild 208:	Geteiltes Raugerinne bei Q_{30} , MQ und Q_{330} bei Hadamar im Elbbach (Hessen); der rechte Teil des Raugerinnes wurde mit Beckenstrukturen ausgestattet, während der linke als Raugerinne ohne Einbauten konstruiert ist.....	201
Bild 209:	Geteiltes Raugerinne mit mittig angeordneter Beckenstruktur.....	202
Bild 210:	Geteiltes Raugerinne mit seitlicher Beckenstruktur und Raugerinne bei Elz im Elbbach (Hessen).....	202
Bild 211:	Geteiltes Raugerinne in der Felda bei Stadtlengsfeld (Thüringen): Der Wanderkorridor befindet sich immer in der Beckenstruktur.....	203
Bild 212:	Geteiltes Raugerinne im Söllbach bei Bad Wiessee (Bayern): Die Beckenstruktur befindet sich im tiefen Abschnitt des Bauwerks, sodass auch bei niedrigen Abflüssen die erforderlichen hydraulischen Bedingungen eingehalten werden.....	203
Bild 213:	Wanderkorridor auf einem Raugerinne mit Beckenstruktur in der NW-Rinne bei Q_{30} und Q_{330}	204
Bild 214:	Wanderkorridor in einem Raugerinne ohne Einbauten mit abgetrepptem Profil bei Q_{30} und Q_{330}	204
Bild 215:	Wanderkorridor in einem Raugerinne ohne Einbauten mit trapezförmigem Profil bei Q_{30} und Q_{330}	204
Bild 216:	Raugerinne mit Niedrigwasserrinne, dimensioniert für Q_{min} bis Q_{330} an der Our bei Dasburg.....	204
Bild 217:	Längsschnitt eines aufgelösten Raugerinnes ohne Einbauten.....	205
Bild 218:	Aufgelöstes Raugerinne ohne Einbauten: Zwischen den Sohlengurten kann das natürliche Sohlensubstrat umgelagert werden.....	205
Bild 219:	Aufgelöstes Raugerinne ohne Einbauten entsprechend Bild 218 mit einem Gefälle von 1:100 in der Werra bei Einhausen (Thüringen), mit dem nach Teilrückbau eines Wehrs die verbleibende Absturzhöhe überbrückt wird.....	205
Bild 220:	Aufgelöstes Raugerinne mit Beckenstruktur in gefällereichen Gewässern; die Riegel werden mehrlagig aus sehr großen Wasserbausteinen aufgebaut.....	206
Bild 221:	Aufgelöste Beckenstruktur in flacheren Gewässern.....	206
Bild 222:	Aufgelöste Beckenstruktur mit einzelnen, buhnenförmig gestalteten Riegeln; im Bereich der Durchlässe wird die Sohle durch kurze, flache Raugerinne ohne Einbauten stabilisiert.....	206
Bild 223:	Aufgelöstes Raugerinne zur Überbrückung der Restabsturzhöhe nach Rückbau eines Querbauwerks an der Werra in Themar (Thüringen).....	206
Bild 224:	Raugerinne in Beckenbauweise an der Thiesorter Mühle im Strom bei Prenzlau (Brandenburg).....	207
Bild 225:	Prinzipielle Anordnung eines Umgehungsgerinne an einer Stauanlage.....	208
Bild 226:	Umgehungsgerinne in Hadamar am Elbbach (Hessen) mit Riegeln im mittleren und Störsteinen im unteren Abschnitt.....	208
Bild 227:	Die Ufersicherung des Umgehungsgerinnes am Elbbach in Hadamar (Hessen) wurde auf den Hochwasserabfluss bemessen.....	209
Bild 228:	Bei der bogenförmigen Linienführung des Raugerinnes am Kupferhammer in der Schlaube (Brandenburg) sind die unregelmäßig angeordneten Riegel senkrecht zur Achse gestellt, damit der Überfallstrahl das Außenufer nicht zu stark belastet.....	209
Bild 229:	Der Einstieg in das Umgehungsgerinne am Ausleitungswehr Hambeek an der Rur in Roermond (Niederlande) wurde mit einer Spundwand bis an den Fuß des Wehrs verlegt.....	209

Bild 230:	Mögliche Kombination der unterschiedlichen hydraulischen Bauformen in einem Umgehungsgerinne	210
Bild 231:	Geschüttete Sohlen- und Ufersicherung eines hydraulisch höher belasteten Abschnitts in einem Umgehungsgerinne in Riegelbauweise bei Elz im Elbbach (Hessen)	211
Bild 232:	Beispiele für Sohlen- und Ufersicherungen von Umgehungsgerinnen.....	211
Bild 233:	Einlaufbauwerk des Umgehungsgerinnes am Elbbach in Hadamar (Hessen) mit der Möglichkeit, zwei Reusen zum Fang stromauf- und -abwärts wandernder Fische einzusetzen	212
Bild 234:	Auslauf eines Umgehungsgerinnes unmittelbar neben dem Wehr der Brötzenmühle bei Elz am Elbbach (Hessen)	212
Bild 235:	Aufbau eines gesetzten Raugerinnes	213
Bild 236:	Aufbau eines geschütteten Raugerinnes	213
Bild 237:	Raugerinne Grubmühle an der Mangfall (Bayern) in aufgelöster Bauweise mit Riegeln bei annähernd Q_{330}	214
Bild 238:	Nachbettsicherung von Raugerinnen.....	214
Bild 239:	Einbau von Riegeln in ein Umgehungsgerinne am Wehr Troisdorf an der Agger (Nordrhein-Westfalen) in trockener Bauweise, die eine Wasserhaltung voraussetzt.....	217
Bild 240:	Einbau von Riegeln in der fließenden Welle in der Leitzach beim Pegel Erb	217
Bild 241:	Raugerinne Manschnow an der Alten Oder mit parallel geführtem, geschottertem Unterhaltungsweg	218
Bild 242:	Befestigte Berme als Unterhaltungsweg in Golzow im Oderbruch (Brandenburg)	218
Bild 243:	Geometrisch-hydraulische Öffnungstypen in den Trennwänden beckenartiger Fischaufstiegsanlagen.....	222
Bild 244:	Funktionsprinzipien beckenartiger Fischaufstiegsanlagen: mögliche Schwimmwege sowie Hauptströmung am Beispiel eines Beckenpasses.....	223
Bild 245:	Stromliniendarstellung der Durchströmung einer beckenartigen Fischaufstiegsanlage am Beispiel eines Schlitzpasses ohne und mit Leitwand	223
Bild 246:	Linienführung bei geknickter Anordnung am Beispiel eines Schlitzpasses mit außen und innen angeordneten Schlitzen	224
Bild 247:	Schematische Darstellung von zwei aufeinander folgenden 180°-Umlenkungen am Beispiel eines Schlitzpasses mit Umlenkbecken a3 bzw. b3 sowie den darin aus hydraulischen Gründen zur Vermeidung einer Kurzschlussströmung gegebenenfalls notwendigen Leitelementen	225
Bild 248:	Linienführung bei Schlitzpässen: versetzte Anordnung der Becken in Roermond an der Rur (Niederlande) geknickte Linienführung des Fischpasses Iffezheim am Rhein	225
Bild 249:	Beckenpässe an der Mainstaustufe Offendorf und am Wehr Kemnade an der Ruhr.....	228
Bild 250:	Schematischer Längsschnitt durch einen konventionellen Beckenpass	228
Bild 251:	Bezeichnungen bei konventionellen Beckenpässen.....	229
Bild 252:	Querschnitt durch die Becken.....	232
Bild 253:	Rhomboidpass: Gestaltung der Trennwände; Anlage Lehmen an der Mosel bei reduziertem Wasserstand aufgrund Verlegung des Einlaufs; Anlage Musikinsel an der Radolfzeller Aach	237
Bild 254:	Gestaltung und Abmessungen der Becken des früheren Wulstfischpasses an der Elbestaustufe Geesthacht.....	238
Bild 255:	Beckenartige Fischaufstiegsanlage mit flachem V-Ausschnitt an der Staustufe Linne an der Maas; oben: Überblick, rechts: Detail einer Trennwand	238
Bild 256:	Schlitzpass am Wehr Gnevsvorf an der Havel (Brandenburg), Blick zum Oberwasser.....	239
Bild 257:	Abmessungen und Bezeichnungen beim Schlitzpass mit einem Schlitz (Grundriss): a) hakenförmiger Leitwandvorsatz; b) vereinfachte Leitwand.....	240
Bild 258:	Gestaltungsvorschlag für die Einbauten eines Schlitzpasses, wobei die Staubohlen beidseitig von U-Profilen gehalten werden: a) schmales Stahlprofil mit zusätzlicher Leitwand (Kantholz) zur Strömungsumlenkung; b) breites Stahlprofil mit Leitwandfunktion zur Strömungsumlenkung ..	241
Bild 259:	Skizze zur Definition der Wassertiefe h	242
Bild 260:	Längsschnitt eines Schlitzpasses	242
Bild 261:	Schlitzströmung; links: Strömung in einem Schlitzpassbecken bei strömungsdissipierenden Verhältnissen; rechts: Strömung in einem Schlitzpassbecken bei strömungsstabilen Verhältnissen...	243

Bild 262:	Beiwert $\mu_v = f(h_w/h_o)$ aus den Gleichungen (8.15a) und (8.15b) für Gleichung (8.14)	244
Bild 263:	Abfluss im Schlitzpass mit einer Schlitzweite von $s = 0,3$ m für a) $\Delta h = 0,2$ m und b) $\Delta h = 0,1$ m und strömungsdissipierende Verhältnisse	244
Bild 264:	Rechenschema für die iterative Abflussberechnung in Schlitzpässen bei ungleichförmigem Abfluss	245
Bild 265:	Dauerlinien der Wasserstände und des Abflusses für das Berechnungsbeispiel.....	246
Bild 266:	Berechnungsbeispiel: Längsschnitt durch den Schlitzpass	250
Bild 267:	Doppelschlitzpass (schematisch)	251
Bild 268:	Doppelschlitzpass Beeskow an der Spree (Brandenburg)	251
Bild 269:	Schlitzpass an der Spree in Spremberg (Brandenburg) mit alternierender Beckenführung und Wandstummeln als Fortsetzungen der Trennwände zur Vermeidung von Kreisströmungen.....	252
Bild 270:	Rundbeckenpass Laer an der Ruhr (Nordrhein-Westfalen).....	252
Bild 271:	Numerische Berechnung der Fließgeschwindigkeiten in einem Rundbeckenpass	253
Bild 272:	Strömungsverlauf im Rundbeckenpass	254
Bild 273:	Einschnürung der Strömung im Bereich der Beckenübergänge eines Rundbeckenpasses	255
Bild 274:	Raugerinne-Beckenpass.....	255
Bild 275:	Schematischer Gerinnequer- und -längsschnitt eines Raugerinne-Beckenpasses.....	256
Bild 276:	Beispiele für Raugerinne-Beckenpässe in Themar an der Werra (Thüringen), Marxmühle in Edingen an der Dill (Hessen).....	256
Bild 277:	Moderne Ausführung eines Denil-Passes	257
Bild 278:	Urausführung des Denil-Passes.....	257
Bild 279:	Ehemaliger Denil-Pass in Tuilières an der Dordogne (Frankreich) mit zwei parallelen Gerinnen mit V-förmig angeordneten Lamellen	258
Bild 280:	Ehemaliger Denil-Pass am Wehr Eitorf-Unkelmühle an der Sieg (Nordrhein-Westfalen), der aus zwei Gerinneabschnitten mit einem dazwischen geschalteten Ruhebecken bestand, aber primär von leistungsstarken Arten wie Barben passiert wurde	258
Bild 281:	Standardausführung der Lamellen eines Denil-Passes	259
Bild 282:	Charakteristische Geschwindigkeitsverteilung in einem Denil-Pass	259
Bild 283:	Hölzerne Einbauten im ehemaligen Denil-Pass in Eitorf-Unkelmühle an der Sieg	260
Bild 284:	Denil-Pass in Kalifornien mit Einbauten aus Stahl	260
Bild 285:	Strömungsverhältnisse im Denil-Pass an der Gollmitzer Mühle bei Prenzlau (Brandenburg) mit hoher und turbulenter Oberflächenströmung	262
Bild 286:	Prinzipskizze eines Denil-Passes im Längsschnitt.....	262
Bild 287:	Abhängigkeit $h_o = f(h_l)$	263
Bild 288:	Abmessungen einer Lamelle in m.....	263
Bild 289:	Längsschnitt des Denil-Passes gemäß des oben aufgeführten Berechnungsbeispiels; nicht maßstabgerechte Prinzipskizze	264
Bild 290:	Borstenpakete aus einer mit Borstenbündeln bestückten Trägerplatte.....	266
Bild 291:	Einbau der Borstenpakete in das Gerinne, oben: Befestigung auf einem Betonfundament, unten: Aufständering der Trägerplatte	266
Bild 292:	Typ A: Anordnung der Borstenpakete als Querriegel von Beckenstrukturen	267
Bild 293:	Typ B: Als Störkörper über das Gerinne verteilte Borstenpakete	267
Bild 294:	Typ C: Dreireihige Anordnung von Borstenpaketen in Riegeln mit Gasse.....	267
Bild 295:	Bleibende Verformung von Borsten nach etwa vier Jahren, die die Durchlassbreite reduziert.....	273
Bild 296:	Dauerhafte Verlegung der Borsten durch mit Pflanzenteilen verbackene Sedimente	273
Bild 297:	Tagesaufstieg von etwa 15 kg Glasaalen (das entspricht etwa 50.000 Individuen) über eine Aalleiter an der Vie bei St.-Gilles-Croix-de-Vie (Vendée, Frankreich).....	274
Bild 298:	Glas- und Steigaale können sich raue, benetzte Oberflächen emporwinden	274
Bild 299:	Schematische Darstellung der Aalleiter in Zeltingen an der Mosel, die in der Wange des Beckenpasses eingebaut ist; in ein Rechteckgerinne ist eine Kunststoffbürste eingelegt	275
Bild 300:	Bürstenstraße mit im Querschnitt wechselnden Borstendichten zur Gewährleistung des Aufstiegs unterschiedlich großer Jungaale.....	275

Bild 301:	Das Betriebswasser dieser Aalleiter wird über die gesamte Breite der Bürstenstraße verrieselt	275
Bild 302:	Provisorische Aalfang- und Kontrollstation an der Wairere Falls Power Station (Neuseeland): Über einen Trichter fallen aufwandernde Glas- und Steigaale in ein Hälterbecken	276
Bild 303:	Fang- und Kontrollstation an der Karapiro Power Station (Neuseeland): Eine überstehende Kante verhindert das Entkommen von Jungaalen aus dem Hälterbecken	276
Bild 304:	Der Überlauf des Hälterbeckens wird dem Betriebswasser der Aalleiter zugeführt	276
Bild 305:	Die Aalleiter an der 14 m hohen Talsperre Aprémont im Fluss Vie (Frankreich) besteht aus drei Bürstenstraßen, die durch Zwischenbecken (ZB 1 und ZB 2) miteinander verbunden sind	276
Bild 306:	Mehrere Fang- und Kontrollkästen am Damm des Lake Manapouri (Neuseeland), die an Seilwinden abgesenkt werden	277
Bild 307:	Aalfangkasten mit Bürstenstraße	277
Bild 308:	Aalleitern müssen gegen fischfressende Vögel und Zugriff abgedeckt und Monitoringeinrichtungen gegen Einbruch gesichert sein	277
Bild 309:	Parallel zum Beckenpass verlaufende Aalleiter am Wehr Wilhelmshausen an der Fulda	278
Bild 310:	Die akzessorische Leitwasserleitung der Aalleiter im Hafenbecken von St.-Gilles-Croix-de-Vie (Frankreich) ist beidseitig von Bürstenstraßen mit geringerer Beaufschlagung eingefasst	278
Bild 311:	Funktionsprinzip einer Fischschleuse	280
Bild 312:	Fischschleuse am Lairg Dam (Schottland): Die Einstiegsöffnung ist unmittelbar neben der Turbinenausströmung positioniert. Zwei Bypässe verstärken die Leitströmung	282
Bild 313:	Borland-Schleuse	282
Bild 314:	Pavlov-Schleuse	284
Bild 315:	Deelder-Fischschleuse russischer Bauweise	285
Bild 316:	Fischaufzug am Standort Baigts am Gave de Pau (Frankreich), der Transportbehälter befindet sich in Oberwasserposition, über eine Rinne gelangen die Fische ins Oberwasser	285
Bild 317:	Aufbau und Funktionsprinzip eines Fischaufzugs	286
Bild 318:	Über einen separaten Bypass wird die Leitströmung des Fischaufzugs an der Staustufe Tuilières an der Dordogne (Frankreich) zusätzlich verstärkt	287
Bild 319:	Fischaufzug an der Staustufe Golfch an der Garonne (Frankreich): Blick über die Fangkammer mit reusenartigem, verfahrbaren Gitter im Einstiegsbereich	287
Bild 320:	Fischaufzug ohne Fangkammer. Der Transportbehälter ist mit einer Reusenkehle ausgestattet	288
Bild 321:	Fischaufzug ohne Fangkammer am Gave d'Osseau (Frankreich)	288
Bild 322:	Reusenähnlicher Transportbehälter des Fischaufzugs Büttenen (Schweiz)	289
Bild 323:	Trap & Truck im Gewässersystem der Garonne (Frankreich)	289
Bild 324:	Mobile Anlage zum Fang und Transport von Fischen	290
Bild 325:	Anwendung des Bewertungsverfahrens zur Qualitätssicherung	295
Bild 326:	Prozessbild Planung und Qualitätssicherung	297
Bild 327:	3D-HN-Strömungssimulation für ein Umlenkbecken des Doppelschlitzpasses Geesthacht an der Elbe (Schleswig-Holstein)	299
Bild 328:	Physikalisches Modell im Maßstab 1:13 vom Doppelschlitzpass Geesthacht an der Elbe mit zwei 180°-Umlenkbecken, einer 20°-Krümmung sowie mehreren Zusatzdotationen	300
Bild 329:	Mehrkehlige Netzreuse und Kastenreuse mit nur einer Kehle	303
Bild 330:	Absperrung der gesamten Gewässerbite stromauf eines flachen Raugerinnes mittels Lochbleche, um Aufsteiger zu der seitlich angeordneten Fangreuse zu leiten	304
Bild 331:	Schädigung eines Aufsteigers nach wenigen Stunden Aufenthalt in einer stark durchströmten und zu kleinen Reuse	305
Bild 332:	Die Fangkammer am Einlauf des Doppelschlitzpasses am Elbewehr in Geesthacht ist im Nebenschluss angeordnet und wird mittels Pumpen separat beaufschlagt	306
Bild 333:	Mit der Strömung abgewanderte und an einer Absperrung verendete Fische	306
Bild 334:	Mehrjährige, methodisch identische Untersuchungen an dem konventionellen Beckenpass in Kostheim am Main (Hessen) über jeweils 365 Tage zeigen, dass die jährlichen Aufstiegsszahlen stark schwanken	307

Bild 335:	Ein rotierender Bürstenkranz mit innenliegenden Hochdruckreinigungsdüsen reinigt die Beobachtungsfenster am Fischpass Gamsheim am Rhein (Frankreich)	308
Bild 336:	Prinzipskizze eines hydraulisch optimierten Beobachtungskanals für Videoaufzeichnungen durch ein Sichtfenster mit Gegenbeleuchtung	309
Bild 337:	Beobachtungsraum am Fischpass Iffezheim am Rhein (Baden-Württemberg) mit Video- und Aufzeichnungstechnik	309
Bild 338:	Injektion eines Farbstoffes in die Rückenflosse eines Fisches.....	310
Bild 339:	FDX-Transponder von 12 mm × 2 mm und HDX-Transponder von 23 mm × 4 mm und 32 mm × 4 mm Größe	310
Bild 340:	Sechs je 1 m × 1 m große Rahmenantennen überwachen kontinuierlich das Aufstiegs geschehen im Umgehungsgerinne am Wehr Geesthacht an der Elbe (Niedersachsen)	311
Bild 341:	Am Rücken eines Lachses angebrachter Radioemitter und zugehörige Empfangsantenne	312
Bild 342:	Implantierung eines akustischen Senders in die Bauchhöhle eines Aales.....	312
Bild 343:	Ein aufsteigender Lachs passiert am Ausstieg der Fischschleuse am Meig Dam (Schottland) die auf einem Senkschütz installierte Fischzähleinrichtung	313
Bild 344:	Riverwatcher in der Fischaufstiegsanlage der Mosel-Staustufe Koblenz (Rheinland-Pfalz) über die Wasseroberfläche herausgehoben und im Betrieb.....	313
Bild 345:	Einzelbild aus einer DIDSON-Videosequenz zur Darstellung des Schwimmweges eines Aales im Oberwasser einer Wasserkraftanlage	314
Bild 346:	Spezifische Kosten (C) für Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke, bezogen auf den Gesamtabfluss der Einrichtung in l/s und die zu überwindende Fallhöhe in m.....	316
Bild 347:	Durch regelmäßige Unterhaltung kann die Beeinträchtigung der Passierbarkeit, z. B. von Durchlässen in den Riegeln von Beckenpässen, durch Verlegung verhindert werden	316
Bild 348:	Nach Hochwasserereignissen muss das angelandete Geschwemmsel beseitigt werden, um die Funktionsfähigkeit der Fischaufstiegsanlage wiederherzustellen	317

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassifizierung von Anlagen zur Gewährleistung des Fischaufstiegs in Abhängigkeit von deren Lage zum Querbauwerk und ihrer Funktion	26
Tabelle 2:	Biologische Fließgewässerzonierung	38
Tabelle 3:	Gefällegrenzen der Fischregionen	39
Tabelle 4:	Besiedlungsschwerpunkte ausgewählter Fischarten in den Fischregionen deutscher Flussgebiete	41
Tabelle 5:	Strömungsökologische Gilden der Fischfauna mit ausgewählten Arten	45
Tabelle 6:	Beispiele für die zurückgelegten Strecken bei der Aufwärtswanderung ausgewählter benthischer Wirbelloser in Freiland- und Gerinneversuchen.....	47
Tabelle 7:	Beispiele für durch Markierung und Wiederfang bzw. Telemetry belegte potamodrome Wanderdistanzen	53
Tabelle 8:	Nachgewiesene Wandergeschwindigkeiten aufwandernder Fische	55
Tabelle 9:	Gesamtlänge adulter Wanderstadien anadromer Arten	57
Tabelle 10:	Aufstiegszeiten diadromer Fischarten und Entwicklungsstadien.....	59
Tabelle 11:	Tagesaktivität verschiedener Fischarten	59
Tabelle 12:	Rheoaktive Geschwindigkeiten für einige Arten und ihre Entwicklungsstadien	64
Tabelle 13:	Situation der Anbindung von Altwässern, Strömungsrichtung und Wanderrichtung von Fischen.....	66
Tabelle 14:	Typen von Kreuzungsbauwerken.....	77
Tabelle 15:	Für die Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken relevante Fischmaße und -proportionen ausgewählter Arten	117
Tabelle 16:	Zusammenfassung der wichtigsten geometrischen Grenzwerte gemäß 4.6.3; die zugrunde liegenden Maße und Proportionen von Fischen enthält Tabelle 15	123
Tabelle 17:	Grenzwerte für die maximale Fließgeschwindigkeit v_{max} (m/s) in den Durchlässen von beckenartigen Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken	127

Tabelle 18:	Grenzwerte für die mittlere Fließgeschwindigkeit v_m (m/s) im Wanderkorridor gerinneartiger Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbarer Bauwerke	127
Tabelle 19:	Grenzwerte für die mittlere Fließgeschwindigkeit in den Engstellen $v_{m,E}$ (m/s) im Wanderkorridor von Raugerinnen in Störsteinbauweise.....	128
Tabelle 20:	Grenzwerte für die minimale Fließgeschwindigkeit $v_{gr,min}$ (m/s) im Wanderkorridor.....	128
Tabelle 21:	Grenzwerte für die Leistungsdichte bei der Energiedissipation in Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken	130
Tabelle 22:	Grenzwerte für ein Raugerinne ohne Einbauten und ein Raugerinne in Beckenbauweise für denselben Standort in der Barbenregion	131
Tabelle 23:	Gestaltungskriterien für den Neubau von Kreuzungsbauwerken	138
Tabelle 24:	Umgestaltungsmöglichkeiten bestehender Kreuzungsbauwerke.....	139
Tabelle 25:	Durch den Betrieb von Siel- und Schöpfbauwerken erforderliche Maßnahmen zur Gewährleistung von Fischwanderungen	143
Tabelle 26:	Bauweisen von Hochwasserrückhaltebecken.....	149
Tabelle 27:	Beispiele für die Betriebszeiten von Schleusen	151
Tabelle 28:	Hydraulische Bemessungswerte für den Wanderkorridor in Raugerinnen ohne Einbauten. Folgende Sicherheitsbeiwerte sind berücksichtigt: $S_v = 0,8$ und $S_b = 1$	162
Tabelle 29:	Geometrische Bemessungswerte für den Wanderkorridor mit einer Länge > 2 m auf einem Raugerinne ohne Einbauten.....	163
Tabelle 30:	Maßgebliche Steindurchmesser und Konstanten für den Strickler-Beiwert.....	164
Tabelle 31:	Richtwerte für zulässige Schubspannungen und Fließgeschwindigkeiten,.....	167
Tabelle 32:	Fließgeschwindigkeiten in den Sektoren des Fließquerschnitts	171
Tabelle 33:	Hydraulische Bemessungswerte für Raugerinne mit Störsteinen mit folgenden Sicherheitsbeiwerten: $S_v = 0,8$, $S_b = 0,9$ und $S_p = 0,9$	174
Tabelle 34:	Geometrische Bemessungswerte für Raugerinne mit Störsteinen mit geometrischem Sicherheitsbeiwert $S_g = 0,8$	175
Tabelle 35:	Anströmbeiwerte β für ausgewählte Störsteinkonfigurationen. Alle Angaben für $k_s = 0,1$ m und trapezförmige Profile mit Böschungsneigung 1:1,5	177
Tabelle 36:	Hydraulische Bemessungswerte für beckenartige Raugerinne bis zu einer Gesamtabsturzhöhe von 6 m bei Berücksichtigung folgender Sicherheitsbeiwerte: $S_v = S_p = 0,9$ sowie $S_b = 1$	185
Tabelle 37:	Geometrische Bemessungswerte für beckenartige Raugerinne mit $S_g = 0,8$ und $S_b = 1$ nach Tabelle 16, Bezeichnungen gemäß Bild 186	186
Tabelle 38:	Wasserbausteine nach alter TLW und neuer TLW; die Steingrößen sind als Mittelwerte angegeben	215
Tabelle 39:	Anwendung optimierter Bauformen von Raugerinnen in Abhängigkeit vom Abflussverhalten des Gewässers bzw. Gewässerabschnitts.....	219
Tabelle 40:	Bemessungswerte mit $S_v = 0,95$ und $S_b = 0,95$ für die maximale Fließgeschwindigkeit an Trennwandöffnungen von beckenartigen Fischaufstiegsanlagen, Werte gerundet in m/s.....	227
Tabelle 41:	Geometrische Bemessungswerte für $S_g = 1$ für konventionelle Beckenpässe	229
Tabelle 42:	Berechnungsbeispiel, Wasserspiegellage bei Q_{330}	235
Tabelle 43:	Geometrische Bemessungswerte für $S_g = 1$ für die Becken sowie die Schlitzweite bei Schlitzpässen.....	240
Tabelle 44:	Abmessungen bei Schlitzpässen in Abhängigkeit von der Schlitzweite s	241
Tabelle 45:	Berechnungsbeispiel Schlitzpass; Variante 1: Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten beim Betriebszustand Q_{330}	248
Tabelle 46:	Berechnungsbeispiel Schlitzpass; Variante 2: Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten bei einem Unterwasserstand von 161,0 m ü. NHN bei Q_{330}	249
Tabelle 47:	Berechnungsbeispiel Schlitzpass; Variante 3: Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten bei einem Unterwasserstand von 161,0 m ü. NHN und bei geöffnetem 2. Einlauf im 11. Becken bei Q_{330}	249
Tabelle 48:	Hydraulische Bemessungswerte für den Wanderkorridor im Rundbeckenpass mit den Sicherheitsbeiwerten $S_v = 0,9$ und $S_b = 1$	254
Tabelle 49:	Geometrische Bemessungswerte für den Wanderkorridor im Rundbeckenpass mit den Sicherheitsbeiwerten $S_g = 0,65$ und $S_b = 1,0$	254
Tabelle 50:	Bemessungswerte für die Breite des Lamellenausschnitts sowie die Mindestwassertiefe für $S_g = 1$	259

Tabelle 51:	Proportionen der Lamellenabmessungen beim Standard-Denil-Pass in Abhängigkeit von der gewählten Ausschnittbreite	260
Tabelle 52:	Bemessungswerte für die Fließgeschwindigkeit v_L in den Lamellenausschnitten von Denil-Pässen für $S_v = 0,8$ und $S_b = 1$, Fließgeschwindigkeiten in m/s	261
Tabelle 53:	Zulässiges Gefälle von Denil-Pässen in den jeweiligen Fließgewässerregionen, errechnet mit den Bemessungswerten der Fließgeschwindigkeit	261
Tabelle 54:	Berechnete Abflüsse in Denil-Pässen	262
Tabelle 55:	Bemessungswerte für die zulässigen Fließgeschwindigkeiten in Borstenfischpässen für $S_v = 0,9$ und $S_b = 0,9$	269
Tabelle 56:	Geometrische Bemessungswerte S_g für beckenartige Borstenfischpässe mit Borstenanordnungen gemäß Typ A und C.....	269
Tabelle 57:	Geometrische Bemessungswerte für Borstenfischpässe mit störkörperartig verteilten Borsten gemäß Typ B	270
Tabelle 58:	Maße der Fangkammern von Fischaufzügen für unterschiedliche Zielarten	286
Tabelle 59:	Bewertungsschema anhand abiotischer Kriterien	293
Tabelle 60:	Körperlängen ausgewählter Arten, ab der sie bei einem Lochdurchmesser von 8 mm bzw. 10 mm zuverlässig erfasst werden	304

Benutzerhinweis

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jedermann steht die Anwendung des Merkblattes frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

Einleitung

Mit dem Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wird nicht nur dem ökologischen Zustand von Gewässern eine stärkere Bedeutung zuerkannt, der an der Ausprägung der aquatischen Besiedlung zu beurteilen ist, sondern auch der Durchgängigkeit als Voraussetzung für die Ausbildung gewässertypspezifischer Lebensgemeinschaften (EG-WRRL 2000). Allerdings wird der freie Abfluss der Flüsse durch zahlreiche Staubawerke unterschiedlichster Konstruktion und Funktion unterbrochen, was infolge Stau, Ausleitung und der Barrierewirkung des Querbauwerks für wandernde Organismen nachhaltige Beeinträchtigungen der Biodiversität zur Folge hat.

So hat die Unterbrechung der Wanderwege der aquatischen Fauna in Kombination mit anderen Störeinflüssen wie stofflichen und thermischen Gewässerbelastungen, strukturellen Defiziten, Wasserkraftnutzung, Schifffahrt und Fischerei zu einem Artenschwund geführt. Die Rote Liste Deutschlands dokumentiert, dass von insgesamt 89 einst im Süßwasser lebenden Neunaugen- und Fischarten 11 % ausgestorben oder verschollen, 8 % vom Aussterben bedroht sowie 10 % stark gefährdet sind (FREYHOF 2009). Dabei ist der Anteil gefährdeter Arten bei den Diadromen besonders hoch, die existentiell auf die flussauf- und -abwärts gerichtete Durchgängigkeit angewiesen sind, sowie bei Kieslaichern, die sich ausschließlich in strömungsgeprägten Lebensräumen fortzupflanzen vermögen.

Die Anzahl von Wanderhindernissen in den Flüssen ist beträchtlich: Allein in den nordrhein-westfälischen Fließgewässersystemen mit Einzugsgebieten über 20 km² wurden über 12.500 Wanderhindernisse erfasst; davon 2.591 Standorte mit Absturzhöhen über 0,3 m (DUMONT et al. 2005). Auch andere Wehrkataster dokumentieren vor allem in den Mittelgebirgslagen hohe Querbauwerksdichten, wie im Falle des 219 km langen Flusslau-

fes der Fulda in Hessen: Dieser wird von 86 Querbauwerken unterbrochen, was einem mittleren Abstand von 2,5 km entspricht (SCHWEVERS & ADAM 2001). Ein vergleichbarer Verbauungsgrad findet sich in der Ruhr in Nordrhein-Westfalen (ARBEITSGEMEINSCHAFT GEWÄSSERSANIERUNG 2003) sowie in der hessischen und rheinland-pfälzischen Lahn (SCHWEVERS & ADAM 1996a). Im nicht als Bundeswasserstraße ausgewiesenen Oberlauf des bayerischen Main (STROHMEIER 1998) und in der Stepenitz in Brandenburg (LESKE & STRUNCK 1993) beträgt der mittlere Abstand von Wanderhindernissen jeweils etwa 5,8 km.

Das Wissen um die Auswirkungen von Wanderhindernissen auf Fische führte zwar bereits um die Wende zum 19. Jahrhundert zur Formulierung recht präziser Vorschriften für den Bau sogenannter Fischtreppe (KELLER 1885, GERHARDT 1904, BITTERLI 1909), doch beklagt GERHARDT bereits im Jahr 1912 im Handbuch der Ingenieurwissenschaften: „Wenn man die baulichen Anlagen, die Fischereizwecken dienen sollen, richtig entwerfen und ausführen will, so muß man mit den Gewohnheiten der Fische vertraut sein. Zahlreich sind die Klagen über schlecht erbaute Fischwege, die ihren Zweck entweder ganz verfehlt hätten oder zu teuer geworden wären. Die Klagen sind leider vielfach berechtigt. Ihre Ursachen sind fast ausnahmslos darauf zurückzuführen, daß der Ingenieur ohne genaue Kenntnis der Naturgeschichte der Fische seine Arbeit unternahm. Er hat übersehen, daß man niemals bei der Herstellung von Anlagen für die Fischerei von dem Bauwerke selbst ausgehen muß, eine gewisse Bauweise wählen, diese der Örtlichkeit anpassen, den Fisch und seine Gewohnheiten aber ganz außer Acht lassen darf, sondern daß man umgekehrt verfahren muß: man muß von dem Fisch ausgehen, den man führen will, seine Gewohnheiten studieren, dann die Örtlichkeit ins Auge fassen und endlich nach beiden erst das Bauwerk errichten.“