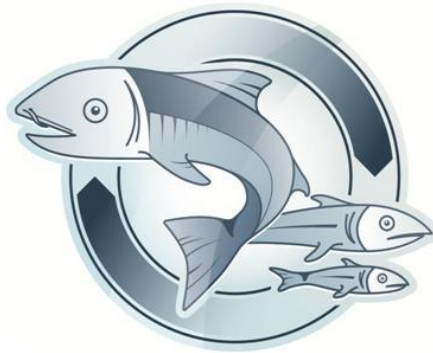




Gefördert durch: Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

## Forum „Fischschutz und Fischabstieg“



### Arbeitshilfe zur standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges

Von Arbeitsgemeinschaft

Wolfgang Schmalz  
FLUSS, Breitenbach/Deutschland



Falko Wagner  
IGF, Jena/Deutschland



Damien Sonny  
Profish, Naninne/Belgien



Im Auftrag des Ecologic Institutes gemeinnützige GmbH

März 2015

**Autoren:**

SCHMALZ, Wolfgang

Dipl.-Biol., FLUSS (Fischökologische und Limnologische UntersuchungsStelle Südthüringen); Vertreter der Bietergemeinschaft

WAGNER, Falko

Dr. rer. nat., IGF (Institut für Gewässerökologie & Fischereibiologie Jena)

SONNY, Damien

Dr. rer. nat., Profish (ProFish Technology SA)

unter Mitarbeit von:

EBEL, Guntram

Dr. rer. agr., BGF (Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie)

HÜBNER, Dirk

Dr. rer. nat., BFS (Büro für Fisch- und Gewässerökologische Studien)

LINDIG, Andreas

Dipl.-Biol., IGF (Institut für Gewässerökologie & Fischereibiologie Jena)

SCHMALZ, Maria

Dipl.-Biol., IWSÖ GmbH (Institut für Wasserwirtschaft Siedlungswasserbau und Ökologie, Hydrolabor Schleusingen)

SCHNEIDER, Jörg

Dr. rer. nat., BFS (Büro für Fisch- und Gewässerökologische Studien)

**Für die fachliche Unterstützung wird gedankt:**

Forum Fischschutz und der Lenkungsgruppe des Forums	Mitglieder der Lenkungsgruppe siehe <a href="http://forum-fischschutz.de/lenkungsgruppe">http://forum-fischschutz.de/lenkungsgruppe</a>
HAAS, Christian	Dipl.-Ing., I AM HYDRO, Haas & Thumser GbR
HASSINGER, Reinhard	Dr.-Ing., Universität Kassel, Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen
KEMPER, Melanie	MA, Dipl.-Ing., Ecologic Institut, Wissensmanagement
LECOUR, Christine	Dipl.-Biol., Nds. Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES), Dez 34 - Binnenfischerei - Fischereikundlicher Dienst des Landes Niedersachsen
LINDE, Piet	Dipl.-Biol., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 57 "Fisch- und Gewässerökologie"
NAUMANN, STEPHAN	Dipl.-Geogr., Umweltbundesamt, Fachgebiet II 2.4 Binnengewässer
SCHMIDT, Marc	Dr. rer. nat., LFV Hydroakustik GmbH
SCHÜTZ, Cornelia	Dr. rer. nat., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat U4 Tierökologie, Aufgabenbereich "Ökologische Durchgängigkeit"
STEIN, ULF	Dr.-Ing., Ecologic Institut, Koordinator der Aktivitäten im Bereich Wasserforschung
VARGOVÁ, Beáta	MA, Ecologic Institut, Visual Designer
WEIBEL, Uwe	Dipl.-Biol., IUS (Institut für Umweltstudien-IUS Weibel & Ness GmbH)
WÜST, Steffen	Dipl.-Geoök., IUS (Institut für Umweltstudien-IUS Weibel & Ness GmbH)

## Kurzbeschreibung

Die vorliegende Arbeitshilfe hat den Anspruch die methodischen Grundlagen für vergleichbare und aussagekräftige Untersuchungen und Bewertungen von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen zu standardisieren. Schwerpunkt ist die standortbezogene Durchgängigkeit für stromabwärts wandernde Fische. Es werden Grundlagen für eine objektive Evaluierung der Schädigung von Fischen und der Effizienz von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen bereitgestellt. Die erarbeiteten Planungs-, Untersuchungs- und Auswertungsabläufe sollen aussagefähige Untersuchungen mit reproduzierbaren Ergebnissen ermöglichen, um den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu verbessern und standörtliche Lösungen zu optimieren.

Teil 1 der Arbeitshilfe enthält generelle Empfehlungen zur Planung und zur Durchführung standörtlicher Untersuchungen sowie Anleitungen zur abschließenden Datenauswertung. Diese Grundlage soll die Wahl der zielführenden Untersuchungsmethodik, der notwendigen Untersuchungszeiten und geeigneten Zielarten erleichtern und eine zukünftige Vereinheitlichung der methodischen Ansätze fördern. Als quantitative Grundlage der Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges werden 22 Zielparameter vorgegeben und erläutert.

In Teil 2 erfolgt die Beschreibung eines breiten Spektrums der für die Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges in Frage kommenden Methoden. Ziel ist es, deren Einsatzmöglichkeiten im Kontext konkreter Fragestellungen bei standörtlichen Untersuchungen, die methodischen Stärken und Schwächen sowie die Eignung zur Quantifizierung der in Teil 1 vorgegeben Zielparameter aufzuzeigen.

## Abstract

This manual focuses on the site specific evaluation of the efficiency of fish protection and bypass systems. Standardised evaluation principles are given to promote significant, comparable studies. This manual constitutes a frame work for an objective evaluation process. The developed planning, investigation and evaluation processes provide a base for consistent study results to improve the scientific knowledge and to optimise effective site specific solutions.

Part 1 of the manual focuses on the preparation and application of the field work and the final data analysis. The aim is to simplify the selection of appropriate sampling methods, sampling time and target fishes (species and development stage) to facilitate comparative studies. 22 target parameters are given as quantitative base for an evaluation of fish protection and bypass systems.

Part 2 gives a broad overview over appropriate methods for field studies. The aim is to show the method specific fields of application in the evaluation process, the pros and cons for the method use and the suitability for quantifying the provided evaluation parameters.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	15
Tabellenverzeichnis .....	19
Symbolverzeichnis .....	20
Glossar.....	23
<b>Teil 1 - Generelles Prinzip .....</b>	<b>33</b>
1 Einleitung .....	34
1.1 Veranlassung.....	34
1.2 Problemstellung und Ziele .....	35
2 Fachliche Grundlagen .....	38
2.1 Schädigungsrisiken für Fische an typischen Korridorkomponenten .....	38
2.2 Ökologische Wirkungsebenen von Standorteffekten auf die Fischfauna.....	41
2.3 Wanderkorridore .....	45
2.4 Raumbezogene Betrachtung der Auswirkung von Standorten mit Wassernutzung auf den Fischabstieg.....	47
2.4.1 Untersuchungsräume .....	47
2.4.2 Standort .....	50
2.4.3 Hauptkorridor .....	50
2.4.4 Subkorridor .....	50
2.4.5 Korridorkomponente .....	50
2.5 Fischschutz und Fischabstieg.....	51
3 Grundlegende Aspekte der Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges.....	53
3.1 Zielstellung.....	53
3.2 Allgemeine Anforderungen an die Evaluierung .....	53
3.2.1 Anforderungen an Untersuchungsdesign, Untersuchungsdurchführung und Ergebnisdarstellung .....	53
3.2.2 Anforderungen an die Bearbeiterinnen und Bearbeiter .....	54
4 Vorbereitung der standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges .....	56
4.1 Festlegung der Evaluierungsziele.....	56
4.2 Ableitung des Konzeptes der biologischen Fischabstiegsuntersuchung .....	56
4.3 Genehmigungen und Behördenabstimmung .....	67
5 Durchführung der standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges .....	68
5.1 Technisch-hydraulische Charakterisierung des Standortes .....	68
5.1.1 Zielstellung der technisch-hydraulischen Charakterisierung .....	68
5.1.2 Räumliche Standortcharakterisierung .....	68

5.1.3	Allgemeine hydrologische Standortcharakterisierung.....	68
5.1.4	Abflussaufteilung am Standort auf Einzelkorridore.....	69
5.1.5	Charakterisierung der Querbauwerke am Standort.....	70
5.1.6	Kenngößen von Triebwerken und Pumpen.....	70
5.1.6.1	Triebwerke	70
5.1.6.2	Pumpen	70
5.1.7	Kenngößen von Fischschutzeinrichtungen.....	71
5.1.7.1	Mechanische Rechen	71
5.1.7.2	Elektrische, akustische und mechanische Verhaltensbarrieren	71
5.1.8	Kenngößen von Bypässen, Fischrückführungssystemen, Fischaufstiegsanlagen und Schleusen.....	72
5.2	Erfassung abiotischer sowie technisch-hydraulischer Parameter während der biologischen Fischabstiegsuntersuchung.....	72
5.3	Biologische Fischabstiegsuntersuchung.....	73
5.3.1	Methodenüberblick zur Erfassung des Abstiegsgeschehens .....	74
5.3.1.1	Fangmethoden und -geräte	74
5.3.1.2	Berührungsfreie Methoden	74
5.3.1.3	Markierungs- und experimentelle Methoden	74
5.3.2	Erfassung von Verletzungen und Schädigungen bei Fischen .....	75
5.3.2.1	Voraussetzungen für Verletzungs- und Schädigungsanalysen	75
5.3.2.2	Erfassung von Verletzungen	75
5.3.2.2.1	Äußerlich erkennbare Verletzungen	75
5.3.2.2.2	Äußerlich nicht erkennbare Verletzungen	75
5.3.2.3	Vorschäden	76
5.3.2.4	Methodenbedingte Schäden	79
5.3.2.5	Verzögerte Mortalität	79
5.3.2.6	Verletzungs- und Schädigungskategorien	79
6	Auswertung der biologischen Fischabstiegsuntersuchung entsprechend der standörtlichen Evaluierungsaspekte .....	82
6.1	Ablauf des Auswertungsprozesses.....	82
6.2	Aufbereitung und methodenspezifische Korrekturen der Untersuchungsparameter .....	83
6.3	Zielparameter – Parametererläuterung und Berechnungsgrundlagen.....	85
6.3.1	Vorschädigungsrate.....	85
6.3.2	Normierter Tagesfang.....	86
6.3.3	Durchflussnormierter Einheitsfang.....	86
6.3.4	Abstiegsrate.....	87

6.3.5	Korridorspezifische Schädigungsrate .....	88
6.3.6	Standortschädigungsrate.....	88
6.3.7	Korridorspezifische Mortalitätsrate .....	89
6.3.8	Standortmortalitätsrate .....	91
6.3.9	Korridorspezifische Überlebensrate .....	91
6.3.10	Standortüberlebensrate .....	91
6.3.11	Schutzrate .....	92
6.3.12	Körpergrößenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit.....	92
6.3.13	Artenselektivität von Abstiegskorridoren.....	94
6.3.14	Schutzsystemableitrate .....	95
6.3.15	Standortbezogene Ableitrate .....	96
6.3.16	Einschwimmrate .....	97
6.3.17	Suchrate .....	97
6.3.18	Fluchrate.....	98
6.3.19	Mittlere Suchzeit .....	98
6.3.20	Mittlere Migrationsverzögerung .....	99
7	Identifizierung von Defiziten und Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung des Fischabstieges und des Fischschutzes.....	100
8	Gewässersystembezogene Untersuchungsaspekte .....	103
8.1	Grundlagen zur kumulativen Wirkung serieller Standorte innerhalb von Gewässersystemen .....	103
8.2	Parameter Gesamtüberlebensrate nach EBEL (2008a) .....	104
8.3	Systemmigrationsrate .....	104
9	Dokumentation .....	106
9.1	Beschreibung Untersuchungsgewässer .....	106
9.1.1	Allgemeiner Gewässercharakter .....	106
9.1.2	Kurzcharakterisierung des Standorts .....	106
9.1.3	Fischökologische Charakterisierung des Gewässers am Standort .....	106
9.2	Untersuchungsmethodik .....	107
9.2.1	Technisch-hydraulische Charakterisierung.....	107
9.2.2	Biologische Fischabstiegsuntersuchung .....	107
9.2.2.1	Fangmethoden	107
9.2.2.2	Berührungsfreie Methoden	108
9.2.2.3	Markierungs- und experimentelle Methoden	108
9.2.2.4	Erfassung von Verletzungen und Schädigungen bei Fischen	108
9.3	Ergebnisse der technisch-hydraulischen Charakterisierung.....	109

9.4	Ergebnisse der biologischen Fischabstiegsuntersuchung .....	109
9.5	Zusammenfassende Bewertung des Fischschutzes und Fischabstieges am Standort .....	109
9.6	Defizite und Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung des Fischschutzes und Fischabstieges .....	110
10	Empfehlungen zur Datenverfügbarkeit und Ergebnisbereitstellung .....	111
<b>Teil 2 - Methodenüberblick.....</b>		<b>112</b>
11	Vorbemerkung.....	113
12	Hamen.....	115
12.1	Einsatzgebiet .....	115
12.2	Beschreibung der Methodik .....	115
12.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	116
12.4	Methodische Grenzen.....	117
12.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	118
12.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	118
13	Reusen.....	120
13.1	Einsatzgebiet .....	120
13.2	Beschreibung der Methodik .....	120
13.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	122
13.4	Methodische Grenzen.....	122
13.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	122
13.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	123
14	Plankton- und Driftnetze.....	124
14.1	Einsatzgebiet .....	124
14.2	Beschreibung der Methodik .....	124
14.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	125
14.4	Methodische Grenzen.....	125
14.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	126
14.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	126
15	Single- und Split-Beam Sonare.....	127
15.1	Einsatzgebiet .....	127



15.2	Beschreibung der Methodik .....	127
15.3	Einsatzgebiet bei der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	132
15.4	Methodische Grenzen.....	133
15.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung.....	133
15.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	134
16	Imaging Sonare (DIDSON, ARIS) .....	135
16.1	Einsatzgebiet .....	135
16.2	Beschreibung der Methodik .....	135
16.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	137
16.4	Methodische Grenzen.....	137
16.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung.....	137
16.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	138
17	Kamerasysteme .....	139
17.1	Einsatzgebiet .....	139
17.2	Beschreibung der Methodik .....	139
17.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	141
17.4	Methodische Grenzen.....	141
17.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung.....	142
17.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	142
18	Automatische Zählsysteme .....	143
18.1	Allgemeine Aspekte .....	143
18.1.1	Einsatzgebiet .....	143
18.1.2	Beschreibung der Methodik.....	143
18.1.3	Methodische Grenzen .....	143
18.1.4	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen.....	144
18.1.5	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	144
18.2	Videozählsysteme.....	144
18.2.1	Beschreibung der Methodik.....	144
18.2.2	Methodische Grenzen .....	145
18.2.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	146

18.3	Fischwiderstandszähler .....	146
18.3.1	Beschreibung der Methodik.....	146
18.3.2	Methodische Grenzen .....	147
18.3.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	147
18.4	Laserzählsystem (Laser-Beam-Counting System) .....	148
18.4.1	Beschreibung der Methodik.....	148
18.4.2	Methodische Grenzen .....	149
18.4.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	149
18.5	Infrarotzählsysteme .....	149
18.5.1	Vaki-Riverwatcher .....	149
18.5.1.1	Beschreibung der Methodik	149
18.5.1.2	Methodische Grenzen	151
18.5.1.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	152
18.5.2	Spezieller Infrarot-Aal-Scanner .....	152
18.5.2.1	Beschreibung der Methodik	152
18.5.2.2	Methodische Grenzen	153
18.5.2.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	153
19	Transponder (aktiv, passiv).....	154
19.1	Allgemeine Aspekte .....	154
19.1.1	Einsatzgebiet .....	154
19.1.2	Beschreibung der Methodik.....	154
19.1.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen.....	154
19.1.4	Methodische Grenzen .....	155
19.1.5	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	155
19.2	Aktive Transponder.....	155
19.2.1	Radiotelemetrie .....	155
19.2.1.1	Einsatzgebiet	155
19.2.1.2	Beschreibung der Methodik	156
19.2.1.3	Methodische Grenzen	159
19.2.1.4	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	160
19.2.2	Akustische Telemetrie .....	160

19.2.2.1	Einsatzgebiet	160
19.2.2.2	Beschreibung der Methodik	161
19.2.2.3	Methodische Grenzen	162
19.2.2.4	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	163
19.3	Passive Transponder.....	163
19.3.1	Passive-Integrated-Transponder (PIT-Tag).....	163
19.3.1.1	Einsatzgebiet	163
19.3.1.2	Beschreibung der Methodik	163
19.3.1.3	Methodische Grenzen	166
19.3.1.4	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	166
20	Markierung und Wiederfang.....	167
20.1	Allgemeine Aspekte.....	167
20.1.1	Einsatzgebiet.....	167
20.1.2	Beschreibung der Methodik.....	167
20.1.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen.....	167
20.1.4	Methodische Grenzen.....	167
20.1.5	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	168
20.2	Markierungsmethoden.....	168
20.2.1	Farbmarkierung.....	168
20.2.1.1	Beschreibung der Methodik	168
20.2.1.2	Methodische Grenzen	169
20.2.1.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	169
20.2.2	Flossenschnitte und Adiposenschnitte.....	170
20.2.2.1	Beschreibung der Methodik	170
20.2.2.2	Methodische Grenzen	170
20.2.2.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	170
20.2.3	Sichtbare Implantatmarkierung (Visible-Implant-Elastomer-Tags und Visible-Implant-Alpha-Tags).....	170
20.2.3.1	Beschreibung der Methodik	170
20.2.3.2	Methodische Grenzen	170
20.2.3.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	171
20.2.4	Ankermarken (Floy- oder Anchor-Tags).....	171

20.2.4.1	Beschreibung der Methodik	171
20.2.4.2	Methodische Grenzen	172
20.2.4.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	172
20.2.5	Metallmarke am Kiemendeckel oder am Kiefer .....	172
20.2.5.1	Beschreibung der Methodik	172
20.2.5.2	Methodische Grenzen	172
20.2.5.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	173
20.2.6	Coded-Wire-Tags (CWT).....	173
20.2.6.1	Beschreibung der Methodik	173
20.2.6.2	Methodische Grenzen	173
20.2.6.3	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung	173
21	Fisch-Injektion .....	174
21.1	Einsatzgebiet .....	174
21.2	Beschreibung der Methodik.....	174
21.2.1	Beschaffung der Versuchsfische .....	174
21.2.2	Hälterung der Fische .....	175
21.2.3	Injektionsverfahren der Fische .....	175
21.2.4	Untersuchung der Fische .....	176
21.2.5	Wiederfang der Fische .....	178
21.2.6	Probengröße und Ermittlung der Mortalitätsrate.....	179
21.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	180
21.4	Methodische Grenzen.....	180
21.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung.....	180
21.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	181
22	Dummys .....	182
22.1	Einsatzgebiet .....	182
22.2	Beschreibung der Methodik.....	182
22.2.1	Dummy-Typen (Beispiele) .....	182
22.2.1.1	Einfache Fischnachbildungen und weitere Fischattrappen	182
22.2.1.2	Sensor-Fische	183
22.2.2	Injektionsverfahren für Dummys .....	184
22.2.3	Wiederfang der Dummys.....	185

22.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	185
22.4	Methodische Grenzen.....	185
22.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	186
22.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	186
23	Elektrofischerei.....	187
23.1	Einsatzgebiet .....	187
23.2	Beschreibung der Methodik .....	187
23.3	Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	188
23.4	Methodische Grenzen.....	188
23.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	189
23.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	189
24	Untersuchungen an Rechenreinigungssystemen .....	190
24.1	Einsatzgebiet .....	190
24.2	Beschreibung der Methodik .....	190
24.3	Einsatzgebiet im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen .....	193
24.4	Methodische Grenzen.....	193
24.5	Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung .....	194
24.6	Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik.....	194
25	Quellenverzeichnis .....	195
26	Gesetzestexte .....	204
27	Anhang.....	205
27.1	Berechnungsgrundlage Vorschädigungsrate im Oberwasser .....	205
27.2	Berechnungsgrundlage normierter Tagesfang .....	205
27.3	Berechnungsgrundlage durchflusnormierter Einheitsfang .....	206
27.4	Berechnungsgrundlage Abstiegsrate.....	206
27.5	Berechnungsgrundlage korridorspezifische Schädigungsrate.....	207
27.6	Berechnungsgrundlage Standortschädigungsrate.....	207
27.7	Berechnungsgrundlage Standortmortalitätsrate .....	208
27.8	Berechnungsgrundlage korridorspezifische Überlebensrate .....	208
27.9	Berechnungsgrundlage Standortmortalitätsrate .....	209
27.10	Berechnungsgrundlage Standortüberlebensrate .....	209

27.11	Berechnungsgrundlage Schutzrate .....	210
27.12	Berechnungsgrundlage körpergrößenspezifischen Schutzwahrscheinlichkeit .....	210
27.12.1	Berechnungsgrundlage körperbreitenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit .....	210
27.12.2	Berechnungsgrundlage körperhöhenpezifische Schutzwahrscheinlichkeit .....	211
27.12.3	Berechnungsgrundlage körperlängenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit .....	211
27.13	Berechnungsgrundlage Artenselektivität von Abstiegskorridoren .....	212
27.14	Berechnungsgrundlage Schutzsystemableitrate .....	212
27.15	Berechnungsgrundlage standortbezogene Ableitrate.....	213
27.16	Berechnungsgrundlage Einschwimmrate .....	213
27.17	Berechnungsgrundlage Suchrate .....	214
27.18	Berechnungsgrundlage Fluchrate.....	214
27.19	Berechnungsgrundlage mittlere Suchzeit .....	215
27.20	Berechnungsgrundlage mittlere Migrationsverzögerung .....	215

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Überblick über typische Korridorkomponenten und damit verbundene, charakteristische Schädigungsursachen.....	39
Abbildung 2:	Beispielhafter Überblick über die Korridore eines komplexen Standortes mit Wasserkraftnutzung und charakteristische Schädigungsursachen.....	40
Abbildung 3:	Wirkungskette über mehrere ökologische Ebenen hinweg, ausgehend von letalen Schädigungen einzelner Individuen an Standorten mit Querbauwerken und Wassernutzung sowie tangentialen Flusswasserentnahmen.....	42
Abbildung 4:	Mögliche Wirkungen von Standorten mit Querbauwerken und Wassernutzung bzw. tangentialen Flusswasserentnahmen auf Fischindividuen und deren Quantifizierbarkeit mit der Arbeitshilfe .....	43
Abbildung 5:	Standortbeispiel mit potenziellen Abstiegswegen und beispielhafter Aufteilung der Abwanderung .....	45
Abbildung 6:	Räumliche Skala und Untersuchungsebenen Beispiel: Wasserkraftnutzung an Querbauwerk.....	48
Abbildung 7:	Beispiele von Standorten mit Wasserkraftnutzung oder tangentialer Flusswasserentnahme unterschiedlicher räumlicher Komplexität mit und ohne Querbauwerke .....	49
Abbildung 8:	Neigungsrichtungen und für die Leitfunktion relevante Anströmwinkel von Fischschutzrechen .....	52
Abbildung 9:	Kriterien und Schritte zur Konzeptentwicklung für eine biologische Fischabstiegsuntersuchung .....	57
Abbildung 10:	Durchleuchtung eines kleinen, aufpräparierten Cypriniden zur Diagnose innerer Verletzungen (Foto: W. Schmalz) .....	76
Abbildung 11:	Infektiöse Wunde bei einer Barbe (Foto: W. Schmalz) .....	77
Abbildung 12:	Vom Komoranschnabel hervorgerufene Verletzungen bei einem Karpfen (Foto: W. Schmalz) .....	78
Abbildung 13:	Durch Schiffsschraube verletzter Lachs (Foto: J. Schneider) .....	78
Abbildung 14:	Abschürfungen bei einem Rotauge im Schwanzsteilbereich (Laboruntersuchungen), typische Schädigung an einem vertikalen Rechen mit 20 mm Stababstand (Foto: D. Hübner) .....	80
Abbildung 15:	Auswertungsprozess zur Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges .....	83
Abbildung 16:	Rotfeder aus dem Hamen unterhalb einer Wasserkraftanlage mit bereits zersetzten bzw. trüben Augen, Hinweis darauf, dass dieser Fisch nicht erst während der Standortpassage gestorben ist, sondern schon geraume Zeit zuvor tot war (Foto: F. Wagner) .....	90
Abbildung 17:	Mehrstufiger Optimierungsprozess im Laufe der standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges.....	101

Abbildung 18:	Kumulative Wirkung dreier Standorte innerhalb der Wanderstrecke mehrerer Teilpopulationen einer diadromen Art in einem Gewässersystem .....	103
Abbildung 19:	Hamen unterhalb einer Wasserkraftanlage in der Weißen Elster bei Leipzig (Foto: F. Wagner).....	116
Abbildung 20:	Netzreue zur Erfassung des Fischabstieges über eine Fischaufstiegsanlage mit Weithalsfass am Ende zur Reduktion von Turbulenzen, sowie zur einfachen Leerung und Reinigung (Foto: F. Wagner).....	121
Abbildung 21:	Netzreue mit Eimer am Ende zur Reduktion von Turbulenzen und Reißverschluss für die Leerung und Reinigung (Foto: W. Schmalz) .....	121
Abbildung 22:	Driftnetze in einem Fließgewässer (Foto: F. Wagner) .....	124
Abbildung 23:	200 kHz Single-Beam Schallgeber für die Bottom-Up-Detektion (Foto: M. Schmidt).....	128
Abbildung 24:	120 kHz Split-Beam Schallgeber (Transducer) montiert an einem Boot (Foto: M. Schmidt) .....	129
Abbildung 25:	Simrad EY500 Split-Beam-Transceiver mit PC-Notebook (Foto: M. Schmidt) .....	129
Abbildung 26:	Echogramme eines 7° Single-Beam-200 kHz-Sonars, aus welchem die Fischverteilung am Einlaufbauwerk des Kernkraftwerks in Tihange (Belgien) hervorgeht. Die Aufnahmen zeigen Sequenzen von zwei aufeinander folgenden 20-Minuten-Perioden mit abgeschalteter (a) und eingeschalteter (b) Infraschall-Scheuchanlage. Die insbesondere in (a) erkennbaren welligen Linien stellen von Fischen emittierte Signale dar. Die Skalierung am linken Bildrand zeigt die Entfernung vom Schallgeber. Das graue Band bei ca. 42 m repräsentiert ein festes Objekt an der Kanalsohle (Quelle: SONNY et al. 2006). .....	130
Abbildung 27:	Echogramm (EK60, 120 kHz) aus der Edertalsperre im Herbst 2008, das die Aggregation von pelagischen Jungfischen an einer kontinuierlichen künstlichen Lichtquelle zeigt. Die Lichtquelle wurde in 6 m Wassertiefe mit nach unten gerichtetem Lichtkegel platziert und in Intervallen ein- bzw. ausgeschaltet. (Echogramm: M. Schmidt) .....	131
Abbildung 28:	Skizze einer möglichen Installation eines Sonars, zwei akustische Strahlen erfassen flussaufwärts wandernde Fische; oben: Draufsicht, unten: Querschnitt (verändert nach: RANSOM et al. 1998). .....	134
Abbildung 29:	DIDSON montiert auf Schwenk- und Neigekopf im Feldeinsatz (Foto: M. Schmidt).....	136
Abbildung 30:	DIDSON-Standbild mit einem Aal kurz vor der Passage eines grundnahen Bypass-Systems. (Foto: M. Schmidt).....	136



Abbildung 31:	Zwei mit zusätzlichen Gehäusen abgedichtete Kameras an einem Gestell zur Überwachung einer größeren Passageöffnung (Foto: M. Schmalz).....	140
Abbildung 32:	Schematische Darstellung eines automatischen Videozählsystems (verändert nach: TRAVADE & LARINIER 2002).....	145
Abbildung 33	Prinzipskizze eines Fischwiderstandszählers (LOGIE 2100c, VisAdvies B.V., Niederlande), an einem Wehr installiert, bestehend aus zwei Kontrollkanälen mit Bodenelektroden (Quelle: KEMPER & DE BRUIJN 2014).....	147
Abbildung 34:	IchtyoS <sup>TM</sup> Laserfischzählsystem bei der Installation in einer naturnahen Fischaufstiegsanlage in Belgien (Foto: WSP, Canada & Profish Technology) .....	148
Abbildung 35	Installationsbeispiel eines Vaki-Riverwatchers an der Mosel/Deutschland in einer (Foto: W. Schmalz) .....	150
Abbildung 36	Auswertungssoftware zur Datennachbearbeitung und Artenbestimmung (Quelle: VAKI Aquaculture Systems Ltd.) .....	151
Abbildung 37	Ansicht eines Aal-Infrarot-Scanners, installiert an einem Abschnitt des Bypassrohres; A: Infrarotsender, B: Schaltschrank, F: Kameraeinheit (Foto: Profish Technology).....	153
Abbildung 38:	Vergleichende Darstellung zweier Radiosender der Firma Sigma Eight Inc., Kanada; das Gewicht des linken Senders beträgt 3,0 g, das des rechten Senders 0,8 g (Foto: Profish Technology) .....	156
Abbildung 39:	Tragbarer Empfänger für Radiosignale mit manueller Richtantenne (Foto: M. Ovido) .....	158
Abbildung 40:	Stationäre Yagi-Antenne im Anströmbereich einer Wasserkraftanlage (Foto: Profish Technology).....	158
Abbildung 41:	Stationäre Unterwasser-Antenne zur Detektion besonderter Fische im Turbinenauslauf einer Wasserkraftanlage (Foto: Profish Technology) .....	159
Abbildung 42:	Acoustic-Tag, V9-Coded-Tag der Firma Vemco (Foto: R. Roy).....	161
Abbildung 43:	Acoustic-Tag, Juvenile-Salmon-Acoustic-Tag der Firma Lotek Wireless Inc. (Foto: E. De Oliveira).....	162
Abbildung 44:	HDX-Tag der Firma Biomark Inc. (USA), Größenvergleich zu einem 5 Eurocent-Stück (Foto: Profish Technology) .....	164
Abbildung 45:	Einsetzen eines HDX-Tags (Biomark Inc., USA) in einen Flussbarsch (Foto: J. Schneider) .....	165
Abbildung 46:	Ansicht einer PIT-Tag-Antenne im Bereich der Bypassöffnung einer Wasserkraftanlage in Belgien (Foto: M. Ovido) .....	165
Abbildung 47:	Farbmarkierung der Afterflosse einer Forelle mit dem Injex <sup>TM</sup> (Foto: M. Schmalz).....	169
Abbildung 48:	Ankermarkierung eines Zanders mittels Markierungspistole (Foto: D. Hübner) .....	171

Abbildung 49:	Beschriftete Ankermarke unterhalb der Rückenflosse (Foto: D. Hübner) .....	172
Abbildung 50:	Apparaturen zur gezielten Fischinjektion; links: initialer Behälter für die Aufnahme von Blankaalen, rechts: am Leitapparat einer Kaplan-Turbine befestigtes Injektionsrohr (Fotos: Profish Technology) .....	176
Abbildung 51:	Totaldurchtrennung des Fischkörpers nach Turbinenpassage (Foto: Profish Technology) .....	177
Abbildung 52:	Wirbelfraktur bei einer Bachforelle nach Turbinenpassage (Foto: Profish Technology) .....	177
Abbildung 53:	Einblutung in das Auge nach Turbinenpassage (Foto: W. Schmalz) .....	178
Abbildung 54:	Balloon "HI-Z tag"; links: frisch an einer jungen Forelle angebrachte Balloon-Tags, rechts: gasgefüllte Balloon-Tags an einem Blankaal nach der Passage durch eine Turbine (Foto: De Oliveira, EDF R&D) .....	179
Abbildung 55:	Herstellung von Silikonfischen zur Überprüfung der Fängigkeit eines Hamens hinsichtlich toter Fische (Foto: F. Wagner) .....	183
Abbildung 56:	Watbefischung mit batteriebetriebenen Elektrofischereigerät (Foto: M. Schmalz) .....	187
Abbildung 57:	Bootsbefischung mit einem leistungsstarken Elektrofischereigerät (Foto: F. Wagner) .....	188
Abbildung 58:	Lochkiste zum Auffangen des Rechengutes, um es anschließend auf enthaltene Fische zu untersuchen (Foto: W. Schmalz) .....	191
Abbildung 59:	Schwalgreuse im Austrittsprofil eines schachtartigen Bypasses (Foto: G. Ebel) .....	192
Abbildung 60:	Schacht mit Einmündung einer Fischrückführung (links) und hierfür angepasster Fangkasten zur Kontrolle der Fischrückführung (rechts) (Fotos: W. Schmalz) .....	193

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Hauptabwanderungszeiträume häufiger Zielarten sowie typische Körperlängen abwandernder Individuen .....	59
Tabelle 2:	Hauptaspekte einer standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges und die in der Regel resultierenden räumlichen Betrachtungsebenen als Untersuchungsraum.....	60
Tabelle 3:	Ziel- und Basisparameter für die biologische Fischabstiegsuntersuchung und deren Untersuchungsräume .....	61
Tabelle 4:	Übersicht über Untersuchungsmethoden und deren Nutzbarkeit zur Erfassung der in der Arbeitshilfe enthaltenen Parameter zur Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges - Teil 1.....	63
Tabelle 5:	Übersicht über Untersuchungsmethoden und deren Nutzbarkeit zur Erfassung der in der Arbeitshilfe enthaltenen Parameter zur Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges – Teil 2.....	64
Tabelle 6:	Überblick über häufig bei der Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges eingesetzte Methoden mit ihren Einschränkungen, dem Einsatzzweck und Hinweisen - Teil 1 .....	65
Tabelle 7:	Überblick über häufig bei der Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges eingesetzte Methoden mit ihren Einschränkungen, dem Einsatzzweck und Hinweisen – Teil 2 .....	66
Tabelle 8:	Verletzungsarten und die sich daraus ableitenden Verletzungskategorien (VK), sowie ergänzend aufzunehmende Daten zum Verletzungsausmaß und Infektionen .....	81
Tabelle 9:	Kombination der Verletzungskategorie mit dem Zustand der Fische (tot/lebend) zur Ableitung der drei Schadkategorien .....	81

## Symbolverzeichnis

$\alpha$	vertikaler Anströmwinkel/Wahrscheinlichkeit eine wahre Nullhypothese zu verwerfen
$\beta$	horizontaler Anströmwinkel/Wahrscheinlichkeit eine falsche Nullhypothese nicht zu verwerfen
$a [-]$	funktionsabhängiger Koeffizient 1
$ALR [-]$	standortbezogene Ableitrate
$ALR_j [-]$	Ableitrate am j-ten Standort
$AR_{Kx} [-]$	Abstiegsrate
$AS [-]$	Artenselektivität
$AZ_{K_{Abstieg}} [n]$	Anzahl der abstiegswilligen Arten im Oberwasser
$AZ_{K_{Abstieg/OW}} [n]$	Anzahl der über einen Abstiegskorridor abgestiegenen Arten mit Nachweis des Vorkommens im Oberwasser
$b [-]$	funktionsabhängiger Koeffizient 2
$B [cm]$	maximale Körperbreite des Fischquerschnitts
$ER [-]$	Einschwimmrate
$FR [-]$	Fluchtrate
$H [cm]$	maximale Körperhöhe Fischquerschnitt
$H_0 [-]$	Nullhypothese
$L [cm]$	Körperlänge (Total- oder Standardlänge)
$M_{pass} [-]$	Menge der aufgrund ihrer Körperlänge die Schutzeinrichtung passierenden Fische
$M_{Schutz} [-]$	Menge der aufgrund ihrer Körperlänge die Schutzeinrichtung nicht passierenden Fische
$MHQ [m^3/s]$	mittlerer Hochwasserabfluss
$MNQ [m^3/s]$	mittlerer Niedrigwasserabfluss
$MQ [m^3/s]$	mittlerer Abfluss
$MR_{ges} [-]$	Standortmortalitätsrate
$MR_{Kx} [-]$	korridorspezifische Mortalitätsrate
$Mt_S [s]$	mittlere Suchzeit
$MV [s]$	mittlere Migrationsverzögerung
$N_E [n]$	Anzahl der aus dem Beobachtungsbereich im Oberwasser in den Abstiegskorridor eingeschwommenen Individuen
$N_F [n]$	Anzahl der im Beobachtungsbereich in die Nähe der Einstiegsöffnung gelangten Individuen, die eine deutliche Fluchtreaktion zeigten
$N_{ges} [n]$	Individuenzahl der über alle Korridore abgewanderten Fische

$N_{gesK_{Abstieg}}$ [n]	Individuenzahl der über die Fischabstiegseinrichtung(en) abgewanderten Fische
$N_{gesK_{Gefahr}}$ [n]	Individuenzahl der über den Gefahrenbereich (Turbine, Pumpe) abgewanderten Fische
$N_{gesK_{Gefahr+Abstieg}}$ [n]	Summe der trotz Fischschutzeinrichtung(en) über den Gefahrenbereich und der über die Fischabstiegseinrichtung(en) abgewanderten Fische
$N_{gesK_x}$ [n]	Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische
$N_{M_{handling_{Kx}}}$ [n]	Individuenzahl der untersuchungsbedingt letal geschädigten Fische
$N_{M_{sofort_{Kx}}}$ [n]	Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische mit unmittelbar letaler Schädigung
$N_{M_{verzögert_{Kx}}}$ [n]	Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische mit verzögert letaler Schädigung
$N_{nT_{ges}}$ [Ind/d]	normierter Tagesfang am Gesamtstandort, Summe aller Korridore
$N_{nT_{Kx}}$ [Ind/d]	normierter Tagesfang im Abstiegskorridor x
$N_{NE}$ [n]	Gesamtanzahl der Individuen, die sich der Einstiegsöffnung bis auf eine kritische Distanz näherten, in welcher der Abstiegskorridor für die Fische wahrnehmbar wird
$N_{OW}$ [n]	Gesamtanzahl der im Beobachtungsbereich registrierten Individuen
$N_{OW_{ges}}$ [n]	Gesamtindividuenzahl der abstiegswilligen Fische im Oberwasser des Standortes
$N_{OW_{HK}}$ [n]	Gesamtindividuenzahl der abstiegswilligen Fische im Oberwasser des Hauptkorridors
$N_{OW_{VS}}$ [n]	Individuenzahl der aus dem Oberwasser des Korridor x abwandernden, geschädigten Fische
$N_{Q_{Kx}}$ [-]	durchflusnormierter Einheitsfang im Korridor x
$N_S$ [n]	Anzahl der im Beobachtungsbereich nicht in den Abstiegskorridor eingeschwommenen Individuen, die sich aber eine definierte Mindestdauer im Beobachtungsbereich aufhielten
$N_{S_{handling_{Kx}}}$ [n]	Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten, methodenbedingt geschädigten Fische
$N_{S_{Kx}}$ [n]	Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten und geschädigten Fische
$N_{STAU_i,VOR}$ [n]	Individuenzahl in der i-ten Stauhaltung vor der Abwanderung
$P(B)$ [als Index zw. 0 und 1]	Schutzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Körperbreite
$P(H)$ [als Index zw. 0 und 1]	Schutzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Körperhöhe
$P(L)$ [als Index zw. 0 und 1]	Schutzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Körperlänge
$PI_i$ [-]	Bestandsindex des i-ten Teilabschnitts zwischen zwei Standorten
$Q_{30}$ [m <sup>3</sup> /s]	Abflusswert, der durchschnittlich an 30 Tagen des Jahres unterschritten wird
$Q_{330}$ [m <sup>3</sup> /s]	Abflusswert, der durchschnittlich an 330 Tagen im Jahr unterschritten wird
$Q_{Kx}$ [m <sup>3</sup> /s]	mittlerer Durchfluss des Korridors x während der Untersuchungsphase

$s_{\text{Stand}}$ [m]	Länge der standortbeeinflussten Fließstrecke
$SALR$ [n]	Systemableitrate
$SMR$ [-]	Systemmigrationsrate im Unterwasser der untersten Wasserkraftanlage (bei n Anlagen im betrachteten System)
$SR$ [-]	Suchrate
$SR_{\text{ges}}$ [-]	Standortschädigungsrate
$SR_{Kx}$ [-]	korridorspezifische Schädigungsrate
$SUR$ [-]	Schutzrate an einer Fischschutzeinrichtung mit Fischabstiegseinrichtung
$t_d$ [h]	Normfangdauer 24 Stunden
$t_{E_i}$ [hh:mm:ss]	Zeitpunkt des Eintreffens des i-ten Fisches im Abstiegskorridor
$t_{Kx}$ [h]	Fangzeit im Abstiegskorridor x
$t_{OW_i}$ [hh:mm:ss]	Zeitpunkt des Eintreffens des i-ten Fisches im Beobachtungsbereich
$\Delta t_{S_i}$ [s]	Zeitraum zwischen dem Eintreffen des i-ten Fisches im Beobachtungsbereich und seinem Einschwimmen in den Abstiegskorridor
$\ddot{U}_{\text{ges}}$ [%]	Gesamtüberlebensrate im Unterwasser der untersten Wasserkraftanlage (EBEL 2013)
$\ddot{U}_{\text{ges}}$ [-]	Standortüberlebensrate
$\ddot{U}_{\text{ges}_j}$ [-]	Standortüberlebensrate des j-ten Standortes
$\ddot{U}_{Kx}$ [-]	korridorspezifische Überlebensrate
$\ddot{U}_{WKA_j}$ [als Index zw. 0 und 1]	Überlebensrate am j-ten Wasserkraftanlagen-Standort
$v_{\text{nat}_i}$ [m/s]	Migrationsgeschwindigkeit des i-ten Fisches in der natürlichen Fließstrecke
$v_{\text{Stand}_i}$ [m/s]	Migrationsgeschwindigkeit des i-ten Fisches innerhalb der standortbeeinflussten Fließstrecke
$VR$ [-]	Vorschädigungsrate im Oberwasser
$VR_{Kx}$ [-]	Vorschädigungsrate im Korridor x

## Glossar

<b>Abiotische Faktoren</b>	hydraulische, morphologische, thermische und chemische Faktoren, die auf Organismen einwirken
<b>Ableitrate</b>	Anteil der abstiegswilligen Fische im Oberwasser eines Standortes, der erfolgreich über eine Fischabstiegseinrichtung in das Unterwasser gelangt
<b>Abrasion</b>	hier: Entfernung von Körpergewebe durch Kontakt der Fische mit rauer Oberfläche
<b>Abstiegskorridor</b>	Teil eines Subkorridors, der das Niveau zwischen Oberwasser- und Unterwasserspiegel überwindet (Bsp. Wehr, Turbine, Bypass)
<b>Abstiegsrate</b>	Anteil des normierten Tagesfangs eines Korridors am zeitgleichen normierten Tagesfang des Standortes (Summe aller Korridore)
<b>Abstiegsweg</b>	Teilgerinne, über welches Fische einen Standort stromabwärts passieren können
<b>Abundanz</b>	Individuenzahl pro Flächen- oder Raumeinheit (Individuendichte, Einheiten: Individuen/m <sup>2</sup> , Individuen/m <sup>3</sup> )
<b>adult</b>	erwachsene bzw. geschlechtsreife Individuen betreffend
<b>amphidrom</b>	Arten betreffend, die vorwiegend in küstennahen Meeresbereichen sowie in küstennahen Fließgewässern vorkommen und fakultative Wanderungen zwischen diesen Lebensräumen durchführen
<b>anadrom</b>	Arten betreffend, die zur Reproduktion vom Meer zum Süßwasser wandern
<b>Anatomie</b>	Körperaufbau
<b>Anode</b>	Elektrode, Pluspol
<b>Antennenarray</b>	Einzelantennen, die matrixförmig zu einem Mehrantennensystem angeordnet sind
<b>anthropogen</b>	vom Menschen verursacht
<b>Aquakultur</b>	kontrollierte Aufzucht aquatischer Organismen
<b>Arbeitsponton</b>	schwimmende Arbeitsfläche
<b>Areal</b>	Verbreitungs-, Siedlungs- oder auch von einem Taxon genutztes Gebiet
<b>ARIS (Adaptive Resolution Imaging Sonar)</b>	hochauflösendes Sonar, auch als hydraulische Kamera bezeichnet
<b>Artenselektivität</b>	Anteil der im Oberwasserkorridor eines Subkorridors vorhandenen Arten mit abstiegswilligen Individuen, welcher während der Fischabstiegsuntersuchung nicht über eine Fischabstiegseinrichtung oder einen anderen Abstiegskorridor in das Unterwasser gelangte
<b>Artenspektrum</b>	Artenzusammensetzung, qualitativ
<b>artspezifisch</b>	kennzeichnend für eine Art
<b>Ästuar</b>	gezeitenbeeinflusster Mündungsbereich großer Flüsse
<b>Aufwuchshabitat</b>	Lebensraum larvaler und juveniler Fische
<b>Ausbauwassermenge (Ausbaudurchfluss) [m<sup>3</sup>/s]</b>	maximale Wassermenge, die zur Energieerzeugung durch die Turbinen eines Wasserkraftwerkes geleitet wird

<b>Ausleitungskraftwerk</b>	Anordnungsvariante einer Wasserkraftanlage, bei der die Zu- und Abführung des Nutzwassers durch einen Triebwasserkanal (Mühlgraben) erfolgt, der oberhalb des Ausleitungswehres aus dem Gewässer abzweigt und unterhalb wieder in das Gewässer einmündet
<b>Ausleitungsstrecke</b>	Gewässerabschnitt zwischen der oberwasserseitigen Abzweigung und der unterwasserseitigen Wiedereinmündung des Triebwasserkanals, dem infolge der Wasserausleitung durch eine Wassernutzungseinrichtung (z. B. Ausleitungskraftwerk) ein Teil des natürlichen Abflusses entnommen wird
<b>autochthon</b>	einheimische Arten betreffend
<b>Bakteriose</b>	durch Bakterien verursachte Erkrankung
<b>Barbenregion</b>	Gewässerregion, die nach der Leitfischart Barbe benannt ist (zeichnet sich aus durch vorwiegend fein-kiesiges Sohlsubstrat, leicht trübes Wasser und eine sommerliche Temperatur von bis zu 20°C)
<b>beaufschlagt</b>	Eine bestimmte Wassermenge wird einer Turbine, einem Bypass, einer Fischtreppe, etc. zugeführt
<b>Before-After-Design</b>	Vorher-Nachher-Messung; eine abhängige Variable wird vor und nach Veränderung einer oder mehrerer unabhängiger Variablen gemessen (z. B. Standortmortalität vor und nach dem Einbau eines Fischschutzeinrichtung); der erhobene Ausgangswert dient als Kontrolle der natürlichen Schwankung
<b>Bestandsindex</b>	relativer Anteil abwanderwilliger Fische zwischen zwei Standorten bezogen auf die Gesamtmenge absteigender Fische
<b>Biomasse</b>	Gesamtmenge lebender organischer Substanzen in einer definierten Flächen- oder Volumeneinheit
<b>Biotop</b>	Lebensraum, einschließlich aller abiotischer Faktoren, in dem eine Lebensgemeinschaft vorkommt
<b>Biozönose</b>	Lebensgemeinschaft innerhalb eines Biotops
<b>Brackwasser</b>	Mischwasser aus Meer- und Süßwasser, das einen Salzgehalt zwischen 0,1 und 1% aufweist
<b>Bypass</b>	offene oder geschlossene Gerinne, die Fischen eine gefahrlose Umgehung von Triebwerken und anderen Nutzungseinrichtungen ermöglichen sollen; Begriff wird teilweise auch für Gerinne genutzt, die zur Verstärkung der Leitströmung für Fischaufstiegsanlagen eingesetzt werden
<b>CE-Richtlinie</b>	Richtlinie gemäß derer ein Hersteller erklärt, dass das Produkt den geltenden Anforderungen entsprechend EU-Verordnung 765/2008 genügt
<b>Chi-Quadrat-Wert</b>	Maß für die Anpassung des Modells der logistischen Regression an die Beobachtungswerte
<b>Countersystem</b>	automatisches Fischzählssystem mit exakter Zeiterfassung der Fischpassage; Größenerfassung und Aussage zur Schwimmrichtung möglich
<b>determinieren</b>	Hier: Bestimmung einer Artzugehörigkeit
<b>Devianz</b>	als Devianz bezeichnet man in der Statistik die Abweichung vom Idealwert (sie ist vergleichbar mit der Fehlerquadratsumme der klassischen Regressionsanalyse)
<b>diadrom</b>	Arten betreffend, die zum Zwecke der Fortpflanzung zwischen Meer- und Süßwasserhabitaten wechseln
<b>dichotom</b>	binär verzweigt, zweiteilig, zweigliedrig



<b>DIDSON (Dual-Frequency Identification Sonar)</b>	hochauflösendes Sonar, auch als hydraulische Kamera bezeichnet
<b>diurnal</b>	täglich wiederkehrend
<b>Dotation</b>	Abflussmenge in einer Fischauf- oder Fischabstiegsanlage
<b>Dummy</b>	hier: Fischnachbildung bzw. Fischattrappe
<b>durchflussnormierter Einheitsfang</b>	auf den mittleren Durchfluss eines Korridors in der Untersuchungszeit bezogener normierter Tagesfang
<b>durchflussnormierter Tagesfang</b>	normierter Tagesfang in Bezug zum Tagesmittel des Durchflusses des betreffenden Korridors
<b>Echogramm</b>	vom akustischen Empfänger des Echolots generierte Datendarstellung, die Größe, Distanz und Bewegungsrichtung von Objekten im akustischen Strahl abbildet
<b>Echolot</b>	elektroakustische Messung z. B. zur Erfassung von Wassertiefen oder Fischen
<b>Einheitsfang</b>	Anzahl der Fische, die mit definiertem zeitlichem und technischem Aufwand gefangen werden
<b>Einschwimmrate</b>	Anteil der aus einem Beobachtungsbereich im Oberwasser eines Subkorridors in einen Abstiegskorridor eingeschwommen Fische, bezogen auf die Gesamtheit aller im Beobachtungsbereich registrierten Individuen
<b>einsömmrig</b>	Fische nach dem ersten Lebenssommer
<b>Elastomer-Markierung</b>	subkutan applizierter Elastomer-Farbstoff
<b>Elektrobefischung</b>	Fang von Fischen mit elektrischem Strom, der von speziellen Elektrofischereigeräten generiert wird
<b>Elektrolytkonzentration</b>	Menge geladener Teilchen in einem definierten Wasservolumen
<b>Elektromyografie</b>	elektrophysiologische Methode, bei der die elektrische Muskelaktivität gemessen wird
<b>Erreichbarkeitsrate</b>	Anteil der Fische, der eine gegebene Anzahl von Standorten erfolgreich überwunden hat, um eine bestimmte Gewässerstelle bzw. ein Zielhabitat zu erreichen
<b>Ethologie</b>	wissenschaftliche Lehre vom Verhalten der Tiere und Menschen; Verhaltensforschung
<b>EU-Aalverordnung</b>	EG-Verordnung Nr. 1100/2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestandes des Europäischen Aals (EG-Aal-VO)
<b>Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)</b>	rechtlich verbindliche Richtlinie der Europäischen Union, die eine Verbesserung der Gewässer hin zu einem guten Zustand bzw. dessen Erhalt zum Ziel hat
<b>Evaluierung</b>	Überprüfung von Sachverhalten hinsichtlich spezieller Kriterien (z. B. Kontrolle und Bewertung der biologischen Wirksamkeit einer Maßnahme)
<b>Extrapolationsberechnung</b>	hypothetisches Übertragen quantitativer Zusammenhänge von einem Bereich auf einen anderen; auch als „Hochrechnung“ bezeichnet
<b>F + E-Vorhaben</b>	Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

<b>Fallhöhe [m]</b>	Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser an einer Wasserkraftanlage bzw. an einem Wehr
<b>Fanganode</b>	Elektrode (Pluspol) eines Elektrofischereigerätes zum Fang von Fischen
<b>Fängigkeit</b>	Effizienz eines Fischfanggerätes
<b>Fauna</b>	Gesamtheit aller Tierarten in einem bestimmten Gebiet
<b>Fischinjektion</b>	gezieltes Einbringen von Fischen in einen Gefahrenbereich
<b>Fischschutzanlage</b>	Vorrichtung, die das Einschwimmen von Fischen in Gefahrenbereiche verhindern soll
<b>Fischwechsel</b>	in beide Richtungen erfolgende Fischwanderung
<b>Fluchtrate</b>	Anteil der innerhalb eines Beobachtungsbereiches im Oberwasser eines Subkorridors erfassten Fische, die sich der Einstiegsöffnung des Abstiegskorridors annähert und anschließend eine deutliche Fluchtreaktion zeigen
<b>Funkfeuer</b>	Funkstelle bekannter Position, deren Aussendungen dazu bestimmt ist, eine Peilung oder Richtung in Bezug auf das Funkfeuer zu ermöglichen
<b>Funktionskontrolle</b>	Kontrolle der Funktion von Fischaufstiegs- und Fischabstiegsanlagen
<b>Galvanonarkose</b>	physiologischer Zustand, der die kurzzeitige Betäubung von Fischen beim Elektrofischfang kennzeichnet; Galvanonarkose kann in der Nähe der Fanganode auftreten.
<b>Galvanotaxis</b>	durch unwillkürliche Muskelkontraktionen bedingtes Schwimmen von Fischen in Richtung der Fanganode des Elektrofischereigerätes
<b>Gefahrenbereich</b>	Zone des Gewässers, in der Fische geschädigt werden können (z. B. Turbine, Pumpe)
<b>Gesamtüberlebensrate</b>	Anteil aller sich im Gewässersystem befindlichen Individuen, die einen bestimmten Punkt im Gewässersystem erreicht haben
<b>Gewässermorphologie</b>	Gewässerstruktur
<b>Gewässerpegel</b>	Messeinrichtung zur Feststellung des Wasserstandes eines Gewässers
<b>Gewässerstrukturgüte</b>	Maß, welches die strukturelle Ausstattung eines Gewässers oder Gewässerabschnitts im Hinblick seiner Naturnähe beschreibt; bewertet werden verschiedene Parameter des Gewässers, der Ufer und des potenziell natürlichen Auebereichs
<b>Habitat</b>	Teilbereich des Lebensraumes, in dem eine Art regelmäßig vorkommt
<b>Hälterung</b>	Haltung von Fischen in geeigneten Behältnissen über einen definierten Zeitraum
<b>Hamen</b>	großes trichterförmiges Fangnetz, das von der Strömung offen bzw. fängig gehalten wird; hauptsächlich in der Berufsfischerei verwendetes Fanggerät
<b>Homing</b>	Rückkehrverhalten von Fischen in das Laichgebiet der Elterngeneration zum Zweck der Reproduktion
<b>horizontal</b>	waagrecht
<b>Hydraulik</b>	wissenschaftliche Lehre vom Strömungsverhalten der Flüssigkeiten
<b>Hydrologie</b>	wissenschaftliche Lehre vom Wasser
<b>Imaging Sonar</b>	bildgebendes Sonar wie z. B. DIDSON und ARIS

<b>intraabdominale Applikation</b>	Implantation in die Bauchhöhle
<b>invasiv</b>	hier: einen medizinischen Eingriff betreffend, bei dem Gewebe verletzt wird
<b>katadrom</b>	Arten betreffend, die zur Reproduktion vom Süßwasser ins Meer abwandern
<b>Kathode</b>	Elektrode, Minuspol
<b>Konkurrenz</b>	Wettbewerb um limitierte lebensnotwendige Ressourcen
<b>körperbreitenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit</b>	Maß für den Anteil von Individuen mit gegebener Körperbreite, der durch ein Schutzsystem vom Einschwimmen in den Gefahrenbereich abgehalten wird und über eine Fischabstiegseinrichtung in das Unterwasser gelangte
<b>körpergrößenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit</b>	Maß für den Anteil von Individuen mit gegebener Körpergröße, der durch ein Schutzsystem vom Einschwimmen in den Gefahrenbereich abgehalten wird und über eine Fischabstiegseinrichtung in das Unterwasser gelangte
<b>körperhöhen spezifische Schutzwahrscheinlichkeit</b>	Maß für den Anteil von Individuen mit gegebener Körperhöhe, der durch ein Schutzsystem vom Einschwimmen in den Gefahrenbereich abgehalten wird und über eine Fischabstiegseinrichtung in das Unterwasser gelangt
<b>körperlängenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit</b>	Maß für den Anteil von Individuen mit gegebener Körperlänge, der durch ein Schutzsystem vom Einschwimmen in den Gefahrenbereich abgehalten wird und über eine Fischabstiegseinrichtung in das Unterwasser gelangt
<b>Korridorkomponente</b>	baulicher Bestandteil von Korridoren mit einem Schädigungsrisiko für absteigende Fische oder mit Einfluss auf das Fischverhalten
<b>korridorspezifische Mortalitätsrate</b>	Anteil der aus dem Oberwasser abgestiegenen Fische mit letaler Schädigung, bezogen auf die Gesamtheit der durch den Korridor abgestiegenen Fische
<b>korridorspezifische Schädigungsrate</b>	Anteil der beim Abstieg über einen Subkorridor geschädigten Fische, bezogen auf die Gesamtanzahl der über diesen Korridor abgestiegenen Fische
<b>korridorspezifische Überlebensrate</b>	Anteil der in einem Subkorridor über den Abstiegskorridor abgestiegenen Fische, die den Unterwasserkorridor ohne letale Schädigung erreichten
<b>Laichhabitat</b>	Gewässerbereich, der zur Eiablage aufgesucht wird
<b>laminare Strömung</b>	Gleichmäßige Strömung ohne Turbulenzen
<b>Laufschaufel</b>	Bestandteil von Turbinenlaufrädern
<b>Leitfähigkeit</b>	Fähigkeit eines Stoffes, elektrischen Strom zu leiten
<b>Leitschaukel</b>	Bestandteil des Turbinenleitapparates, der das Wasser gezielt auf die Laufschaufeln einer Turbinen leitet
<b>letal</b>	tödlich, zum Tode führend
<b>limnisch</b>	im Süßwasser vorkommend
<b>logistische Regressionsanalyse</b>	Verfahren der nicht-linearen Regression, welches die Abhängigkeit einer dichotomen, diskreten Variablen von einer metrischen Prädiktorvariable beschreibt
<b>longitudinal</b>	hier: den Längsverlauf eines Fließgewässers betreffend

<b>Louver</b>	verhaltensausnutzende Fischschutzeinrichtung, die in einem horizontalen Winkel schräg angeströmt und durch vertikal angeordnete, lamellenartige Stabelemente gebildet wird; die durch den Louver veränderte Strömung wird von Fischen wahrgenommen und soll deren Hinführung zu einem Bypass bedingen
<b>Makrozoobenthos</b>	in und auf der Gewässersohle vorkommende, mit bloßem Auge erkennbare tierische Organismen
<b>Metapopulation</b>	Teilpopulationen mit eingeschränktem Genaustausch untereinander
<b>Migration</b>	Wanderung
<b>Mindestwasserabgabe [m³/s]</b>	behördlich geforderter bzw. ökologisch notwendiger Abfluss für die Ausleitungsstrecke, der nur aus natürlichen Gründen, nicht jedoch durch die Nutzung unterschritten werden darf
<b>mittlere Migrationsverzögerung</b>	Differenz der Migrationsgeschwindigkeit zwischen einer repräsentativen Stichprobe von Fischen innerhalb einer Referenzstrecke im standortunbeeinflussten Gewässer und derselben Fische während der Standortpassage
<b>mittlere Suchzeit</b>	Mittelwert des Zeitraums zwischen dem Eintreffen der Fische in den Beobachtungsbereich im Oberwasser eines Subkorridors und ihrem Einschwimmen in die Einschwimmöffnung des Abstiegskorridors
<b>Monitoring</b>	Langzeitüberwachung von Umweltparametern
<b>Mortalität</b>	Schädigung bzw. Verletzung von Fischen mit tödlichem Ausgang während der Abwanderung
<b>Mortalitätsrate</b>	komplementär zur Überlebensrate; Anteil letal und präletal geschädigter Fische, bezogen auf die Gesamtheit aller über einen Korridor abgewanderten Fische
<b>Mykose</b>	durch Pilze verursachte Erkrankung
<b>Netzkehle</b>	in Fanggeräte integrierter Netzschlauch, der sich in Schwimmrichtung konisch verjüngt und damit ein Entweichen von Tieren verhindert, die den Netzschlauch passiert haben
<b>normierter Tagesfang</b>	Anzahl der innerhalb eines Tages über einen Korridor abgestiegenen Fische
<b>Oberwasser</b>	flussaufwärts einer Querverbauung gelegener Gewässerbereich
<b>Oberwasserkorridor</b>	im Oberwasser eines Standortes befindlicher Teil eines Subkorridors der funktional einem Abstiegskorridor zuzuordnen ist
<b>ökologische Durchgängigkeit</b>	Zustand der Gewässervernetzung, der die Passierbarkeit von Standorten weitgehend verzögerungsfrei und ohne erhöhtes Schädigungsrisiko für alle wandernden Fischarten und Fischstadien beschreibt
<b>ökologische Interaktion</b>	Wechselbeziehung zwischen einer Art bzw. zwischen mehreren Arten; bspw. Konkurrenz, Prädation oder symbiotische Beziehungen
<b>ozeanodrom</b>	Arten betreffend, deren Wanderungen ausschließlich zwischen Meereshabitaten stattfinden
<b>Parasitismus</b>	Beziehung zwischen zwei Individuen unterschiedlicher Arten, bei der ein Individuum (Parasit) einen Nutzen zu Lasten des anderen Individuums (Wirt) erzielt
<b>Parasitose</b>	durch Parasiten verursachte Erkrankung

<b>pH-Wert</b>	Maß für die Protonenkonzentration in wässriger Lösung: pH < 7 sauer, pH = 7 neutral, pH > 7 basisch
<b>Physiologie</b>	wissenschaftliche Lehre von den Funktionen des lebenden Organismus und seiner Bestandteile; physikalische und biochemische Vorgänge betreffend
<b>Plankton</b>	Organismen, die sich schwebend im freien Wasser halten, deren Eigenbewegung nicht ausreicht, um sich von der Wasserbewegung unabhängig zu machen
<b>Population</b>	Gruppe von Individuen derselben Art, die eine Fortpflanzungsgemeinschaft bilden
<b>Populationsökologie</b>	Teilgebiet der Ökologie, das die Wechselwirkungen einer Population mit anderen Populationen beschreibt
<b>potamodrom</b>	Arten betreffend, die nur innerhalb eines Fließgewässersystems wandern
<b>potenzielle natürliche Fischfauna</b>	Fischartenspektrum, das ursprünglich in einem Gewässer heimisch war und welches gegebenenfalls nach Reduktion anthropogener Einflüsse wieder das Gewässer besiedeln kann
<b>Prädator</b>	Räuber oder Beutegreifer, der sich von anderen lebenden Tieren ernährt
<b>Präferenz</b>	Bevorzugung, Vorzugsverhalten
<b>präletal</b>	Tiere betreffend, die so stark geschädigt sind, dass sie verenden werden
<b>Prozesswasser</b>	für industrielle Anlagen oder chemische Prozesse benötigtes Wasser
<b>Pumpstation</b>	technische Anlage mit der Wasser gegen das natürliche Gefälle zu unterschiedlichen Zwecken (Prozesswassergewinnung, Bewässerung, Entwässerung) gehoben wird
<b>Querbauwerk</b>	Verbauung eines Fließgewässers quer zur Stromachse
<b>Radiotelemetrie</b>	Art der Telemetrie, die Radiowellen nutzt, um Daten zu übertragen
<b>Rechen</b>	mechanische Schutzvorrichtung, die eingesetzt wird, um das Eindringen von Treibgut oder Lebewesen in die nachgeordnete Nutzungseinrichtung zu verhindern
<b>Rechenpassagerate</b>	Anteil der den Rechen passierenden Fische, bezogen auf die Gesamtheit aller absteigenden Fische
<b>Reproduktion</b>	Fortpflanzung, Vermehrung
<b>Reuse</b>	netzförmiges Fischfanggerät, das durch Bügel oder Ringe offen gehalten wird und mit mindestens einer Netzkehle ausgestattet ist
<b>Reusensteert</b>	letzter Teil der Reuse, in dem sich die Fische durch die eingebaute Netzkehle sammeln
<b>rheotaktisch</b>	Individuen betreffend, deren Schwimmverhalten sich an der Strömung orientiert
<b>Rundmäuler</b>	Cyclostomata: Kieferlose Wirbeltiere, die der Unterklasse der Chordatiere (Chordata) angehören
<b>Samplingeffekt</b>	Einfluss einer Untersuchungsmethodik auf das Untersuchungsergebnis
<b>Schädigungsrate</b>	Anteil verletzter und getöteter Fische in einzelnen Wanderkorridoren am Standort bzw. im Gewässersystem
<b>Schallwandler</b>	Vorrichtung, die elektrische in akustische Signale umwandelt

<b>Scheuchanlage</b>	Vorrichtung, die darauf abzielt, das Einschwimmen von Fischen in Gefahrenbereiche durch Ausbildung von Vermeidungsverhalten zu verhindern
<b>Schleuse</b>	Wasserbauwerk, das Wasserfahrzeugen (und bei Fischschleusen den Fischen) die Überwindung eines Wasserspiegelunterschiedes zwischen benachbarten Gewässerabschnitten ermöglicht
<b>Schöpfwerk</b>	eine Vorrichtung zum Heben von Wasser
<b>Schütz</b>	bewegliches Konstruktionselement zur Durchflusskontrolle in Gerinnen
<b>Schutzrate</b>	Anteil der Fische, der durch eine Schutzeinrichtung an der Passage eines Gefahrenbereichs gehindert wird und erfolgreich über eine Fischabstiegsmöglichkeit in das Unterwasser gelangt
<b>Schutzsystemableitrate</b>	Anteil der abstiegswilligen Fische im Oberwasser eines Hauptkorridors mit Fischschutzsystem, der durch eine Fischschutzeinrichtung an der Passage eines Gefahrenbereichs gehindert wird und anschließend über eine Fischabstiegseinrichtung in das Unterwasser gelangt
<b>Schwalg</b>	Vorbau einer Reuse, der zur Vergrößerung des Reuseneingangs dient
<b>Schwemmgut</b>	Feststoffe, die auf der Wasseroberfläche treiben; häufig auch als „Treibgut“ bezeichnet
<b>Schwimmhorizont</b>	horizontaler Ausschnitt aus der Wassersäule, in welchem Fische schwimmen
<b>Siebbandmaschine</b>	Maschine, in welcher in der Regel ein feinmaschiges Band endlos im Umlauf befördert wird. Sie verhindert, dass in einem Siebbandabschnitt kleine partikuläre Verunreinigungen weiter transportiert werden. Bei der weiterführenden Umlaufbewegung wird der dann verschmutzte Siebbandbereich über Wasserstrahldüsen abgereinigt und steht dann einer weiteren Filtration zur Verfügung. Diese Art der mechanischen Feinfiltration wird bspw. bei der Kühlwassergewinnung eingesetzt.
<b>Signifikanzniveau</b>	obere Grenze für die Irrtumswahrscheinlichkeit, also die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers 1. Art ( $H_0$ wird verworfen) die man zu akzeptieren bereit ist
<b>Single- und Split-Beam</b>	spezielle technische Ausstattungen der Schallwandler eines Echolotes
<b>Smolt</b>	juveniles Wanderstadium diadromer Salmoniden mit typisch silbriger Färbung, welches das Fließgewässer passieren muss, um die marinen Nahrungsgebiete zu erreichen
<b>Sonar</b>	Gerät, um Gegenstände bzw. Tiere unter Wasser mithilfe von ausgesendeten Schallimpulsen zu orten
<b>Standort</b>	räumliche Einheit, die alle Querbauwerke mit einem gemeinsamen Ober- und Unterwasser sowie die resultierenden Korridore aber auch tangentielle Flusswasserentnahmen ohne Querbauwerke umfasst
<b>standortbezogene Ableitrate</b>	Anteil der abstiegswilligen Fische im Oberwasser eines Standortes, der erfolgreich in das Unterwasser gelangt
<b>Standortmortalitätsrate</b>	Anteil der beim Abstieg getöteten Fische, bezogen auf alle Subkorridore eines Standortes
<b>Standortschädigungsrate</b>	Gesamtanteil der beim Abstiegsversuch geschädigten Fische, bezogen auf alle Subkorridore; die Schädigungsrate bezieht sich stets auf eine definierte Schädigungskategorie

<b>Standortüberlebensrate</b>	Anteil der an einem Standort aus dem Oberwasser über alle Subkorridore in das Unterwasser abgestiegenen Fische, der weder sofort noch zeitverzögert letal oder präletal geschädigt wurde
<b>Steert</b>	Ende eines Hamens
<b>Steertreuse</b>	Fangreuse am Ende eines Hamens
<b>Stroboskop</b>	Gerät, das Lichtblitze in einer bestimmten Frequenz aussendet
<b>Subkorridor</b>	Gerinne, welche das Ober- und Unterwasser ohne weitere Verzweigung direkt verbinden; dem das Niveau zwischen Oberwasser- und Unterwasserspiegel überwindenden Abstiegskorridor sind funktional dazugehörige Bereiche des Ober- und Unterwassers zuzuordnen
<b>subkutane Applikation</b>	unter die Haut implantiert
<b>Suchrate</b>	Anteil der innerhalb eines Beobachtungsbereiches im Oberwasser eines Subkorridors erfassten Individuen, die sich eine definierte Mindestdauer im Bereich aufhielten, die vorhandene(n) Einstiegsöffnung(en) eines Abstiegskorridors jedoch nicht passierten
<b>Symbiose</b>	Beziehung zwischen zwei Individuen unterschiedlicher Arten, die zu beiderseitigem Vorteil ist
<b>Systemmigrationsrate</b>	Anteil abwanderwilliger Fische, welcher alle Standorte innerhalb eines räumlich definierten Gewässersystems erfolgreich und lebend passiert hat
<b>Talsperre</b>	Absperrbauwerk innerhalb eines Tales, welches im Fließgewässer ein Stausee erzeugt
<b>Taxa</b>	als systematische Einheit erkannte Organismengruppen
<b>Telemetrie</b>	Aufzeichnung der Bewegungsmuster von mit Funksendern ausgestatteten Tieren mithilfe antennenbestückter Empfänger
<b>Tosbecken</b>	eingetiefter Gewässerbereich unterhalb von Überfallbauwerken, in dem ein Teil der kinetischen Energie des Wassers in andere Energieformen (Wärme, Schall) überführt wird, um Ausspülungen und Kolkbildung zu verhindern
<b>Transekt</b>	ein Untersuchungsobjekt durchschneidende Linie oder Fläche, auf der Punkte zur Aufnahme von Messwerten festgelegt werden
<b>Transponder</b>	aktive oder passive Sender, die in oder am Tier angebracht werden und mittels Telemetrie oder festen Antennen eine Positionsbestimmung der besenderten Tiere ermöglichen
<b>Triangulation</b>	Positionsbestimmung durch Winkelmessung ausgehend von einer bekannten Strecke zwischen zwei räumlichen Fixpunkten
<b>Triebwasserkanal</b>	Gerinne, über welches einem Triebwerk (u. a. Turbine, Schnecke, Mühlrad) das Nutzwasser zugeführt wird und über welches das Wasser nach der Nutzung wieder in das Hauptgewässer geleitet wird
<b>Triebwerk</b>	Sammelbegriff für Turbinen, Wasserräder und Wasserkraftschnecken
<b>Tuner</b>	Empfangsteil zur Selektion eines gewünschten Signals (hier: Radiosignal von Passive-Integrated-Transpondern)
<b>Turbinenkanal</b>	Triebwasserkanal für Wasserkraftnutzung durch Turbinen

<b>Turbinensaugrohr</b>	vom Wasser durchflossener Bereich einer Wasserkraftanlage, unmittelbar stromab der Turbine bis zum freien Unterwasser
<b>Überlebensrate</b>	komplementär zur Mortalitätsrate; Maß für den Individuenanteil, der das Unterwasser lebend erreicht hat, bezogen auf die Gesamtheit aller betrachteten Fische
<b>Unterwasser</b>	flussabwärts einer Querverbauung gelegener Gewässerbereich
<b>Unterwasserkorridor</b>	im Unterwasser eines Standortes befindlicher Teil eines Subkorridors der funktional einem Abstiegskorridor zuzuordnen ist
<b>VDE Normen/VDE-Bestimmungen</b>	Normen, Bestimmungen des Verbandes der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik e. V.
<b>vertikal</b>	senkrecht
<b>verzögerte Mortalität</b>	der Tod präletal geschädigter Fische, infolge von Verletzungen, Stress oder anderen Folgen der Standortpassage erst einige Zeit nach dem Fang
<b>Video-Encoder</b>	Gerät, das analoge Informationen in digitale Signale umwandelt
<b>Vorschädigungsrate</b>	Anteil vorgeschädigter Fische in der Grundgesamtheit der im Oberwasser des Standorts abwandernden Fische
<b>Wanderhindernis</b>	Bauwerk, welches den Fischen eine verzögerungs- und schadfreie Wanderung erschwert
<b>Wanderkorridor</b>	Gerinne, das wandernden Tieren die Passage eines Wanderhindernisses bzw. eines Gefahrenbereiches ermöglicht
<b>Wasserentnahmebauwerk</b>	Bauwerk, an welchem Wasser für eine nachgeordnete Nutzungseinrichtung entnommen wird
<b>Wasserkraftanlage</b>	Bauwerk, in dem die kinetische Energie des Wassers mit geeigneten Techniken in mechanische und ggf. elektrische Energie umgewandelt wird
<b>Wasserkraftnutzung</b>	Energiegewinnung mittels Wasserkraft
<b>Wassertechnische Anlage</b>	eine bauliche Einrichtung im Fließgewässer zur Wassernutzung (Wasserkraft, Wasserausleitung) mit Einfluss auf den Fischabstieg
<b>Wehr</b>	Querbauwerk, welches Wasser im Fließgewässer aufstaut
<b>WHG (Wasserhaushaltsgesetz)</b>	Hauptteil des deutschen Wasserechtes; letzte Fassung: 31.07.2009; Gesetz zum Schutz und zur Nutzung von Oberflächengewässern (Ausbau von Gewässern, wasserwirtschaftliche Planung, Hochwasserschutz)
<b>Zielarten</b>	Arten, die im Fokus von Fischabstiegsuntersuchungen stehen



## Teil 1 - Generelles Prinzip

# 1 Einleitung

## 1.1 Veranlassung

Für das Erreichen der Ziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie sind fast im gesamten bundesdeutschen Fließgewässernetz Maßnahmen zur Herstellung der flussauf- und flussabwärts gerichteten Durchgängigkeit für Fische durchzuführen, die die anthropogen bedingten Defizite in der longitudinalen Passierbarkeit zum Beispiel infolge von Wehren zur Wasserkraftnutzung oder Wasserentnahmen beheben oder zumindest minimieren. Dies erfordert ein gemeinsames, nach Möglichkeit bundesweit einheitliches Verständnis darüber, welcher Stand des Wissens und der Technik den Maßnahmen zur Herstellung der Durchgängigkeit zu Grunde zu legen ist.

Insbesondere der Fischschutz und der Fischabstieg werden zwischen und innerhalb der einzelnen Fachdisziplinen sowie den Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern kontrovers diskutiert. Die Kontroversen resultieren aus unterschiedlichen Wertvorstellungen, Interessen und Rechtsauffassungen, Wissensdefiziten und fehlenden allgemein gültigen Standards. Gleichzeitig besteht zum Teil erheblicher Handlungsdruck, die rechtlichen Bestimmungen und die daraus resultierenden Maßnahmen umzusetzen. Vor diesem Hintergrund wurde 2012 das Forum „Fischschutz & Fischabstieg“ zum Informations- und Erfahrungsaustausch vom Umweltbundesamt ins Leben gerufen (FORUM „FISCHSCHUTZ UND FISCHABSTIEG“ [Hrsg.] 2012, 2013a, 2013b und 2014). Es wird im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) gefördert. Das Forum dient dem interdisziplinären Austausch zwischen Vertreterinnen und Vertretern von Behörden, Wasserkraft, Fischerei, Wissenschaft sowie Planungs- und Gutachterbüros zum Stand des Wissens und der Technik, vorhandenen Problemfeldern sowie deren Lösungsmöglichkeiten. Das Ecologic Institut unterstützt die Durchführung des Forums sowohl inhaltlich als auch organisatorisch.

Im Ergebnis des intensiv geführten Diskussionsprozesses sahen alle Teilnehmenden des Forums einen dringenden Bedarf allgemeingültige und übertragbare Kriterien für die Konzeption, Durchführung und Auswertung von Funktionskontrollen von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen zu entwickeln und zu veröffentlichen. Aus diesem Grund wurde im Auftrag des Forums das vorliegende Fachgutachten „Arbeitshilfe zur standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges“ beauftragt.

Das Konzept sowie die Entwürfe der Arbeitshilfe wurden der breiten Fachöffentlichkeit über die Informationsplattform des Forums (<http://forum-fischschutz.de>) zur Verfügung gestellt und im Rahmen des 4. und 5. Workshops des Forums im Januar und September 2014 diskutiert. Der Fachöffentlichkeit wurde damit die Möglichkeit gegeben, die Entwürfe zu kommentieren und ergänzende Hinweise zur inhaltlichen Gestaltung zu liefern. Zusätzlich wurden weitere Fachexpertinnen und -experten hinzugezogen und die Arbeitshilfe im Rahmen eines vereinfachten Peer-Review-Prozesses fachlich abgestimmt. Informationsgrafiken zur Veranschaulichung ökologischer Sachverhalte und methodischer Abläufe in der Arbeitshilfe wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Ecologic Institut konzipiert.

Die vorliegende Arbeitshilfe bildet die Grundlage einer im Rahmen der Arbeitsgruppe WW-8.2 „Funktionskontrolle von Fischaufstiegs- und Fischabstiegsanlagen“ der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) geplanten Weiterbearbeitung zu einem DWA-Themenband.

Die vorliegende Arbeitshilfe standardisiert die methodischen Grundlagen für vergleichbare und aussagekräftige Untersuchungen und Bewertungen von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen. Schwerpunkt ist die standortbezogene Durchgängigkeit für stromabwärts wandernde Fische. In die-

sem Kontext werden unter dem Begriff Fisch innerhalb der Arbeitshilfe die Fische und Rundmäuler vereinfachend zusammengefasst.

Mit dieser Arbeitshilfe werden die Grundlagen für eine objektive Erfassung der Schädigung von Fischen und der Effizienz von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen bereitgestellt. Durch die erarbeiteten Untersuchungsstandards sollen aussagefähige Standortevaluierungen mit reproduzierbaren Ergebnissen ermöglicht werden, um den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu verbessern und standörtliche Lösungen zu optimieren.

## 1.2 Problemstellung und Ziele

Für viele Fisch- und Rundmaularten ist der Wechsel zwischen Teilhabitaten wie Fortpflanzungs-, Nahrungs- und Rückzugshabitaten essentiell (LUCAS & BARAS 2001). Hinsichtlich ihres Wanderverhaltens werden ozeanodrome, amphidrome, diadrome und potamodrome Arten unterschieden. Bei ozeanodromen Arten beschränken sich die Wanderungen auf das marine Milieu, so dass diese in der vorliegenden Arbeitshilfe nicht behandelt werden. Amphidrome Taxa kommen vor allem in küstennahen Meeresbereichen sowie in küstennahen Fließgewässern vor und führen fakultative Wanderungen zwischen diesen Lebensraumtypen aus. Diadrome Arten sind hingegen zur Reproduktion auf einen obligaten Wechsel zwischen Meer und Süßwasserhabitat angewiesen. Potamodrome Arten führen Wanderungen innerhalb des Fließgewässersystems durch, um räumlich getrennt liegende Habitate beziehungsweise Ressourcen zu nutzen.

Einen Überblick über die allgemeinen Aspekte der Fischwanderung enthalten zusammenfassend HOAR (1953), DVWK (1997), SCHWEVERS (1998), LUCAS & BARAS (2001) und EBEL (2013). Für Fischeier und -brut wird eine passive, flussabwärts gerichtete Verdriftung beschrieben (DVWK 1997, EBEL 2013). Alle älteren Stadien (Jungfische und adulte Tiere) wandern überwiegend aktiv flussabwärts.

Zeitgeber für die Wanderbewegungen sind insbesondere Änderungen des Abflusses (JENS 1953 & SCHIEMENZ 1960 zitiert in SCHWEVERS 1998, JONSSON 1991, SONNY 2009) und der Temperatur (JONSSON & RUUD-HANSEN 1985, JONSSON 1991, Literaturüberblick in SCHWEVERS 1998, SCHNEIDER 1999, EBEL 2013). Auch der Einfluss von Mondphasen (MEYER 1938 zitiert in EBEL 2013, HOAR 1953, JENS 1953, HOLZNER 1999, SCHMALZ 2002) und vielen weiteren Parametern, wie Wassertrübung, Salzgehalt, Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration, Bewölkung, Regen, Luftdruck aber auch von biologischen Interaktionen, ist in der Literatur beschrieben (EBEL 2013).

Die Notwendigkeit einer möglichst ungehinderten Migration für die in den Fließgewässern lebenden Fische ist mittlerweile auf breiter Basis anerkannt. Dies spiegelt sich unter anderem in umfangreichen rechtlichen Vorgaben zur Wiederherstellung und Erhaltung der ökologischen Durchgängigkeit und des Fischwechsels in Fließgewässern wider. Folgende Rechtsvorschriften auf verschiedenen administrativen Ebenen beziehen sich direkt auf die ökologische Durchgängigkeit oder regeln den Schutz von Fischen im Hinblick auf Wassernutzungseinrichtungen, wie z. B. Wasserkraftanlagen oder Kühl- und Prozesswasserentnahmen:

1. Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000)
2. Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG 1992)
3. EU-Aalverordnung
4. Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2010)
5. Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG 2009)
6. Wassergesetze der Bundesländer
7. Naturschutzgesetze der Bundesländer
8. Fischereigesetze der Bundesländer

Seit vielen Jahrzehnten gibt es umfangreiche Bestrebungen, die durch menschliche Einwirkung vielerorts unterbrochene Durchgängigkeit in Fließgewässern wieder herzustellen. Anfangs bezog man sich dabei überwiegend auf die flussaufwärts gerichtete Migration von Fischen. Der Stand des Wissens und der Technik ermöglicht heute unter nahezu allen Bedingungen in kleinen und mittleren Fließgewässern praktikable technische Lösungen für den Fischaufstieg (DVWK 1996, DWA 2014). Im Hinblick auf Kraftwerke in größeren Fließgewässern (u. a. Bundeswasserstraßen) bestehen jedoch noch erhebliche Kenntnisdefizite, die im Wesentlichen die Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen betreffen.

In den letzten zwei Jahrzehnten sind die flussabwärts gerichtete Migration und die Suche nach technischen Lösungen zum Fischschutz und Fischabstieg in Deutschland verstärkt in den Blickpunkt gerückt. Es stellt sich derzeit jedoch heraus, dass die Gewährleistung des schadf freien Fischabstieges für das komplette Artenspektrum an Querbauwerksstandorten mit Wassernutzung (z. B. Energieerzeugung, Schöpfwerke) und an tangentialen Flusswasserentnahmen ohne Querbauwerk (z. B. Kühl- und Prozesswassergewinnung) häufig komplexe Lösungsansätze erfordert.

Die wachsenden Erfahrungen mit Fischschutz-, Fischabstiegs- und Fischrückführungssystemen werden in der zunehmenden Verfügbarkeit ingenieurbio logischer Empfehlungen in Deutschland während der letzten zehn Jahre deutlich. Durch den ATV-DVWK (Abwassertechnische Vereinigung-Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V.) wurde im Jahr 2004 eine systematische Aufarbeitung internationaler Befunde zum Fischschutz- und Fischabstieg vorgelegt, die nicht nur biologische und technische Grundlagen sowie unterschiedliche Typen von Schutz- und Abstiegsanlagen beinhaltet, sondern auch erste Empfehlungen für den Einsatz dieser Vorrichtungen unterbreitet. Auf der Grundlage einer umfangreichen internationalen Metaanalyse gibt EBEL im Jahr 2013 einen systematischen Überblick über den aktuellen Stand des Wissens und der Technik, wobei biologische und technische Grundlagen, Modellierungs- und Prognoseverfahren, Bemessung und Gestaltung von Schutz- und Abstiegssystemen sowie einschlägige Pilotanlagen behandelt werden.

Umfangreiche Aufarbeitungen der international verfügbaren quantitativen Befunde zur biologischen Wirksamkeit von Schutz- und Abstiegssystemen (vgl. Datenbank in EBEL 2013) verdeutlichen einerseits, dass Untersuchungen zum Fischschutz und Fischabstieg in der Vergangenheit mit sehr uneinheitlicher Methodik durchgeführt wurden, so dass deren Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichbar sind. Andererseits dokumentieren die vorliegenden Befunde, dass zu verschiedenen ingenieurbio logischen Aspekten, wie z. B. zur biologischen Effizienz physisch durchlässiger Barrieren (sogenannte Verhaltensbarrieren) oder der Individuenaufteilung an Gerinneverzweigungen, erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht. Nicht zuletzt wird durch zahlreiche Studien belegt, dass erst durch die biologische und technisch-hydraulische Evaluierung von Schutz- und Abstiegssystemen Funktionsdefizite erkannt und behoben werden können. Das gilt insbesondere für physisch durchlässige Schutzsysteme, an denen häufig bereits durch geringfügige Veränderungen der Anströmverhältnisse und der Bypasseigenschaften eine signifikante Verbesserung der biologischen Effizienz erzielbar ist (vgl. Literaturüberblick in EBEL 2013).

Ausgehend hiervon stellt die Erarbeitung von standardisierten methodischen Ansätzen zur Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges eine wesentliche Voraussetzung dar, um die Funktionsfähigkeit ausgeführter Anlagen zu beurteilen und zu optimieren sowie den Stand des Wissens und der Technik auf der Grundlage generalisierungsfähiger Freilandbefunde weiter zu entwickeln. Mit der vorliegenden Arbeitshilfe soll die Grundlage zur Anwendung einheitlicher methodischer Standards bereitgestellt werden. Der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung der Einsatzmöglichkeiten und der methodischen Grenzen verfügbarer Untersuchungstechniken zur Evaluierung technischer Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen an Querbauwerken mit und ohne Wasserkraftnutzung sowie an tangentialen Flusswasserentnahmen.

Querbauwerke und Korridore mit gemeinsamem Ober- und Unterwasser sowie einzelne, tangentielle Flusswasserentnahmen ohne Querbauwerk werden innerhalb der Arbeitshilfe im Weiteren unter dem Begriff „Standort“ zu einer funktionalen Einheit zusammengefasst. Die Arbeitshilfe fokussiert auf die Aspekte Gewässerdurchgängigkeit und Fischschädigung innerhalb dieser räumlichen Skala. Effekte auf Populations- und Lebensgemeinschaftsebene bleiben weitgehend unberücksichtigt. Standortliche Untersuchungen können in dieser Hinsicht derzeit Untersuchungen der Fischfauna auf räumlich und zeitlich größerer Skala nicht ersetzen. Trotzdem enthält die Arbeitshilfe Methoden zur Erfassung von Daten, die für die weiterführende Analyse populationsökologischer Aspekte erforderlich sind, sowie Auswertungsansätze für eine standortübergreifende, gewässersystemare Betrachtung.

Bisher greifen Bewertungen der Durchgängigkeit von Gewässerabschnitten oder Gewässersystemen in Deutschland vielfach auf stark vereinfachende Annahmen der Abstiegsaufteilung sowie der Quantifizierung von Fischschäden und des Fischschutzes zurück (ANDERER et al. 2008, BAUERFEIND et al. 2011). Ziel muss es sein, mit geeigneten Untersuchungen und Erfassungsmethoden diese Annahmen zunehmend auf Basis standortspezifischer Daten zu überprüfen sowie allgemeingültige und möglichst exakte Orientierungswerte abzuleiten.

## 2 Fachliche Grundlagen

### 2.1 Schädigungsrisiken für Fische an typischen Korridorkomponenten






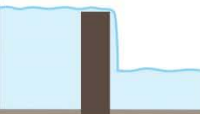

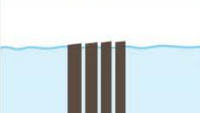
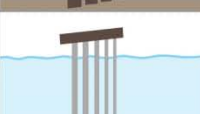

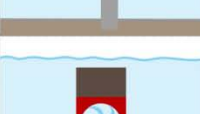
Bei der Passage von Standorten sind Fische vielfältigen Einflüssen ausgesetzt, die eine Verzögerung bis Verhinderung der Abwanderung, eine Verminderung der Fitness, aber auch physische Schäden bis hin zum Tod bewirken können. Dies betrifft grundsätzlich alle Entwicklungsstadien. Diese Beeinträchtigungen haben potenziell Auswirkungen auf den Fortbestand der jeweiligen Population und die Zusammensetzung der Fischartengemeinschaft.

Die Art der Schädigung von Fischen ist maßgeblich von den hydraulischen und physikalischen Verhältnissen in und an Korridorkomponenten abhängig. Einen Überblick über typische Korridorkomponenten und damit verbundene, charakteristische Schädigungsformen und -ursachen gibt Abbildung 1. Abbildung 2 zeigt einen komplexen Standort mit beispielhafter räumlicher Zuordnung möglicher Schädigungsursachen.

Im Fall von Wasserkraftnutzung haben in der Regel vor allem der Turbinentyp (ODEH 1999, EBEL 2008 und 2013), die Turbinengeometrie (HINTERLEITNER 1937 zitiert in EBEL 2008a, RABEN VON 1957 zitiert in EBEL 2008a, PAVLOV et al. 2002, EBEL 2008a), die Turbinenbeaufschlagung (EBEL 2008a, SCHNEIDER et al. 2012) und die Fallhöhe (EICHER 1987, LARINIER & DARTIGUELONGUE 1989, ATV-DVWK 2004, EBEL 2008a und 2013) einen Einfluss auf das Schädigungsmaß beziehungsweise die Schädigungswahrscheinlichkeit. Bei Schöpfwerken und Wasserentnahmesystemen sind Pumpentyp, Pumpengeometrie, Fördermenge und Schöpffhöhe vergleichbare Einflussfaktoren.

Rechen und deren Reinigungssysteme besitzen ebenfalls ein Schädigungspotenzial. Wichtige Einflussfaktoren sind der Rechentyp und dessen Anströmgeschwindigkeit und Anströmwinkel sowie die Art der Rechenreinigung. Sowohl mechanische Reinigungssysteme als auch vor allem bei Feinstrechen verwendete Wasserstrahlen können Fische schädigen. Wird das Rechengut inklusive der darin befindlichen Fische über Container entsorgt, ist von einer letalen Schädigung aller Tiere auszugehen. Spülrinnen und Fischrückführungssysteme sind hingegen mit Abstiegsbypässen vergleichbar.

Abhängig von der Bauform, Dimensionierung und hydraulischen Bedingungen können Fische ebenso bei der Passage über das Wehr, innerhalb von Abstiegsbypässen oder beim Fischabstieg über Fischaufstiegsanlagen und Schiffsschleusen geschädigt werden (vgl. Abbildung 2).

Überblick über typische Korridorkomponenten und damit verbundene, charakteristische Schädigungsursachen						
Schädigungsursache		Druck-schwankung	Kollision	Andruck an Hindernis	Elektrisches Feld	Prädation
Korridorkomponente						
	Überfall	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Tiefenablass	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Einbauten, Störkörper	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Rechen, mechanische Barriere	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Elektrische Fischsperre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Rotierende Teile (Turbinen, Pumpen)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Die Schädigungsursachen an Korridorkomponenten werden maßgeblich von den lokalen hydraulischen und physikalischen Verhältnissen bestimmt.

*CC BY 4.0 Ecologic Institut & IGF Jena/FLUSS 2015*

Abbildung 1: Überblick über typische Korridorkomponenten und damit verbundene, charakteristische Schädigungsursachen

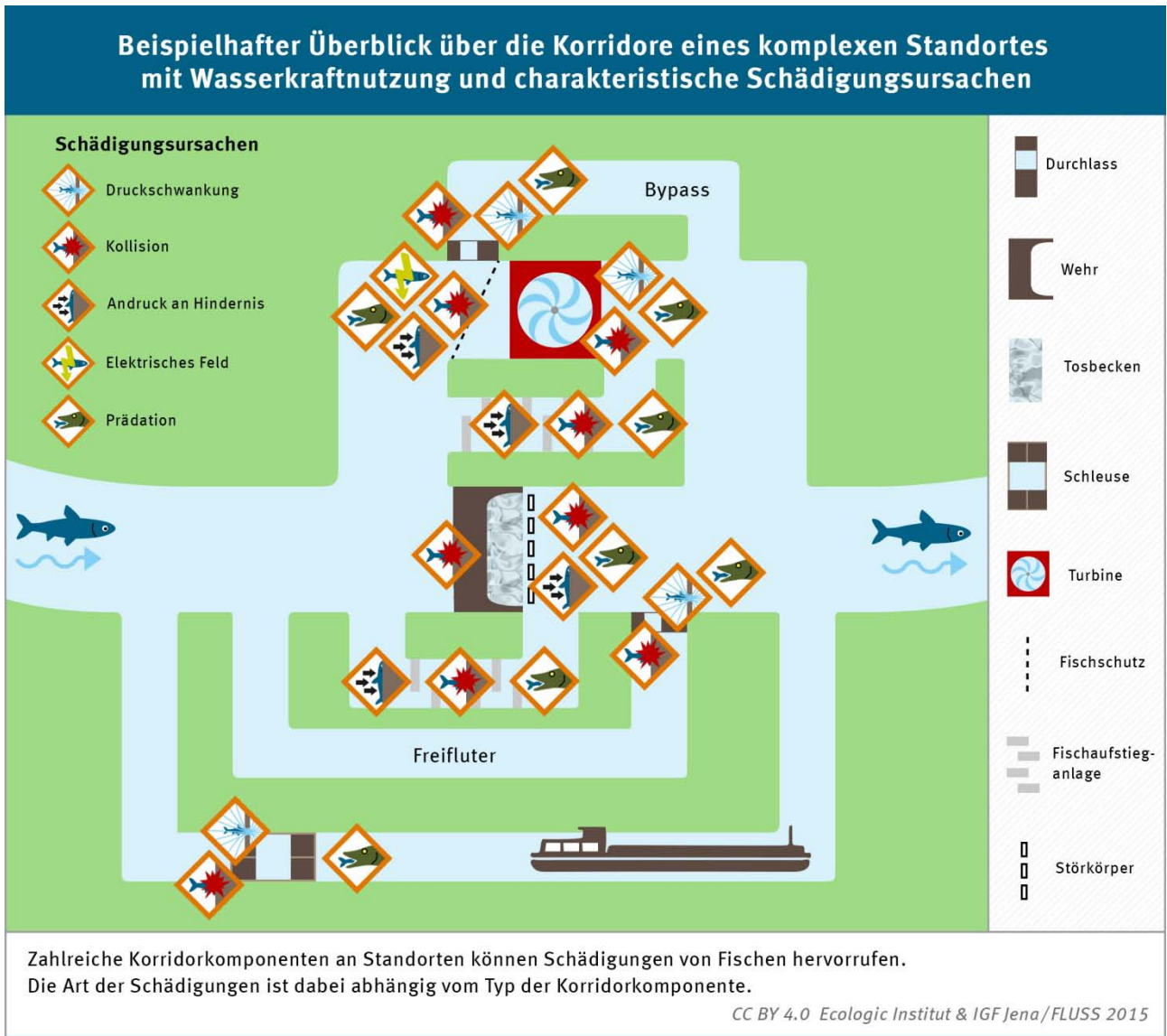


Abbildung 2: Beispielhafter Überblick über die Korridore eines komplexen Standortes mit Wasserkraftnutzung und charakteristische Schädigungsursachen



## 2.2 Ökologische Wirkungsebenen von Standorteffekten auf die Fischfauna

Querbauwerke mit und ohne Wassernutzung behindern Fischwanderungen und haben ein vielfältiges Schädigungsrisiko für Fische. Verletzungen oder Tötungen einzelner Individuen können sich aufgrund ökologischer Wechselbeziehungen auf die Fisch-Lebensgemeinschaft insgesamt auswirken. Dabei sind drei ökologisch verknüpfte, hierarchisch aufeinander aufbauende Ebenen zu unterscheiden (Abbildung 3).

1. Individuenebene
2. Populationsebene
3. Lebensgemeinschaftsebene

Die unmittelbare Wirkung von Standorten mit wassertechnischen Anlagen erfolgt stets auf der Individuenebene. An jedem Standort ist für einen stromabwärts wandernden Fisch grundsätzlich eines von sieben Szenarien denkbar (Abbildung 4):

1. Passage ohne jegliche Beeinträchtigung
2. Passage ohne letale und präletale Schädigung; aber infolge von Stress und geringfügigen Verletzungen reduzierte Fitness (Nachwuchsdefizit)
3. Passage ohne unmittelbare Schädigung; aber durch Abwanderungsverzögerung verursachte biologische Konsequenzen (z. B. reduzierter Reproduktionserfolg)
4. Passage ohne unmittelbare Schädigung; erhöhtes Prädationsrisiko infolge von Desorientierung und räumlicher Einengung auf festgelegte, meist strukturarme Abstiegskorridore
5. Passage ohne unmittelbar letale Schädigung; jedoch verzögerte Mortalität infolge Verletzungen
6. letale Schädigung bei Standortpassage (ggf. auch ohne Passage = Rechengut)
7. keine Passage aufgrund Hinderniswirkung (ggf. letal).

Diese Szenarien können an einem Standort in verschiedensten Kombinationen und mit wechselnden Wahrscheinlichkeiten auftreten. Es ist in dieser Hinsicht generell von einer hohen zeitlichen Variabilität aufgrund hydraulischer, saisonaler und diurnaler Veränderung der Umweltbedingungen sowie physiologischer Voraussetzungen der Fische auszugehen. Aufgabe der Evaluierung ist es, die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten der einzelnen Szenarien möglichst sicher zu bestimmen, um Aussagen zum Fischschutz und Fischabstieg an einem Standort zu ermöglichen. Mithilfe der vorliegenden Arbeitshilfe können die Wirkungen von Standorten auf Individuenniveau (Abbildung 4) mit Ausnahme von Nachwuchsdefiziten, Stress und Prädation quantifiziert werden.

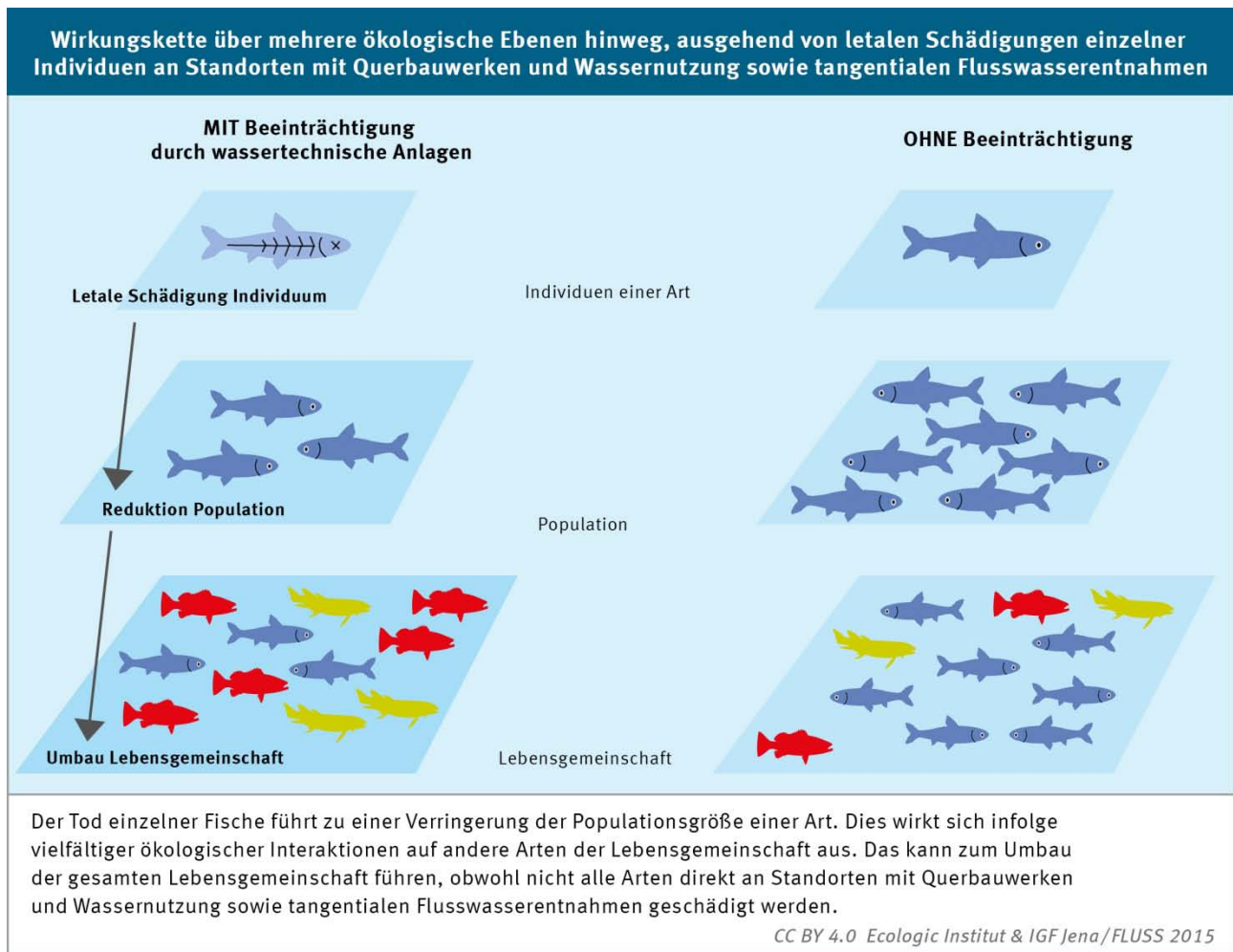


Abbildung 3: Wirkungskette über mehrere ökologische Ebenen hinweg, ausgehend von letalen Schädigungen einzelner Individuen an Standorten mit Querbauwerken und Wassernutzung sowie tangentialen Flusswasserentnahmen

Der Tod einzelner Individuen, aber auch eine reduzierte Nachkommenanzahl durch Fitnessverlust, kann sich bis auf die Populationsebene und gegebenenfalls weiterführend auf die Fischbiozönose auswirken. Wie robust das System ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab (Isolationsgrad, Populationsgröße, Artengefüge der Fischbiozönose, etc.). Als Konsequenz kann sich eine unmittelbare oder zukünftige Verringerung der Bestands- bzw. Populationsgröße und/oder eine genetische Verarmung in Folge von Isolation ergeben (Abbildung 3). Die Populationsdynamik der diadromen Arten Atlantischer Lachs, Meerforelle, Meerneunauge, Flussneunauge und Europäischer Aal wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes ausführlicher betrachtet (THIEL & MAGATH 2011). Für den Rhein wurden im Auftrag der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) die für einen Populationserhalt des Atlantischen Lachses notwendigen Überlebensraten für verschiedene Zielbereiche (Oberrhein, Mosel, Sieg) mit Wasserkraftnutzung exemplarisch quantifiziert (SCHNEIDER 2009).

Es ist davon auszugehen, dass die Zerschneidung der Fließgewässer durch Querbauwerke zur räumlichen Isolation von Fischbeständen führt. Resultierende Effekte auf den Genpool sind belegt (HÄNFLING & BRANDL 1998, MORITA & YAMAMOTO 2002). Wie stark sich diese auf den langfristigen Fortbestand einer Art im System auswirken, ist derzeit jedoch weitgehend unklar. Bei anadromen Arten mit starkem Heimfindeverhalten (Homing) beziehungsweise geringer Wiederbesiedlungstendenz durch „Streuner“ (z. B. Lachs, Maifisch) führt eine räumliche Isolation in kurzer Zeit zum Erlöschen der Population (SCHNEIDER 2009).

Veränderungen der Bestands- bzw. Populationsgröße einer Art können sich infolge vielfältiger ökologischer Interaktionen, wie Konkurrenz, Prädation oder symbiotische Beziehungen, gleichfalls auf andere Arten der Lebensgemeinschaft auswirken (Abbildung 3) und dadurch den Umbau der gesamten Lebensgemeinschaftsstruktur bewirken, auch wenn nicht alle Arten direkt betroffen sind. Die vorliegende Arbeitshilfe fokussiert auf die Untersuchung der Standorteffekte auf Individuenebene, wengleich die erhobenen Daten eine Grundlage für weiterführende Betrachtungen der Populations- oder Lebensgemeinschaftsebene bilden können.

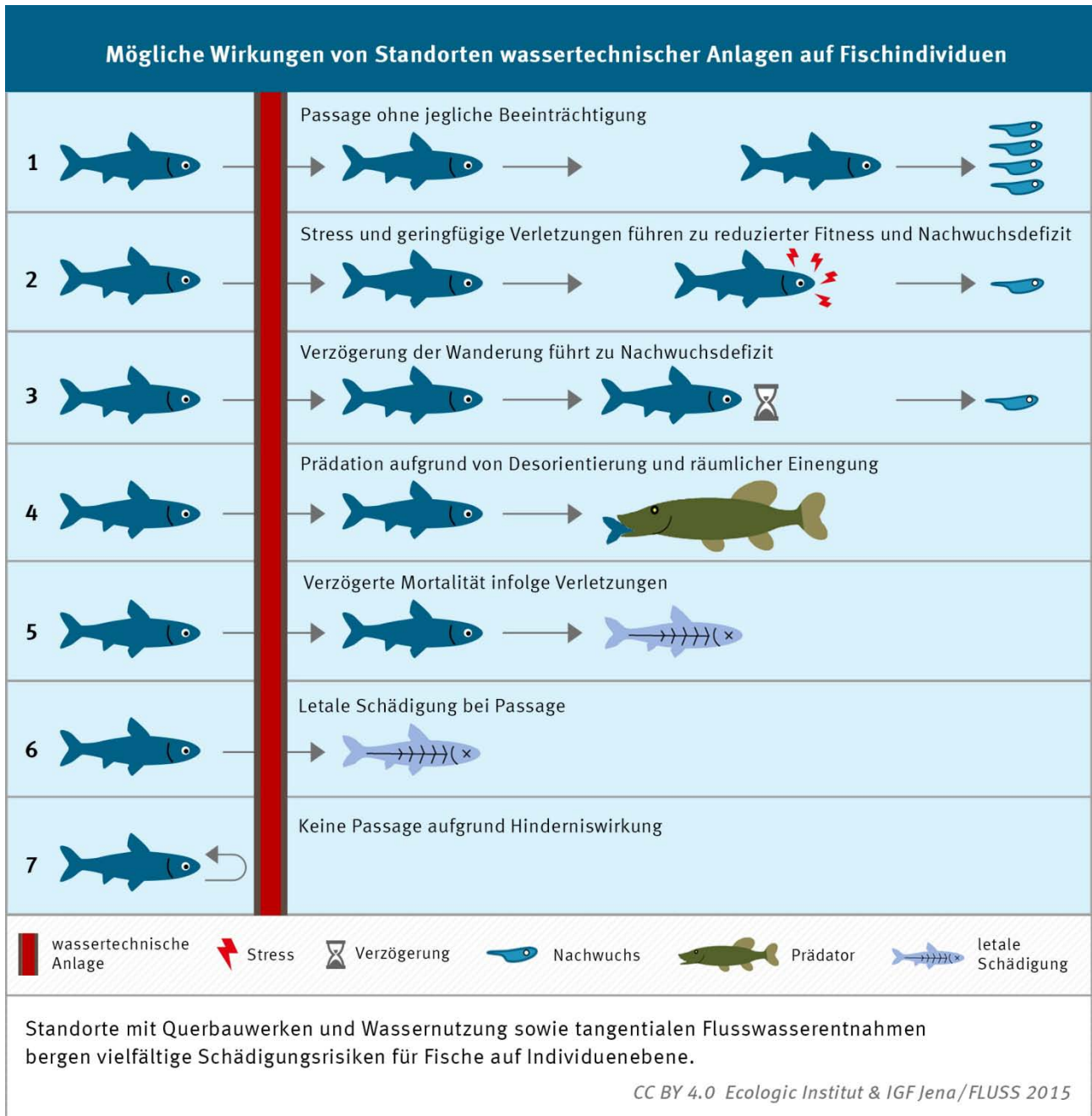


Abbildung 4: Mögliche Wirkungen von Standorten mit Querbauwerken und Wassernutzung bzw. tangentialen Flusswasserentnahmen auf Fischindividuen und deren Quantifizierbarkeit mit der Arbeitshilfe

Effekte auf Populations- und Lebensgemeinschaftsebene sind mithilfe aktuell verfügbarer Methoden durch standörtliche Untersuchungen allein nicht umfassend evaluierbar (Ausnahme: Populations-ebene bei Lachs und Maifisch mit stark ausgeprägtem Homing-Verhalten). Hierfür sind über längere Zeiträume mit standardisierten Methoden durchgeführte Bestandsuntersuchungen erforderlich. Untersuchungen auf Bestandsniveau ergeben allerdings im Regelfall keine eindeutigen Hinweise auf kausale Zusammenhänge zwischen dem Betrieb wasserwirtschaftlicher Anlagen und Effekten auf die Fischfauna. Für eine umfassende Analyse der Effekte von Standorten auf Populations- oder Lebensgemeinschaftsebene ist daher in der Regel eine Kombination standörtlicher Evaluierungen mit ergänzenden Untersuchungen des Fischbestandes unvermeidlich.

### 2.3 Wanderkorridore

Im Kontext von Fischabstiegsuntersuchungen ist es notwendig, den Begriff der Abstiegswilligkeit von Fischen zu definieren. In der vorliegenden Arbeitshilfe werden Fische als abstiegswillig betrachtet, wenn sie sich in einem Korridor flussabwärts bewegen. Diese Tiere können bei ihrer abwärts gerichteten Wanderung mit entsprechenden Fangtechniken im Korridor gefangen (Kapitel 12 bis 14) oder anderweitig erfasst (Kapitel 15 bis 19) werden. Nicht differenziert wird dabei, ob Fische nur über eine geringe Distanz abwärts wandern oder längere Strecken zurücklegen.

Jedes durchflossene Gerinne stellt einen potenziellen, für den Fischabstieg nutzbaren Wanderkorridor dar. In welchen Korridor ein abstiegswilliger Fisch einschwimmt (Abbildung 5) ist von dessen Auffindbarkeit, sowohl großräumig als auch kleinräumig, sowie der Attraktivität des Gerinnes für jedes einzelne Individuum abhängig. An Querbauwerksstandorten mit Wasserkraftnutzung stehen den Fischen für die Passage vom Ober- in das Unterwasser in der Regel verschiedene Wanderkorridore, wie Wehr, Bypass, Fischaufstiegsanlagen oder Turbine zur Verfügung (Abbildung 5). Auch Schiffsschleusen und Fischaufstiegsanlagen stellen potenzielle Abstiegskorridore dar (Abbildung 7). In dieser Arbeitshilfe werden bezogen auf die Evaluierung des Fischschutzes auch Schöpfwerke wie Abstiegskorridore behandelt.



Abbildung 5: Standortbeispiel mit potenziellen Abstiegswegen und beispielhafter Aufteilung der Abwanderung

Die Gesamtmenge der abwandernden Fische an einem Standort teilt sich entsprechend der lokalen Bedingungen auf alle geeigneten Korridore auf (Abbildung 5). Ein Verhalten analog passiv in der Wassersäule driftender, suspendierter Partikel kann für gesunde, aktiv wandernde Fische nicht postuliert werden. Der Anteil der in einem Korridor absteigenden Fische ist nicht zwangsläufig gleichzusetzen mit dem Durchflussanteil dieses Korridors (HÜBNER 2009, SCHMALZ 2010 und 2011, SCHMALZ 2012, WAGNER 2013a, 2013b und 2013c), auch wenn diese Annahme in Ermangelung der Kenntnisse der tatsächlichen Korridornutzung vereinfachenden, konzeptionellen Ansätzen derzeit zugrunde gelegt wird (ANDERER et al. 2008, BAUERFEIND et al. 2011). Neben der Durchflussmenge beeinflussen beispielsweise die Lage, die Strömungsverhältnisse sowie die Gewässermorphologie und fischartspezifische räumliche Präferenzen (z. B. Freiwasser, Uferbereich, Sohle, Oberfläche) und die Tageszeit beziehungsweise Beleuchtungsintensität die Korridorwahl (MOORE et al. 1998, SCHNEIDER et al. 2012). Dabei wurde für diverse Arten auch ein intensives Suchverhalten dokumentiert, wie etwa für den Aal (u. a. ADAM et al. 1997, HARO & CASTRO-SANTOS 2000, HASSINGER & HÜBNER 2009) und für Lachssmolts (u. a. HANSON 1999, ADAM et al. 1997, SCHNEIDER et al. 2012).

## **2.4 Raumbezogene Betrachtung der Auswirkung von Standorten mit Wassernutzung auf den Fischabstieg**

### **2.4.1 Untersuchungsräume**

Die Betrachtung der an einem Standort ablaufenden Fischabstiegsprozesse ist stets an eine konkrete räumliche Skala gebunden. Resultierend können verschiedene, hierarchisch aufeinander aufbauende Untersuchungsräume unterschieden werden. Die größte, innerhalb der vorliegenden Arbeitshilfe berücksichtigte Raumebene, ist die des Standorts. Die kleinste räumliche Skala entspricht einzelnen Korridorkomponenten, wie Turbinen, Fischschutzsystemen, Durchlässen oder Wehrkörpern. Zum Zweck der Evaluierung des Fischabstieges und des Fischschutzes werden in der Arbeitshilfe vier Raumebenen differenziert (Abbildung 6).

1. Standort
2. Hauptkorridor
3. Subkorridor
  - a) Oberwasserkorridor
  - b) Abstiegskorridor
  - c) Unterwasserkorridor
4. Korridorkomponenten

Infolge mehrerer Haupt- und Abstiegskorridore sowie multipler Nutzungen können komplexe Standorte entstehen, die mit der vorliegenden Arbeitshilfe ebenso evaluierbar sind, wie Standorte mit Einzelnutzung oder ohne Querbauwerke (Abbildung 7). Welche räumliche Skala als Untersuchungsraum (Abbildung 6) für die Evaluierung eines Standortes zu berücksichtigen ist, hängt von den jeweiligen Untersuchungsaspekten ab. Die in der Arbeitshilfe enthaltenen methodischen Empfehlungen gelten bis auf wenige Einschränkungen auch für Standorte mit Wasserentnahmen durch Pumpen (z. B. Schöpfwerke, Kühl- und Prozesswassergewinnung).

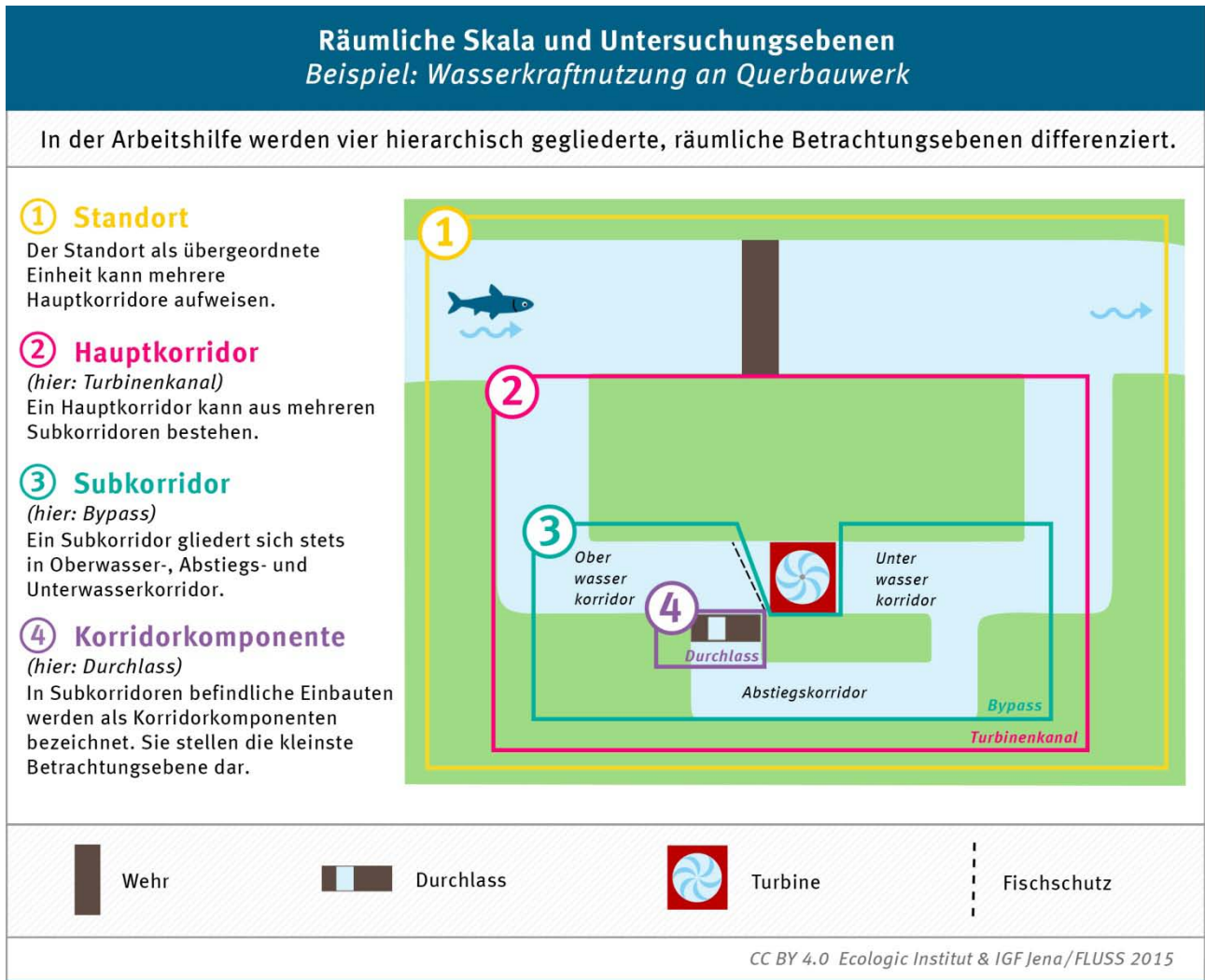


Abbildung 6: Räumliche Skala und Untersuchungsebenen  
Beispiel: Wasserkraftnutzung an Querbauwerk



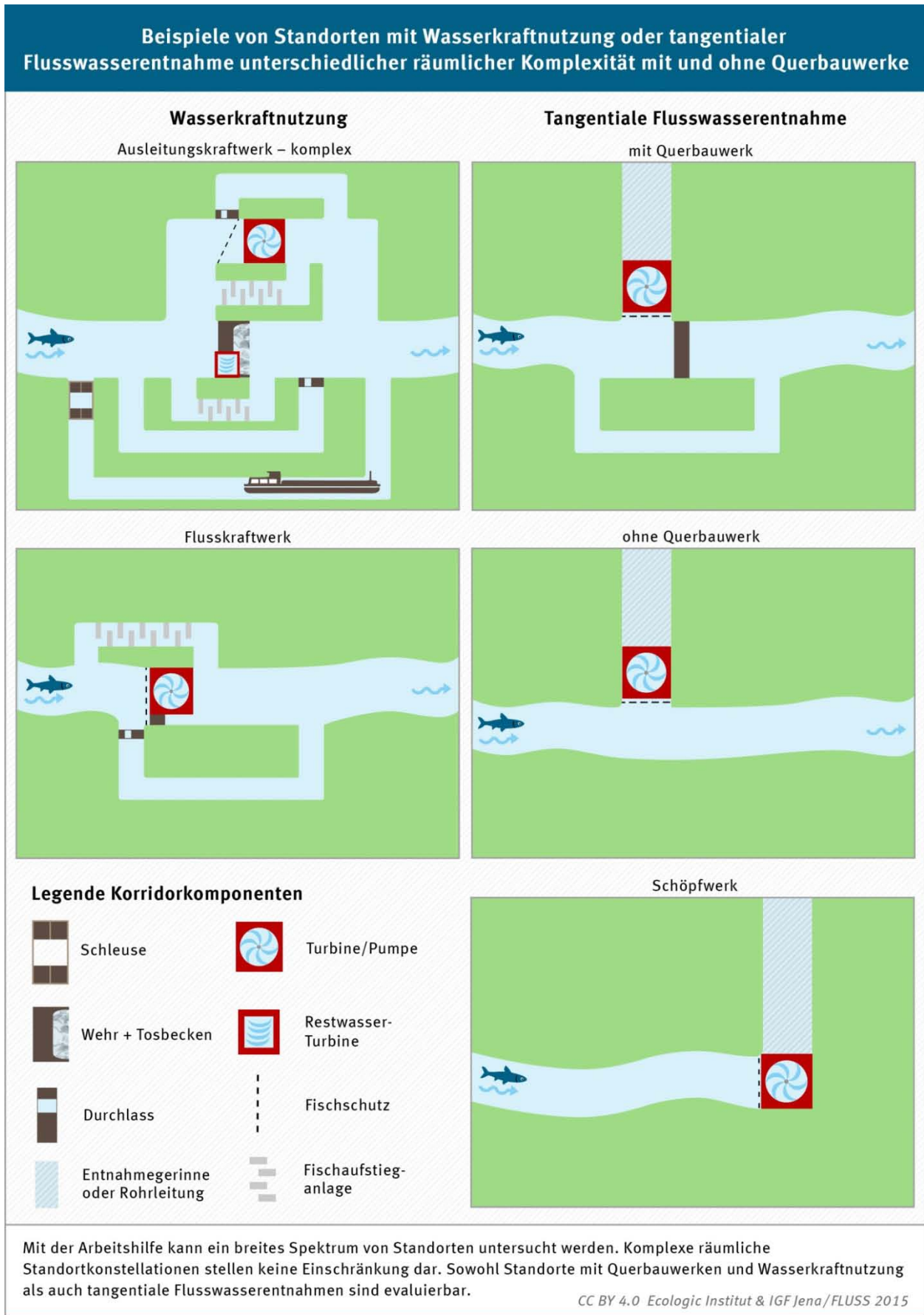


Abbildung 7: Beispiele von Standorten mit Wasserkraftnutzung oder tangentialer Flusswasserentnahme unterschiedlicher räumlicher Komplexität mit und ohne Querbauwerke

## 2.4.2 Standort

Als Standort wird eine Lokalität innerhalb eines Fließgewässers bezeichnet, an welcher infolge von Wassernutzung (Wasserkraftnutzung, Wasserausleitung) und/oder dem Vorhandensein eines Querbauwerkes eine Gefährdung und Behinderung stromabwärts wandernder Fische besteht. Ein Standort bildet die räumliche Einheit aller Querbauwerke mit gemeinsamem Ober- und Unterwasser einschließlich aller resultierenden Korridore (Abbildung 6). Zusätzlich gehören auch die unmittelbar angrenzenden Fließgewässerabschnitte mit funktionalem Bezug zu den standörtlichen Anlagen im Ober- und Unterwasserbereich dazu. Zu Referenzzwecken kann eine Erweiterung des standörtlichen Betrachtungsraumes im Oberwasser bis auf den nächstgelegenen, anlagenunbeeinflussten, frei fließenden Gewässerabschnitt sinnvoll sein. Das gilt auch für den Unterliegerabschnitt des Standortes, in dem gegebenenfalls spezielle Untersuchungen zur verzögerten Mortalität der abwandernden Fische nach der Standortpassage durchzuführen sind.

Im Fall von tangentialen Flusswasserentnahmen ohne Querbauwerke umfasst der Standort die als Korridor zu betrachtenden Wasserentnahmewege mit den darin befindlichen funktionalen Komponenten, einschließlich vorhandener Fischschutzeinrichtungen, Fischrückführungssysteme sowie den unmittelbar angrenzenden Gewässerabschnitt (Abbildung 7).

## 2.4.3 Hauptkorridor

Ein Standort weist mindestens einen Hauptkorridor auf, über welchen Fische potenziell stromabwärts wandern können. An Standorten mit Ausleitungskraftwerken sind in der Regel mindestens zwei Hauptkorridore, eine Ausleitungsstrecke und der Triebwerkskanal, vorhanden (Abbildung 7). Hauptkorridore verzweigen sich im weiteren Verlauf häufig in mehrere Subkorridore (Abbildung 6).

In welchem Hauptkorridor ein abstiegswilliger Fisch einschwimmt, ist von der großräumigen Auffindbarkeit und der Attraktivität als Fischwanderweg abhängig. Die Präferenzen für Korridore sind art- und entwicklungsstadienspezifisch und stark von den hydraulischen Verhältnissen, der räumlichen Anordnung der Hauptkorridore beziehungsweise der Abflussverteilung abhängig.

## 2.4.4 Subkorridor

Subkorridore sind Gerinne, welche das Ober- und Unterwasser ohne weitere Verzweigung direkt verbinden. Dem das Niveau zwischen Oberwasser- und Unterwasserspiegel überwindenden Abstiegs-korridor sind funktional dazugehörige Bereiche des Ober- und Unterwassers zuzuordnen. Während sich die Oberwasser- und Unterwasserkorridore verschiedener Subkorridore überschneiden können, sind die Abstiegskorridore räumlich eindeutig voneinander getrennt (Abbildung 6). Rechenreinigungssysteme stellen eine Sonderformen des Subkorridors dar, da die über diesen Weg aus dem Oberwasser aktiv oder passiv abwandernden Fische nicht immer dem Unterwasser beispielsweise über Spülrinnen wieder zugeführt werden, sondern, teilweise dauerhaft, entnommen werden.

Innerhalb des Oberwasserkorridors, in unmittelbarer Nähe eines Wanderhindernisses, wie Wehr oder Fischschuttrechen, entscheidet die kleinräumige Auffindbarkeit und Attraktivität über die Nutzung der jeweiligen Abstiegskorridore, wie beispielsweise Bypass oder Turbine. Ein Hauptkorridor ohne Gerinneverzweigung ist gleichzeitig als einziger Subkorridor dieses Gerinnes zu betrachten.

## 2.4.5 Korridorkomponente

Das Abstiegs geschehen sowie das Schädigungsrisiko der Fische werden maßgeblich durch einzelne Korridorkomponenten (Abbildung 6) sowie die resultierenden hydraulischen und physikalisch-chemischen Verhältnisse bestimmt. Sollen die Ursachen für Durchgängigkeitsdefizite und Schädigung

gungen der Fische bei der Korridorpassage ermittelt werden, ist in der Regel diese kleinste, räumliche Betrachtungseinheit zu berücksichtigen. Häufig im Fokus stehende Korridorkomponenten sind Turbinen oder andere Triebwerke, Fischschutzrechen (inkl. Rechenreinigungsanlagen) oder Bypassöffnungen.

## 2.5 Fischschutz und Fischabstieg

Fischschutzsysteme sollen die Fischschädigung an Standorten reduzieren, indem sie das Eindringen von Fischen in Triebwerks-, Schöpfwerkseinläufe oder Wasserentnahmesysteme verhindern. Es gibt ein breites Spektrum unterschiedlicher Fischschutzsysteme (HOLZNER 1999, ATV-DVWK 2004, EBEL 2013), die auf verschiedene Wirkprinzipien beruhen:

1. mechanische
2. optische
3. elektrische
4. akustische
5. Kombinationen von 1. bis 4.

Neben den ausschließlich auf Verhaltensreaktionen beruhenden Barrieren (z. B. Scheuchanlagen) weisen auch mechanische Systeme verhaltensbedingte Schutzwirkungen auf. An Fischschutzrechen beispielsweise werden diese dadurch dokumentiert, dass auch Individuen zurückgehalten werden können, welche physisch, aufgrund ihrer körperlichen Dimensionen, die Möglichkeit haben, die Stabzwischenräume zu passieren (SCHMALZ & SCHMALZ 2007, WAGNER 2013a, 2013b und 2013c).

Die Anströmgeschwindigkeiten und Anströmwinkel von Barrieren sowie der lichte Stababstand und die Stabgeometrie bei mechanischen Barrieren sind hierbei entscheidende funktionsbeeinflussende Faktoren. Bezüglich des Anströmwinkels wird unterschieden, ob eine Leitwirkung in Richtung Wasseroberfläche oder diagonal zu einem seitlich angeordneten Abstiegskorridor erfolgen soll (Abbildung 8). Einen Überblick über den diesbezüglichen Stand des Wissens und der Technik vermitteln die Arbeiten von EBEL (2013, 2014a und 2014c).

Funktional untrennbar mit dem Fischschutz verbunden sind Fischabstiegseinrichtungen und Fischrückführungssysteme. Hierbei handelt es sich um ingenieurbiologisch speziell bemessene und gestaltete alternative Korridore, über welche Fische ohne Schädigungsgefahr den Standort passieren können. Neben derartigen Einrichtungen können auch andere Korridore, wie z. B. Fischaufstiegsanlagen, eine Funktion für den Fischabstieg besitzen.

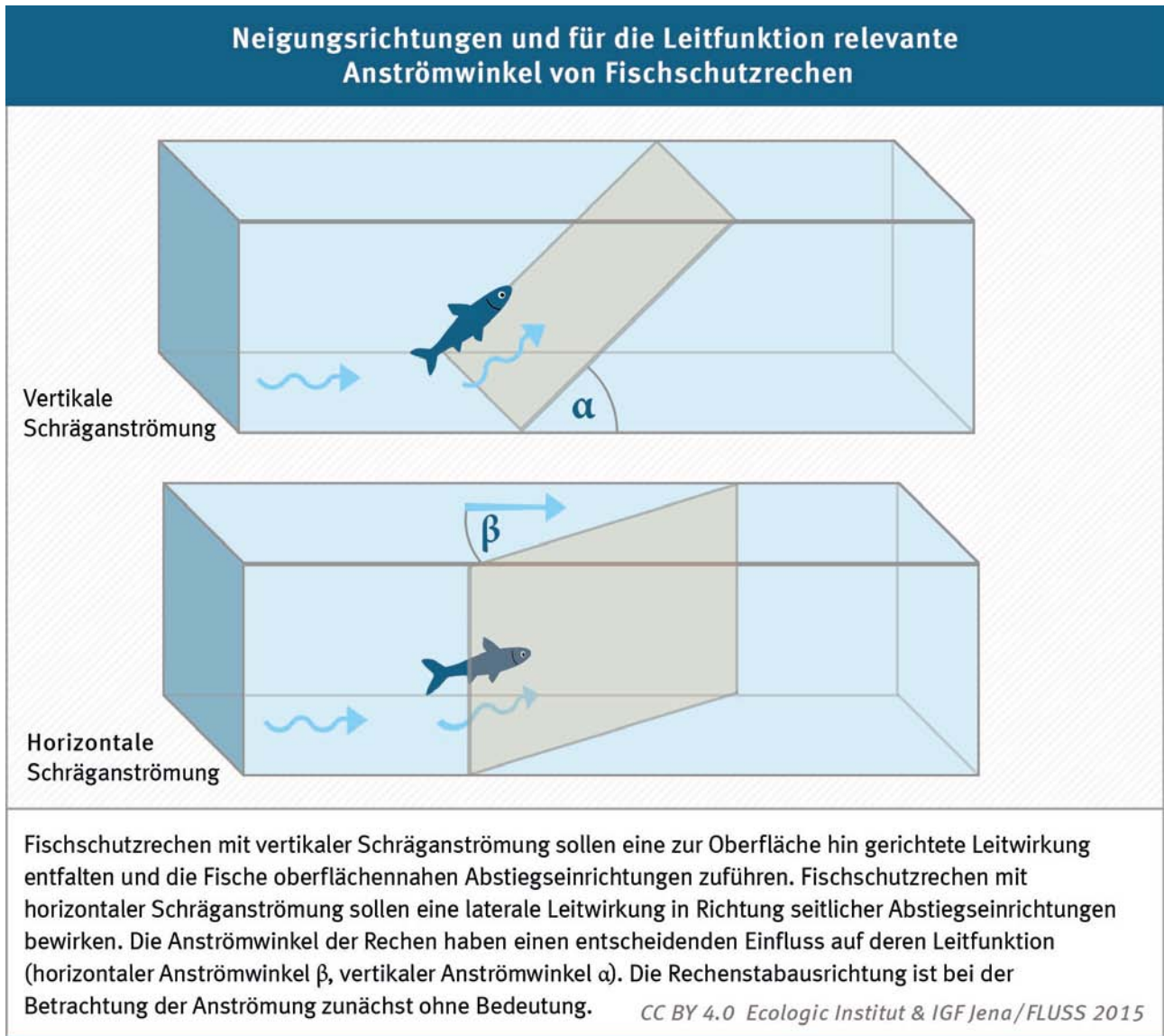


Abbildung 8: Neigungsrichtungen und für die Leitfunktion relevante Anströmwinkel von Fischschutzrechen

## 3 Grundlegende Aspekte der Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges

### 3.1 Zielstellung

Mit der vorliegenden Arbeitshilfe soll ein methodisches Vorgehen für die Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen sowie Fischrückführungssystemen entwickelt werden, welches dem Anspruch der Reproduzierbarkeit und Objektivität gerecht wird. Neben der biologischen Fischabstiegsuntersuchung zur Evaluierung des Fischabstieges und möglicher Schädigungen der Fische kommt der standardisierten Erfassung aller funktionsrelevanten technischen und hydraulischen Parameter eine große Bedeutung zu. Letzteres ist eine wichtige Voraussetzung, um Ursachen für Funktionsdefizite der Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen sowie Fischrückführungssysteme an Standorten zu erkennen und Optimierungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Im Folgenden schließen Fischabstiegseinrichtung immer auch die Fischrückführungssysteme ein.

Die Arbeitshilfe liefert die methodischen Grundlagen zur Ableitung zielorientierter Untersuchungskonzepte und zur parameterbasierten Auswertung der resultierenden Untersuchungsergebnisse. Feste Bewertungsmaßstäbe auf Basis von Ziel- oder Grenzwerten für die bei der biologischen Fischabstiegsuntersuchung ermittelten biologischen Zielparameterausprägungen werden nicht vorgegeben. Diese sind abhängig von den jeweiligen standörtlichen Anforderungen sowie den betreffenden Zielarten und Zielstadien. Daher werden die Ziel- bzw. Grenzwerte vor Beginn der Untersuchung anhand der maßgebenden Einflussfaktoren durch Behörden, Sachverständige beziehungsweise Fachgutachterinnen und Fachgutachter und gegebenenfalls weitere Beteiligte festgelegt. Dabei sind vor allem die relative Bedeutung des Standorts für die Bestandserhaltung, der Gefährdungs- und Schutzstatus der betreffenden Zielarten, Rechtsvorgaben (z. B. EU-Aalverordnung) sowie gegebenenfalls vorhandene Auflagen aus Planfeststellungsbeschluss, Wasserrecht oder Betriebserlaubnis zu berücksichtigen.

Eine standortbezogene Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges gliedert sich in zwei Hauptteile (Abbildung 17):

1. Technisch-hydraulische Charakterisierung
2. Biologische Fischabstiegsuntersuchung

Die Ergebnisse der technisch-hydraulischen Charakterisierung und der biologischen Fischabstiegsuntersuchung dienen der standortbezogenen Bewertung der Wirksamkeit der jeweiligen Maßnahme, der Identifikation möglicher Funktionsdefizite und der Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen. Daneben haben die Evaluierungsergebnisse Bedeutung für zahlreiche weitere Aspekte, wie die standortübergreifende Beurteilung der Durchgängigkeit, die Weiterentwicklung des Standes des Wissens und der Technik oder wissenschaftliche Fragestellungen.

### 3.2 Allgemeine Anforderungen an die Evaluierung

#### 3.2.1 Anforderungen an Untersuchungsdesign, Untersuchungsdurchführung und Ergebnisdarstellung

Die Methodik einer standortbezogenen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges wird spezifisch auf die jeweiligen Standortbedingungen sowie die Untersuchungsaspekte abgestimmt. Es existiert ein breites Methodenspektrum zur Untersuchung der ökologischen Durchgängigkeit von Wanderkorridoren sowie zur Erfassung potenziell auftretender Fischschädigungen, von welchen ein großer Teil bereits in DUMONT et al. (2012) näher erläutert wird. Im Teil 2 - Methodenüberblick werden

die aktuell verfügbaren Methoden im Hinblick auf ihre Verwendung im Rahmen der hier vorgestellten Evaluierungsansätze detailliert erläutert.

Für die standortbezogene Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges sind objektive, nachvollziehbare Kriterien erforderlich, die auf Basis reproduzierbarer Untersuchungsergebnisse überprüfbar sind. Der für die Evaluierung gewählte methodische Ansatz, einschließlich Untersuchungsumfang und Untersuchungsdauer, muss valide Ergebnisse gewährleisten und verallgemeinerbare Aussagen entsprechend des Evaluierungszieles ermöglichen. Die Anpassung des Untersuchungskonzeptes an die standörtlichen Bedingungen und Untersuchungsziele ist unabdingbar und soll mithilfe der vorliegenden Arbeitshilfe systematisiert und erleichtert werden.

Bei der Genehmigung von Neuanlagen oder der Neukonzessionierung von Bestandsanlagen sollte bereits im Genehmigungsverfahren die Evaluierungspflicht mit den entsprechenden Anforderungen an die Ziele und Methodik verbindlich geregelt werden, da diese Aspekte den finanziellen Aufwand für die Evaluierung entscheidend beeinflussen und damit zugleich für die wirtschaftliche Bilanzierung des Gesamtvorhabens bedeutsam sind. Nur auf diese Weise ist für den Nachweispflichtigen eine finanzielle Planbarkeit und Absicherung des erforderlichen Untersuchungsrahmens möglich. Die Erarbeitung der fachlichen und methodischen Anforderungen an die geplante Evaluierung und die Erstellung eines diesbezüglichen Leistungsverzeichnisses kann durch Sachverständige oder Fachgutachterinnen und Fachgutachter unterstützt werden, die auf dem Fachgebiet des Fischschutzes und Fischabstieges über einschlägige Erfahrungen verfügen.

Für die überregionale Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen sind einheitliche Untersuchungsstandards und Auswertungsalgorithmen unabdingbar, welche mit dieser Arbeitshilfe bereitgestellt werden sollen.

Die abschließende Darstellung und Beurteilung der Untersuchungsergebnisse muss fachlich nachvollziehbar erfolgen. Dies beinhaltet unter anderem die Bereitstellung der Untersuchungsdaten (Originaldaten) sowie die detaillierte Dokumentation aller Auswertungsschritte und Berechnungen.

Textliche und grafische Darstellungen des schriftlichen Gutachtens sollten übersichtlich und leicht erfassbar sein. Die Vergleichbarkeit der Evaluierungsergebnisse wird durch eine weitgehend einheitliche Grundgliederung der Gutachten (vgl. Kapitel 9) deutlich erleichtert.

Allgemein gelten für die Untersuchungen wie auch für die Gutachten die Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis (DFG 2013).

### **3.2.2 Anforderungen an die Bearbeiterinnen und Bearbeiter**

Generelle Voraussetzung für die Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges sind fundierte interdisziplinäre Kenntnisse, die folgende Fachgebiete betreffen: Biologie, Hydrologie, Hydraulik, Wasserwirtschaft, Energiewirtschaft. Darüber hinaus sind spezielle Kenntnisse zu der vom jeweiligen Evaluierungsziel abhängigen Untersuchungsmethodik sowie zur Auswertung und Beurteilung der erhobenen Daten zwingend erforderlich. Einzelne Untersuchungsmethoden erfordern spezielle Qualifikationen der Bearbeiterinnen und Bearbeiter sowie behördliche Nachweise und Genehmigungen.

Im Einzelnen sind folgende Fachkenntnisse und Fähigkeiten erforderlich:

1. Sichere Artenkenntnis, einschließlich Jungfische
2. anatomische, physiologische und pathologische Kenntnisse
3. fundierte Kenntnisse zur Aussagefähigkeit der eingesetzten Untersuchungsmethoden
4. Befähigung zum sicheren Umgang mit den eingesetzten Untersuchungsmethoden (inkl. Arbeitssicherheitsaspekte)
5. Fähigkeit zur korrekten Erfassung von hydraulischen und chemischen Parametern

6. Fähigkeit zur mathematisch-statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse
7. Ingenieurbiologische Spezialkenntnisse, insbesondere zu folgenden Aspekten: Beurteilung der Ergebnisse und überregionale Einordnung durch Vergleich mit Literaturbefunden, Identifizierung von Defiziten, Ableitung von Optimierungsmaßnahmen (einschließlich biologischer, hydraulischer und energetischer Wirkungsabschätzungen)
8. Kenntnisse der rechtlichen Aspekte und Voraussetzungen
9. Fähigkeit zur Erstellung fachlich und formal korrekter Gutachten

Bei Anwendung von genehmigungspflichtigen Methoden gemäß Tierschutzgesetz sind die erforderlichen Qualifikationen gemäß geltender gesetzlicher Vorschriften notwendig. Die fachlich korrekte Planung, Durchführung und Auswertung der erforderlichen Untersuchung ist in der Regel nur durch öffentlich bestellte und vereidigte (öbV) Sachverständige aus den zuständigen Bestellungsgebieten, durch Fischereibiologinnen und –biologen, Fischereingenieurinnen und –ingenieure sowie durch spezialisierte Biologinnen und Biologen mit einschlägigen Fachkenntnissen gewährleistet. Gegebenenfalls kann die Evaluierung in Zusammenarbeit mit Berufsfischerinnen und –fischern sowie Vertreterinnen und Vertretern aus Hydrologie, Hydraulik und Wasserbau durchgeführt werden. Die Arbeitsanteile der an der Evaluierung beteiligten Personen sind im Gutachten exakt zu dokumentieren.

## 4 Vorbereitung der standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges

### 4.1 Festlegung der Evaluierungsziele

Die Evaluierungsziele einer standörtlichen Untersuchung (vgl. Kapitel 1.2) sind durch die zuständigen Fachbehörden (Fischerei-, Wasser- und Naturschutzbehörde) vorab klar zu formulieren und mit den weiteren beteiligten Personen beziehungsweise Institutionen abzustimmen (die folgenden Bezeichnungen umfassen weibliche und männliche Personen):

1. Wasserrechtsinhaber / Anlageneigentümer / Anlagenbetreiber
2. Sachverständiger / Bearbeiter
3. Fischereiausübungsberechtigter
4. Fördermittelgeber (soweit vorhanden)

Vom Ziel der Untersuchung leiten sich die Untersuchungsaspekte und die zu berücksichtigenden Zielarten ab. Für eine objektive Bewertung des Fischschutzes und Fischabstieges müssen vor Untersuchungsbeginn konkrete Grenzwerte für vor Ort quantitativ erfassbare Parameter (siehe Zielparame-ter, Kapitel 4.2) festgelegt werden.

Die geplanten Untersuchungszeiträume und beanspruchten Untersuchungsflächen sind der Bauwerks- und Grundstückseigentümerin oder dem -eigentümer zur Erteilung einer Betretungsbefugnis bekannt zu geben. Zur Aufklärung der für die Evaluierung relevanten standörtlichen und techni-schen Voraussetzungen sollten vor der Festlegung der Evaluierungsziele und -methoden Ortstermine bei unterschiedlichen Abflusszuständen durchgeführt, Bestandszeichnungen eingesehen und gege-benenfalls die an der Anlagenplanung beteiligten Ingenieurbüros kontaktiert werden.

Steht die kumulative Wirkung mehrerer Anlagen in einem Gewässerabschnitt oder Gewässersystem im Vordergrund, erweitert sich der Untersuchungsrahmen auf zusätzliche Standorte. Neben der ab-gestimmten Untersuchung relevanter Einzelstandorte kann in diesem Kontext auch ein mittel- bis langfristiges Bestandsmonitoring von Zielarten oder der ganzen Lebensgemeinschaft zielführend sein. In der Regel vergrößert sich in diesem Fall auch der Kreis der an Fachabstimmungen beteiligten Personen und Institutionen.

Grundsätzlich müssen die für die standörtliche Untersuchung formulierten Evaluierungsziele er-reichbar und die erforderlichen methodischen Ansätze genehmigungsfähig sein.

### 4.2 Ableitung des Konzeptes der biologischen Fischabstiegsuntersuchung

Das standortbezogene Untersuchungskonzept wird, basierend auf den vorab festgelegten Evaluie-rungszielen, in einem mehrstufigen Prozess schrittweise abgeleitet. Der in Teilschritte gegliederte Ableitungsprozess (Abbildung 9) ermöglicht eine transparente und für Dritte nachvollziehbare An-passung des Untersuchungsdesigns an die standörtlichen Bedingungen und vorab festgelegten Eva-luierungsziele.



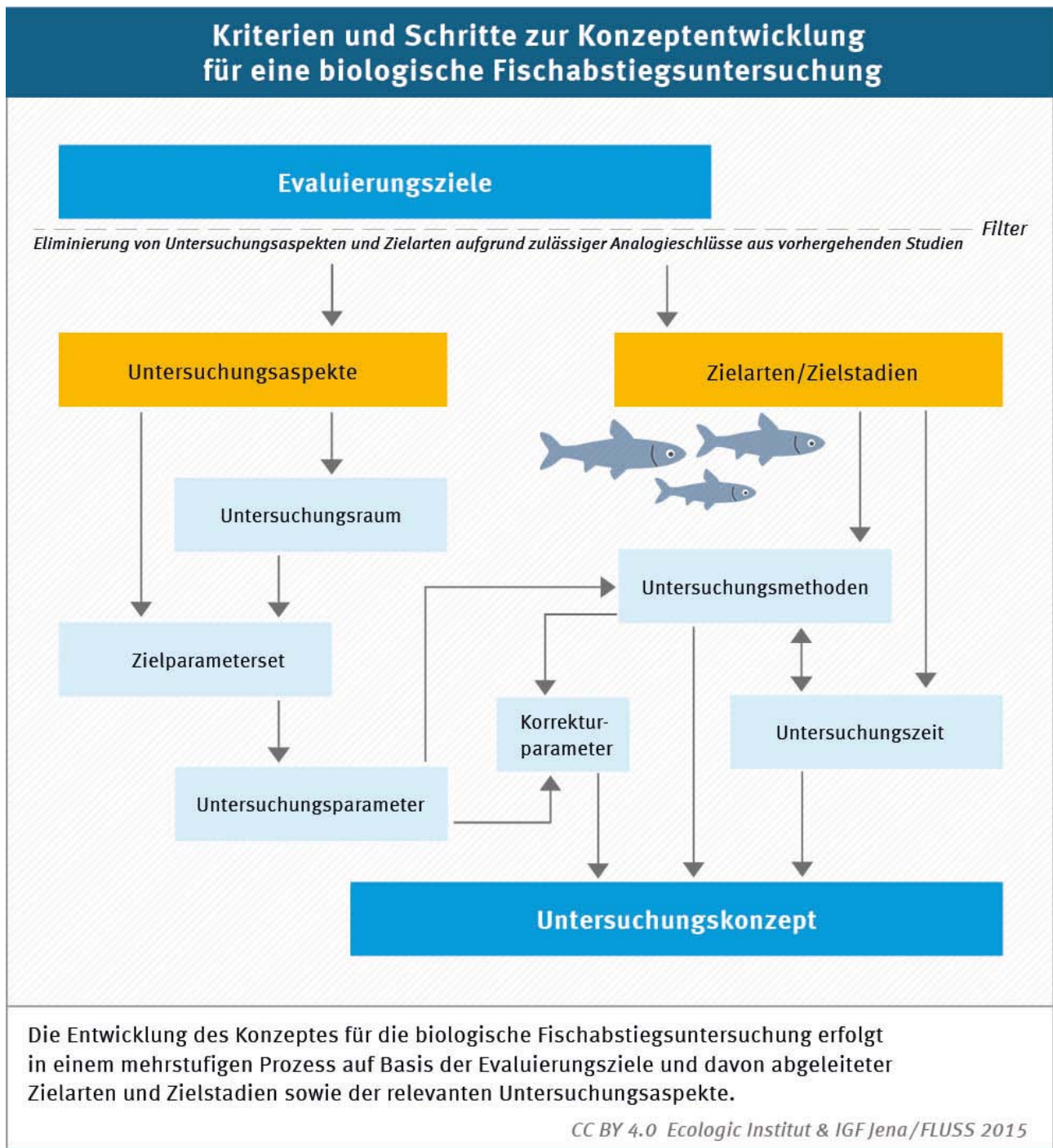


Abbildung 9: Kriterien und Schritte zur Konzeptentwicklung für eine biologische Fischabstiegsuntersuchung

#### Schritt 1 - Festlegung der Untersuchungsaspekte

Die Untersuchungsaspekte ergeben sich aus den standortspezifischen Evaluierungszielen. In der vorliegenden Arbeitshilfe werden vier Hauptaspekte unterschieden:

1. Durchgängigkeit für absteigende Fische
2. Schädigung der absteigenden Fische
3. Wirksamkeit von Fischschutzeinrichtungen
4. Ursachen für Schädigungen und Defizite bei der Durchgängigkeit

Vor der Festlegung des Untersuchungskonzeptes wird in einem Filterprozess geprüft, ob Aussagen zu einzelnen Untersuchungsaspekten bereits über Analogieschlüsse aus Ergebnissen anderer Untersuchungen möglich sind. Im Fall der Übertragbarkeit bereits vorliegender Daten kann auf eine standörtliche Untersuchung dieses Aspekts gegebenenfalls verzichtet werden. Ein Beispiel ist die Möglichkeit der Abschätzung turbinenbedingter Schädigungen einzelner Arten über Prognosemodelle. Diesbezügliche Zusammenfassungen enthalten die Arbeiten von EBEL (2008a) für den Aal und EBEL (2013) neben dem Aal auch für weitere Arten. Sofern die jeweiligen Gültigkeitsbedingungen der Modelle am betreffenden Standort erfüllt sind, ist die konkrete Schädigung am Standort nicht zwingend zu untersuchen.

Auch für Nutzung von Ergebnissen aus anderen Untersuchungen ist die sorgfältige Überprüfung der uneingeschränkten Übertragbarkeit auf die standörtlichen Bedingungen unabdingbar.

### *Schritt 2 - Festlegung der Zielarten/Zielstadien*

Das Spektrum der Zielarten beziehungsweise Zielstadien kann von einzelnen Stadien bestimmter Arten, wie den häufig im Fokus stehenden Lachssmolts, über alle diadromen Arten bis hin zu allen Arten und Stadien in einem Gewässer reichen. Dies ist von den standörtlichen Evaluierungszielen abhängig. Die Festlegung der Zielarten beziehungsweise Zielstadien muss zu Beginn der Ableitung des Untersuchungskonzeptes erfolgen, da davon sowohl die mögliche Untersuchungszeit als auch die geeigneten Methoden und somit der erforderliche Aufwand ganz wesentlich abhängen. Bereits in diesem Stadium ist zu prüfen, ob aufgrund der natürlichen Bestandsgröße der Zielarten beziehungsweise Zielstadien im Untersuchungsgebiet ausreichend große Stichprobengrößen für valide Untersuchungsergebnisse zu erwarten sind. Entsprechende Grundlagendaten zum Fischbestand sind gegebenenfalls bei den zuständigen Behörden, Berufsfischerinnen und -fischern oder lokalen Angelfischerinnen und -fischern vorhanden.

### *Schritt 3 - Eingrenzung der Untersuchungszeit basierend auf Zielarten bzw. Zielstadien*

Die Untersuchungen müssen in Zeiträumen mit potenziell hoher Abstiegsaktivität der Zielarten beziehungsweise Zielstadien erfolgen, um ausreichend große Stichprobengrößen für valide Aussagen auch bezüglich des Verhaltens zu erhalten. Eine Zusammenfassung der Wanderzeiten häufiger Zielarten und Artengruppen gibt Tabelle 1 (aus EBEL 2013). Ergänzende Orientierungswerte der Körperlängen (Tabelle 1) dieser Fische und hieraus resultierende Körperproportionen bilden die Grundlage für eine Vorauswahl geeigneter Untersuchungsmethoden.

Tabelle 1: Hauptabwanderungszeiträume häufiger Zielarten sowie typische Körperlängen abwandernder Individuen

Art / Artengruppe	Entwicklungsstadium	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> )	4 (Gelbaale)				20 – 60 cm								
	5 (Blankaale)					30 – 45 cm (Männchen) bzw. 50 – 90 cm (Weibchen)							
Atlantischer Lachs ( <i>Salmo salar</i> )	4 (Smolts)			10 – 25 cm									
	5 (Kelts)	50 – 120 cm											
Europäischer Stör ( <i>Acipenser sturio</i> )	3 + 4			?	Mehrsömmrige (< 60 cm)				?	Einsömmrige (< 20 cm) + Mehrsömmrige (< 60 cm)			?
	5					100 – 400 cm					?		
Finte ( <i>Alosa fallax</i> )	1 + 2 + 3 + 4					≤ 11 cm							
	5					20 – 50 cm							
Flussneunauge ( <i>Lampetra fluviatilis</i> )	4 (Macrophth.)	10 – 15 cm									10 – 15 cm		
Maifisch ( <i>Alosa alosa</i> )	1 + 2 + 3 + 4					≤ 12 cm							
	5					30 – 70 cm							
Meerneunauge ( <i>Petromyzon marinus</i> )	4 (Macrophth.)	12 – 17 cm									12 – 17 cm		
potamodrome Arten (Frühjahrs- und Sommerlaicher)	1 + 2 + 3				≤ 3 cm								
	4			3 – 70 cm									
	5			5 – > 150 cm									

1	Eier / Embryonen
2	Dottersackbrütlinge / Eleutheroembryonen
3	Larven
4	Juvenile
5	Adulte / Subadulte

	keine Präsenz im Süßwasser oder geringe Wander- bzw. Driftaktivität
	potamodrome Wanderung bzw. Drift mit unterschiedlicher Motivation
	diadrome Wanderung bzw. Drift zum Nahrungsgebiet
	diadrome Wanderung bzw. Drift zum Laichgebiet
?	Begrenzung des Abwanderungszeitraums ungeklärt

entnommen aus EBEL 2013

**Schritt 4 - Festlegung Untersuchungsraum**

Der Untersuchungsraum ist entsprechend der relevanten Untersuchungsaspekte abzugrenzen. Standörtliche Evaluierungsaspekte beziehen sich stets auf eine spezifische räumliche Skala (vgl. Kapitel 2.4.1). Teilweise resultiert bereits aus einem spezifischen Evaluierungsaspekt der erforderliche Untersuchungsraum (Tabelle 2). So muss die Identifikation der Ursachen für Schädigungen oder Durchgängigkeitsdefizite in der Regel auf der Ebene einzelner Korridorkomponenten erfolgen. Die Überprüfung der Wirksamkeit von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen erfordert hingegen Untersuchungen auf der Ebene von Einzelkorridoren und einen relativen Vergleich des Abstiegsgeschehens zwischen diesen Korridoren. Das Schädigungsausmaß sowie die Durchgängigkeit sind hingegen Untersuchungsaspekte, die von der Standortebene bis hinunter auf die Ebene einzelner Abstiegskorridore betrachtet werden können.

Tabelle 2: Hauptaspekte einer standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges und die in der Regel resultierenden räumlichen Betrachtungsebenen als Untersuchungsraum.

Hauptaspekte	Untersuchungsraum			
	1. Standort	2. Hauptkorridore	3. Subkorridore	4. Korridor-komponenten
Durchgängigkeit	✓	✓	(✓)	
Schädigung	✓	✓	(✓)	
Wirksamkeit Fischschutzeinrichtungen	(✓)	(✓)	✓	
Ursachen Schädigungen und Defizite				✓

CC BY 4.0IGF Jena/FLUSS 2015

Durch einfache Häkchen markierte Fälle sind innerhalb einer Untersuchungszeit evaluierbar. In Klammern gesetzte Häkchen markieren Fälle, die ein Before-After-Design der Untersuchung erfordern.

**Schritt 5 - Ableitung Ziel- und Untersuchungsparameter**

Abhängig von den standörtlichen Untersuchungsaspekten werden bestimmte Zielparameter (Tabelle 3) quantifiziert, welche meist ebenfalls einen spezifischen Untersuchungsraum erfordern. Es ist zu prüfen, ob die ausgewählten Zielparameter in dem bereits abgegrenzten Untersuchungsraum erfassbar sind. Ist dies nicht der Fall, ist entweder der Untersuchungsraum anzupassen oder es sind alternative Zielparameter festzulegen. Beispielsweise kann keine standortbezogene Ableitrate quantifiziert werden, sofern sich der Untersuchungsraum auf einen einzelnen Abstiegskorridor (z. B. Bypass) beschränkt. Der Untersuchungsraum ist so festzulegen, dass die Voraussetzungen zur Ermittlung aller Zielparameter gegeben sind, welche eine Relevanz für die standörtlichen Evaluierungsaspekte besitzen. Entscheidend ist, dass alle als Grundlage für die Berechnung der Zielparameter dienenden Untersuchungsparameter im Untersuchungsraum erfasst werden können. Die resultierenden Untersuchungsparameter für alle in der Arbeitshilfe berücksichtigten Zielparameter sind den Berechnungsschemata im Anhang zu entnehmen.

Tabelle 3: Ziel- und Basisparameter für die biologische Fischabstiegsuntersuchung und deren Untersuchungsräume

Parameter	Korridor-komponente	Subkorridor	Hauptkorridor	Standort
Vorschädigungsrate		✓	✓	✓
Normierter Tagesfang		✓	✓	✓
Durchflussnormierter Einheitsfang		✓	✓	✓
Abstiegsrate		✓		
Korridorspezifische Schädigungsrate		✓		
Standortschädigungsrate				✓
Korridorspezifische Mortalitätsrate		✓		
Korridorspezifische Überlebensrate		✓		
Standortmortalitätsrate				✓
Standortüberlebensrate				✓
Schutzrate		✓		
Körperbreitenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit		✓		
Körperhöhenpezifische Schutzwahrscheinlichkeit		✓		
Körperlängenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit		✓		
Artselektivität Fischabstiegseinrichtung		✓		
Schutzsystemableitrate			✓	
Standortbezogene Ableitrate				✓
Einschwimmrate	✓	✓		
Suchrate	✓			
Fluchtrate	✓			
Mittlere Suchzeit	✓			
Mittlere Migrationsverzögerung				✓

CC BY 4.0 IGF Jena/FLUSS 2015

Schritt 6 - Festlegung der Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungsmethoden leiten sich aus den Untersuchungsparametern und den Zielarten beziehungsweise Zielstadien ab. Tabelle 4 und Tabelle 5 enthalten eine Übersicht der Untersuchungsparameter und geeigneter Untersuchungsmethoden. Anhand dieser Übersicht ist eine Auswahl der adäquaten Methoden möglich. Es ist darauf zu achten, dass die Methoden für die ausgewählten Ziel-

arten beziehungsweise Zielstadien geeignet sind (siehe Schritt 2). Die Untersuchung kleiner Fische stellt beispielsweise bei Netzfangtechniken, aber auch bei Transpondereinsatz und anderen Techniken eine besondere Herausforderung dar und ist bei Unterschreitung einer kritischen Mindestfischgröße nicht möglich.

Eine ebenso wichtige Rolle bei der Festlegung der geeigneten Methoden spielen die baulichen und hydraulischen Bedingungen am Untersuchungsstandort. Für die Auswahl der optimalen Methoden sind Erfahrung und die genaue Kenntnis der Einsatzmöglichkeiten sowie die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden erforderlich. Eine kurze Methodenbeschreibung enthalten Tabelle 6 und Tabelle 7. Im Teil 2 - Methodenüberblick werden verbreitete Methoden mit ihren Einsatzmöglichkeiten und Einschränkungen ausführlich vorgestellt.

### *Schritt 7 - Abschließende Festlegung der Untersuchungszeit*

Die Untersuchungszeit und -dauer sind von zahlreichen Faktoren abhängig. Auf Basis der im Fokus stehenden Zielarten beziehungsweise Zielstadien reduzieren sich die geeigneten Untersuchungszeiträume bereits auf deren potenzielle Hauptwanderzeiten. Daneben wird die Abwanderungsaktivität von Zeitgebern wie Tageslänge, Mondphase, Tageszeit sowie verschiedensten abiotischen Faktoren wie Abfluss, Wassertemperatur, Trübung, Niederschlägen und Luftdruck bestimmt (vgl. Kapitel 1.2). Die Reaktion der Fische hängt dabei vom individuellen Entwicklungsstadium (Larven/Jungfische/Adulttiere) ab. Eine zusammenfassende Darstellung zur Wanderaktivität und ihren Zeitgebern findet sich in EBEL (2013).

Bei der Festlegung der Untersuchungszeit sind zusätzlich die Rahmenbedingungen für den Einsatz der geplanten Untersuchungsmethodik zu berücksichtigen. So sind Netzfänge beispielsweise bei hohem Treibgutaufkommen infolge herbstlichen Laubfalls deutlich erschwert. Auch die Einsatzmöglichkeiten von Sonartechniken und Kamerasystemen sind unter diesen Bedingungen eingeschränkt. Wichtig ist außerdem, dass die für die Evaluierungsaspekte relevanten Betriebszustände der wasserbaulichen Anlagen während der Untersuchungsphase vorliegen.

Letztendlich müssen Untersuchungszeitpunkt und -dauer so gewählt werden, dass durch den Einsatz der gewählten Methodik eine ausreichende Anzahl abstiegswilliger Individuen und somit eine geeignete Stichprobengröße für valide Aussagen zur Verfügung steht.

Tabelle 4: Übersicht über Untersuchungsmethoden und deren Nutzbarkeit zur Erfassung der in der Arbeitshilfe enthaltenen Parameter zur Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges - Teil 1

Parameter	Untersuchungsmethoden											
	Biotisch											Abiotisch
	Fangmethode		Berührungsfreie Methoden				Markierung- und experimentelle Methoden					
	Netzfang (Hamen, Reuse)	Plankton- Driftnetze <sup>1</sup>	DIDSON <sup>3</sup>	Single, Splitbeam- Sona <sup>2</sup>	Kamerasysteme <sup>3</sup>	Automatische Zählssysteme <sup>3</sup>	Transponder	Fischinjektion <sup>4</sup>	Markierung und Wiederfang <sup>4</sup>	Dummys <sup>4</sup>	Untersuchung Fischschäden	Durchfluss- messung
Vorschädigungsrate	✓	✓									✓	
Normierter Tagesfang	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Durchflusnormierter Einheitsfang	✓	✓	✓	✓	✓	✓						✓
Abstiegsrate	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
Korridorspezifische Schädigungsrate	✓	✓						✓	✓	✓	✓	
Standortschädigungsrate	✓	✓						✓		✓		
Korridorspezifische Mortalitätsrate	✓	✓						✓	✓		✓	
Korridorspezifische Überlebensrate	✓	✓						✓	✓		✓	
Standortmortalitätsrate	✓	✓						✓		✓		
Standortüberlebensrate	✓	✓						✓		✓		
Schutzrate	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
Körperbreitenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit	✓	✓										

<sup>1</sup>Erfassung von Jungfischen

<sup>2</sup>Erfassung eines repräsentativen räumlichen Untersuchungsbereiches in engen Abstiegskorridoren nicht möglich

<sup>3</sup>Einsatz in großvolumigen Abstiegs- oder Oberwasserkorridoren teilweise nicht möglich

<sup>4</sup>in Kombination mit Netzfang

Tabelle 5: Übersicht über Untersuchungsmethoden und deren Nutzbarkeit zur Erfassung der in der Arbeitshilfe enthaltenen Parameter zur Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges – Teil 2

Parameter	Untersuchungsmethoden											
	Biotisch											Abiotisch
	Fangmethode		Berührungsfreie Methoden				Markierung- und experimentelle Methoden					
	Netzfang (Hamen, Reuse)	Plankton- Driftnetze <sup>1</sup>	DIDSON <sup>3</sup>	Single, Splitbeam- Sonar <sup>2</sup>	Kamerasysteme <sup>3</sup>	Automatische Zählssysteme <sup>3</sup>	Transponder	Fischinjektion <sup>4</sup>	Markierung und Wiederfang <sup>4</sup>	Dummys <sup>4</sup>	Untersuchung Fischschäden	Durchfluss- messung
Körperhöhen-spezifische Schutzwahrscheinlichkeit	✓	✓										
Körperlängen-spezifische Schutzwahrscheinlichkeit	✓	✓										
Artselektivität Fischabstiegs-einrichtung	✓	✓	✓ <sup>5</sup>		✓ <sup>5</sup>	✓ <sup>6</sup>	✓	✓				
Schutzsystem-ableitrate	✓	✓	✓ <sup>7</sup>	✓ <sup>8</sup>	✓ <sup>7</sup>	✓ <sup>7</sup>	✓	✓				
Standortbezogene Ableitrate	✓	✓	✓ <sup>7</sup>	✓ <sup>8</sup>	✓ <sup>7</sup>	✓ <sup>7</sup>	✓	✓				
Einschwimmrate			✓		✓ <sup>5</sup>		✓	✓				
Suchrate			✓		✓ <sup>5</sup>							
Fluchrate			✓		✓ <sup>5</sup>							
Mittlere Suchzeit			✓		✓ <sup>5</sup>		✓					
Mittlere Migrationsverzögerung							✓					

<sup>1</sup>Erfassung von Jungfischen

<sup>2</sup>Erfassung eines repräsentativen räumlichen Untersuchungsbereiches in engen Abstiegs-korridoren nicht möglich

<sup>3</sup>Einsatz in großvolumigen Abstiegs- oder Oberwasserkorridoren teilweise nicht möglich

<sup>4</sup>in Kombination mit Netzfang

<sup>5</sup>Voraussetzung: geringe Trübung, sehr gute Sichtverhältnisse

<sup>6</sup>bei Integration Kamerasystem

<sup>7</sup>in Kombination mit Erfassung abstiegs-williger Fische im Oberwasser mittels Netzfang oder Split- und Singlebeamsonar

<sup>8</sup>in Kombination mit Erfassung des Abstiegs über alle Abstiegs-korridore mittels Netzfang, DIDSON, Kamerasystemen oder automat. Zähl-systemen



Tabelle 6: Überblick über häufig bei der Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges eingesetzte Methoden mit ihren Einschränkungen, dem Einsatzzweck und Hinweisen - Teil 1

Methode	Selektivität	Einschränkung	Einsatzzweck	Hinweise
<b>Netzfang (Hamen, Reuse, Plankton- und Driftnetze)</b>	nicht artenselektiv, Größenselektivität ist abhängig von Maschenweite	nicht bei allen Gerinne-Dimensionierungen möglich, Treibgut kann Netze zusetzen/zerstören; zugesetzte Netze beeinflussen hydraulische Bedingungen	Ermittlung der Arten- und Größenverteilung; Erfassung von Fischschäden (Turbinenpassage bzw. Wanderweg); Untersuchung aller Wanderwege	Bei Fischschadensuntersuchungen sind Aussagen zu Vorschäden und Schäden durch die Fangtechnik notwendig. Arbeitsschutz in Abhängigkeit der Größe der Netzfangtechniken und Einsatzorte.
<b>Imaging Sonar (DIDSON/ARIS)</b>	kleine Individuen nicht erfassbar	Arterkennung bis auf Ausnahmen in der Regel nicht möglich; ggfs. hoher Auswertungsaufwand; genaue Erfassung der Individuenzahl bei dichten Schwärmen nicht möglich	direkte Beobachtungen von Fischverhalten und Fischbewegungen im Nahbereich von Schutz- und Abstiegssystemen; Fischverhalten wird durch Untersuchungstechnik nicht beeinflusst	maximaler Erfassungsabstand DIDSON: low frequency mode 40 m, high frequency mode 15 m; ARIS 1800: 15 m
<b>Echolot Single- und Splitbeam</b>	kleine Individuen nicht erfassbar	Arterkennung nicht möglich; evtl. Vermutungen aufgrund Fischgrößen; ggfs. hoher Auswertungsaufwand; genaue Erfassung der Individuenzahl bei dichten Schwärmen nicht möglich	Ermittlung der Fischpassagen bspw. im Gewässerquerschnitt möglich; Fischgrößen lassen sich ermitteln; Fischverhalten wird durch Untersuchungstechnik nicht beeinflusst	Unterscheidung von Treibgut und Fisch ist zwingend notwendig; Splitbeam ist bzgl. der Bewegung u. Ortung in 3D dem Singlebeam überlegen
<b>Kamerasysteme</b>	größen- und artselektive Detektion in Abhängigkeit von Trübung	nur bei guten Sichtverhältnissen (geringe Trübung, ausreichend Licht) nutzbar; Arterkennung abhängig von Blickwinkel und Trübung; Größenerfassung schwierig; ggfs. hoher Auswertungsaufwand; genaue Erfassung der Individuenzahl bei dichten Schwärmen nicht möglich	Verhaltensbeobachtung von Fischen in einseharen Bereichen; Untersuchung an Stellen wo bspw. Fangnetze nicht eingesetzt werden können, Fischverhalten wird durch Untersuchungstechnik nicht beeinflusst	bei Nachtbeobachtungen Einsatz von Infrarot; Sichtbarkeit von Infrarot für Fische nicht endgültig geklärt, vermutlich artabhängig
<b>automatische Zählsysteme</b>	kleine Fische werden nicht zuverlässig erfasst	Fischwanderung im zu untersuchenden Korridor muss eingengt werden, um die Fische durch den Counter zu führen, dadurch ggf. Beeinflussung des Verhaltens; Arterkennung eingeschränkt, umfassender nur wenn eine Kamera aussagekräftige Bilder liefert; genaue Erfassung der Individuenzahl bei dichten Schwärmen nicht möglich	exakte Zeiterfassung wandernder Individuen; Größenerfassung; Aussage zur Schwimmrichtung; vielfältige Auswertungsmöglichkeiten; häufig zeitgleiche Erfassung weiterer Parameter (z. B. Wassertemperatur)	

Tabelle 7: Überblick über häufig bei der Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges eingesetzte Methoden mit ihren Einschränkungen, dem Einsatzzweck und Hinweisen – Teil 2

Methode	Selektivität	Einschränkung	Einsatzzweck	Hinweise
<b>Transponder, passiv</b>	größenselektiv (Grenzen bei kleinen Individuen) artselektiv bzgl. kleiner Fischarten	Eingriff am Tier nötig; Detektion der transponierten Tiere beschränkt auf Erfassungsbereich der Empfänger	individualisierte Erfassung von Fischpassagen möglich	Eingriff am Tier erforderlich; tierschutzrechtliche Genehmigung nötig
<b>Transponder, aktiv</b>	größenselektiv (Grenzen bei kleinen Individuen); artselektiv bzgl. kleiner Fischarten	Eingriff am Tier nötig; Detektion der transponierten Tiere beschränkt auf Erfassungsbereich der Empfänger	individualisierte Erfassung von Bewegungen und Verhaltensbeobachtung möglich	Eingriff am Tier erforderlich; tierschutzrechtliche Genehmigung nötig
<b>Elektrofischung</b>	größenselektiv (Grenzen bei kleinen Individuen); artselektiv	Fangeffizienz sinkt mit Breite und Tiefe des befischten Gerinnes; Fangeffizienz von der Leitfähigkeit abhängig, geringe Fangeffizienz bei kleinen Fische und Fischarten mit geringer Galvanotaxis	Bestandserhebung in einem Gewässerabschnitt	Einsatz von ausreichend leistungsfähigen Geräten erforderlich
<b>Markierung und Wiederfang</b>	größenselektiv (Grenzen bei kleinen Individuen)	Art des Fanges beeinflusst ggf. Ergebnis; Wiederfangrate häufig gering	Erfassung von Fischbewegungen in bestimmtem Bereich möglich; individuelle oder nichtindividuelle Markierung möglich (letzteres weniger aufwändig)	Wiederfangrate abhängig von Fangmethode
<b>Fischinjektion</b>	Auswahl der Versuchsfische definiert Arten- und Größenspektrum	Tiere wählen nicht frei motiviert den Abstiegsweg, sondern werden gezielt eingebracht	Verletzungs- und Mortalitätsraten in Abstiegskorridoren	Tiere werden gezielt in Gefahrenbereich eingebracht; tierschutzrechtliche Genehmigung nötig
<b>Dummys</b>	keine	Übertragbarkeit der Aussagen in Abhängigkeit der Dummys	Abhängig von Dummywahl: Gummifisch-Dummys für Fängigkeit der Fangtechnik bzgl. toter Individuen; einfache Dummys wie Bockwürste für erste Hinweise bzgl. Fischschäden in Turbinen ohne Fische zu schädigen; Hightech-Dummys zur Messung von Druckunterschieden o. ä. bei Turbinenpassage etc.	Dummys ersetzen in der Regel nicht die Untersuchungen der Fische direkt. Für gezielte Aussagen können sie ergänzend eingesetzt werden. Dummys sind in der Regel passiv und entsprechen beim Verhalten toten Fischen.

### **4.3 Genehmigungen und Behördenabstimmung**

Im Rahmen der biologischen Fischabstiegsuntersuchung eingesetzte Untersuchungsmethoden, wie der Fischfang in Fischwegen, der Fang geschützter Arten, experimentelle Methoden mit Fischen sowie bestimmte Markierungsmethoden sind anzeige- oder genehmigungspflichtig. Diesbezügliche Hinweise enthält Teil 2 - Methodenüberblick.

Die zu berücksichtigenden gesetzlichen Regelungen können bundeseinheitliche, aber auch bundeslandspezifische Gesetze und Verordnungen umfassen. Basierend auf dem Untersuchungskonzept und den darin abgeleiteten Methoden werden die erforderlichen Genehmigungen vor Untersuchungsbeginn eingeholt.

## 5 Durchführung der standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges

### 5.1 Technisch-hydraulische Charakterisierung des Standortes

#### 5.1.1 Zielstellung der technisch-hydraulischen Charakterisierung

Die technisch-hydraulische Charakterisierung dient der Erfassung und Dokumentation der abiotischen Voraussetzungen für die ökologische Durchgängigkeit und das Schädigungsrisiko der Fische am Standort. Die Ergebnisse müssen zumindest für das Spektrum der normalen Betriebsabflüsse eine hohe Repräsentativität besitzen. Nach Möglichkeit ist zudem der Zustand mit minimalem und maximalem Betriebsabfluss zu untersuchen, da sich diese Situationen für die Entstehung von Fischschäden oftmals als besonders wesentlich erweisen. Alternativ können die hier ausgebildeten Parameter aus gegebenenfalls vorliegenden Modellierungen entnommen oder eigenständig berechnet werden. Als Voraussetzung für die Auswertung und Beurteilung der Befunde sind sowohl die bei der technisch-hydraulischen Charakterisierung aufgenommenen als auch die nicht beprobten Betriebszustände hinsichtlich ihrer Häufigkeit zu gewichten. Für die Planung der biologischen Funktionskontrolle stellen die Ergebnisse der technisch-hydraulischen Charakterisierung eine wesentliche Grundlage dar.

Die Ergebnisse der technisch-hydraulischen Charakterisierung sind zudem auf ihre Übereinstimmung mit den aktuellsten ingenieurbioologischen Vorgaben (ATV-DVWK 2004, EBEL 2013) zu prüfen. Abweichungen, die als offensichtlich funktionseinschränkende Defizite erkennbar sind, sollten, wenn möglich, noch im Vorfeld der biologischen Fischabstiegsuntersuchung durch geeignete Maßnahmen beseitigt oder reduziert werden. Die technisch-hydraulischen Parameter bilden darüber hinaus eine unabdingbare Voraussetzung zur Interpretation der Ergebnisse der biologischen Fischabstiegsuntersuchung.

Die technisch-hydraulische Charakterisierung umfasst sieben Teilaspekte:

1. Räumliche Standortcharakterisierung
2. Allgemeine hydrologische Standortcharakterisierung
3. Abflussaufteilung am Standort auf Einzelkorridore (Hauptkorridore und Abstiegskorridore; differenziert für verschiedene Gesamtabflüsse)
4. Charakterisierung der Querbauwerke am Standort
5. Kenngrößen der Fischschutzeinrichtungen
6. Kenngrößen der Triebwerke oder anderer Wassernutzungseinrichtungen
7. Kenngrößen der Bypässe, Fischaufstiegsanlagen, Schleusen und Fischrückführungssysteme

#### 5.1.2 Räumliche Standortcharakterisierung

Die räumliche Situation, insbesondere die Lage und die Struktur der Korridore, haben einen Einfluss auf das Abstiegsverhalten der Fische. Es ist darum wichtig, die räumliche Situation am Standort exakt zu beschreiben. Am anschaulichsten gelingt dies durch einen schematischen Lageplan, dem die räumliche Anordnung aller potenziellen Wanderkorridore zu entnehmen ist. Zusätzliche Angaben informieren über die morphologischen Eigenschaften der betreffenden Gerinne. Als Grundlage für die Erstellung der schematischen Übersicht eignen sich Luftbilder vom Standort.

#### 5.1.3 Allgemeine hydrologische Standortcharakterisierung

Die Beschreibung der allgemeinen hydrologischen Bedingungen im Untersuchungsgewässer erfolgt auf Basis hydrologischer Kennzahlen des nächstgelegenen Gewässerpegels, gegebenenfalls nach

Korrekturberechnungen für den Untersuchungsstandort. Folgende Parameter sind mindestens erforderlich, um das Untersuchungsgewässer und den Standort zu charakterisieren:

1. Minimaler Abfluss bei Wasserkraftanlagen-Betrieb
2. MNQ, mittlerer Niedrigwasserabfluss
3. MQ, langjährige Mittelwasserabfluss
4. MHQ, mittlerer Hochwasserabfluss
5.  $Q_{30}$ , Abflusswert, der durchschnittlich an 30 Tagen des Jahres unterschritten wird
6.  $Q_{330}$ , Abflusswert, der durchschnittlich an 330 Tagen im Jahr unterschritten wird
7. Maximaler Abfluss bei Wasserkraftanlagen-Betrieb
8. Abflüsse bei denen Schöpfwerke im Betrieb sind

Für die Häufigkeitsbetrachtung sind zudem die Abflussdauertabelle beziehungsweise die Abflussdauerlinie zu dokumentieren.

#### 5.1.4 Abflussaufteilung am Standort auf Einzelkorridore

Die Abflussaufteilung auf die einzelnen Haupt- und Abstiegskorridore eines Standortes ist ein Faktor, der die Intensität der Korridornutzung durch die Fische beeinflussen kann. Für die Beurteilung der Ergebnisse der biologischen Fischabstiegsuntersuchung müssen daher die Abflussaufteilungen während der Untersuchungsphase erfasst sowie die ausgewiesene Abflusssituation recherchiert werden. Wichtige Daten sind:

1. Ausbauwasserdurchfluss der Turbinen, Pumpenleistungen von Entnahmestellen beziehungsweise Schöpfwerken
2. Bemessungsabflüsse sowie tatsächliche Dotation der Bypässe beziehungsweise Fischrückführungssysteme
3. Bemessungsabflüsse sowie tatsächliche Dotation von Fischaufstiegsanlagen
4. Bemessungsabflüsse sowie tatsächliche Dotation von (Fisch-)Schleusen
5. Bemessungsabflüsse sowie tatsächliche Dotation weiterer Korridore
6. Bemessungsabflüsse sowie tatsächliche Dotation über Wehre (einschließlich behördlich geforderter oder garantierter Mindestwasserabgabe)

Zu berücksichtigen ist hierbei, dass eine Abflussaufteilung lediglich für einen bestimmten Gesamtabfluss am Standort gültig ist. Daher kann es bei Evaluierungen von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen erforderlich sein, die Abflussaufteilung für unterschiedliche Gesamtabflüsse zu ermitteln und zu dokumentieren.

### 5.1.5 Charakterisierung der Querbauwerke am Standort

Allgemeine Kenngrößen und biologisch relevante bauliche Details zu Wehren und anderen Anlagen sind bei der technisch-hydraulischen Charakterisierung gleichfalls zu dokumentieren. Hierzu gehören insbesondere:

1. Wehrlänge
2. Wehrhöhe (vom Wehrfuß bis zur Kronenoberkante)
3. Wasserspiegeldifferenzen zwischen Ober- und Unterwasser in den Korridoren (inkl. Wehr, Triebwerk, Schöpfwerk, etc.)
4. Wassertiefen der Bereiche, in welche Fische eintauchen, wenn sie mit herabstürzendem Wasser beispielsweise über das Wehr in des Unterwasser gelangen
5. Auflistung aller Korridorelemente, die zu Fischschäden im Wanderkorridor führen können
6. Nutzungshäufigkeit und Nutzungszeiten von Schleusen

### 5.1.6 Kenngrößen von Triebwerken und Pumpen

#### 5.1.6.1 Triebwerke

Folgende triebwerksbezogene Kenngrößen sind im Rahmen der technisch-hydraulischen Charakterisierung zu dokumentieren:

1. Turbinentyp
2. Nutzgefälle
3. Maximales Schluckvermögen
4. Laufraddurchmesser
5. Nabendurchmesser
6. Laufradhöhe
7. Anzahl Laufradschaufeln
8. Anzahl Leitschaufeln
9. Drehzahl pro Minute
10. Baujahr / Datum letzter Wartung

Im Fall von Wasserrädern und Wasserkraftschnecken können ergänzende Angaben erforderlich sein.

#### 5.1.6.2 Pumpen

Für Pumpen (Schöpfwerke, Wasserentnahmen) sind in der Dokumentation folgende Kenngrößen anzugeben:

1. Pumpentyp
2. Förderhöhe
3. Maximales Fördervolumen
4. Förderraddurchmesser
5. Förderradhöhe
6. Anzahl Förderradschaufeln
7. Drehzahl pro Minute
8. Baujahr / Datum letzter Wartung

## 5.1.7 Kenngrößen von Fischschutzeinrichtungen

### 5.1.7.1 Mechanische Rechen

Für mechanische Rechen sind in der Dokumentation folgende Kenngrößen anzugeben:

1. Stabausrichtung (horizontal/vertikal)
2. Lichter Stababstand, Stabbreite, Stabtiefe
3. Profiltyp des Rechenstabes
4. Horizontaler Anströmwinkel (Winkel  $\beta$ , Abbildung 8)
5. Vertikaler Anströmwinkel (Winkel  $\alpha$ , Abbildung 8)
6. Mittlere und maximale Anströmgeschwindigkeit für verschiedene Betriebszustände
7. Rechenfeldlänge
8. Rechenfeldhöhe
9. Größe der durchströmten Rechenfläche
10. Wartungszustand des Rechens (Schäden, variabler Stababstand, Stabkorrosion)
11. Rechenreinigertyp
12. Behandlung Rechengut (z. B. Weiterführung über Spülrinne, Entnahme, etc.)
13. Anzahl der Rechen (Grobrechen, Feinrechen)
14. Sohlwellenhöhe unterhalb des Rechens

### 5.1.7.2 Elektrische, akustische und mechanische Verhaltensbarrieren

Bei der technisch-hydraulischen Charakterisierung sind alle funktionsrelevanten Kenngrößen der am Standort vorhandenen Verhaltensbarrieren anzugeben. Aufgrund der baulichen Vielfalt und unterschiedlichen Wirkprinzipien können in der Arbeitshilfe nicht alle für die Dokumentation erforderlichen Mindestangaben benannt werden. Typunabhängig wird auf folgende generelle Kenngrößen verwiesen:

1. Horizontaler Anströmwinkel (Winkel  $\beta$ , Abbildung 8)
2. Vertikaler Anströmwinkel (Winkel  $\alpha$ , Abbildung 8)
3. Mittlere und maximale Anströmgeschwindigkeit für verschiedene Betriebszustände
4. Fläche des Durchflussquerschnitts im beabsichtigten Wirkungsbereich der Barriere
5. Wartungszustand der Anlage

Bei elektrischen, akustischen, optischen und mechanischen Verhaltensbarrieren sind mindestens folgende Parameter zu dokumentieren:

1. Elektroscheuchanlagen: Stromstärke, Spannung, elektrische Leistung, Impulsfrequenz, Impulsform, Anzahl Elektroden, Elektrodenanordnung
2. Akustische Scheuchanlagen: Anordnung der Schallwandler, Schallstärke, Frequenz, Abstände zwischen den akustischen Signalen
3. Optische Scheuchanlagen mit Lichtsignalen: Anordnung der Lichtquellen, Wellenlängenspektrum / Lichtfarbe, Lichtstärke, Frequenz (bei Stroboskop)
4. Mechanische Schutzeinrichtungen (Louver, Tauchwände, etc.): Dimensionierungs- und Hydraulikparameter

### 5.1.8 Kenngrößen von Bypässen, Fischrückführungssystemen, Fischaufstiegsanlagen und Schleusen

Für die technisch-hydraulische Charakterisierung dieser Abstiegskorridore sind folgende Parameter anzugeben:

1. Bauform / -typ
2. Querprofilgeometrie
3. Horizontale Position der Einströmöffnungen, Abstand zur Fischschutzeinrichtung
4. Vertikale Position der Einströmöffnungen in der Wassersäule, Abstand zur Fischschutzeinrichtung
5. Höhe der Einströmöffnungen
6. Breite der Einströmöffnungen
7. Fließgeschwindigkeiten in den Einströmöffnungen der Abstiegswege im Durchflussspektrum repräsentativer Betriebszustände
8. Position und Höhe möglicher Sohlschwellen in und vor Einströmöffnungen
9. Art, Lage und Betriebsweise von Leiteinrichtungen
10. Auflistung aller Korridorelemente, die zu Fischschäden im Wanderkorridor führen können
11. Nutzungshäufigkeit und Nutzungszeiten von Schleusen
12. Gesamtlänge von Bypässen und Fischrückführungssystemen

### 5.2 Erfassung abiotischer sowie technisch-hydraulischer Parameter während der biologischen Fischabstiegsuntersuchung

Für die Beurteilung von Wanderbewegungen ist es zwingend notwendig, während der Untersuchungsperiode die nachfolgend aufgeführten chemisch-physikalischen Begleitparameter zu erfassen:

1. Wassertemperatur
2. pH-Wert
3. Trübung / Sichttiefe
4. Sauerstoffsättigung und -konzentration
5. Leitfähigkeit
6. Gesamtabfluss am Standort
7. Abflussänderung (fallend, gleichbleibend, ansteigend)
8. Mondphase
9. Tages- beziehungsweise Nachtzeit

Wassertemperatur- und Abflussänderungen nehmen als Zeitgeber Einfluss auf die Wanderbewegungen im Gewässer. Änderungen bezüglich der Abstiegszahlen können hiermit in direktem Zusammenhang stehen. Auch die Mondphase spielt eine entscheidende Rolle (EBEL 2013). In hellen Nächten, also bei Vollmond, wurden beispielsweise in der Barbenregion für alle Arten erheblich geringere Abstiegszahlen nachgewiesen (SCHMALZ 2002). Auch die Wasserparameter Sauerstoffkonzentration, pH-Wert, Sichttiefe und Leitfähigkeit (letzteres als Ersatz- und Summenparameter für Stoffeinträge) können Einfluss auf das Wanderverhalten haben.

Kommt es nach Einleitung organischer Stoffe zu starker Sauerstoffzehrung, steigen Fische häufig an die sauerstoffreichere Wasseroberfläche auf, wodurch sie verstärkt in oberflächennahen Abstiegskorridoren auftreten können (WAGNER 2013b). Durch Messungen der Sauerstoffkonzentration, begleitend zur biologischen Fischabstiegsuntersuchung, sind derartige Effekte eines physikalischen Parameters detektierbar und bei der Datenauswertung entsprechend zu berücksichtigen. Gegebenenfalls



sind durch Sauerstoffmangel verendete Fische bei der Bestimmung der anlagenbedingten Mortalitätsraten aus den Datensätzen zu eliminieren.

Chemische Prozesse führen in Abhängigkeit der Pufferung des Wassers bei starker Photosyntheseaktivität zu erheblichen pH-Wert-Anstiegen. Diurnale Schwankungen sind die Folge. Dieser Stressfaktor kann ebenfalls die Fischbewegungen im Gewässer beeinflussen.

Folgende technisch-hydraulische Parameter haben Einfluss auf die Nutzung der Korridore beziehungsweise die Schädigung:

1. Gesamtabfluss im Gewässer (Daten benachbarter amtlicher Pegel), Abflusszustand mit Angabe der Unterschreitungsdauer
2. Dotation der Korridore (Hauptkorridore, Abstiegskorridore)
3. Betriebszustände
  - a) Turbinenauslastung, Turbinensteuerung
  - b) Pumpenauslastung, Pumpensteuerung, Wasserentnahmemenge
  - c) Veränderungen der Wehrüberströmung
  - d) Öffnungszustand von Schützen
  - e) Störungsereignisse (z. B. Ausfall eines Triebwerks oder einer Pumpe, Blockade des Rechenreinigers)
4. Schwemmgutauflkommen, Auftreten von Eisschollen

Die Turbinenauslastung gibt Rückschlüsse auf die Öffnungsweiten der Leitschaufeln und die Rotationsgeschwindigkeit. Diese Details haben einen direkten Einfluss auf das Verletzungsrisiko der Fische bei der Turbinenpassage (äquivalent Pumpenpassage). In EBEL 2008a und EBEL 2013 erfolgt eine zusammenfassende Darstellung turbinenspezifischer Einflussfaktoren auf die Fischschädigung und geeigneter Prognosemodelle. Der Öffnungsquerschnitt von Schützen und der Zustand veränderlicher Wehre (z. B. Schlauchwehr) sind wichtige Informationen zur Ursachensuche für Fischschäden.

Letztendlich sind alle Sonderereignisse, wie beispielsweise Ausfall von Turbinen, Pumpen, Rechenreiniger, erhöhter Abfluss über das Wehr, extrem hohes Schwemmgutauflkommen, zu erfassen, um Änderungen der Abflussaufteilungen und des Verletzungsrisikos etc. für die Ergebnisbewertung zu dokumentieren.

### 5.3 Biologische Fischabstiegsuntersuchung

Im Rahmen der biologischen Fischabstiegsuntersuchung werden die Daten der Untersuchungsparameter erhoben, die zur Berechnung der Zielparameter der konkreten standörtlichen Untersuchung erforderlich sind. Die Zielparameter sowie das Untersuchungsdesign wurden bereits zuvor im Untersuchungskonzept festgelegt (vgl. Kapitel 4.2). Für die biologische Fischabstiegsuntersuchung müssen folgende Vorgaben vorliegen:

1. Zielarten / Zielstadien
2. Untersuchungszeit
3. Untersuchungsparameter
4. Untersuchungsmethoden
5. Untersuchungsraum

### 5.3.1 Methodenüberblick zur Erfassung des Abstiegs geschehens

#### 5.3.1.1 Fangmethoden und -geräte

Für die Erfassung abwandernder Fische werden insbesondere die nachstehend genannten passiven Fanggeräte eingesetzt. Der Fang der Fische ist insbesondere dann unvermeidbar, wenn eine detaillierte Erfassung der Schäden am Fisch erfolgen soll (vgl. Kapitel 12 und 13).

1. Hamen (Kapitel 12)
2. Reusen (Kapitel 13)
3. Plankton- und Driftnetze (Kapitel 14)
4. Tiroler Wehr (Kapitel 13)

Unter bestimmten Voraussetzungen ist es nicht zwingend erforderlich, spezielle Untersuchungen zur Evaluierung des Fischabstieges vorzunehmen. So können Fangdaten aus der Berufsfischerei als Evaluierungsgrundlage ebenso geeignet sein, sofern die Datenqualität den Anforderungen der Evaluierungsaspekte entspricht. Derartige Daten können aber auch hilfreich sein, um eigene Untersuchungsdaten zu ergänzen oder zu plausibilisieren.

#### 5.3.1.2 Berührungsfreie Methoden

Berührungsfreie Methoden basieren auf Beobachtungen von Fischen, die dafür nicht gefangen oder entnommen werden müssen. In der Regel wird das natürliche Verhalten der Fische durch berührungsfreie Methoden nicht oder allenfalls geringfügig beeinflusst. Der Einsatzschwerpunkt dieser Methoden liegt in der Untersuchung der Korridor Nutzung und direkter Verhaltensbeobachtung, also ethologischen Studien unter realen standörtlichen Betriebszuständen im Freiland. Die Erfassung von Fischschädigungen ist bei berührungsfreien Methoden allenfalls eingeschränkt möglich. Zu den im Teil 2 - Methodenüberblick detailliert erläuterten berührungsfreien Methoden gehören:

1. Echolotsysteme (Kapitel 15)
2. Imaging Sonar (Kapitel 16)
3. Kamerasysteme (Kapitel 17)
4. Automatische Zählsysteme (Kapitel 18)

#### 5.3.1.3 Markierungs- und experimentelle Methoden

Dieser Gruppe gehört ein breites Spektrum unterschiedlicher Methoden an, die genutzt werden, um den Wanderkorridor von Fischen beziehungsweise künstlicher Nachbildungen (Dummys, Kapitel 22) oder die physikalischen Verhältnisse bei der Standortpassage experimentell zu ermitteln. Zu den Markierungs- und experimentellen Methoden gehören:

1. Transponder (aktiv, passiv, Kapitel 19)
2. Fisch-Injektion (Kapitel 21)
3. Markierung und Wiederfang (Kapitel 20)
4. Dummys (Kapitel 22)
5. Elektrofischerei (Kapitel 23)

Für eine detaillierte Darstellung dieser Methoden wird auf Teil 2 - Methodenüberblick verwiesen.

## 5.3.2 Erfassung von Verletzungen und Schädigungen bei Fischen

### 5.3.2.1 Voraussetzungen für Verletzungs- und Schädigungsanalysen

Zur Erfassung von Fischschäden ist es im Regelfall unvermeidlich, die Fische zu fangen und vorübergehend zu entnehmen. Hierzu eignen sich in erster Linie die im Teil 2 - Methodenüberblick dargestellten Netzfangmethoden (Kapitel 12 und 13). Bei den zu untersuchenden Fischen kann es sich um natürlich abgewanderte Individuen handeln, aber auch um gezielt eingebrachte Tiere (Kapitel 21).

Nach Untersuchung der Tiere auf sichtbare, äußere Schäden werden die Individuen Schädigungskategorien zugeordnet (vgl. Kapitel 5.3.2.6). Neben äußerlich sichtbaren Verletzungen können Fische auch diverse innere Verletzungen aufweisen. Bewirken diese Verletzungen entweder sofort oder verzögert den Tod der Tiere, müssen diese Individuen bei der Schädigungsanalyse berücksichtigt werden.

Für eindeutige Aussagen zu standortbedingten Schädigungen ist es zwingend notwendig, anlagenbedingte Schädigungen von Vorschäden sowie die durch die Untersuchungsmethodik hervorgerufenen Schädigungen zu unterscheiden.

### 5.3.2.2 Erfassung von Verletzungen

#### 5.3.2.2.1 Äußerlich erkennbare Verletzungen

Die äußere Beurteilung verletzter Fische erfolgt in der Regel rein visuell ohne weitere Hilfsmittel. Die Befunde werden entsprechend Kapitel 5.3.2.6 kategorisiert. Um anlagenbedingte Verletzungen, die beispielsweise bei der Passage von Turbinen, Pumpen oder Rechensystemen entstehen, von krankheitsbedingten Verletzungen unterscheiden zu können sind spezielle Kenntnisse und umfangreiche Erfahrungen zwingend notwendig.

#### 5.3.2.2.2 Äußerlich nicht erkennbare Verletzungen

##### 5.3.2.2.2.1 Untersuchung bereits verendeter Tiere

Die genauen Todesursachen äußerlich unverletzter Tiere lassen sich nur durch weiterführende Untersuchungen beziehungsweise Obduktionen klären. Verendete Fische können vor Ort oder im Labor seziiert und auf innere Verletzungen hin untersucht werden. Ist zu erwarten, dass die Sektion nicht zeitnah erfolgen kann, sind die Tiere zu konservieren. Hierfür kann beispielsweise zehnpromzentige Formalinlösung verwendet werden, wobei der korrekte Umgang mit den eingesetzten Chemikalien stets zu berücksichtigen ist. Bei der Sektion sind innere Blutungen und Brüche, wie beispielsweise Wirbelsäulenfrakturen sowie Schäden an der Schwimmblase und anderen inneren Organen gut erfassbar. Wirbelbrüche können durch Röntgenaufnahmen zuverlässig diagnostiziert werden (MATK 2012). Eine weitere Möglichkeit, Schäden der Wirbelsäule zu erkennen, ist die Halbierung der Fische entlang der Wirbelsäule und die anschließende Durchleuchtung mit einer starken Lichtquelle (SCHMALZ & SCHMALZ 2007; Abbildung 10). Fundierte anatomische, pathologische und physiologische Kenntnisse sind eine wesentliche Voraussetzung für die Verletzungsanalysen.



Abbildung 10: Durchleuchtung eines kleinen, aufpräparierten Cypriniden zur Diagnose innerer Verletzungen (Foto: W. Schmalz)

#### 5.3.2.2.2 Untersuchung an noch lebenden Tieren

Beim lebenden Tier deuten beispielsweise verändertes Schwimmverhalten oder Körperdeformationen auf innere Verletzungen, wie Schwimmblasenrupturen oder Wirbelsäulenfrakturen, hin. Bei größeren Tieren können Wirbelbrüche auch ertastet werden. Mit mobilen oder stationären Röntgengeräten lassen sich Frakturen auch am lebenden Tier eindeutig diagnostizieren.

Bei einer Hälterung der Fische zur Ermittlung der verzögerten Mortalität (vgl. Kapitel 5.3.2.5) steigt mit Dauer der Hälterung die Wahrscheinlichkeit, dass Fische mit starken inneren Verletzungen verenden. Mit diesen Tieren wird dann so verfahren, wie im Kapitel 5.3.2.2.1 für verendete Fische beschrieben.

#### 5.3.2.3 Vorschäden

Teilweise sind Vorschäden anhand ihres charakteristischen Schadbildes von frischen, standortbedingten Verletzungen zu unterscheiden. Zu den Vorschäden gehören Krankheiten, wie flächige Verpilzungen, Bakterienbefall, Parasitosen, infektiöse Wunden (Abbildung 11), aber auch Verletzungen, die aufgrund ihres Erscheinungsbildes (Bissspuren) eindeutig auf Prädatoren zurückzuführen sind (Abbildung 12). Auch turbinenbedingte Verletzungen, die durch flussaufwärts gelegene Wasserkraftanlagen verursacht wurden, können auftreten und sind teilweise durch bereits erkennbare sekundäre Infektionen oder Gewebsveränderung von frischen Verletzungen zu unterscheiden.

Gleiches gilt für Verletzungen durch Kollision mit Schiffsschrauben (Schnittverletzungen, Abbildung 13). In vielen Fällen ist es jedoch unvermeidlich, die Vorschädigung durch den Fang repräsentativer Teilstichproben absteigender Fische im Oberwasser zu quantifizieren. Dazu bieten sich insbesondere Reusen- oder Hamenfänge und evtl. Elektrofischungen an. Alternativ beziehungsweise zusätzlich kann mit dem Einbringen unversehrter, markierter Fische im Oberwasser eine Vorschädigung ausgeschlossen werden. Hierfür eignen sich besonders direkt abwanderbereite Stadien wie Lachssmolts und Blankaale.



Abbildung 11: Infektiöse Wunde bei einer Barbe (Foto: W. Schmalz)



Abbildung 12: Vom Komoranschnabel hervorgerufene Verletzungen bei einem Karpfen (Foto: W. Schmalz)



Abbildung 13: Durch Schiffsschraube verletzter Lachs (Foto: J. Schneider)

#### 5.3.2.4 Methodenbedingte Schäden

Methodenbedingte Fischschäden sind ebenfalls teilweise anhand typischer Schadbilder erkennbar. Beim Netzfang können typische, rautenförmige Maschenabdruckmuster auf der Körperoberfläche entstehen, wenn Fische stark an das Fangnetz gedrückt werden. Andere Verletzungsbilder sind hingegen unspezifisch und nicht von anlagenbedingten Schädigungen zu unterscheiden. Generell müssen methodenbedingte Schäden durch die Optimierung der Fangtechnik minimiert werden. Eine gänzliche Vermeidung ist jedoch in der Regel nicht für alle Arten und Entwicklungsstadien möglich.

Es ist daher erforderlich, den Anteil der methodenbedingten Schäden an den festgestellten Gesamtschädigungen zu quantifizieren. Hierfür kann eine ausreichend große und repräsentative Stichprobe unverletzter Tiere experimentell dem Einfluss der Untersuchungsmethode und dem anschließenden Handling, inklusive Hälterung ausgesetzt werden (Referenzschädigung). Eine anschließende Schädigungsanalyse dieser Tiere ermöglicht es, die methodenbedingte Schädigungsrate abzuschätzen.

#### 5.3.2.5 Verzögerte Mortalität

Anlagenbedingte Verletzungen können unmittelbar oder erst mit zeitlicher Verzögerung zum Tode führen. Zur Bestimmung der verzögerten Mortalität werden die Fische nach dem Fang über eine Zeitspanne von mindestens 48 Stunden in geeigneten Hälterungsanlagen beobachtet, um den Gesundheitszustand zu überwachen. Eine Hälterungsdauer von 48 Stunden ist in vielen nordamerikanischen Studien Standard (SCHILT 2007) und dürfte die Gesamtmortalität hinreichend abbilden, ohne durch längere Hälterungsdauer eine hohe hälterungsbedingte Mortalität hervorzurufen. Bei Aalen kann eine Verlängerung der Hälterungsdauer erforderlich sein, da ein verletzungsbedingter Tod bei niedrigen Wassertemperaturen stark verzögert auftreten kann (DUMONT et al. 2012). Die Bestimmung der durch den Hälterungsvorgang verursachten, methodenbedingten Mortalität (siehe 5.3.2.4) erfolgt über eine zusätzliche Blindprobe in der gesunde Fische aus dem Oberwasser ohne Standortpassage dem Hälterungsprozess unterzogen werden.

Bei der Hälterung sorgen Pumpen für einen permanenten Wasseraustausch zwischen Hälteranlage und dem Ursprungsgewässer der Fische. Es kann auch eine ergänzende Belüftungseinrichtung notwendig sein. Die Haltungsbedingungen müssen den Anforderungen an eine art- und tierschutzgerechte Haltung der Fische genügen. Detaillierte Hinweise hierzu finden sich in ADAM et al. (2013).

Für die Auswertung des Hälterversuches sind zu Beginn mindestens die Anzahl, die Art sowie die Körperlänge der eingesetzten Individuen zu protokollieren. Bei Abschluss des Versuchs ist zusätzlich zu diesen Daten die Vitalität jedes Individuums zu kontrollieren und zu erfassen (lebend/tot).

Eine erhöhte prädationsbedingte Mortalität der Fische nach der Standortpassage durch ein eingeschränktes Prädationsvermeidungsverhalten infolge einer Beeinträchtigung des sensorischen Systems kann im Rahmen der Hälterungsversuche nicht abgeschätzt werden (vgl. FERGUSON et al. 2006).

#### 5.3.2.6 Verletzungs- und Schädigungskategorien

Jedes Individuum wird auf Grundlage der vorliegenden Verletzungsart fünf Verletzungskategorien zugeordnet (siehe Tabelle 8, vgl. auch HOLZNER 1999, DUMONT et al. 2012, WAGNER 2013a, 2013b und 2013c). Unterkategorien für die differenziertere Erfassung von Verletzungsarten finden sich in SCHNEIDER et al. (2012), WAGNER (2013a, 2013b und 2013c) sowie SCHNEIDER & HÜBNER (2014). Von einem detailliert erfassten Verletzungsbild kann teilweise auf die wahrscheinliche Schädigungsursache geschlossen werden.

Wie Untersuchungen im Labor und im Freiland zeigen (HÜBNER et al. 2011, SCHNEIDER et al. 2012), passieren die meisten Fische Fischschutzrechen rückwärts schwimmend und gelangen dabei vor

allem mit dem Schwanzstiel und der Schwanzflosse zwischen die Rechenstäben. Vielfache, seitliche Kollisionen mit den Stäben (insbesondere bei lichten Stababständen  $\leq 20$  mm) bewirken typische Verletzungsbilder (Schuppenverlust bis offene Fleischwunde) an beiden Körperseiten im Schwanzstielbereich bis hin zur Körpermitte (HÜBNER et al. 2011, Abbildung 14), die häufig eindeutig der Schädigungsursache Rechenkollision zuzuordnen sind.



Abbildung 14: Abschürfungen bei einem Rotauge im Schwanzsteilbereich (Laboruntersuchungen), typische Schädigung an einem vertikalen Rechen mit 20 mm Stababstand (Foto: D. Hübner)

Die jeweiligen Verletzungen werden standardisiert mit Angabe der Verletzungsart (siehe Tabelle 8), des Verletzungsausmaßes und sichtbarer Infektionen protokolliert. Sind die Fische tot, wird dies ergänzend zum Verletzungsbild vermerkt. Fische, die aufgrund sichtbarer Merkmale bereits als „länger tot“ zu erkennen sind (bereits starr, trübe Augen, blasse Kiemen, verpilzt, angefressen, etc.; Abbildung 16) werden im Protokoll markiert, um sie bei der späteren Auswertung von standortbedingt, frisch verendeten Tieren zu unterscheiden.



Tabelle 8: Verletzungsarten und die sich daraus ableitenden Verletzungskategorien (VK), sowie ergänzend aufzunehmende Daten zum Verletzungsausmaß und Infektionen

VK	Verletzungsart	Verletzungsausmaß	Infektion
I	keinerlei sichtbare Verletzungen		
II	Schuppenverluste, Blutpunkte im Auge, Hämatome und Schürfwunden ohne offene Wunden/Fleischwunden	einseitig, beidseitig	Verpilzung, bakterielle Entzündung
III	offene Wunden/Fleischwunden, Schnittverletzungen, offene Abschürfwunden	einseitig, beidseitig	Verpilzung, bakterielle Entzündung
IV	Teilamputationen, Frakturen der Wirbelsäule		Verpilzung, bakterielle Entzündung
V	Amputation, Totaldurchtrennung		Verpilzung, bakterielle Entzündung

CC BY 4.0 IGF Jena/FLUSS 2015

Allein aus den Verletzungskategorien sind noch keine sicheren Aussagen zur Schädigung ableitbar, da äußerlich nicht sichtbare Verletzungen vorliegen können. Aus diesem Grund ist zusätzlich zu berücksichtigen, ob die Tiere tot oder lebendig im Fanggerät vorgefunden wurden. Durch Kombination dieser Informationen mit der Verletzungskategorie werden drei Schädigungskategorien gebildet (Tabelle 9). Kategorie „A“ umfasst alle lebenden, unverletzten und leichtverletzten Fische, bei denen eine bleibende Beeinträchtigung nach der Passage des Standortes unwahrscheinlich ist. In Kategorie „B“ werden die Fische eingestuft, die ebenfalls leben, aber mäßige Verletzungen aufweisen. Bei dieser Gruppe ist beispielsweise aufgrund sekundärer Infektionen, einer schlechten allgemeinen Konstitution oder einem erhöhten Prädationsrisiko von einer Beeinträchtigung der Fitness oder einem vorzeitigen Tod auszugehen. Die Kategorie „C“ umfasst Fische der Verletzungskategorie IV und V, die mit hoher Wahrscheinlichkeit kurzfristig diesen Verletzungen erliegen oder bereits tot sind, sowie alle toten Tiere der anderen Verletzungskategorien.

Tabelle 9: Kombination der Verletzungskategorie mit dem Zustand der Fische (tot/lebend) zur Ableitung der drei Schädskategorien

Zustand	Verletzungskategorien				
	I	II	III	IV	V
lebend	A (keine/gering)		B (mittel)		
tot	C (letal/präletal)				

CC BY 4.0 IGF Jena/FLUSS 2015

Kategorie A - keine oder nur geringe Schädigungen - eine Beeinträchtigung ist unwahrscheinlich

Kategorie B - mittlere Schädigung - eine Beeinträchtigung ist nicht ausgeschlossen

Kategorie C - letale oder präletale Schädigung - eine Beeinträchtigung und resultierender Tod des Tiers sind sicher

## 6 Auswertung der biologischen Fischabstiegsuntersuchung entsprechend der standörtlichen Evaluierungsaspekte

### 6.1 Ablauf des Auswertungsprozesses

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsaspekte sowie abschließende Funktionsaussagen werden in einem fünfstufigen Prozess auf Basis der Messwerte der Untersuchungsparameter abgeleitet (Abbildung 15).

#### *Schritt 1 – Prüfung der Plausibilität*

Vor Beginn des eigentlichen Auswertungsprozesses werden die Daten auf ihre Plausibilität geprüft. Effekte bekannter abiotischer Störgrößen (z. B. Hochwasser, Niedrigwasser, Sauerstoffextremsituationen) auf die Untersuchungsergebnisse werden reduziert, indem die betroffenen Datensätze korrigiert oder aus dem Datenpool eliminiert werden. Unter Berücksichtigung zusätzlicher, methodenspezifischer Korrekturschritte (vgl. Kapitel 6.2.) werden im Anschluss die Untersuchungsparameter berechnet. Alle Datenkorrekturen oder –eliminierungen sind zu dokumentieren und zu begründen.

#### *Schritt 2 – Berechnung der Basisparameter*

Die Basisparameter (vgl. Anhang Kapitel 27) werden aus den Werten der Untersuchungsparameter errechnet.

#### *Schritt 3 – Berechnung der Zielparameter*

Aus den Basisparametern werden die Zielparameter errechnet (vgl. Anhang Kapitel 27, Berechnungsgrundlage).

#### *Schritt 4 – Vergleich der Istwerte mit Ziel- oder Grenzwerten*

Die Istwerte der Zielparameter werden mit den vorab bei Abstimmung des Untersuchungskonzeptes formulierten Ziel- oder Grenzwerten verglichen. Hieraus leiten sich die Aussagen zu den Untersuchungsaspekten ab. Eine Validitätsabschätzung der Funktionsaussage im Hinblick auf methodisch bedingte Unschärfen ergänzt diesen Auswertungsschritt.

#### *Schritt 5 – Abschließende Funktionsaussage*

Abschließend wird eine Funktionsaussage formuliert, bei der in der Regel mehrere Untersuchungsaspekte berücksichtigt werden.

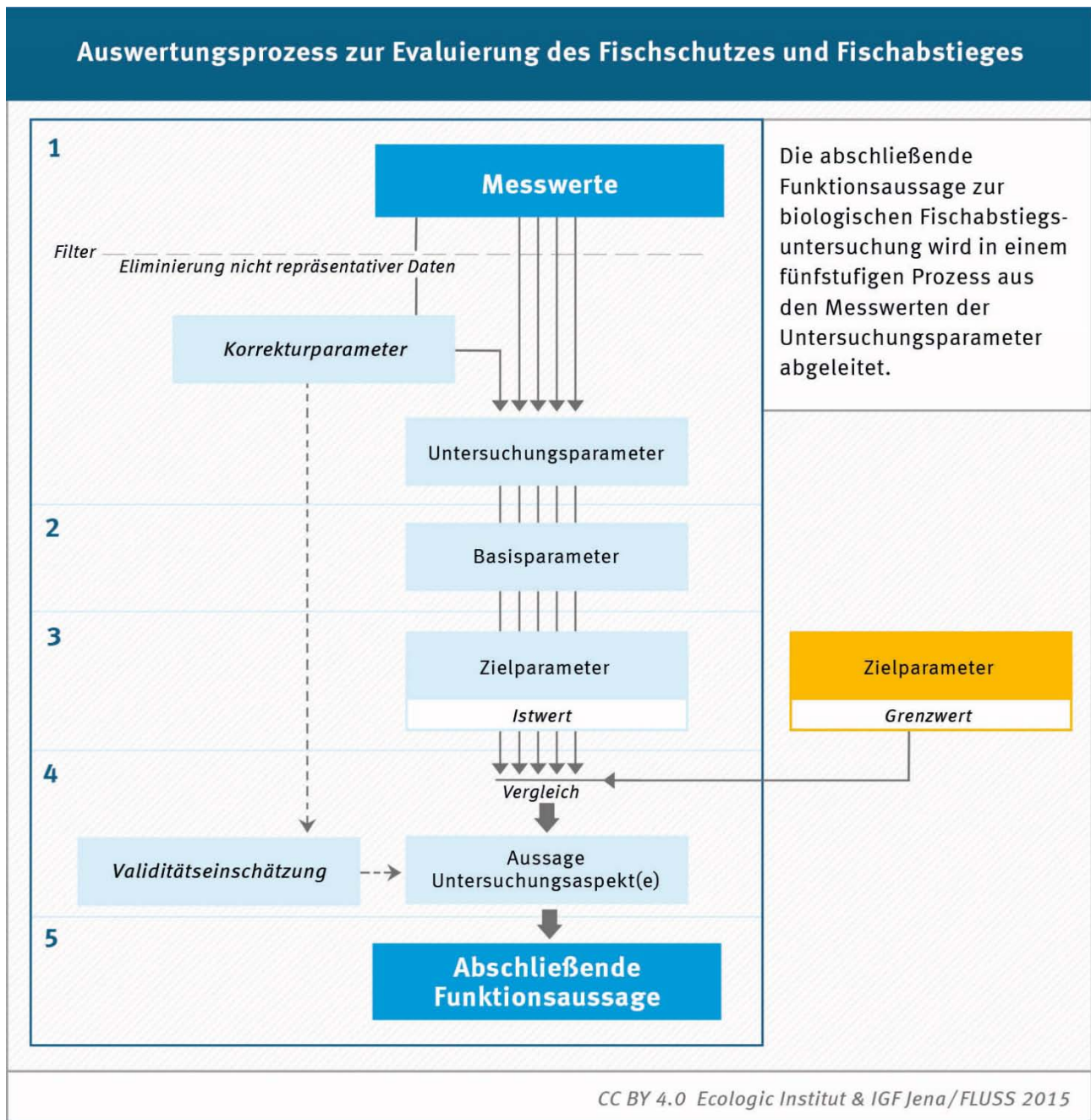


Abbildung 15: Auswertungsprozess zur Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges

## 6.2 Aufbereitung und methodenspezifische Korrekturen der Untersuchungsparameter

Die Felddaten der Untersuchungsparameter müssen vor der weiteren Nutzung und der Berechnung von Zielparametern auf ihre Plausibilität geprüft und gegebenenfalls methodenspezifischen Korrekturschritten unterzogen werden (vgl. Kapitel 6.1). Generell ergibt sich aus der Untersuchung von Teilstichproben die Notwendigkeit, die Daten auf eine Grundgesamtheit hochzurechnen. Dies gilt in räumlicher sowie zeitlicher Hinsicht. Beschränkt sich beispielsweise die Beprobung oder Beobachtung auf einen Teilquerschnitt eines Korridors, sind die resultierenden Daten auf den gesamten Fließquerschnitt umzurechnen. Voraussetzung ist die Repräsentativität des Untersuchungsquerschnitts für den Gesamtließquerschnitt. Sollen hingegen Beobachtungs- oder Fangergebnisse aus unterschiedlichen Zeitintervallen verglichen oder auf einheitliche Zeiteinheiten, wie Tage, Monate

oder Jahre, bezogen werden, sind Umrechnungsschritte basierend auf der ursprünglichen Beobachtungs- oder Untersuchungsdauer erforderlich.

Die Befunde der Untersuchungsparameter können durch die Untersuchungsmethodik selbst beeinflusst werden. Derartige systematische Fehler sind so weit wie möglich zu reduzieren, können aber häufig nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Sie sind daher entweder im Rahmen der standörtlichen Untersuchung direkt oder durch Analogieschlüsse aus anderen Untersuchungen quantitativ abzuschätzen.

Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen konkreter Untersuchungsmethoden sind in der Erläuterung der Untersuchungsmethoden in Teil 2 - Methodenüberblick enthalten. Für die Hauptkategorien von Untersuchungsmethoden werden im Folgenden typische Fehlerquellen und entsprechende Korrekturmöglichkeiten aufgelistet.

### 1. Fangmethoden

- a) Einschwimmen von Fischen durch Netze und Flucht aus dem Fanggerät – Ermittlung der Fangeffizienz anhand bekannter Teilstichprobe (markierte Fische Kapitel 19 und 20, Fischbesatz, Dummys Kapitel 22, Imaging Sonar Kapitel 16)
- b) Fang- und handlingbedingte Schädigung – Ermittlung methodenbedingter Schädigungen durch experimentelles Einbringen identifizierbarer, unverletzter Fische oder Nutzung repräsentativer Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungen

### 2. Berührungsfreie Methoden

- a) Unvollständige Detektion der Fische (z. B. unterhalb einer kritischen Körpergröße) – Ermittlung der Detektionsrate durch gezieltes Einbringen geeigneter Testobjekte oder einer Stichprobe von Fischen bekannter Anzahl
- b) Überschätzung der Fischanzahl infolge Treibgut – Ermittlung der Fehldetektionsrate durch gezieltes Einbringen geeigneter Testobjekte oder einer Stichprobe von Fischen bekannter Anzahl bei vorhandenen Störsignalen

### 3. Markierung und experimentelle Methoden

Die experimentellen Methoden bilden eine heterogene Gruppe, dementsprechend sind allgemeine Aussagen zu Fehlerquellen schwierig. Konkrete methodenbezogene Informationen enthält Teil 2 - Methodenüberblick. Markierungsmethoden (Kapitel 19 und 20) bilden eine einheitliche Untergruppe. Sie sind anfällig für folgende systematische Fehler:

- a) Unvollständige Detektion der Fische (z. B. beschränkte Transponderreichweite) – Ermittlung der Detektionsrate durch gezieltes Einbringen geeigneter Testobjekte oder von Fischen bekannter Anzahl
- b) Verlust der Markierung oder Transponderausfall – Ermittlung der Ausfall- bzw. Verlustrate der Markierung
- c) Mortalität durch Markierung – Ermittlung der Mortalitätsrate infolge des Markierungsvorgangs über eine Blindprobe (Teilstichprobe von Fische, die nach Markierung ohne weitere Verwendung an Experimenten gehalten wird)

Ist ausgehend von den Befunden der erfassten physikalischen oder chemischen Parameter im Zeitraum der biologischen Fischabstiegsuntersuchung eine starke Beeinflussung der Ergebnisse durch Störgrößen (z. B. Hochwasserereignisse, sehr geringe Sauerstoffkonzentration) zu erwarten, muss dieser Effekt aus den Daten eliminiert werden. Ist keine Quantifizierung der Effektstärke möglich,

werden die betroffenen Teildatensätze herausgefiltert und im folgenden Auswertungsprozess nicht weiter berücksichtigt. Alle Veränderungen der Originaldaten sind im Bericht zu begründen und zu dokumentieren.

## 6.3 Zielparameter – Parametererläuterung und Berechnungsgrundlagen

### 6.3.1 Vorschädigungsrate

Die an einem Hindernis ankommenden Fische können aufgrund natürlicher Einflüsse (z. B. Prädation, Krankheiten, Nahrungsmangel), aber auch infolge früherer Passagen wassertechnischer Anlagen oder durch Kollision mit Schiffschrauben verletzt oder tot sein. Diese Vorschädigungen sind von den am lokalen Untersuchungsstandort erfolgten Schädigungen abzugrenzen. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der Vorschädigungsrate, die den Anteil vorgeschädigter Fische in der Grundgesamtheit der am Standort abwandernden Fische im Oberwasser der Korridore kennzeichnet. Für die Quantifizierung der Vorschäden müssen repräsentative Stichproben des Fischbestandes im Oberwasserkorridor mittels Fangmethoden (Elektrobefischung oder Netzfang) entnommen und untersucht werden.

$$VR_{Kx} = \frac{N_{OW_{vs}}}{N_{OW_{ges}}}$$

$VR_{Kx}$  = Vorschädigungsrate im Korridor x [-]

$N_{OW_{vs}}$  = Individuenzahl der aus dem Oberwasser des Korridor x abwandernden, geschädigten Fische [n]

$N_{OW_{ges}}$  = Gesamtindividuenzahl der abstiegswilligen Fische im Oberwasser des Standortes [n]

Die Vorschädigungsrate kann zeitlich stark variieren, weswegen ein enger zeitlicher Bezug zu den restlichen Untersuchungsergebnissen gegeben sein sollte.

### 6.3.2 Normierter Tagesfang

Der normierte Tagesfang ist definiert als Quotient aus der Anzahl der im Korridor abgewanderten Fische und der Fangdauer.

$$N_{nT_{Kx}} = \frac{N_{ges_{Kx}}}{t_{Kx}} \cdot t_d$$

$N_{nT_{Kx}}$  = normierter Tagesfang im Korridor x [Ind/d]

$N_{ges_{Kx}}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische [n]

$t_{Kx}$  = Fangzeit im Abstiegskorridor x [h]

$t_d$  = Normfangdauer 24 Stunden [h]

Der normierte Tagesfang kennzeichnet die Abstiegsaktivität innerhalb eines Abstiegswegs (z. B. Hauptkorridor, Abstiegskorridor). Da aus methodischen Gründen meist nicht von einer zeitlich synchronen Erfassung des Fischabstieges in allen Abstiegswegen ausgegangen werden kann, werden die Fangergebnisse jedes Korridors von der jeweiligen spezifischen Fangdauer auf eine Fangdauer von 24 Stunden normiert. Der normierte Tagesfang wird in der Literatur auch als mittlere Tagesfangzahl bezeichnet (vgl. EBEL et al. 2006 für Fischaufstiegsanlagen und EBEL 2013 für Fischabstiegsanlagen).

### 6.3.3 Durchflussnormierter Einheitsfang

Für die Berechnung des durchflussnormierten Einheitsfangs wird der normierte Tagesfang auf den mittleren Durchfluss des betreffenden Korridors während der Untersuchung bezogen.

$$N_{Q_{Kx}} = \frac{N_{nT_{Kx}}}{Q_{Kx}}$$

$N_{Q_{Kx}}$  = durchflussnormierter Einheitsfang im Korridor x [-]

$N_{nT_{Kx}}$  = normierter Tagesfang im Korridor x [Ind/d]

$Q_{Kx}$  = mittlerer Durchfluss des Korridors x während der Untersuchungsphase [ $m^3/s$ ]

Weitgehend identische durchflussnormierte Einheitsfänge in allen Korridoren wären ein Indiz für eine passive Korridornutzung der Fische, analog suspendierter Partikel in der Wassersäule. Vorhandene Unterschiede zwischen den Korridoren lassen hingegen auf die Meidung beziehungsweise Nichtauffindbarkeit oder Präferenz beziehungsweise Auffindbarkeit bestimmter Abstiegswege schließen.

Eine Normierung von Fangzahlen bezogen auf Zeit und Durchfluss liegt auch den in der Literatur beschriebenen Größen „normierte Aufstiegszahl“ (EBEL et al. 2006) und „normierte Abstiegszahl“ (EBEL 2013) zugrunde. Bei diesen Größen wurde als Durchflussbezug jedoch der langjährige Mittelwasserabfluss (MQ) gewählt, um eine überregionale Vergleichbarkeit der Migrationsintensität in Gewässern unterschiedlicher Größe auch ohne Kenntnis der Durchflüsse während der Untersuchungsphase zu ermöglichen.

Der durchflussnormierte Einheitsfang entspricht in seiner generellen fachlichen Aussage der bei Fischabstiegsuntersuchungen im Ausland üblicherweise genutzten Abundanz. Diese wird in der Einheit Individuenzahl / 1.000 m<sup>3</sup> Wasservolumen angegeben und auf eine spezifische Zeiteinheit (z. B. Stunde, Nacht, Tag, Monat) bezogen (vgl. z. B. HADDERINGH et al. 1988, PAVLOV et al. 2002). Somit handelt es sich sowohl beim durchflussnormierten Einheitsfang als auch bei der zeitnormierten Abundanz um mittlere Werte der Individuendichte für eine definierte Zeitspanne. Diese Größen ermöglichen einen direkten Vergleich der Abstiegsaktivität in unterschiedlichen Korridoren.

### 6.3.4 Abstiegsrate

Die Abstiegsrate kennzeichnet den Anteil des normierten Tagesfangs eines Korridors am zeitgleichen normierten Tagesfang des Standortes (Summe der Tagesfänge aller Korridore).

$$AR_{Kx} = \frac{N_{nT_{Kx}}}{N_{nT_{ges}}}$$

$AR_{Kx}$  = Abstiegsrate [-]

$N_{nT_{ges}}$  = normierter Tagesfang am Gesamtstandort, Summe aller Korridore ( $N_{nT_{ges}} = \sum_{x=1}^n N_{nT_{Kx}}$ )  
[Ind/d]

$N_{nT_{Kx}}$  = normierter Tagesfang im Korridor x [Ind/d]

Die Abstiegsrate ermöglicht einen relativen Vergleich der Nutzung eines Korridors am Standort auf Basis der Anzahl insgesamt in das Unterwasser abgestiegener Fische. Die Nutzungspräferenz der Oberwasserkomponenten dieser Korridore wird durch diesen Parameter nicht zwingend repräsentiert, da Fische vor ihrem Abstieg potenziell zwischen den Korridoren wechseln können oder aufgrund fehlender oder ungeeigneter Abstiegsmöglichkeiten den Gesamtstandort nicht passieren.

### 6.3.5 Korridorspezifische Schädigungsrate

Die korridorspezifische Schädigungsrate kennzeichnet den Anteil der beim Abstieg über einen Subkorridor geschädigten Fische, bezogen auf die Gesamtanzahl der über diesen Korridor abgestiegenen Fische. Der Anteil der im Oberwasser bereits vorgeschädigten Fische wird hierbei berücksichtigt. Die Schädigungsrate bezieht sich stets auf eine definierte Schädigungskategorie (vgl. Kapitel 5.3.2.6).

$$SR_{Kx} = \frac{N_{SKx} - N_{gesKx} \cdot VR}{N_{gesKx} \cdot (1 - VR)} - \left( \frac{N_{ShandlingKx}}{N_{gesKx}} \right)$$

$SR_{Kx}$  = korridorspezifische Schädigungsrate [-]

$N_{SKx}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten und geschädigten Fische [n]

$N_{gesKx}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische [n]

$N_{ShandlingKx}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten, methodenbedingt geschädigten Fische [n]

$VR$  = Vorschädigungsrate im Oberwasser [-]

### 6.3.6 Standortschädigungsrate

Die Standortschädigungsrate kennzeichnet den Anteil der beim Abstiegsversuch geschädigten Fische, bezogen auf alle Subkorridore eines Standortes, wobei wiederum der Anteil der im Oberwasser bereits vorgeschädigten Fische berücksichtigt wird. Die Schädigungsrate bezieht sich stets auf eine definierte Schädigungskategorie (vgl. Kapitel 5.3.2.6).

$$SR_{ges} = \frac{\sum_{x=1}^n (N_{SKx} - N_{gesKx} \cdot VR_{Kx})}{\sum_{x=1}^n N_{gesKx} \cdot (1 - VR_{Kx})}$$

$SR_{ges}$  = Standortschädigungsrate [-]

$VR_{Kx}$  = Vorschädigungsrate im Korridor x [-]

$N_{gesKx}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische [n]

$N_{SKx}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten und geschädigten Fische [n]



### 6.3.7 Korridorspezifische Mortalitätsrate

Die korridorspezifische Mortalitätsrate kennzeichnet den Anteil der beim Abstiegsversuch unmittelbar und verzögert getöteten Fische in einem Subkorridor. Berücksichtigt werden alle letal und präletal geschädigten Individuen.

$$MR_{Kx} = \left( \frac{N_{M_{\text{sofort}}_{Kx}} + N_{M_{\text{verzögert}}_{Kx}}}{N_{\text{ges}_{Kx}}} \right) - \left( \frac{N_{M_{\text{handling}}_{Kx}}}{N_{\text{ges}_{Kx}}} \right)$$

- $MR_{Kx}$  = korridorspezifische Mortalitätsrate [-]
- $N_{M_{\text{sofort}}_{Kx}}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische mit unmittelbar letaler Schädigung [n]
- $N_{M_{\text{verzögert}}_{Kx}}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische mit verzögert letaler Schädigung (Datengrundlage Hälterungsversuch vgl. Kapitel 5.3.2.5) [n]
- $N_{M_{\text{handling}}_{Kx}}$  = Individuenzahl der untersuchungsbedingt letal geschädigten Fischen (Datengrundlage vgl. Kapitel 5.3.2.4) [n]
- $N_{\text{ges}_{Kx}}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische [n]

Die passagebedingte Prädation ist nur durch aufwendige, gezielte zusätzliche Untersuchungen quantifizierbar, weswegen sie bei der korridorspezifischen Mortalität im Allgemeinen nicht berücksichtigt wird. Fische, die bereits vor der Passage starben, sind in der Regel an deutlichen Körpermerkmalen zu erkennen (trübe Augen, verblasste Kiemen, aufgedunsener Körper, etc.; Abbildung 16). Diese Individuen werden vorab aus dem Datensatz eliminiert. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass alle als tot aufgenommenen Fische tatsächlich aufgrund der Passage letal geschädigt wurden.



Abbildung 16: Rotfeder aus dem Hamen unterhalb einer Wasserkraftanlage mit bereits zersetzten bzw. trüben Augen, Hinweis darauf, dass dieser Fisch nicht erst während der Standortpassage gestorben ist, sondern schon geraume Zeit zuvor tot war (Foto: F. Wagner)

### 6.3.8 Standortmortalitätsrate

Die Standortmortalitätsrate kennzeichnet den Anteil der beim Abstiegsversuch getöteten Fische bezogen auf alle Subkorridore an einem Standort (vgl. „Standortbezogene Mortalität“ DUMONT et al. 2012).

$$MR_{ges} = \frac{\sum_{x=1}^n (MR_{Kx} \cdot N_{gesKx})}{N_{ges}}$$

$MR_{ges}$  = Standortmortalitätsrate [-]

$MR_{Kx}$  = korridorspezifische Mortalitätsrate [-]

$N_{gesKx}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische [n]

$N_{ges}$  = Individuenzahl der über alle Korridore abgewanderten Fische [n]

### 6.3.9 Korridorspezifische Überlebensrate

Die korridorspezifische Überlebensrate kennzeichnet den Anteil der über einen Abstiegskorridor abgestiegenen Fische, die den Unterwasserkorridor des entsprechenden Subkorridors ohne sofortige oder verzögerte letale beziehungsweise präletale Schädigung erreichen.

$$\ddot{U}R_{Kx} = 1 - MR_{Kx}$$

$\ddot{U}R_{Kx}$  = korridorspezifische Überlebensrate [-]

$MR_{Kx}$  = korridorspezifische Mortalitätsrate [-]

### 6.3.10 Standortüberlebensrate

Die Standortüberlebensrate kennzeichnet den Anteil der aus dem Oberwasser über alle Subkorridore in das Unterwasser abgestiegenen Fische, die weder sofort, noch verzögert letal oder präletal geschädigt wurden.

$$\ddot{U}R_{ges} = \frac{\sum_{x=1}^n (\ddot{U}R_{Kx} \cdot N_{gesKx})}{N_{ges}}$$

$\ddot{U}R_{ges}$  = Standortüberlebensrate [-]

$\ddot{U}R_{Kx}$  = korridorspezifische Überlebensrate [-]

$N_{gesKx}$  = Individuenzahl der über Korridor x abgewanderten Fische [n]

$N_{ges}$  = Individuenzahl der über alle Korridore abgewanderten Fische [n]

### 6.3.11 Schutzrate

Die Schutzrate kennzeichnet den Anteil der Fische, der durch eine Schutzeinrichtung an der Passage eines Gefahrenbereichs gehindert wurde und erfolgreich über eine Fischabstiegsmöglichkeit (in der Regel spezielle Fischabstiegseinrichtung) in das Unterwasser gelangte. Die Schutzrate bezieht sich stets auf die kombinierte Wirkung funktional zusammengehöriger Fischschutz- und Fischabstiegsmöglichkeiten. Fische, die an dem Eindringen in den Gefahrenbereich gehindert wurden, aber die Fischabstiegsmöglichkeit nicht auffanden, bleiben unberücksichtigt.

$$SUR = \frac{N_{gesK_{Abstieg}}}{N_{gesK_{Gefahr+Abstieg}}}$$

SUR	=	Schutzrate an einer Fischschutzeinrichtung mit Fischabstiegseinrichtung [-]
$N_{gesK_{Abstieg}}$	=	Individuenzahl über die Fischabstiegseinrichtung(en) abgewanderten Fische [n]
$N_{gesK_{Gefahr+Abstieg}}$	=	Gesamtindividuenzahl der trotz Fischschutzeinrichtung(en) über den Gefahrenbereich und der über die Fischabstiegseinrichtung(en) abgewanderten Fische [n]

Es werden vergleichbare Parameter in EBEL (2013) mit „Effizienz“ und in DUMONT et al. (2012) mit „Effizienz von Fischabstiegsanlagen“ eingeführt, um das prozentuale Verhältnis der Anzahl der über einen Bypass abgewanderten Fische zur Gesamtzahl der über Bypass und Turbine(n) abgestiegenen Fische anzugeben.

### 6.3.12 Körpergrößenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit

Die Schutzrate an mechanischen Barrieren wird neben den physikalischen Bedingungen am Hindernis (z. B. Fließgeschwindigkeit, Anströmwinkel, Wassertemperatur) auch durch das Verhältnis der Körpergröße der Fische zu den Spaltmaßen der Fischschutzeinrichtung beziehungsweise die Sensitivität der Tiere gegenüber verhaltensbeeinflussenden Barrieren bestimmt. Je nach Art und Ausrichtung der Barriere (Lochbleche, vertikale / horizontale Stäbe, Maschen) sind entweder die Körperbreite oder die Körperhöhe für die mechanische Schutzfunktion von vorrangiger Bedeutung. Da diese Körperdimensionen mit der Körperlänge in Zusammenhang stehen (Definitionen vgl. EBEL 2013), ist auch für letztgenannte eine Beziehung zur mechanischen Barrierewirkung ableitbar. Zu beachten sind hierbei die art- und altersspezifischen Körperproportionen der Tiere. Neben der mechanischen Schutzfunktion verhindern gegebenenfalls auch verhaltensbedingte Meidungsreaktionen der Fische die Passage von Barrieren. Dies gilt neben physisch durchlässigen mechanischen Barrieren insbesondere für Verhaltensbarrieren, wie elektrische, akustische oder andere Fischscheueinrichtungen sowie Schwimmbalken oder Tauchwände (letztere zwei nur für oberflächennah abwandernde Arten).

Nach EBEL (2011, 2013 und 2014a) kann die größenselektive Wirkung von Fischschutzvorrichtungen durch logistische Regressionsanalyse beschrieben werden. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren der nicht-linearen Regression, welches die Abhängigkeit einer dichotomen, diskreten (Ziel-) Variable (hier: Schutz ja / Schutz nein) von einer metrischen Prädiktorvariable (hier: Körpergröße) beschreibt. Die dichotome Variable wird wie folgt codiert: Schutz ja = 1, Schutz nein = 0. Die Funktionswerte des resultierenden Modells repräsentieren somit Wahrscheinlichkeiten, die dem Intervall

zwischen 0 (Schutzwahrscheinlichkeit = 0 %) und 1 (Schutzwahrscheinlichkeit = 100%) angehören. Maßzahlen für die Modellgüte sind Signifikanzniveau, Chi-Quadrat-Wert und Devianz. Durch logistische Regressionsmodelle wird die biologische Wirkung von Schutzsystemen quantitativ und auf einer für Vergleichszwecke geeigneten Basis charakterisiert. Somit besitzen derartige Modelle eine zentrale Bedeutung für die Weiterentwicklung von Schutzsystemen (EBEL 2014b).

Die als Eingangsparameter der Modellierung fungierende Körpergröße wird in den nachstehenden Gleichungen durch Körperbreite, Körperhöhe und Körperlänge spezifiziert.

### Körperbreitenspezifische Schutzrate

$$P(B) = \frac{e^{-a+bB}}{1 + e^{-a+bB}}$$

P(B) = Schutzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Körperbreite (B) [als Index zw. 0 und 1]

B = maximale Körperbreite des Fischquerschnitts [cm]

a = funktionsabhängiger Koeffizient 1 [-]

b = funktionsabhängiger Koeffizient 2 [-]

### Körperhöehenspezifische Schutzrate

$$P(H) = \frac{e^{-a+bH}}{1 + e^{-a+bH}}$$

P(H) = Schutzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Körperhöhe (H) [als Index zw. 0 und 1]

H = maximale Körperhöhe Fischquerschnitt [cm]

a = funktionsabhängiger Koeffizient 1 [-]

b = funktionsabhängiger Koeffizient 2 [-]

## Körperlängenspezifische Schutzrate

$$P(L) = \frac{e^{-a+bL}}{1 + e^{-a+bL}}$$

$P(L)$  = Schutzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Körperlänge ( $L$ ) [als Index zw. 0 und 1]

$L$  = Körperlänge (Total- oder Standardlänge) [cm]

$a$  = funktionsabhängiger Koeffizient 1 [-]

$b$  = funktionsabhängiger Koeffizient 2 [-]

### 6.3.13 Artenselektivität von Abstiegskorridoren

Der Parameter Artenselektivität von Abstiegskorridoren kennzeichnet den Anteil der im Oberwasserkorridor des entsprechenden Subkorridors vorhandenen Arten mit abstiegswilligen Individuen<sup>1</sup>, welcher während der Fischabstiegsuntersuchung nicht über eine Fischabstiegseinrichtung oder einen anderen Abstiegskorridor in das Unterwasser gelangte. Eine analoge Definition wird nach EBEL et al. (2006) genutzt, um die Artenselektivität von Fischaufstiegsanlagen zu charakterisieren.

$$AS = 1 - \frac{AZ_{K_{\text{Abstieg/Ow}}}}{AZ_{K_{\text{Abstieg}}}}$$

$AS$  = Artenselektivität [-]

$AZ_{K_{\text{Abstieg/Ow}}}$  = Anzahl der über einen Abstiegskorridor abgestiegenen Arten mit Nachweis des Vorkommens im Oberwasser [n]

$AZ_{K_{\text{Abstieg}}}$  = Anzahl der abstiegswilligen Arten im Oberwasser [n]

<sup>1</sup>Die Erfassung der abstiegswilligen Arten erfolgt mittels Hamen- bzw. Reusenfängen im Oberwasser. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Ergebnisse von zeitgleich erfolgenden Untersuchungen an weiteren Abstiegskorridoren zu nutzen, sofern davon ausgegangen werden kann, dass das hier erfasste Artenspektrum alle abstiegswilligen Arten des Oberwassers umfasst.

### 6.3.14 Schutzsystemableitrate

Die Schutzsystemableitrate kennzeichnet den Anteil der abstiegswilligen Fische im Oberwasser eines Hauptkorridors mit Fischschutzsystem, der durch eine Fischschutzeinrichtung an der Passage eines Gefahrenbereichs gehindert wird und anschließend tatsächlich über eine Fischabstiegseinrichtung in das Unterwasser gelangt. In der Schutzsystemableitrate werden also im Gegensatz zur Schutzrate zusätzlich diejenigen abwandernden Fische in einem Korridor berücksichtigt, die zwar durch das Schutzsystem vor dem Eindringen in den Gefahrenbereich abgehalten wurden, jedoch wegen fehlender oder ungeeigneter Abstiegsmöglichkeiten nicht in das Unterwasser gelangen konnten.

Die Anzahl der im Oberwasser stromabwärts wandernden Fische ist mittels Netzfang (Kapitel 12 und 13), Markierung und Wiederfang (Kapitel 20) oder geeigneter Beobachtungsverfahren wie Single- oder Split- Beam-Sonar (Kapitel 15) zu ermitteln. In der Regel ist von der Beprobung eines repräsentativen Teilquerschnitts auf den Gesamtkorridor zu schließen.

$$\text{SALR} = \frac{N_{\text{gesKAbstieg}}}{N_{\text{OWHK}}}$$

SALR = Systemableitrate [n]

$N_{\text{gesKAbstieg}}$  = Individuenzahl der über die Fischabstiegseinrichtung(en) abgewanderten Fische [n]

$N_{\text{OWHK}}$  = Gesamtindividuenzahl der abstiegswilligen Fische im Oberwasser des Hauptkorridors [n]

### 6.3.15 Standortbezogene Ableitrate

Die standortbezogene Ableitrate kennzeichnet den Anteil der abstiegswilligen Fische im Oberwasser eines Standortes, der erfolgreich in das Unterwasser gelangt. In der standortbezogenen Ableitrate werden auch diejenigen Fische berücksichtigt, die versuchten, über einen Korridor abzusteigen, aber durch ein Schutzsystem vom Eindringen in den Gefahrenbereich abgehalten wurden und wegen fehlender oder ungeeigneter Abstiegsmöglichkeiten während der Untersuchungszeit nicht in das Unterwasser gelangten. Voraussetzung für die Bestimmung der standortbezogenen Ableitrate ist die Ermittlung der Anzahl abwandernder Fische im Oberwasser mittels Netzfang (Kapitel 12 und 13) oder geeignete Beobachtungsverfahren wie Single- oder Split-Beam-Sonar (Kapitel 15). In der Regel ist von der Beprobung eines repräsentativen Teilquerschnitts auf den Gesamtkorridor zu schließen.

$$ALR = \frac{N_{ges}}{N_{OW_{ges}}}$$

ALR = Standortbezogene Ableitrate [-]

$N_{ges}$  = Individuenzahl aller am Standort in das Unterwasser gelangten Fische [n]

$N_{OW_{ges}}$  = Gesamtindividuenzahl der abstiegswilligen Fische im Oberwasser des Standortes [n]

Die Gültigkeit der standortbezogenen Ableitrate beschränkt sich auf die Untersuchungszeit und die dabei erfassten Abflusszustände. Eine Hochrechnung kurzer Untersuchungsphasen auf ein ganzes Jahr ist nur zulässig, sofern das gesamte Abflussspektrum am Standort und die Hauptwanderphasen der Fische repräsentativ beprobt werden konnten. Die standortbezogene Ableitrate ermöglicht den relativen Vergleich verschiedener Standorte oder desselben Standortes nach Maßnahmenumsetzung. Voraussetzung dafür sind ähnliche Abflusszustände während der einzelnen Untersuchungsphasen sowie eine repräsentative Erfassung der Hauptwanderphasen.



### 6.3.16 Einschwimmrate

Der Parameter Einschwimmrate kennzeichnet den Anteil der Fische, die aus einem Beobachtungsbereich im Oberwasser eines Subkorridors in einen Abstiegskorridor eingeschwommen sind. Voraussetzung für die Ermittlung einer Einschwimmrate ist die Erfassung des Fischverhaltens im Oberwasser im Nahbereich einer Einschwimmöffnung eines Abstiegskorridors mittels Imaging Sonar (Kapitel 16) oder Kameras (Kapitel 17), in Ausnahmefällen (oberflächennaher Abstieg, Sichtscheiben) auch mittels direkter Beobachtung.

$$ER = \frac{N_E}{N_{OW}}$$

ER = Einschwimmrate [-]

$N_E$  = Anzahl der aus dem Beobachtungsbereich im Oberwasser in den Abstiegskorridor eingeschwommenen Individuen [n]

$N_{OW}$  = Gesamtanzahl der im Beobachtungsbereich registrierten Individuen [n]

### 6.3.17 Suchrate

Der Parameter Suchrate kennzeichnet den Anteil der innerhalb eines Beobachtungsbereiches im Oberwasser eines Subkorridors mittels Imaging Sonar (Kapitel 16) oder Kameras (Kapitel 17), gegebenenfalls auch durch Direktbeobachtung erfassten Individuen, die sich eine definierte Mindestdauer im Bereich aufhielten, die vorhandene(n) Einstiegsöffnung(en) in den Abstiegskorridor jedoch nicht passierten.

$$SR = \frac{N_S}{N_{OW}}$$

SR = Suchrate [-]

$N_S$  = Anzahl der im Beobachtungsbereich nicht in den Abstiegskorridor eingeschwommener Individuen, die sich eine definierte Mindestdauer im Beobachtungsbereich aufhielten [n]

$N_{OW}$  = Gesamtanzahl der im Beobachtungsbereich registrierten Individuen [n]

### 6.3.18 Fluchtrate

Der Parameter Fluchtrate kennzeichnet den Anteil der innerhalb eines Beobachtungsbereiches im Oberwasser eines Subkorridors mittels Imaging Sonar (Kapitel 16) oder Kameras (Kapitel 17), gegebenenfalls auch durch Direktbeobachtung erfassten Individuen, die sich der Einstiegsöffnung eines Abstiegskorridors bis zur Wahrnehmbarkeitsschwelle annäherten und eine deutliche Fluchtreaktion weg vom Einstiegsbereich in das Oberwasser zeigten.

$$FR = \frac{N_F}{N_{NE}}$$

FR = Fluchtrate [-]

$N_F$  = Anzahl der im Beobachtungsbereich in die Nähe der Einstiegsöffnung gelangten Individuen, die eine deutliche Fluchtreaktion zeigten [n]

$N_{NE}$  = Gesamtanzahl der Individuen, die sich der Einstiegsöffnung bis auf eine kritische Distanz näherten, in welcher der Abstiegskorridor für die Fische wahrnehmbar wird [n]

### 6.3.19 Mittlere Suchzeit

Die mittlere Suchzeit kennzeichnet den Mittelwert des Zeitraums zwischen dem Eintreffen der Fische in einem Beobachtungsbereich im Oberwasser eines Subkorridors und ihrem Einschwimmen in die dazugehörige Einschwimmöffnung des Abstiegskorridors.

$$Mt_S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{OW_i} - t_{E_i}$$

$Mt_S$  = mittlere Suchzeit [s]

$t_{OW_i}$  = Zeitpunkt des Eintreffens des i-ten Fisches im Beobachtungsbereich [hh:mm:ss]

$t_{E_i}$  = Zeitpunkt des Eintreffens des i-ten Fisches in den Abstiegskorridor [hh:mm:ss]

### 6.3.20 Mittlere Migrationsverzögerung

Die mittlere Migrationsverzögerung kennzeichnet die Differenz der Migrationsgeschwindigkeit zwischen einer repräsentativen Stichprobe von Fischen innerhalb einer Referenzstrecke im standortunbeeinflussten Gewässer und derselben Fische während der Standortpassage. Diese Geschwindigkeitsdifferenz wird auf die standortbeeinflusste Fließgewässerstrecke bezogen, so dass die Zeitspanne resultiert, um die sich die Migration am Standort im Mittel verzögert. Für die Ermittlung der Migrationsgeschwindigkeit eignen sich mithilfe automatischer Erfassungssysteme detektierbare, transpondierte Tiere oder die Methode der Telemetrie (Kapitel 19).

$$MV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{s_{\text{Stand}}}{v_{\text{nat}_i} - v_{\text{Stand}_i}}$$

MV = mittlere Migrationsverzögerung [s]

$s_{\text{Stand}}$  = Länge der standortbeeinflussten Fließstrecke [m]

$v_{\text{Stand}_i}$  = Migrationsgeschwindigkeit des i-ten Fisches innerhalb der standortbeeinflussten Fließstrecke [m/s]

$v_{\text{nat}_i}$  = Migrationsgeschwindigkeit des i-ten Fisches in der natürlichen Fließstrecke [m/s]

## 7 Identifizierung von Defiziten und Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung des Fischabstieges und des Fischschutzes

Sind aus den Ergebnissen der standörtlichen Untersuchung Funktionsdefizite ableitbar, werden Optimierungsvorschläge zur Beseitigung oder zumindest zur Reduktion der negativen Effekte erarbeitet. Dies geschieht unter Berücksichtigung des jeweils aktuellen Standes des Wissens und der Technik.

Optimierungsvorschläge sollten nicht erst nach Abschluss der standörtlichen Untersuchung, sondern bereits nach Vorliegen der Ergebnisse der technisch-hydraulischen Charakterisierung unterbreitet werden (Abbildung 17). Sobald aus den Untersuchungsergebnissen erste Belege für Funktionsdefizite abzuleiten sind, sollten die zuständigen Behörden und der Anlagenbetreiber informiert werden, um Optimierungsmaßnahmen möglichst noch im Zuge der standörtlichen Untersuchung durchführen und evaluieren zu können.

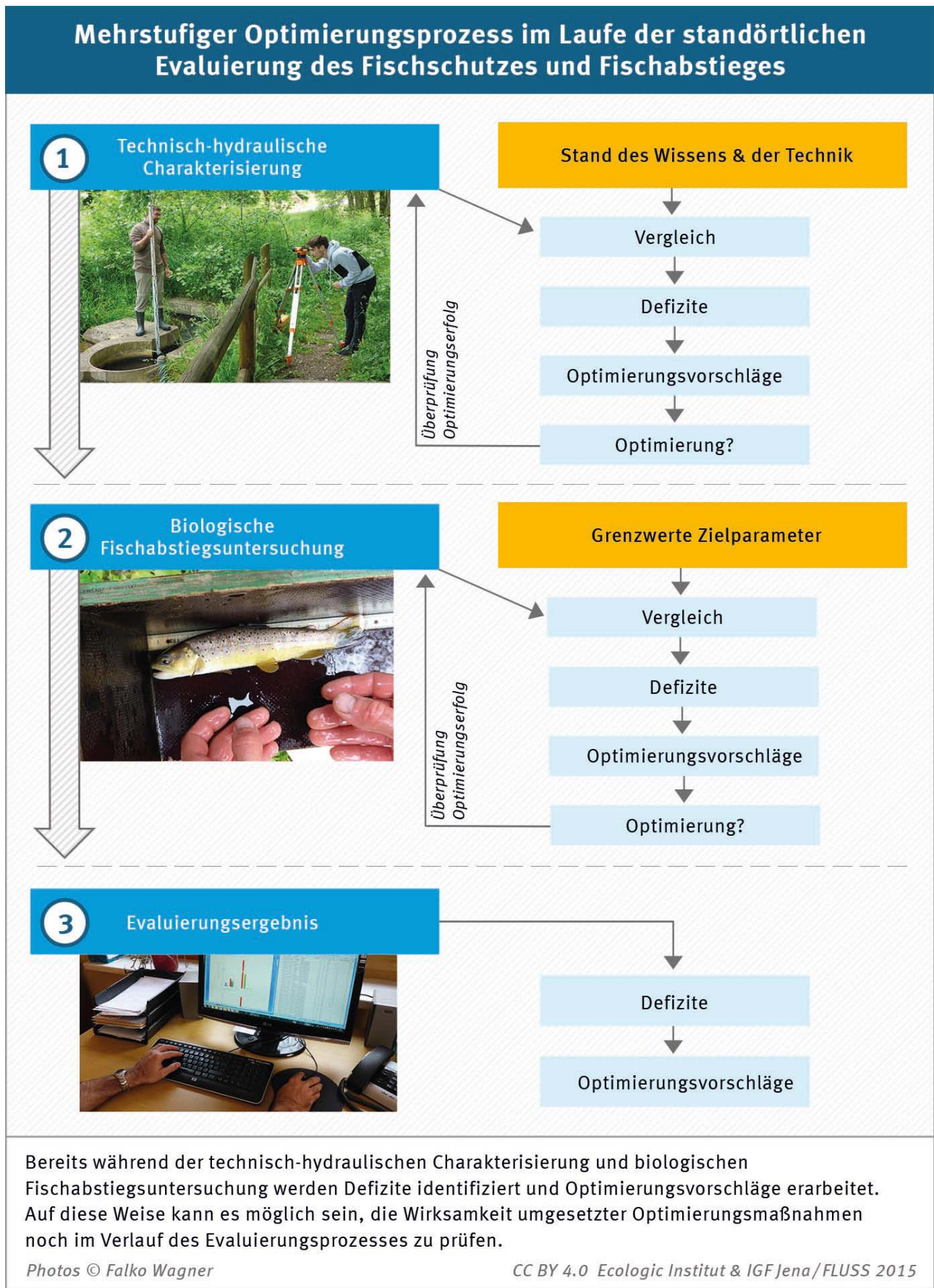


Abbildung 17: Mehrstufiger Optimierungsprozess im Laufe der standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges

### *Schritt 1 – Optimierungsvorschläge aus der technisch-hydraulische Charakterisierung*

Die Ergebnisse der technisch-hydraulischen Charakterisierung bilden die Grundlage für eine Wirkungsprognose der Fischschutz- und Fischabstiegeeinrichtungen, die auf einem Vergleich der standörtlichen Verhältnisse mit dem aktuellen Stand des Wissens und der Technik beruht. Eindeutig ableitbare Defizite sind dem Anlagenbetreiber bereits in diesem Stadium mitzuteilen und auf Basis erarbeiteter Optimierungsvorschläge, möglichst noch vor Beginn der biologischen Fischabstiegsuntersuchung, zu beseitigen. Folgenden Aspekten kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu:

1. Typ und geometrische Eigenschaften von Fischschutzeinrichtungen
2. Anströmgeschwindigkeiten und -winkel von Fischschutzeinrichtungen
3. Positionierung der Einstiegsöffnungen von Fischabstiegsanlagen
4. Dimensionierung und Beaufschlagung von Fischabstiegsanlagen
5. hydraulische Bedingungen in und vor Fischabstiegsanlagen

### *Schritt 2 – Optimierungsvorschläge aus der biologischen Fischabstiegsuntersuchung*

Anhand der Ergebnisse der biologischen Fischabstiegsuntersuchung und der Befunde der technisch-hydraulischen Charakterisierung wird die Anlagenfunktion auf Defizite geprüft. Falls möglich, sollten Nachbesserungen bereits während der Fischabstiegsuntersuchung erfolgen, um deren Wirksamkeit unmittelbar, also bereits im Zuge der laufenden Untersuchung, zu überprüfen.

### *Schritt 3 – Evaluierungsergebnis*

Abschließende Optimierungsvorschläge zu gegebenenfalls noch erforderlichen Funktionsverbesserungen werden aus den Evaluierungsergebnissen abgeleitet und im Gutachten formuliert. Es kann erforderlich sein, die Wirksamkeit dieser Verbesserungsmaßnahmen im Rahmen einer ergänzenden biologischen Funktionskontrolle nachträglich zu überprüfen.



Eine Verzögerung der Migration steigert den Energiebedarf der Fische und bewirkt Stress, was sich letztendlich negativ auf den Reproduktionserfolg auswirken kann (vgl. Kapitel 2.2). Eine zuverlässige Quantifizierung dieser Effekte auf Basis wissenschaftlich fundierter Grundlagen ist aktuell nicht möglich, so dass diese Aspekte vorerst unberücksichtigt bleiben müssen.

Im Rahmen von Durchgängigkeitsbewertungen wurde der Parameter Erreichbarkeitsrate eingeführt (ANDERER et al. 2008, BAUERFEIND et al. 2011). Um eine bestimmte Gewässerstelle beziehungsweise ein Zielhabitat zu erreichen, muss eine gegebene Anzahl von Standorten mit einer jeweiligen Standortüberlebensrate überwunden werden. Für den betreffenden Standort ist dabei zu berücksichtigen, dass nur ein Teil der Fische seine Wanderung im Unterwasser fortsetzen kann. Der letztlich im Zielhabitat ankommende Anteil entspricht der Erreichbarkeitsrate. Diese Rate bildet die Grundlage für die Ermittlung der Gesamtüberlebensrate (EBEL 2008a, ANDERER et al. 2008, BAUERFEIND et al. 2011, EBEL 2013). Sie beschreibt den Anteil aller im Gewässersystem befindlichen Individuen, der einen gemeinsamen Zielbereich im Gewässersystem sicher erreichen kann.

Unberücksichtigt bleibt der Anteil der Fische, die standortbezogen zwar nicht geschädigt, aber an der Abwanderung gehindert wurden und das Unterwasser nicht erreichten. Zusätzlich zur Gesamtüberlebensrate für das Gewässersystem (EBEL 2008a, 2013) wird darum der Parameter Systemmigrationsrate eingeführt. Die Kenntnis der Anzahl der pro Teilabschnitt absteigenden Individuen ist für deren Berechnung nicht erforderlich.

Die Gesamtüberlebensrate für das Gewässersystem und die Systemmigrationsrate sind uneingeschränkt auf diadrome Arten anwendbar, da bei diesen die Notwendigkeit zur Passage aller zwischen limnischem und marinem Teilhabitat gelegenen Standorte vorausgesetzt werden kann. Die Nutzung für potamodrome Arten setzt die Kenntnis darüber voraus, wo genau die stromab gelegenen Zielhabitate liegen und welcher standortbezogene Individuenanteil welches Habitat nutzt.

## 8.2 Parameter Gesamtüberlebensrate nach EBEL (2008a)

Entscheidend für populationsbiologische Effekte ist die additive Wirkung aller innerhalb eines Migrationsareals befindlichen Einzelstandorte. Für die Bilanzierung der Überlebensrate aus einem Gewässersystem wird die Gesamtüberlebensrate nach EBEL (2008a) verwendet. Diese berücksichtigt, dass die Überlebensraten an jedem Standort verschieden sein können und aus jeder Stauhaltung unterschiedlich große Teilbestände stromabwärts abwandern (vgl. auch Definitionsskizze in EBEL 2013).

$$\dot{U}_{\text{ges}} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{\text{STAU}_i, \text{VOR}} \cdot \prod_{j=i}^1 \dot{U}_{\text{WKA}_j})}{\sum_{i=1}^n N_{\text{STAU}_i, \text{VOR}}} \cdot 100$$

$\dot{U}_{\text{ges}}$  = Gesamtüberlebensrate im Unterwasser der untersten Wasserkraftanlage [%]

$\dot{U}_{\text{WKA}_j}$  = Überlebensrate am j-ten Wasserkraftanlagen-Standort [als Index zw. 0 und 1]

$N_{\text{STAU}_i, \text{VOR}}$  = Individuenzahl in der i-ten Stauhaltung vor der Abwanderung [n]

## 8.3 Systemmigrationsrate

Wie die Gesamtüberlebensrate (EBEL 2008a) kennzeichnet die Systemmigrationsrate den Anteil der abwanderwilligen Fische, welcher ein räumlich abgegrenztes Gewässersystem (Migrationsareal) stromab lebend verlässt. Sie ist bei katadromen Arten während der Laichwanderung sowie auf juve-



nile anadrome Arten anwendbar. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass die Fische das gesamte Gewässersystem Richtung Meer durchwandern, ohne in Seitengewässer einzuschwimmen oder vorher abzulaichen. Ergänzend zur Gesamtüberlebensrate wird zusätzlich berücksichtigt, dass während des Bezugszeitraumes pro Standort nicht alle Fische eine Abstiegsmöglichkeit auffinden und in das Unterwasser gelangen.

Die Individuenzahl potenziell abwandernder Fische je Teilstrecke (i) wird nicht als unmittelbarer Eingangsparameter vorausgesetzt. Stattdessen wird ein auf das Gesamtsystem bezogener Populationsindex eingeführt, der den relativen Anteil abwanderwilliger Fische zwischen zwei Standorten beziehungsweise oberhalb des obersten Standortes, bezogen auf den Gesamtbestand der im betrachteten System absteigenden Fische, kennzeichnet. Dieser Bestandsindex nimmt Werte zwischen 0 und 1 an (0 = Zielart im Teilabschnitt nicht vorhanden; 1 = alle Individuen der Zielart wandern aus betreffendem Teilabschnitt ab). Über den Bestandsindex erfolgt eine relative Wichtung der Teilstrecken entsprechend des Anteils des aus ihnen potenziell stromabwärts wandernden Bestandsanteils. Der Bestandsindex ist eine Hilfsgröße, die auf Basis der Habitatqualität, der Arealgröße oder der Ergebnisse von Bestandsuntersuchungen bilanziert wird.

Die Position eines Teilabschnitts innerhalb der Standortkette bestimmt, wie viele und welche Standorte (j, Abbildung 18) von den aus dem jeweiligen Teilabschnitt (i, Abbildung 18) absteigenden Fischen stromab passiert werden müssen. Jeder bis zum Zielhabitat (Abbildung 18) zu überwindende Standort (j) besitzt eine spezifische Überlebensrate, und an jedem gelangt nur ein Anteil von Fischen aus dem Oberwasser in das Unterwasser, weswegen die standortspezifische Ableitrate berücksichtigt werden muss. Die Berechnung der Systemmigrationsrate erfolgt nach folgendem Ansatz:

$$SMR = \sum_{i=1}^n \left( PI_i \prod_{j=1}^i \dot{U}R_{gesj} \cdot ALR_j \right)$$

SMR = Systemmigrationsrate im Unterwasser der untersten Wasserkraftanlage (bei n Anlagen im betrachteten System) [-]

PI<sub>i</sub> = Bestandsindex des i-ten Teilabschnitts zwischen zwei Standorten [als Index zw. 0 und 1]

ÜR<sub>gesj</sub> = Standortüberlebensrate des j-ten Standortes [-]

ALR<sub>j</sub> = Ableitrate am j-ten Standortes [-]

Die Gültigkeit der Systemmigrationsrate beschränkt sich auf die Untersuchungszeit und die dabei erfassten Abflusszustände. Eine Hochrechnung kurzer Untersuchungsphasen auf ein ganzes Jahr ist nur zulässig, sofern das gesamte Abflussspektrum am Standort und die Hauptwanderphasen der Fische repräsentativ beprobt werden konnten. Die Systemmigrationsrate ermöglicht einen relativen Vergleich des in einem Zielgebiet ankommenden Fischbestandsanteils vor und nach Veränderungen der ökologischen Durchgängigkeit des Gewässersystems. Voraussetzung dafür sind vergleichbare Abflusszustände während der Untersuchungsphasen sowie eine repräsentative Erfassung der gleichen Wanderungszeiten (Hauptwanderphasen).

## 9 Dokumentation

Eine einheitliche Gliederung der Dokumentation standörtlicher Evaluierungen erleichtert die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Untersuchungen. Die Berücksichtigung der in diesem Kapitel vorgegebenen inhaltlichen Aspekte gewährleistet, dass alle relevanten Gutachtenkomponenten enthalten sind.

### 9.1 Beschreibung Untersuchungsgewässer

Informationen zum Charakter des Untersuchungsgewässers bilden eine Voraussetzung für das Verständnis der standörtlichen Evaluierungsziele sowie die Einschätzung einer Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen auf andere Standorte. Folgende gewässerbeschreibenden Informationen sind daher obligatorisch anzugeben.

#### 9.1.1 Allgemeiner Gewässercharakter

Zur Beschreibung des allgemeinen Gewässercharakters sollte die Dokumentation mindestens folgende Angaben enthalten:

1. Gewässertyp (POTTGIESSER et al. 2004)
2. Gewässerregion (z. B. nach HUET 1949)
3. Höhenlage
4. Gewässermorphologie (Gewässerstrukturgüte und Besonderheiten)
5. Geografische Lage des Standortes im Gewässerverlauf
6. Einzugsgebiet

#### 9.1.2 Kurzcharakterisierung des Standorts

Die Kurzcharakterisierung des Standortes sollte mindestens folgende Angaben enthalten:

1. Genaue geografische Position des Standorts (Koordinatenangabe mit geografischem Bezugssystem)
2. Funktion der Anlage am Standort
3. Historische Daten, wenn bekannt

#### 9.1.3 Fischökologische Charakterisierung des Gewässers am Standort

Die fischökologische Charakterisierung des Standortes sollte mindestens folgende Angaben enthalten:

1. Fischfaunistische Referenz (Referenzzönose nach WRRL)
2. ökologischer Zustand der realen Fischfauna (Abundanz, Fischarten, Altersstruktur)
3. Angabe bekannter Ursachen falls Beeinträchtigung des Fischbestandes gegeben
4. Relevanz des Gewässers als Wanderkorridor für diadrome Arten
5. Lage und Entfernung der nächstgelegenen, potenziellen Laichhabitats von Zielarten
6. gegebenenfalls anhängige oder geplante Artenschutz- bzw. Wiederansiedlungsprojekte

## 9.2 Untersuchungsmethodik

### 9.2.1 Technisch-hydraulische Charakterisierung

Es werden alle im Rahmen der technisch-hydraulischen Charakterisierung verwendeten Methoden erläutert. Die Beschreibungen der Messmethodik und Messdurchführung müssen so ausführlich sein, dass eine Wiederholung der Messungen durch Dritte potenziell möglich wäre. Obligatorische Angaben zur Untersuchungsmethodik sind:

1. Messmethoden
2. Messgeräte
3. Messzeitpunkte /-zeiträume (mit Angaben zum Durchfluss und Wasserspiegel)
4. Lokalisierung der Messtransekte und Messpunkte
5. eingesetzte Berechnungsverfahren

### 9.2.2 Biologische Fischabstiegsuntersuchung

Die Untersuchungsmethoden werden so dargestellt, dass der Untersuchungsvorgang für Dritte reproduzierbar ist. Einschränkungen der Aussagefähigkeit aufgrund technischer Grenzen der Untersuchungsmethoden werden benannt. Art und Umfang der notwendigen technischen Angaben und Erläuterungen sind abhängig von den jeweiligen Untersuchungsmethoden. Obligatorische Angaben zur Untersuchungsmethodik sind:

1. Technische Beschreibung der Fang- und Untersuchungsgeräte
2. Messzeitpunkte /-zeiträume
3. Messorte
4. Berechnungsverfahren

#### 9.2.2.1 Fangmethoden

Beim Einsatz von Fanggeräten, wie z. B. Hamen oder Reusen (Kapitel 12 und 13), treten art- und gröÙenselektive Effekte auf, die die nachweisbare Gesamtindividuenzahl beeinflussen. Darüber hinaus sind gerätebedingte Schädigungen zu berücksichtigen. Es ist darum erforderlich, die technischen Merkmale der Fanggeräte sowie die fangbegleitenden Rahmenbedingungen stets detailliert anzugeben. Folgende Parameter sind dabei von großer Bedeutung:

1. Länge des Fangnetzes
2. Position des Fanggerätes (Korridorbezeichnung, Position der Öffnung des Fangerätes im Korridor, Position Leerungsöffnung)
3. Breite, Höhe der Fangöffnung
4. Maschen- bzw. Lochweiten
5. Material des Fanggerätes
6. Leerungs- und Wartungsintervalle
7. Fangzeiträume
8. fangbeeinflussende abiotische sowie technisch-hydraulische Parameter während der Untersuchungsphasen (vgl. Kapitel 5.2)
9. Methodik der Validitätsprüfung (vgl. Kapitel 6.2) und notwendige Korrekturschritte

### 9.2.2.2 Berührungsfreie Methoden

Bei berührungsfreien Untersuchungsmethoden wie Imaging Sonar (Kapitel 16), Echolotsystemen (Kapitel 15) und Kamerasystemen (Kapitel 17) werden angegeben:

1. Bezeichnung der Detektionsgeräte (Typ, Hersteller)
2. Position der Detektionsgeräte
3. Reichweite, maximale und minimale Detektionsentfernung
4. Untersuchungsraum
5. Untersuchungszeit und -dauer
6. gegebenenfalls Bilderfassungs- und Auswertungssoftware
7. methodenspezifische, detektionsbeeinflussende sowie technisch-hydraulische Parameter während der Untersuchungsphasen (vgl. Kapitel 5.2)
8. Methodik zur Validitätsprüfung (vgl. Kapitel 6.2) und notwendige Korrekturschritte

### 9.2.2.3 Markierungs- und experimentelle Methoden

Kommen Telemetrie beziehungsweise Transponder zum Einsatz (Kapitel 19) oder werden gezielte Experimente durchgeführt (z. B. Kapitel 21), sind anzugeben:

1. verwendete Fischarten und -größen
2. Untersuchungszeit und -dauer
3. Stichprobengröße
4. technischen Daten und Details der Untersuchungstechnik
5. räumliche Angaben zum Experiment (z. B. Injektionsort, Wiederfangort)
6. methodenbeeinflussende, abiotische sowie technisch-hydraulische Parameter während der Untersuchungsphasen (vgl. Kapitel 5.2)
7. Methodik der Validitätsprüfung (vgl. Kapitel 6.2) und notwendige Korrekturschritte

### 9.2.2.4 Erfassung von Verletzungen und Schädigungen bei Fischen

Werden im Rahmen der Untersuchung Aussagen zu Fischschäden getroffen, ist darzustellen, welcher Individuenanteil durch die anlagenbedingten Wirkungen des betreffenden Standorts und welcher Anteil aufgrund anderer Ursachen verletzt oder getötet wurde. Dabei werden drei Kategorien unterschieden:

1. Vorschäden (durch andere Standorte, Schiffschrauben oder Prädatoren), Krankheiten (Verpilzungen, Bakterienbefall, etc.) (vgl. Kapitel 5.3.2)
2. methodenbedingte Fischschäden (vgl. Kapitel 5.3.2)
3. anlagenbedingte Schäden

Die Verletzungen werden entsprechend Kapitel 5.3.2.6 kategorisiert. Die Fische werden definierten Verletzungskategorien zugeordnet, wobei zusätzlich anzugeben ist, ob die Tiere lebend oder verendet erfasst wurden. Da auch überlebende, nur leicht verletzte Fische möglicherweise eine geringere Fitness aufweisen, sollte die Dokumentation auch quantitative Daten zu dieser Gruppe enthalten.

Es wird außerdem mindestens angegeben, welche der gehälterten Tiere (Artangabe, Köperlänge) zeitverzögert verendeten und welcher Verletzungskategorie diese angehörten. Diese Daten bilden die Grundlage für die in der Dokumentation anzugebende verzögerte Mortalität.

### 9.3 Ergebnisse der technisch-hydraulischen Charakterisierung

In der Dokumentation sind die Ergebnisse der entsprechend Kapitel 5.1 durchgeführten technisch-hydraulischen Charakterisierung enthalten. Die Messergebnisse und zugrunde liegende Betriebszustände werden im Kontext relevanter allgemeiner oder standortspezifischer Empfehlungen und Grenzwerte präzise und vollständig dargestellt. Größere Messdatenreihen (z. B. tägliche Abflusswerte) werden im Anhang beigefügt. Entsprechend des im Kapitel 5.1 erläuterten methodischen Ablaufes der technisch-hydraulischen Charakterisierung werden die Ergebnisse inhaltlich wie folgt gegliedert.

1. Räumliche Standortcharakterisierung
2. Allgemeine hydrologische Standortcharakterisierung
3. Abflussaufteilung am Standort auf Einzelkorridore
4. Charakterisierung der Querbauwerk am Standort
5. Kenngrößen von Treibwerken und Pumpen
6. Kenngrößen von Fischschutzeinrichtungen
7. Kenngrößen von Bypässen, Fischrückführungssystemen, Fischaufstiegsanlagen

### 9.4 Ergebnisse der biologischen Fischabstiegsuntersuchung

Die Dokumentation enthält die komplette Datengrundlage. Entsprechend den in Kapitel 6.1 erläuterten Auswertungsschritten wird der Auswertungsprozess nachvollziehbar dokumentiert. Die Gliederung der Auswertungsergebnisse gemäß den nachfolgend aufgelisteten Auswertungsschritten gewährleistet eine gute Übersichtlichkeit.

1. Berechnung der Untersuchungsparameter unter Berücksichtigung methodenspezifischer Korrekturschritte
2. Berechnung der Basisparameter
3. Berechnung der Zielparameter
4. Vergleich der realen Werte für die Zielparameter mit vorab festgelegten Grenzwerten
5. Aussagen zu den Untersuchungsaspekten

Für die Bereitstellung umfangreicher Rohdaten einzelner Untersuchungsparameter eignet sich der Anhang der Dokumentation. Ansonsten werden alle Daten im Ergebnisteil dargestellt und bevorzugt in Tabellen oder Grafiken übersichtlich zusammengefasst.

### 9.5 Zusammenfassende Bewertung des Fischschutzes und Fischabstieges am Standort

Aus dem Bearbeitungsergebnis der im Untersuchungskonzept verankerten Untersuchungsaspekte werden abschließend Aussagen zur Wirksamkeit des Fischschutzes und Fischabstieges am Standort formuliert. Verbliebene Defizite sind klar zu benennen und deren Folgen für die Zielarten/Zielstadien abzuschätzen. Aus der Synthese der Ergebnisse der biologischen Fischabstiegsuntersuchung und der technisch-hydraulischen Charakterisierung werden mögliche Ursachen für Defizite beim Fischschutz und Fischabstieg abgeleitet. Die Validität der abschließenden Funktionsaussagen wird unter Berücksichtigung der in der Ergebnisdarstellung der biologischen Fischabstiegsuntersuchung bereits angegebenen, methodenbedingten oder durch abiotische Rahmenbedingungen hervorgerufenen Fehlerquellen diskutiert.

Wenn möglich sollten Aussagen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Standorte getroffen werden.

## **9.6 Defizite und Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung des Fischschutzes und Fischabstieges**

Die Dokumentation enthält technische Lösungsvorschläge oder Empfehlungen zum Betriebsmanagement, durch welche noch vorhandene Funktionsdefizite reduziert oder beseitigt werden können. Bereits im Verlauf der standörtlichen Untersuchung identifizierte Defizite, für die während der Untersuchungsphase Optimierungsvorschläge unterbreitet und Optimierungsmaßnahmen umgesetzt wurden, werden an dieser Stelle ebenfalls erläutert. Auf im Zuge der laufenden Untersuchung realisierte Maßnahmen und diesbezüglich bereits evaluierte Maßnahmeneffekte sollte an dieser Stelle gesondert eingegangen werden.

## 10 Empfehlungen zur Datenverfügbarkeit und Ergebnisbereitstellung

Durch die Anwendung der vorliegenden Arbeitshilfe sollen zukünftig möglichst viele vergleichbare und aussagekräftige Untersuchungsergebnisse und Bewertungen von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen zur Verfügung stehen. Es ist wünschenswert, diese Untersuchungsergebnisse in geeigneter und, falls notwendig, anonymisierter Form der Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. Nicht nur positive, sondern auch negative Ergebnisse ermöglichen wertvolle Rückschlüsse zur Optimierung des Fischschutzes und Fischabstieges und der Untersuchungsmethodik.

Zur effektiven Dokumentation des Standes des Wissens und der Technik, bezogen auf die Durchführung standörtlicher Evaluierungen und die evaluierten Fischschutz- und Fischabstiegskonzepte, würde eine zentrale Datenplattform eine dringend erforderliche Innovation darstellen. Die aus einzelnen standörtlichen Untersuchungen stammenden Daten und Erkenntnisse könnten in einer einheitlichen Datenbankstruktur in anonymisierter Form abgelegt und abrufbar sein. Das ideale Werkzeug wäre eine Online-Plattform. Der Dateninput muss einfach und zeiteffizient erfolgen. Die Person, die Daten liefert, sollte die Möglichkeit erhalten, von der Datenbank zu profitieren und für sie wichtige Daten in aufbereiteter und anonymisierter Form abzurufen.

Eine entscheidende Motivation für eine derartige Datenbank ist die Verfügbarkeit von Untersuchungsergebnissen, die von Fachwissenschaftlerinnen und Fachwissenschaftlern zukünftig genutzt werden können, um über Analogieschlüsse Funktionsaussagen zu Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen ohne standörtliche Detailuntersuchung treffen zu können.

Ein weiterer entscheidender Aspekt ist die Formulierung allgemeingültiger Aussagen zu Fischschutz- und Fischabstiegskonzepten, für die Metastudien der Untersuchungsergebnisse einer großen Anzahl von Standorten erforderlich sind. Die dafür notwendige Datenbasis kann nur über eine zentrale Datenbank geschaffen werden.

Sind durch Fischereibehörden Genehmigungen für spezielle Untersuchungsmethoden im Rahmen von Fischabstiegsuntersuchungen erteilt worden, sollten die entsprechenden Untersuchungsergebnisse durch diese verbindlich abgefordert werden. Auf diese Weise wäre es zumindest behördenintern möglich, die methodische Durchführung zu überprüfen und eine Datenbasis für vergleichbare Fragestellungen zu schaffen. Diese Daten sind eine wichtige Voraussetzung dafür, zukünftigen Untersuchungsbedarf zu reduzieren und methodische Erfahrungen zumindest innerhalb überschaubarer Verwaltungseinheiten zu bündeln und zugänglich zu machen.

## Teil 2 - Methodenüberblick



## 11 Vorbemerkung

Nachdem im vorangegangenen Teil 1 - Generelles Prinzip die generellen Aspekte der Evaluierung dargestellt wurden, bilden die für die Evaluierung einsetzbaren Methoden den Gegenstand des folgenden Teils 2 der Arbeitshilfe. Für Informationen zu spezifischen Verknüpfungen von generellen und methodischen Aspekten wird auf die Tabellen Tabelle 4 bis 7 in Kapitel 4.2 verwiesen.

Wie bereits im ersten Teil der Arbeitshilfe ausgeführt (vgl. z. B. Kapitel 3.2.1), wurden relevante Methoden zur Untersuchung des Fischschutzes und Fischabstieges an Standorten mit Wasserkraftnutzung oder tangentialen Flusswasserentnahmen bereits in früheren Arbeiten zusammenfassend beschrieben (vgl. EBEL et al. 2006 sowie HACK & SCHMALZ 2010 für Fischaufstiegsuntersuchungen, DUMONT et al. 2012 für Fischabstiegsuntersuchungen, ADAM et al. 2013 für den Umgang mit aquatischen Organismen). Unter Berücksichtigung dieser Arbeiten und zahlreicher weiterer Literaturquellen erfolgt im Teil 2 - Methodenüberblick der Arbeitshilfe eine detaillierte Methodenbeschreibung im Hinblick auf den Einsatz dieser Techniken bei der Untersuchung des Fischschutzes und Fischabstieges. Die inhaltlichen Bezüge zu den in der Arbeitshilfe behandelten Zielparametern der Evaluierung stehen dabei im Mittelpunkt. Fokussiert wird darüber hinaus auch auf die Einsatzgebiete, Grenzen und Fehlerquellen der jeweiligen Methoden sowie auf die Möglichkeiten der Fehlerreduktion und Fehlervermeidung.

Ausgehend von aktuellen Diskussionen zu rechtlichen Aspekten der Durchführung von Evaluierungen des Fischschutzes und Fischabstieges werden in die nachstehenden Kapitel zugleich auch Informationen zu den fischereirechtlichen, tierschutzrechtlichen und arbeitsschutzrechtlichen Voraussetzungen eingebunden. Hierbei handelt es sich ausdrücklich um Hinweise, die nicht jeden methodischen Einzelfall erfassen und darüber hinaus nicht die spezifische Situation in einzelnen Staaten und Bundesländern abbilden können. Insofern sind Pauschalaussagen weder möglich noch zielführend.

Die für die Evaluierung verantwortlichen Personen sind daher angehalten, die jeweils maßgebenden Rechtsvorschriften zu prüfen und die Notwendigkeit der Anzeige und Genehmigung bestimmter Untersuchungsinhalte mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Da verschiedene Methoden tierschutzrechtliche Relevanz besitzen können, wird in dieser Vorbemerkung kurz auf das aktuelle Tierschutzgesetz eingegangen (TierSchG 1972).

Einschlägig für den Bereich Tierversuche und Versuchstiere sind das Tierschutzgesetz in seiner aktuell gültigen Fassung und die Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2010/63/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2010 zum Schutz der für wissenschaftliche Zwecke verwendeten Tiere (Tierschutz-Versuchstierverordnung; (TierSchVersV 2013)). Dabei umfasst der Tierversuchsbegriff alle Eingriffe oder Behandlungen zu Versuchszwecken, die mit Schmerzen, Leiden oder Schäden verbunden sein können.

Das Tierschutzgesetz richtet sich neben anderen Aspekten insbesondere auf wissenschaftliche Tierversuche im konventionellen Sinne, wie z. B. auf die Erprobung neuer Medikamente und Operationmethoden oder die Analyse der biologischen Wirkung von Umwelttoxinen. Biologische Freilanduntersuchungen stehen dagegen nicht im Fokus des Gesetzes, zumal diese im Regelfall auf die Erhaltung und Förderung von Fischbeständen sowie auf die Analyse der hierfür erforderlichen wissenschaftlichen Grundlagen abzielen. Dennoch können je nach Zweckbestimmung, Ziel und Gestaltung solche Untersuchungen nach Einzelfallprüfung folgenden Kategorien zuzuordnen sein:

1. tierschutzrechtlich nicht als Tierversuch einzustufen
2. anzeigepflichtiger Tierversuch
3. genehmigungspflichtiger Tierversuch.

Für Tierversuche, die im Rahmen von biologischen Monitoringuntersuchungen durchgeführt werden sollen, werden eindeutige und allgemein anwendbare Aussagen zur Auslegung des Tierschutzgesetzes auch im Sinne der Verhältnismäßigkeit benötigt, um eine Rechtssicherheit zu schaffen.

Nach TierSchG §8a gilt zudem:

*„(1) Wer ein Versuchsvorhaben, in dem Wirbeltiere oder Kopffüßer verwendet werden, durchführen will,*

*1. das ausschließlich Tierversuche zum Gegenstand hat, deren Durchführung ausdrücklich*

*[...]*

*c) auf Grund eines Gesetzes oder einer Rechtsverordnung oder eines unmittelbar anwendbaren Rechtsaktes der Europäischen Gemeinschaft oder der Europäischen Union behördlich oder gerichtlich angeordnet oder im Einzelfall als Voraussetzung für eine behördliche Entscheidung gefordert wird,*

*[...]*

*hat das Versuchsvorhaben der zuständigen Behörde anzuzeigen.“*

Nach diesen Gesetzestextauszügen ist bei Funktionskontrollen mit Tierversuchen ein Anzeigen des Tierversuchs ausreichend, wenn die Funktionskontrolle im Rahmen von Konzessions- und Genehmigungsverfahren durchgeführt oder als Voraussetzung für eine anderweitige behördliche Entscheidung angeordnet wird. Rechtzeitige Kontaktaufnahme und Abstimmung mit den zuständigen Behörden im Vorfeld des Tierversuchs/eines Vorhabens werden dringend angeraten.

Die nachfolgend dargestellte Methodenauswahl erfolgte mit dem Ziel, ein Spektrum aussagefähiger Methoden für die Bearbeitung der wichtigsten praktischen Fragestellungen bei standörtlichen Evaluierungen des Fischschutzes und Fischabstieges bereitzustellen. Zur Bearbeitung spezieller Fragestellungen oder bei standörtlichen Besonderheiten kann die Anwendung weiterer Methoden erforderlich werden. Die jeweils einzusetzenden Methoden sind bereits im Vorfeld der Untersuchung hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit bezüglich des Evaluierungsziels, Qualität und Quantität betreffend, möglicher Fehlerquellen, den Möglichkeiten zur Fehlerreduktion und Fehlervermeidung sowie der rechtlichen Voraussetzungen zu prüfen.

## 12 Hamen

### 12.1 Einsatzgebiet

Mit Hamen bestückte Fischkutter werden im kommerziellen Fischfang eingesetzt. Speziell für den Aalfang ausgestattet, bezeichnet man entsprechende Fischereifahrzeuge als Aalschokker. Fangauswertungen von Fischkutterfängen können auch wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse liefern oder gezielt für wissenschaftliche Fragestellungen eingesetzt werden, indem sie beispielsweise direkt unterhalb von Wasserkraftanlagen oder hinter Schöpfwerken abwandernde Fische fangen. Mit Hamenfängen oberhalb von Standorten lässt sich zudem ermittelt, wie viele Fische bereits vorgeschädigt sind.

Beim Hameneinsatz für wissenschaftliche Untersuchungen erfolgt jedoch in der Regel eine stationäre Montage der Fangeinrichtung über den gesamten Fließquerschnitt, beispielsweise zwischen Ufermauern oder innerhalb des Turbinensaugrohrs (Abbildung 19). Auf diese Weise sind große Gewässerquerprofile zu beproben und es werden nahezu das gesamte Fischartenspektrum und, mit Ausnahme sehr kleiner Jungfische und Brut, alle Fischgrößen erfasst.

Die mit Hamen gefangenen Fische können vorübergehend entnommen, gezählt, bestimmt und individuell untersucht werden.

### 12.2 Beschreibung der Methodik

Die sich stromabwärts bewegenden Fische werden mithilfe eines trichterförmigen Fangsackes dem hinteren Fangteil des Hamens zugeleitet (Abbildung 19), an dem sich eine Steertreue befindet. Mit der Verjüngung zum Ende hin verringern sich in der Regel Maschenweiten und Garnstärken des Fangsackmaterials.

Hamenkutter ankern in der Regel an fischereilich beziehungsweise fischereiwissenschaftlich relevanten Stellen und bringen ein- oder beidseitig Hamen in Fangstellung. Mit der Strömung eingetragene beziehungsweise abwandernde Fische werden in diesen Bereichen gefangen. Die Fische sammeln sich im Steert, der dann an Deck geleert wird, um individuelle Fischdaten entsprechend der Fragestellung zu erfassen.

Bei Untersuchungen an Wasserkraftanlagen und Schöpfwerken wird der eingesetzte Hamen allerdings meist im betreffenden Kontrollprofil stationär fixiert (Abbildung 19), um den gesamten für die Abwanderung relevanten Querschnitt zu erfassen. Die bei wissenschaftlichen Untersuchungen gebräuchliche Maschenweite für die Steertreue am Ende des Hamens beträgt 8 mm. Die Befestigung der Reuse erfolgt durch einen starren Kunststoffring im flexiblen engeren Tauwerksring des Hamens. Es ist wichtig, die Lage von Hamen und Steertreue durch Schwimmer für Dritte im Wasser sichtbar zu markieren. Zur Schonung der Fische und für eine schnelle Entnahme hat sich die Schaffung einer strömungsberuhigten Zone am Ende der Reuse, mittels undurchströmter Behälter, bewährt (vgl. Kapitel 13.2). In der sich ausbildenden Ruhezone sind die Tiere keinen starken Turbulenzen ausgesetzt und das Verletzungsrisiko durch Netzkontakt wird deutlich reduziert. Für die Leerung sind bei stationärer Anwendung in der Regel Arbeitspontons oder Boote notwendig. Ein Reißverschluss in der Steertreue erleichtert deren Reinigung und Entleerung.

Die Leerungsintervalle sind abhängig vom Versuchsdesign sowie der Fisch- und Treibgutmenge. Der Fang des Hamens wird in große Behälter mit Wasser überführt. Die Fische werden anschließend von Schwemmgut getrennt und stehen weiteren Untersuchungen zur Verfügung. Hierbei sind geeignete Zwischenhalterungsmöglichkeiten vorzusehen. Eine Betreuung der Fangtechnik rund um die Uhr ist sowohl zur Schonung der Fische als auch aus Sicherheitsgründen unvermeidbar.

Die Geometrie des Hamens hat einen großen Einfluss auf die Wartungsintensität und das Schädigungsrisiko für Fische. Die Hamenlänge sollte ohne Steertreue mindestens dem Umfang der großen

Hamenöffnung entsprechen. Darüber hinaus ist die Hamengeometrie möglichst so zu bemessen, dass Sohlkontakte des Hamens bei allen für die Evaluierung relevanten Durchflussszenarien vermieden werden. Anderenfalls besteht die Gefahr schwerwiegender Beschädigungen des Unterblattes durch Abrasion. Die Konzeption der Hamenfangtechnik bezüglich Aufnahmevorrichtungen, Netzmaterial, Maschenweiten und Geometrie erfordern entsprechende Fachkenntnisse und Erfahrungen. Beispiele für die Abmessungen und Maschenweiten von Hamen, die an unterschiedlichen europäischen Wasserkraftanlagen für fischereibiologische Untersuchungen eingesetzt wurden, vermitteln die Arbeiten von EBEL (2008a) sowie DUMONT et al. (2012) und SCHMALZ (2010).

Beim Aufkommen großer Treibgutmengen hat sich eine Verlängerung des Hamens bewährt. Voraussetzung hierfür ist ein ausreichend langer Kanal oder Gewässerbereich ohne störende Einbauten. Die Öffnung stationärer Hamen verschließt in der Regel den gesamten Fließquerschnitt des zu untersuchenden Korridors. In sehr breiten Gewässern, bei großen Durchflüssen oder bei Platzmangel können auch Teilquerschnitte beprobt werden. Dies ist auch beim Hamenfang mit Fischkuttern der Fall. Voraussetzung ist jedoch, dass trotzdem ein repräsentatives Fangergebnis gewährleistet ist.



Abbildung 19: Hamen unterhalb einer Wasserkraftanlage in der Weißen Elster bei Leipzig (Foto: F. Wagner)

### 12.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Die Hamenfangtechnik ist eine etablierte und bewährte Methode, um Fische nach erfolgtem Abstieg in großen Kontrollprofilen, insbesondere in den Austrittsprofilen unterhalb von Turbinen (HOLZNER 1999, LECOUR & RATHKE 2006, SCHMALZ 2002, SCHMALZ & SCHMALZ 2007, SCHMALZ 2010, MATK 2012, SCHNEIDER et al. 2012, EBEL 2013, WAGNER 2013a, 2013b, 2013c) oder anderen Triebwerken wie Wasserkraftschnecken (TOMBEEK & HOLZNER 2008, SCHMALZ 2010, EDLER et al. 2011) quantitativ zu erfassen. Auf die gleiche Weise können auch Fische nach der Passage von Pumpen und Schöpfwerken gefangen werden.

Die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter ist unter Berücksichtigung standortspezifischer Rahmenbedingungen und gegebenenfalls mithilfe weiterer Netzfangtechniken, installiert an anderen Abstiegskorridoren eines Standortes, durch den Einsatz von Hamen erfassbar:

1. Vorschädigung
2. Normierter Tagesfang
3. Durchflusnormierter Einheitsfang
4. Abstiegsrate
5. Korridorspezifische Schädigungsrate
6. Standortschädigungsrate
7. Korridorspezifische Mortalitätsrate
8. Korridorspezifische Überlebensrate
9. Standortmortalitätsrate
10. Standortüberlebensrate
11. Schutzrate
12. Körperbreitenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit
13. Körperhöhenpezifische Schutzwahrscheinlichkeit
14. Körperlängenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit
15. Artselektivität Fischabstiegseinrichtung
16. Schutzsystemableitrate
17. Standortbezogene Ableitrate

Mittels Hamenfang durch Fischkutter können bei repräsentativer Beprobung einer Teilfläche des Gewässerquerschnitts dieselben Parameter wie mit dem fest installierten Hamen ermittelt werden.

## 12.4 Methodische Grenzen

Die Anwendung stationär installierter Hamen ist bis zu einem Ausbaudurchfluss von 100 m<sup>3</sup>/s belegt (HADDERINGH & BAKKER 1998). Darüber hinausgehende Abflussmengen verursachen aufgrund der erforderlichen größeren Dimension des Hamens zunehmend methodische Probleme bei Befestigung, Handling und Leerung. Im Allgemeinen wird die Fischerei in großen Flüssen mit Hamenkuttern ausgeübt. Die Strömungsverhältnisse und das hohe Treibgutaufkommen verursachen dabei jedoch teilweise Probleme. In Binnenwasserstraßen ist aufgrund der Behinderung des Schiffsverkehrs der Fischfang mit Hamen nicht in allen Bereichen zulässig.

Werden im Gewässer große Mengen Treibgut transportiert, insbesondere Laub, können sich die Maschen des Netzes rasch zusetzen. Dies gilt besonders bei ungünstigen Netzgeometrien. Abhängig vom Untersuchungskorridor ist mit verschiedenen Schwemmgutgrößen und -mengen zu rechnen. Während unterhalb von Wasserkraftanlagen, in Abhängigkeit der lichten Stababstände des Turbinenrechen, großes Schwemmgut eine untergeordnete Rolle spielt, ist oberhalb von Wasserkraftanlagen (SCHMALZ 2002) oder unterhalb von Wehren mit großen Mengen Totholz bis hin zu ganzen Stämmen und anderen großen Objekten zu rechnen. Methodisch bedingte Untersuchungsunterbrechungen sind bei sehr hohem Laubaufkommen, besonders im Herbst, nicht auszuschließen, da die Frequenz der Leerungs- und Reinigungsintervalle nicht beliebig erhöht werden kann. Bei Hochwasserereignissen müssen Fangeinrichtungen zur Vermeidung von Schäden an den Fanggeräten und aus Sicherheitsgründen aus dem Gewässer entfernt werden.

## 12.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung

Fangtechniken von Fischkuttern beziehungsweise Aalschokkern überspannen nicht den kompletten Querschnitt des betreffenden Korridors. Sie sind daher für quantitative Aussagen nur eingeschränkt einsetzbar. Unterhalb von Wasserkraftanlagen oder Schöpfwerken kann beispielsweise nicht ausgeschlossen werden, dass zusätzliche Fische aus dem Umfeld gefangen werden, die nicht die Turbinen beziehungsweise Pumpen passiert haben. Zur Abschätzung der Anzahl abwandernder Fische (normierter Tagesfang) sowie den Arten und Größen können Hochrechnungen vorgenommen werden, indem von der Fangfläche des Hamens auf die Querschnittsfläche des Gewässers hochgerechnet wird. Da keine homogene Fischverteilung im Fließquerschnitt vorliegt, ist ein solches Auswertungsergebnis stets fehlerbehaftet.

Bei stationären Netzfängen im Unterwasser von Triebwerken oder hinter Schöpfwerken können bei der Installation der Fangnetze bereits im Unterwasser befindliche Fische eingeschlossen werden. Diese Tiere verfälschen das Untersuchungsergebnis, beispielweise bezüglich Schädigungsrate, Mortalitätsrate und normiertem Tagesfang, da sie den untersuchten Korridor (z. B. Triebwerk) nicht im Untersuchungszeitraum passiert haben. Aus diesem Grund sollten die Daten der ersten Leerung nicht in die Bewertung einbezogen oder die dort befindlichen Fische mittels Elektrobefischung aus dem entsprechenden Bereich entfernt und umgesetzt werden. Sobald davon auszugehen ist, dass alle potenziell eingeschlossenen Fische entnommen wurden, sind die Datensätze für die weitere Auswertung verwendbar.

Zur Bewertung der Fangeffektivität des Hamens ist es möglich, Ein- und Ausschwimmvorgänge von Fischen aus dem Netz mittels Imaging-Sonar (vgl. Kapitel 16) direkt zu erfassen (HOLMES et al. 2006, MOURSUND et al. 2003, WAGNER 2013a und 2013c). Die Fangeffizienz des Hamens für turbinenbedingt getötete Fische kann durch den Einsatz repräsentativer Dummys (z. B. Silikonfische entsprechender Form und Größe) überprüft werden (vgl. Kapitel 22), die in die zu untersuchenden Korridore mit Fangnetzen injiziert werden (vgl. Kapitel 21; WAGNER 2013a). Auch das gezielte Einbringen markierter lebender Fische ist zur Fehlerabschätzung beziehungsweise zur quantitativen Datenerhebung möglich (vgl. Kapitel 21).

Besonders das Verursachen von Schuppenverlusten (bei kleinen Individuen auch Quetschungen) durch die Netzfangtechniken ist nicht auszuschließen. Die Anfälligkeit für Schuppenverluste ist artspezifisch und abhängig vom Entwicklungsstadium der Fische. So besitzt der Ukelei ein sehr empfindliches Schuppenkleid, das bei Kontakt mit festem Material schnell partiell geschädigt wird. Gleiches gilt exemplarisch für junge Plötzen, die sich im Gegensatz zu adulten Plötzen ebenfalls leicht Schuppenverletzungen zuziehen. Fangtechnikbedingte Schädigungen an Fischen sind durch entsprechende Kontrollversuche (Blindproben) quantifizierbar (vgl. Kapitel 5.3.2.4). So können unversehrt Individuen relevanter Arten und Größen ohne vorherige Passage des Untersuchungskorridors direkt in die Fangöffnung der Netze eingebacht werden. Nach Behandlung dieser Tiere analog dem restlichen Fang, kann der fangbedingte Schädigungsanteil quantifiziert und auf den Gesamtfang hochgerechnet werden. Blindproben sind für quantitative Erhebungen zwingend notwendig.

## 12.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik

Beim Fischfang generell und im speziellen beim Fang in Fischwegen sind fischereirechtliche Aspekte zu berücksichtigen. Der Fang geschützter Arten kann eine gesonderte Genehmigung erforderlich machen.

Die sichere Installation und der gefahrlose Betrieb von Hamen erfordern spezielle methodische Kenntnisse. Eine Gefahrenabschätzung und davon abgeleitete Sicherungsmaßnahmen sowie Sicherheitsbelehrungen für das speziell geschulte Personal sind erforderlich. Der Versicherungsschutz über

eine Berufshaftpflichtversicherung beziehungsweise eine Berufsgenossenschaft ist bei Einsatz geeigneter Sicherungsmaßnahmen und dem Tragen von Schutzkleidung, wie Schwimmwesten, gegeben.

Beim gezielten Einbringen von Fischen in Gefahrenbereiche sind tierschutzrechtliche Vorgaben einzuhalten. Im Allgemeinen erfordern Injektionsversuche in Triebwerke Tierversuchsgenehmigungen. Bei Arbeiten direkt in/auf Binnenwasserstraßen können weitere Genehmigungen notwendig sein. Werden ortsansässige Berufsfischerinnen oder Berufsfischer mit der Untersuchung beauftragt, liegen über diese Personen bereits derartige Lizenzen vor.

Der Netzfang in Gefahrenbereichen an Stauanlagen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ist in enger Abstimmung mit dem Kraftwerksbetreiber sowie des Wasserschifffahrtsamtes möglich. Ausnahmegenehmigungen für die Bootsbefahrung der durch das Tafelzeichen „Verbot der Durchfahrt und Sperrung für die Schifffahrt“ gekennzeichneten Bereiche werden durch das zuständige Wasser- und Schifffahrtsamt erteilt.

## 13 Reusen

### 13.1 Einsatzgebiet

Reusen für gewässerökologische Untersuchungen leiten sich wie auch die Hamenfischerei von der in der Berufsflussfischerei verwendeten Fangmethode ab. Mit Reusen können unterschiedliche Bypässe und Durchlässe beprobt werden. Reusenfänge sind dafür geeignet, nahezu das gesamte Fischartenspektrum und weitgehend alle Fischgrößen zu erfassen. Die so gefangenen Fische können gezählt, bestimmt und individuell untersucht werden. Reusen bestehen meist aus Netzmaterial. Eine andere Bauform stellen Kastenreusen dar, die beispielsweise aus Lochblechen gefertigt sein können. Kastenreusen lassen sich in Sonderfällen auch mit Tiroler Rechen kombinieren.

### 13.2 Beschreibung der Methodik

Die Reusen werden über einen Schwalg an einem Rahmen befestigt (Abbildung 20). Letzterer wird in Halterungen oder U-Profile eingesetzt, die gewährleisten, dass die komplette Öffnung beziehungsweise Querschnittsfläche des zu kontrollierenden Korridors bündig verschlossen wird. Bei Kastenreusen wird die Öffnungsdimension ebenfalls auf das relevante Korridormaß ausgelegt. Eine oder mehrere Netzkehlen verhindern, dass die Fische die Reuse aktiv gegen die Strömung verlassen können. Die Maschenweite des Fangteils beziehungsweise die Lochgröße der Kastenreuse beträgt in der Regel maximal 8 mm. Sollen sehr junge Entwicklungsstadien von Fischen untersucht werden, ist die Maschenweite an die geringen Körperdimensionen anzupassen.

Bei Netzreusen hat sich zur Schonung der im Fanggerät und für eine schnelle Entnahme der Tiere am Ende der Reuse ein großer Eimer oder ein Weithalsfass bewährt (Abbildung 20, Abbildung 21). In der sich ausbildenden Ruhezone sind die Tiere keinen starken Turbulenzen ausgesetzt und werden nicht gegen das Netz gedrückt und verletzt. Der Fangteil der Netzreuse kann zusätzlich mit einem Reißverschluss versehen werden, um gegebenenfalls Treibgut leichter entfernen zu können (Abbildung 21). Ein Reißverschluss kann auch die Fischentnahme aus der Reuse erleichtern.

Die Leerungsintervalle sind abhängig vom Versuchsdesign sowie der Fisch- und Treibgutmenge. Der Reusenfang wird in große Behälter mit Wasser überführt. Die Fische werden anschließend von Schwemmgut getrennt und stehen weiteren Untersuchungen zur Verfügung. Je nach Fischaufkommen, Schwemmgutmenge und Strömungsverhältnissen im Fangbereich wird die Reuse in der Regel mehrmals täglich, einschließlich während der Nachtstunden geleert.

Abweichend von den Schwalgreusen werden Fischereireusen im Allgemeinen mit Reusenflügeln im Gewässer eingebracht. Reusenflügel sind trichterförmig angeordnete Netzwände, die die Fische in die Reuse leiten. Sie fangen entlang ziehende Fische und können wertvolle Hinweise auf Wanderrichtung und Wanderaktivität geben.





Abbildung 20: Netzreuse zur Erfassung des Fischabstieges über eine Fischaufstiegsanlage mit Weithalsfass am Ende zur Reduktion von Turbulenzen, sowie zur einfachen Leerung und Reinigung (Foto: F. Wagner)



Abbildung 21: Netzreuse mit Eimer am Ende zur Reduktion von Turbulenzen und Reißverschluss für die Leerung und Reinigung (Foto: W. Schmalz)

### 13.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Die Reusenfangtechnik ist eine etablierte und bewährte Methode, um Fische unterhalb von Bypässen und Fischpassauslässen sowie an kleineren Wehröffnungen quantitativ zu erfassen (EBEL 2001, SCHMALZ 2002, LECOUR & RATHKE 2006, EBEL 2007, 2008b, 2008c und 2010a, SCHMALZ & SCHMALZ 2007, SCHMALZ 2010, SCHMALZ 2011, MATK 2012, SCHNEIDER et al. 2012, DUMONT et al. 2012, WAGNER 2013a, 2013b und 2013c). Die Fische stehen nach dem Fang einer genauen Artbestimmung und weiteren Untersuchungen, wie beispielsweise Verletzungsanalysen, zur Verfügung.

Mithilfe von Reusen, gegebenenfalls mit ergänzender Hamenfangtechnik, ist unter Berücksichtigung standortspezifischer Rahmenbedingungen die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter erfassbar:

1. Vorschädigung
2. Normierter Tagesfang
3. Durchflusnormierter Einheitsfang
4. Abstiegsrate
5. Korridorspezifische Schädigungsrate
6. Standortschädigungsrate
7. Korridorspezifische Mortalitätsrate
8. Korridorspezifische Überlebensrate
9. Standortmortalitätsrate
10. Standortüberlebensrate
11. Schutzrate
12. Körperbreitenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit
13. Körperhöhenpezifische Schutzwahrscheinlichkeit
14. Körperlängenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit
15. Artselektivität Fischabstiegseinrichtung
16. Schutzsystemableitrate
17. Standortbezogene Ableitrate

### 13.4 Methodische Grenzen

Bei großen Mengen Schwemmgut, insbesondere großen Laubmengen, können sich die Reusen rasch zusetzen. Abhängig vom Untersuchungskorridor ist mit verschiedenen Treibgutgrößen und -mengen zu rechnen. Methodisch bedingte Untersuchungsunterbrechungen sind bei sehr starkem Laubaufkommen im Herbst nicht auszuschließen, da die Frequenz der Leerungs- und Reinigungsintervalle nicht beliebig erhöht werden kann. Bei Hochwasserereignissen müssen Fangeinrichtungen zur Vermeidung von Schäden an den Fanggeräten und aus Sicherheitsgründen aus dem Gewässer entfernt werden.

### 13.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung

Besteht die Möglichkeit, dass Fische während der Reuseninstallation aus einem anderen als dem zu beprobenden Korridor in das Fanggerät gelangen, sollten die Daten der ersten Leerung nicht in die Bewertung einbezogen oder die dort befindlichen Fische mittels Elektrobefischung aus diesem Bereich entfernt und umgesetzt werden. Sobald davon auszugehen ist, dass alle potenziell eingeschlossenen Fische entnommen wurden, sind die Datensätze für die weitere Auswertung verwendbar.

Fangtechnikbedingte Schädigungen an den Fischen sind durch entsprechende Kontrollversuche (Blindproben) quantifizierbar (vgl. Kapitel 5.3.2.4). So können unversehrte Individuen relevanter Arten und Größen ohne vorherige Passage des Untersuchungskorridors direkt in die Fangöffnung der Netze eingebacht werden. Nach Behandlung dieser Tiere analog dem restlichen Fang, kann der fangbedingte Schädigungsanteil quantifiziert und auf den Gesamtfang hochgerechnet werden. Blindproben sind für quantitative Erhebungen zwingend notwendig. Die Anfälligkeit für Schuppenverluste ist artspezifisch und abhängig vom Entwicklungsstadium der Fische (vgl. Kapitel 12.5).

Eine Möglichkeit zur Abschätzung der Fangeffizienz ist das gezielte Einbringen markierter, lebender sowie toter Fische oder Dummys (vgl. Kapitel 20, 21 und 22).

### **13.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik**

Beim Fischfang generell und im speziellen beim Fang in Fischwegen sind fischereirechtliche Aspekte zu berücksichtigen. Der Fang geschützter Arten kann eine gesonderte Genehmigung erforderlich machen.

Die sichere Installation und der gefahrlose Betrieb von Reusen erfordern spezielle methodische Kenntnisse. Eine Gefahrenabschätzung und davon abgeleitete Sicherungsmaßnahmen sowie Sicherheitsbelehrungen für das speziell geschulte Personal sind erforderlich. Der Versicherungsschutz über eine Berufshaftpflichtversicherung beziehungsweise eine Berufsgenossenschaft ist bei Einsatz geeigneter Sicherungsmaßnahmen und dem Tragen von Schutzkleidung, wie Schwimmwesten, gegeben.

## 14 Plankton- und Driftnetze

### 14.1 Einsatzgebiet

Plankton- oder Driftnetze können in unterschiedlichen Fließgewässertypen eingesetzt werden, um die stromabwärts gerichtete Bewegung von wirbellosen Tieren (ELLIOT 1970) sowie von Fischlarven und einsömmerigen Fischen (GALE et al. 1978, Überblick in EBEL 2013) aber auch von wirbellosen Tieren und organischen Partikeln (WAGNER 2003) zu erfassen. Die Zielstellung bei wissenschaftlichen Arbeiten mit Driftnetzen besteht meist in der Charakterisierung der hohen Variabilität der Driftintensität und den diesbezüglichen Korrelationen mit verschiedenen Einflussfaktoren.

### 14.2 Beschreibung der Methodik

Die sich flussabwärts bewegendenden Organismen werden vorwiegend passiv mit der fließenden Welle in die sich trichterförmig verjüngenden, feinmaschigen Fangnetze eingetragen (Abbildung 22). Die Strömung im Netz macht eine Flucht der meist schwimmschwachen Organismen aus der stromaufwärts gerichteten Fangöffnung nahezu unmöglich. Netzkehlen, wie sie in Reusen Verwendung finden, sind zum Rückhalt der Tiere im hinteren Bereich der Fangvorrichtung daher nicht erforderlich. Die gefangenen Organismen sammeln sich in Fangbehältern, in denen keine starke Strömung oder Turbulenzen auftreten dürfen. Zur Schonung der empfindlichen Jungfische ist eine häufige Leerung des Fanggeräts unabdingbar.



Abbildung 22: Driftnetze in einem Fließgewässer (Foto: F. Wagner)

### 14.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Der Einsatz von Drift- oder Planktonnetzen ist dann erforderlich, wenn das Evaluierungsziel die Untersuchung des Fischschutzes und Fischabstieges auch für Fischlarven sowie kleine Stadien einsömmeriger Fische erfordert. Auch durch Hamen- und Reusenfänge können einsömmerige Individuen erfasst werden. Bedingt durch die vergleichsweise große Maschenweite und die daher eingeschränkte Fangeffizienz sind sehr kleine Fische mit Hamen und Reusen jedoch nicht sicher quantitativ erfassbar.

Die gefangenen Jungfische werden bestimmt und auf Verletzungen untersucht, wobei eine sehr schonende Behandlung der empfindlichen Tiere zu gewährleisten ist. Die Artbestimmung der Fischlarven ist in vielen Fällen nur mit speziellen Kenntnissen und großer Erfahrung möglich.

Mithilfe von Drift- und Planktonnetzen, gegebenenfalls mit ergänzender Netzfangtechnik in anderen Korridoren, ist unter Berücksichtigung standortspezifischer Rahmenbedingungen die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter bei Jungfischen erfassbar:

1. Vorschädigung
2. Normierter Tagesfang
3. Durchflusnormierter Einheitsfang
4. Abstiegsrate
5. Korridorspezifische Schädigungsrate
6. Standortschädigungsrate
7. Korridorspezifische Mortalitätsrate
8. Korridorspezifische Überlebensrate
9. Standortmortalitätsrate
10. Standortüberlebensrate
11. Schutzrate
12. Körperbreitenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit
13. Körperhöhenpezifische Schutzwahrscheinlichkeit
14. Körperlängenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit
15. Artselektivität Fischabstiegseinrichtung
16. Schutzsystemableitrate
17. Standortbezogene Ableitrate

### 14.4 Methodische Grenzen

Treibgut- und schwebstoffreiche Abflussphasen oder Gewässer sind mit Drift- und Planktonnetzen nicht oder nur mit hohem Aufwand zu beproben. Die Expositionsdauer von Drift- und Planktonnetzen ist aufgrund des sehr hohen Betreuungsaufwandes und der technischen Probleme bei Durchflusserhöhungen und starkem Treibguttransport meist auf wenige Tage beschränkt. Generell müssen die Netze permanent überwacht und in kurzen Intervallen geleert und gereinigt werden. Das empfindliche Netzmaterial wird durch grobes Schwemmgut aber auch durch große Fische beschädigt. Deren Eindringen muss gegebenenfalls durch geeignete Schutzmaßnahmen verhindert werden.

## 14.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung

Die Fangeffizienz des Driftnetzes ist ebenso wie bei Hamen oder Reusen durch geeignete Kontrollversuche zu überprüfen und bei der Datenauswertung zu berücksichtigen. Hierfür eignet sich beispielsweise das gezielte Einbringen lebender und gegebenenfalls markierter Fische oder Dummys (vgl. Kapitel 20, 21 und 22). Die Markierung von Fischlarven ist jedoch kaum beziehungsweise nicht möglich.

Die Untersuchung korridorbedingter Mortalitäten und Schädigungen erfordert stets eine Quantifizierung der fang- und handlingbedingten Effekte. Eine Schädigung der empfindlichen Larven und Jungfische kann sowohl im Driftnetz als auch bei der Entnahme und bei der weiteren Untersuchung auftreten und muss durch eine sorgfältige Planung und behutsames Arbeiten so weit wie möglich minimiert werden. Unvermeidbare Samplingeffekte sind durch geeignete Untersuchungen zu quantifizieren und bei der anschließenden Datenauswertung zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 5.3.2.4)

Mit Drift- und Planktonnetzen werden in der Regel nur Teilquerschnitte und nicht der gesamte Fließquerschnitt beprobt. Da in den meisten Fällen von einer sehr heterogenen Verteilung driftender Organismen im Gewässerquerschnitt ausgegangen werden muss, ist der Einsatz mehrerer Fangnetze im Gesamtfließquerschnitt erforderlich, um ein repräsentatives Ergebnis zu erzielen (Abbildung 22). Die Auswahl der Expositionsorte für die einzelnen Netze ist dabei primär von hydraulisch-morphologischen Aspekten abhängig (Überblick in EBEL 2013). Bei der Datenauswertung werden die Untersuchungsergebnisse mittels Extrapolationsberechnung auf den gesamten Fließquerschnitt bezogen. Hierbei sind die für die jeweiligen Expositionsorte vorliegenden Befunde entsprechend den jeweiligen Teildurchflüssen sowie gegebenenfalls entsprechend den jeweiligen Fangeffizienzen zu gewichten (EBEL 2014b).

## 14.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik

Bezüglich des Fischfanges allgemein und speziell in Fischwegen sind die fischereirechtlichen Aspekte zu berücksichtigen. Der Fang geschützter Arten kann eine gesonderte Genehmigung erforderlich machen. Die sichere Installation und der gefahrlose Betrieb von Driftnetzen erfordern spezielle methodische Kenntnisse.

## 15 Single- und Split-Beam Sonare

### 15.1 Einsatzgebiet

Sonare können für verschiedene Anwendungszwecke in Meeres- und Brackwasser sowie in Flusssystemen eingesetzt werden. Fischereifahrzeuge der Küsten- und Hochseefischerei verwenden Sonare, um Fischschwärme aufzuspüren oder die Fischdichten in Fangnetzen zu beurteilen. Ein weiteres praktisch bedeutsames Anwendungsgebiet von Sonaren im marinen Bereich ist die Tiefenpeilung.

In Flüssen werden Sonare neben wasserwirtschaftlichen Anwendungen auch genutzt, um fischereibiologische Fragestellungen zu bearbeiten. Da bestimmte Sonargeräte Informationen über die Bewegungsrichtung von Fischen liefern, ist es beispielsweise möglich, Fischwanderungen zu untersuchen und hierbei die Anzahl absteigender oder aufsteigender Fische in einem definierten Gewässerquerschnitt zu ermitteln. Meist werden zu diesem Zweck fest installierte Schallgeber mit lateraler Abstrahlung genutzt.

Sonare werden darüber hinaus zur Fischbestandserfassung eingesetzt, um die Individuendichte in einem ausgewählten Wasservolumen durch Zählung der einzelnen Tiere abzuschätzen. Derartige Untersuchungen können sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung erfolgen. Bei vertikaler Analyse wird zwischen Top-Down-Untersuchung (von der Oberfläche zum Grund) und Bottom-Up-Untersuchung (vom Grund zur Oberfläche; Abbildung 23) unterschieden, wobei letztere vergleichsweise selten Anwendung findet.

### 15.2 Beschreibung der Methodik

Ein akustischer Empfänger misst die Zeitspanne zwischen der Aussendung eines akustischen Impulses durch einen Schallgeber (Abbildung 24) im Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 5 MHz (SIMMONDS & MACLENNAN 2005) und dem Empfang des Echos.

Aus den so ermittelten Daten erzeugt das Sonar (Abbildung 25) ein Echogramm (Abbildung 26), welches Informationen über die Distanz, die akustische Größe und die Bewegungen des Objektes enthält. Die von Fischen erzeugten Echos stellen spezielle akustische Muster dar, deren spezifische Ausprägung von der Empfindlichkeitsschwelle des Sonargerätes abhängig ist (Abbildung 26). Hiermit lässt sich die relative Fischabstiegsdichte sowohl bei der horizontalen als auch vertikalen Anwendung erfassen (vgl. Abbildung 26, Abbildung 27).

Single-Beam Sonare sind in der Lage, die Distanz zwischen einem Fisch und einem akustischen Empfänger zu erfassen. Anhand der empfangenen Signalstärke kann eine sehr grobe Abschätzung der Fischgröße erfolgen. Eine valide Größenermittlung ist jedoch nur mit Split-Beam Sonaren möglich, bei denen die Signalstärke anhand skaliertes Zielmaße umgerechnet wird.

Split-Beam Sonare können die Lage des erfassten Ziels in drei Dimensionen berechnen und dadurch den Fisch mit x-, y- und z-Koordinate im akustischen Strahl verorten. Zusätzlich kann die Bewegungsrichtung der Fische anhand der Signalveränderung im Zeitverlauf erfasst werden.

Sonare können mobil oder stationär betrieben werden. Bei mobilem Einsatz werden Gewässerabschnitte mit an Booten montierten Sonaren befahren (Abbildung 24). Bei stationärer Anwendung kommen fest im Gewässer installierte Geräte zum Einsatz, die eine Erfassung der sich durch den Schallkegel bewegendes Fische gestatten. Hierdurch wird beispielsweise eine Erkennung flussabwärts wandernder Fische möglich.



Abbildung 23: 200 kHz Single-Beam Schallgeber für die Bottom-Up-Detektion (Foto: M. Schmidt).





Abbildung 24: 120 kHz Split-Beam Schallgeber (Transducer) montiert an einem Boot (Foto: M. Schmidt)



Abbildung 25: Simrad EY500 Split-Beam-Transceiver mit PC-Notebook (Foto: M. Schmidt)

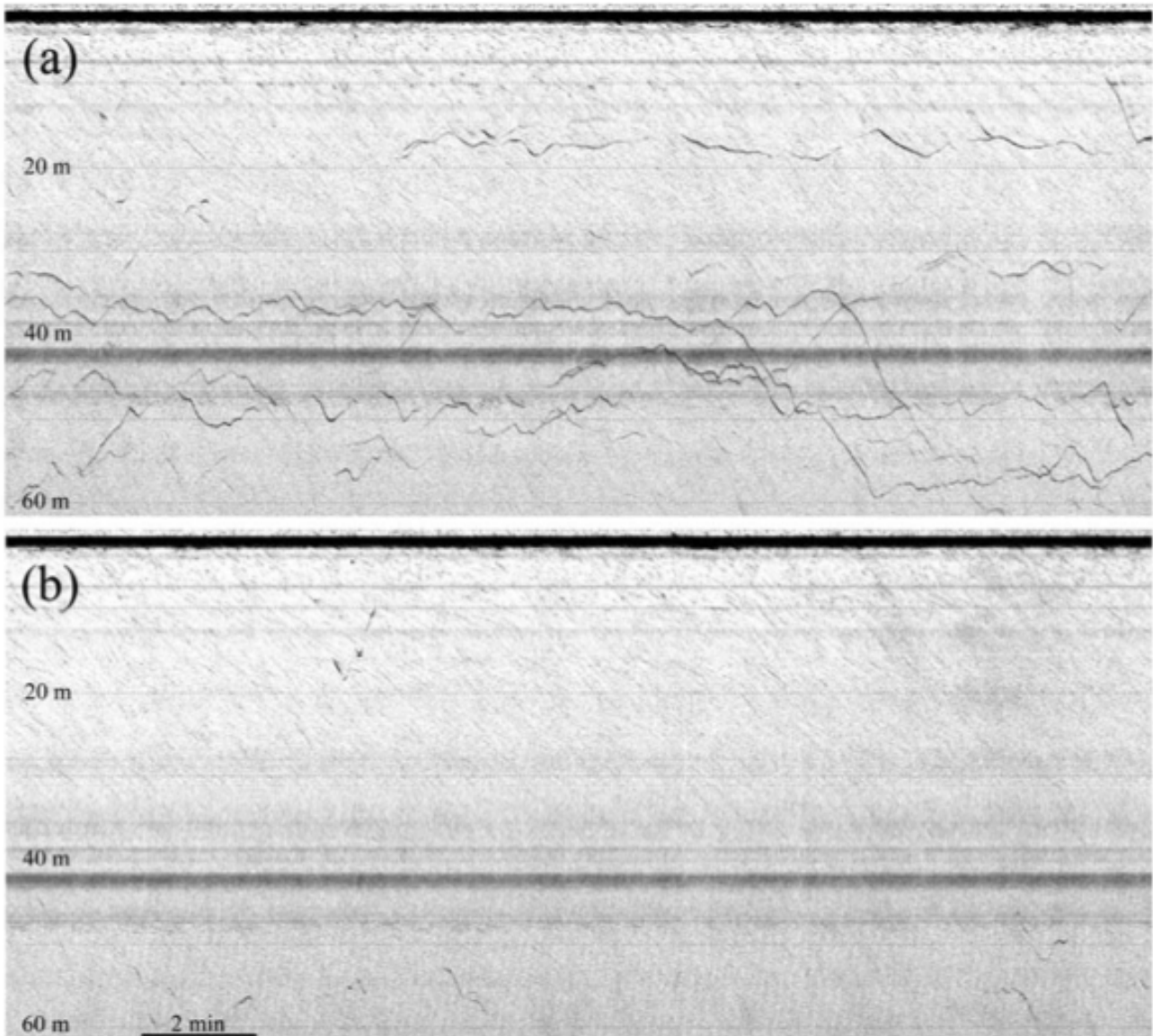


Abbildung 26: Echogramme eines 7° Single-Beam-200 kHz-Sonars, aus welchem die Fischverteilung am Einlaufbauwerk des Kernkraftwerks in Tihange (Belgien) hervorgeht. Die Aufnahmen zeigen Sequenzen von zwei aufeinander folgenden 20-Minuten-Perioden mit abgeschalteter (a) und eingeschalteter (b) Infraschall-Scheuchanlage. Die insbesondere in (a) erkennbaren welligen Linien stellen von Fischen emittierte Signale dar. Die Skalierung am linken Bildrand zeigt die Entfernung vom Schallgeber. Das graue Band bei ca. 42 m repräsentiert ein festes Objekt an der Kanalsohle (Quelle: SONNY et al. 2006).

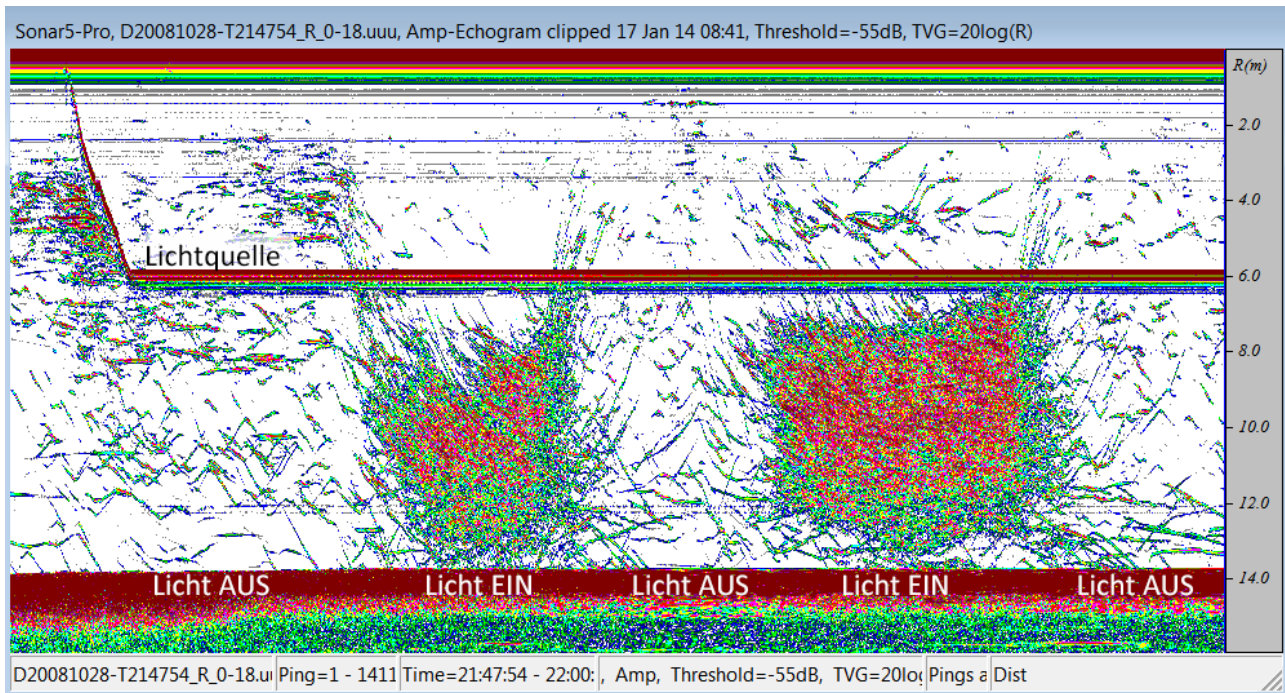


Abbildung 27: Echogramm (EK60, 120 kHz) aus der Edertalsperre im Herbst 2008, das die Aggregation von pelagischen Jungfischen an einer kontinuierlichen künstlichen Lichtquelle zeigt. Die Lichtquelle wurde in 6 m Wassertiefe mit nach unten gerichtetem Lichtkegel platziert und in Intervallen ein- bzw. ausgeschaltet. (Echogramm: M. Schmidt)

Die bei fischereibiologischen Untersuchungen mit Sonaren zu berücksichtigenden Geräteparameter sind Frequenz, Reichweite und Schallgeberausrichtung. Für die Genauigkeit der Zielerkennung und Datenbewertung ist neben der Distanz auch das vom akustischen Strahl erfasste Wasservolumen bedeutsam.

Mit steigender Frequenz verringert sich die Wellenlänge eines akustischen Signals. Beispielsweise hat eine Frequenz von 20 kHz im Wasser eine Wellenlänge von 7,3 cm, während eine Frequenz von 400 kHz eine Wellenlänge von nur 0,36 cm aufweist. Daher sind hohe Frequenzen prinzipiell besser geeignet, um kleine Fische zu erfassen. Allerdings erzeugen Partikel im Wasser bei hohen Frequenzen Echosignale, die eine starke Rückstreuung bewirken. Die Folge ist eine schlechtere Rohdatenqualität. Bei hohen Frequenzen variiert zudem die Echo-Rückstreuung der Fische stärker. Es ist wichtig, die eingesetzte Frequenz auf die Größe der zu erfassenden Tiere abzustimmen. Aus den genannten Gründen werden in Flüssen und Standgewässern häufig Echolotfrequenzen zwischen 38 und 420 kHz zur Erfassung von Fischwanderungen und Fischverteilungen sowie Fischabundanzen und -biomassen eingesetzt (z. B. KUBECKA & DUNCAN 1996, LILJA et al. 2000, KNUDSEN et al. 2009).

Neben der Frequenz kommt der Strahlenbreite eine große Rolle zu. Schmale Strahlen verbessern die Unterscheidung der Signale einzelner Fische. Es ist ebenfalls wichtig, das Untersuchungsfenster, welches vom Strahlkegel erfasst wird, zu beachten. Dieses Fenster verkleinert sich mit abnehmender Strahlenbreite. So beträgt der Durchmesser eines akustischen Strahls mit  $7^\circ$  in einer Tiefe von 10 m nur 1,22 m. Bei Studien zu Fischwanderungen im Süßwasser werden Strahlenwinkel von  $6$  bis  $30^\circ$  genutzt. Die Strahlen- bzw. Öffnungswinkel sind abhängig von der Konfiguration der Schallgeber-Hardware. Split-Beam Schallgeber haben in der Regel einen Öffnungswinkel  $< 10^\circ$ , Single-Beam Schallgeber und Imaging Sonare (siehe Kapitel 16) können deutlich größere Öffnungswinkel aufweisen.

Schallgeber können verschiedene Ausstattungen aufweisen:

1. Single-Beam,
2. Dual-Beam und
3. Split-Beam.

Seit den 1990er Jahren ist die Split-Beam Technologie verfügbar. Diese wird seitdem bevorzugt genutzt, da sie im Vergleich zu der älteren Single- und Dual-Beam Technologie eine größere Genauigkeit besitzt. Mit dieser Methode wurden in diversen Studien verschiedene Muster von Fischwanderbewegungen dokumentiert. Hierbei erfolgten insbesondere Analysen der tages- und jahreszeitlichen Differenzierung der Wanderaktivität, der räumlichen Differenzierung von Wanderkorridoren, der Wandergeschwindigkeit und Wanderrichtung sowie der Größenverteilung der migrierenden Individuen (ARRHENIUS et al. 2000, CECH & KUBECKA 2002).

Bei der Single-Beam Technologie kann das Sonar nur die Distanz des Echos und die Stärke der Objektückstreuung erfassen. Mit dieser Technik ist es nicht möglich festzustellen, wo sich der Fisch im Bezug zu den zwei anderen Raumachsen des Strahlenbereichs befindet. Da Dual-Beam Schallgeber in der Regel aus zwei Einzelstrahlern bestehen, die in zwei verschiedenen Frequenzen und Strahlenbreiten unabhängig voneinander arbeiten, weist diese Technik dieselben Eigenschaften auf. Split-Beam Schallgeber sind hingegen in der Lage, die Position eines Objektes in allen drei Raumdimensionen (x, y, z) zu erfassen. Aus diesem Grund ist es mit dem Split-Beam Sonar leichter möglich, die Schwimmrichtung, die Schwimmgeschwindigkeit und das Verhalten des Fisches im akustischen Strahl zu detektieren. Bei Untersuchungen von Fischwanderungen im Süßwasser werden sowohl Single-Beam als auch Split-Beam Systeme verwendet. Ist eine höhere Exaktheit der Datenerhebung erforderlich, wird empfohlen, Split-Beam Systeme einzusetzen. Allerdings sind diese Geräte deutlich teurer als Single-Beam Systeme. Welche Technologie letztlich verwendet wird, ist nach Prüfung der jeweiligen standörtlichen Fragestellung zu entscheiden. Im Vergleich zu Imaging Sonaren (siehe Kapitel 16) sind Strahlvolumen und räumliche Auflösung geringer, sodass kleine und bodennahe Fische schlechter zu detektieren sind (SINGER 2011).

### 15.3 Einsatzgebiet bei der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegeeinrichtungen

Single- und Split-Beam Sonare sind geeignet, um Fischdichten im Oberwasser eines Standortes abzuschätzen. Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist die Bestimmung der Anzahl absteigender Fische an einem repräsentativen Gewässerquerschnitt im Oberwasser (vgl. Abbildung 26). Derartige Daten sind für die Beurteilung der Nutzungsfrequenz von Korridoren sowie für die Charakterisierung der bevorzugten Schwimmhorizonte und Schwimmkorridore verwendbar. Es ist zu berücksichtigen, dass alle Befunde stets auf die methodisch erfassbaren Fischarten und -größen beschränkt sind.

Mithilfe von Single- und Split-Beam Sonaren kann die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter, teilweise in Kombination mit weiteren Methoden (z. B. Netzfangtechniken) ermittelt werden:

1. Normierter Tagesfang
2. Durchflussnormierter Einheitsfang
3. Abstiegsrate
4. Schutzrate
5. Schutzsystemableitrate (Sonar in Kombination mit weiteren Methoden)
6. Standortbezogene Ableitrate (Sonar in Kombination mit weiteren Methoden)

## 15.4 Methodische Grenzen

Eine Arterkennung ist mit dieser Technologie nicht möglich. Lediglich die grob abschätzbare Fischgröße kann Hinweise auf bestimmte Arten wie große Aale liefern. Sollen Sonargeräte zur Detektion von Fischen verwendet werden, können Single-Beam Sonare ausreichen. Split-Beam Systeme liefern je nach Fragestellung aussagekräftigere Daten (siehe oben), erhöhen jedoch die technische Komplexität und erfordern somit wiederum aufwändigere Auswertungsschritte.

Luftblasen im Wasser verursachen durch ihre Echos ein Hintergrundrauschen, welches sich teilweise von den durch Fische emittierten Echos nicht mehr zuverlässig unterscheiden lässt (SINGER 2011). Folglich sind luftblasenreiche Gewässerzonen, die in Gewässern mit starkem Bootsverkehr oder auch in Fischpässen auftreten können, nicht für die effektive Nutzung der Technik geeignet.

## 15.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung

Eine ungeeignete Platzierung des Sonars ist eine der größten potenziellen Fehlerquellen. So sind die Wassertiefe, das Verhältnis des Schallkegels zum untersuchten Gewässerquerschnitt sowie der Winkel der Schallausbreitung in Bezug auf die Fischwanderrichtung und auf Treibgut beziehungsweise Gasblaseneinträge wichtige Faktoren, die bei der Installation berücksichtigt werden müssen. Eine ungeeignete Platzierung erhöht das Risiko einer falschen Dateninterpretation (RANSOM et al. 1998). Für die Auswahl des Standorts zur lateralen Beobachtung von Fischwanderungen ist es von Vorteil, wenn ein Bereich mit möglichst wenigen Unebenheiten, leicht abfallender Sohle sowie mit ausreichender Fließgeschwindigkeit und laminarer Strömung ohne Gasblaseneintrag ausgewählt wird.

Bei der Ausrichtung des Schallgebers sind die nachstehend dargestellten Aspekte zu beachten. Da der akustische Kegel eher eine elliptische als konische Form besitzt, ist es vorteilhaft, dessen Längsachse parallel zur horizontalen Sohle und gleichzeitig quer zur Hauptströmungsrichtung verlaufen zu lassen. Hierdurch können Beeinträchtigungen des Echos durch Schallreflexion an der Wasseroberfläche und an Sohlstrukturen vermindert werden. In fast allen Fällen ist es notwendig, die Schallausbreitung mithilfe einer Vor-Ort-Kalibrierung zu überprüfen („Beam-Mapping“; vgl. RAKOWITZ et al. 2008).

Je geringer der Strahlenwinkel des Sonargerätes ist, umso höher ist die Präzision der erfassten Echos. Wenn eine hohe Präzision der Echos angestrebt wird, kann daher nur ein vergleichsweise kleiner Wasserkörper durch das Sonar erfasst werden. In solchen Fällen erfordert es unter Umständen den Einsatz mehrerer Geräte (Abbildung 28). Da in der Regel nur Teile des Gewässerquerschnitts hinsichtlich der Fischbewegungen überwacht werden können, wird häufig vom Volumen des Schallkegels auf den gesamten Querschnitt hochgerechnet, wobei die Validität dieser Prognose stets im Einzelfall zu beurteilen ist. Darüber hinaus muss eine Fehlerabschätzung in Bezug auf Treibgut- und Luftblaseneffekte vorgenommen werden. Grundsätzlich gilt, dass kleine Individuen und bodenorientierte Arten nicht repräsentativ erfassbar sind.

Da die Geschwindigkeit des Schalls im Wasser vom Salzgehalt und von der Temperatur abhängt, ist es notwendig, das Sonar auf den jeweiligen Wert dieser Faktoren einzustellen und so die richtige Distanz zwischen dem Schallgeber und dem Ziel zu ermitteln. Grundsätzlich sollte vor jeder Datenerfassung eine Kalibrierung der Gerätschaften gemäß dem Standardprotokoll des Herstellers in einem freien akustischen Feld unter optimalen Bedingungen erfolgen. Dabei wird das Verhältnis von Signalstärke und Hintergrundrauschen ( $S/N = \text{Signal/Noise Ratio}$ ) optimiert.

Aktive Bewegungsmuster von Tieren ermöglichen die Unterscheidung zwischen Fischen und Treibgut. Es muss beachtet werden, dass in Brack- und Meerwasserregionen insbesondere Heringsfische auf bestimmte Sonarfrequenzen mit Meideverhalten reagieren (vgl. z. B. GURSHIN et al. 2014). In Flüsse aufsteigende Vertreter der Heringsfische sind beispielsweise Maifisch und Finte.

Auch wenn mit Split-Beam Sonaren bestimmte Arten bedingt determiniert werden können (SINGER 2011), ist die Arterkennung sehr schwierig.

Überschreitet die Fischdichte innerhalb des Schallkegels einen kritischen Wert, sind die Fische nicht mehr als einzelne Zielobjekte unterscheidbar (SINGER 2011).

Die Interpretation von Echogrammen erfordert umfassende Erfahrungen. Die Datenanalysen werden in der Regel manuell ausgeführt, können aber auch (semi-)automatisch von einer Software (z. B. Sonar 4, Sonar 5 Pro, Echoview) vorgenommen werden. Bei mangelnder Kenntnis der physikalischen Grundlagen der Unterwasserakustik sind Analyse und Interpretation der Daten nicht mit der erforderlichen Qualität möglich. Grundsätzlich ist festzustellen, dass eine sowohl unter wissenschaftlichen Aspekten haltbare als auch praxistaugliche Nutzung von Sonaren ein hohes Maß an Erfahrung und Einarbeitung erfordert.

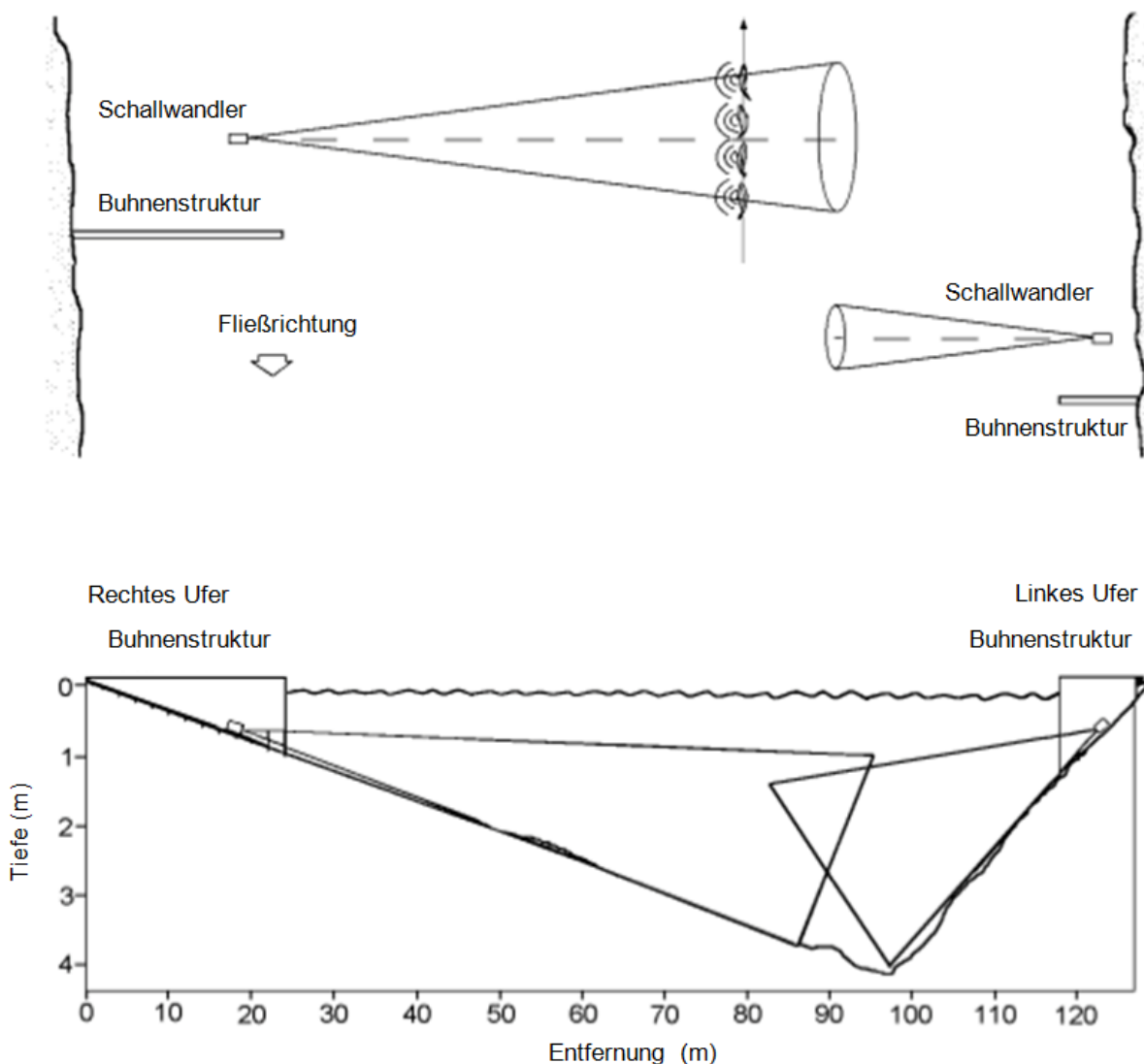


Abbildung 28: Skizze einer möglichen Installation eines Sonars, zwei akustische Strahlen erfassen flussaufwärts wandernde Fische; oben: Draufsicht, unten: Querschnitt (verändert nach: RANSOM et al. 1998).

## 15.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik

Es sind keine speziellen rechtlichen Voraussetzungen zu berücksichtigen.

## 16 Imaging Sonare (DIDSON, ARIS)

### 16.1 Einsatzgebiet

Das DIDSON (Dual-Frequency Identification Sonar) ist ein hochauflösendes Ultraschallgerät, welches detaillierte zweifarbige Bilder von Objekten in einer Entfernung bis etwa 40 m liefert (MOURSUND et al. 2003). Eine Weiterentwicklung der DIDSON-Technologie sind Adaptive-Resolution-Identification Sonare (ARIS).

Es gibt verschiedene Sonar-Systeme, die sich bezüglich Daten- bzw. Bildqualität und der Möglichkeit zur qualitativen und quantitativen Auswertung teilweise beträchtlich unterscheiden. Aufgrund der Form- und Bewegungsdarstellung werden diese Geräte auch als akustische Kameras bezeichnet. Zunehmende Bedeutung erhalten diese Systeme bei der Untersuchung von Fischbewegungen und Abundanzen über ein breites Abflussspektrum auch über lange Zeiträume hinweg (SINGER 2011, PIPAL et al. 2010, BILOTTA et al. 2011). Im Rahmen von Abstiegsuntersuchungen können so Schwimmbewegungen sowie das Such- oder Meideverhalten von Fischen im Bereich von Rechenanlagen oder Fischabstiegsöffnungen aufgezeichnet werden. Darüber hinaus ist diese Technik geeignet, Fehlerquellen bei Netzfangtechniken zu erfassen, indem beispielsweise Netzbereiche oder Netzöffnungen auf Fischpassagen hin untersucht werden.

### 16.2 Beschreibung der Methodik

Das DIDSON arbeitet mit Ultraschallfrequenzen von 1,1 bis 1,8 MHz. Basierend auf der DIDSON-Technologie können bei ARIS bereits Frequenzen bis 3,0 MHz genutzt werden. Ursprünglich wurden die Systeme für militärische Zwecke z. B. zur Unterwasser-Objektsicherung entwickelt. In der Regel wird das DIDSON mit horizontaler Blickrichtung auf den Untersuchungsbereich ausgerichtet. Es produziert im High-Frequency-Mode (1,8 MHz) Bilder in hoher Qualität (Abbildung 30). Die maximale Reichweite in diesem Modus beträgt ca. 15 m (HOLMES et al. 2006). Im Low-Frequency-Mode (1,1 MHz) erhöht sich die maximale Reichweite auf 40 m (HOLMES et al. 2006), jedoch bei reduzierter Bildauflösung. Dunkelheit schränkt die Funktion nicht ein (SINGER 2011). In der Regel sind auch Gewässertrübungen unproblematisch (SINGER 2011). Das DIDSON arbeitet in Süß-, Brack- und Salzwasser, da oberhalb 1 MHz keine akustischen Absorptionsunterschiede zwischen diesen Medien bestehen (MOURSUND et al. 2003). Aufgrund der Multi-Beam Technologie arbeitet das System auch in Umgebungen mit lauten Störgeräuschen wie Wasserkraftwerken (PIPAL et al. 2010).

Über einen zusätzlichen Schwenk- und Neigekopf kann das DIDSON am Montagepunkt in Lage und Ausrichtung bewegt werden, sodass sich Fische verfolgen beziehungsweise größere Bereiche wie ein Rechenfeld gezielt absuchen lassen (Abbildung 29). In Fließgewässern hat sich der Einsatz des High-Frequency-Modes bewährt, da die hochauflösenden Bilder die Körperrumrisse und somit die Körper- und Flossenform erkennen lassen (MOURSUND et al. 2003). Aufgrund des großen Strahlvolumens und der hohen Auflösung können unter optimalen Bedingungen sogar bodennahe Fische aufgezeichnet werden (SINGER 2011). Anhand der direkt abgebildeten Silhouette der Sonarschatten sowie der Schwimmbewegung ist teilweise eine Artidentifikation insbesondere für größere Tiere mit charakteristischen Artmerkmalen möglich (LANGKAU et al. 2012). Bei Abwesenheit von Neunaugen sind Aale beispielsweise eindeutig von anderen Fischen unterscheidbar (Abbildung 30). Auch Hechte und Welse sind aufgrund ihrer charakteristischen Körperform identifizierbar. Unter bestimmten Voraussetzungen ist eine Art- oder Artgruppenunterscheidung möglich (LANGKAU et al. 2012). Die Fischgröße kann anhand der Bilder softwaregestützt abgeschätzt werden.



Abbildung 29: DIDSON montiert auf Schwenk- und Neigekopf im Feldeinsatz (Foto: M. Schmidt)



Abbildung 30: DIDSON-Standbild mit einem Aal kurz vor der Passage eines grundnahen Bypass-Systems. (Foto: M. Schmidt)



## 16.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Imaging Sonare sind dafür geeignet, das Fischverhalten im Bereich von Fischschutzsystemen und im Einstiegsbereich von Fischabstiegseinrichtungen zu erfassen. Informationen zu Meideverhalten oder Präferenzen können genutzt werden, um Fangdaten zu interpretieren und gezielte bauliche oder hydraulische Optimierungen vorzunehmen. Die Aussagen basieren in der Regel auf Verhaltensbeobachtungen von Einzelindividuen, es können aber auch Fischschwärme detektiert und deren Verhaltensweisen interpretiert werden.

Mithilfe von Imaging Sonaren kann die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter ermittelt werden:

1. Normierter Tagesfang
2. Durchflussnormierter Einheitsfang
3. Abstiegsrate
4. Schutzrate
5. Artselektivität Fischabstiegseinrichtung
6. Schutzsystemableitrate
7. Standortbezogene Ableitrate
8. Einschwimmrate
9. Suchrate
10. Fluchtrate
11. Mittlere Suchzeit

Zusätzlich ist es möglich, die Fangeffizienz von Netzfangtechniken (Hamen oder Reusen) durch die Beobachtung von Ein- und Ausschwimmvorgängen abzuschätzen.

## 16.4 Methodische Grenzen

Der Ultraschallkegel begrenzt den Untersuchungsausschnitt. Je weiter das Imaging Sonar entfernt ist, desto größer wird der Beobachtungsbereich. Da sich jedoch mit zunehmender Entfernung die Auflösung verringert, verschlechtert sich die Detektierbarkeit kleiner Fische. Tiere unter 7,5 cm sind mit dem DIDSON in der Regel nicht zuverlässig erfassbar (BAUMGARTNER et al. 2006). Wie auch bei anderen akustischen Systemen wird die größenabhängige Detektion maßgeblich vom Verhältnis der Signalstärke zu der des Hintergrundrauschens beeinflusst.

Insgesamt ist die Artdetektion jedoch eingeschränkt und abhängig vom Standort und dem Setup der Versuchsanordnung.

## 16.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung

Hintergrundgeräusche, akustische Grenzflächen, Lufteinschlüsse, Wassertemperatur und sehr hohe Partikelkonzentrationen beeinflussen die Fischerkennungsleistung von Sonarsystemen, so auch beim DIDSON (HOLMES et al. 2006). Im Unterwasserbereich von Querbauwerken eingetragene Luftblasen, verursacht beispielsweise durch hohe Turbulenzen, produzieren deutlich sichtbare Echos. Sie können als Hintergrundrauschen die Bildqualität derart beeinträchtigen, dass eine sichere quantitative Erfassung der Fische nicht möglich und eine Artzuordnung zusätzlich erschwert werden. Eine Schlüsselrolle spielt somit die optimale Positionierung des Systems.

Überschreitet die Fischdichte innerhalb des Schallkegels des DIDSON einen bestimmten Grenzwert, sind die Fische nicht mehr als einzelne Zielobjekte unterscheidbar (HOLMES et al. 2006). Bei dichten

Fischansammlungen schatten die Individuen das Sonarsignal gegenseitig ab, sodass eine quantitative Erfassung nicht mehr möglich ist (SINGER 2011).

Auch wenn Wassertrübungen die Aufnahmequalität in der Regel nicht direkt einschränken, sind bei sehr starken Trübungen Sedimentablagerungen am Sonar möglich, welche die Bildqualität stark beeinträchtigen. Regelmäßige Reinigungen sind in diesen Fällen notwendig.

Manche Strukturen, insbesondere Metalle, verursachen reflexionsbedingte Artefakte. Die Anordnung des Imaging Sonars sowie der Blickwinkel entscheidet über die Erkennbarkeit der Zielstrukturen, in deren Bereichen die Fische beobachtet werden sollen. Zum Teil sind Schatten von Fischen an dahinter liegenden Strukturen gut erkennbar und hilfreich zur Artbestimmung. Die Auswertung der Bilder, die genaue Abgrenzung vorhandener Strukturen von Artefakten, sowie die Unterscheidung von Fischen und deren Schatten erfordert umfassende Erfahrung, um Fehler bei der Bewertung zu vermeiden. Abhängig vom Blickwinkel kann eventuell nicht einwandfrei erkannt werden, ob ein Fisch eine Öffnung oder den Rechen passiert hat oder ob er anderweitig den Erfassungsbereich des Kegels an schlecht einsehbaren Stellen verlassen hat. Gegebenenfalls sind die Position und der Blickwinkel des Imaging Sonars in mehreren Schritten zu optimieren, um die Fehler zu reduzieren.

Grundsätzlich benötigt man für die quantitative Datenauswertung eine numerische Grundlage der akustischen Rohdaten, die bei Bedarf mit entsprechendem Aufwand generiert werden kann. Die häufig eingesetzte und unter Berücksichtigung der jeweiligen Fragestellung gegebenenfalls auch zielführende qualitative Interpretation (Videos) kann allerdings nur als Grundlage für eine quantitative und statistisch belastbare Analyse dienen.

## 16.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik

Es sind keine speziellen rechtlichen Voraussetzungen zu beachten.

## 17 Kamerasysteme

### 17.1 Einsatzgebiet

Als Kamerasysteme werden in diesem Zusammenhang einfache und hinsichtlich der Anschaffung deutlich kostengünstigere Alternativen zu Imaging Sonaren und zu automatischen Zählsystemen bezeichnet (vgl. Kapitel 16 und 18). Sie sind vor allem geeignet, um kleinräumige Fischbewegungen z. B. an Bypassöffnungen zu überwachen. Kamerasysteme kommen insbesondere dort zum Einsatz, wo beispielsweise Reusen nicht verwendet werden können (z. B. aufgrund hohen Treibgutaufkommens, zeitweise zu hohen Strömungen, beengten Platzverhältnissen oder großen Wassertiefen). Ein wesentlicher Vorteil von Kamerasystemen besteht darin, dass sie das Fischverhalten nicht oder nur unwesentlich beeinflussen. Sie können daher aussagefähige Informationen zur verhaltensbiologischen Akzeptanz von Eintrittsprofilen an Fischaufstiegsanlagen und Abstiegsbypässen sowie anderen biologisch relevanten Lokalitäten liefern (SCHMALZ 2012, SCHMALZ 2013, WAGNER 2014). Daher eignet sich die Methodik generell als Ergänzung für Detailfragen.

Meist werden Kameras direkt unter Wasser eingesetzt. Dort wird der Erfassungsbereich aufgrund der Licht- und Trübungsverhältnisse eingeschränkt. Bei geeigneten Randbedingungen kann die Kamertechnik auch über dem Wasserspiegel zum Einsatz kommen. Da in diesem Fall Aufnahmebedingungen hinsichtlich Trübung und Licht besser sind, können gegebenenfalls größere Bereiche erfasst werden. Allerdings sind die Fische nur oberflächennah zu erfassen und Lichtspiegelungen auf der Wasseroberfläche beeinträchtigen die Bildqualität. An einem kleineren Wasserkraftstandort in einem Mittelgebirgsfließgewässer konnte mit dieser Methode aufgrund optimaler Sichtverhältnisse jedoch das Verhalten der Fische im Bereich eines kompletten, flach geneigten Rechenfeldes überwacht werden (SCHMALZ 2013).

Ein großer Vorteil beim Einsatz einfacher Kameras ist die Möglichkeit, mit einem einzigen System mehrere Stellen zeitgleich und relativ kostengünstig zu überwachen.

### 17.2 Beschreibung der Methodik

Digitale oder analoge Kameras werden so ausgerichtet, dass der zu untersuchende Bereich möglichst komplett erfasst wird. Je nach Entfernung von der gewünschten Überwachungsebene sowie der Wassertrübung können hierzu mehrere Kameras notwendig sein. In Abhängigkeit von den örtlichen Möglichkeiten, können die Kameras gegebenenfalls hinter einer Sichtscheibe platziert werden. Unter Wasser eingesetzte Kameras müssen vollständig gegen eindringendes Wasser abgedichtet sein. Derartige Kameras werden vor dem Einbringen in den Wasserkörper an einem geeigneten Gestell oder ähnlichem befestigt (Abbildung 31). Gestell und Befestigungen müssen so stabil konstruiert sein, dass keine strömungsbedingten Vibrationen entstehen, welche die Qualität der Aufzeichnungen stark beeinträchtigen. Abhängig von der geplanten Wassertiefe sind für Unterwasseraufnahmen durchaus hochwertige Kameras nötig. Handelsübliche, als „wasserdicht“ bezeichnete Kameras (Schutzklasse IP 68) können meist nur bis zu einer Tiefe von maximal 2 bis 3 m eingesetzt werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, kabellose Kameras in geeignete, wasserdichte Gehäuse einzuschließen (Abbildung 31). Im diesem Fall müssen die Daten in regelmäßigen Abständen ausgelesen werden und die Kamera hierzu aus dem Wasser entnommen werden. Da jedoch meist eine Echtzeitüberwachung sinnvoll ist, sollten die eingesetzten Kameras mit einem Videokabel ausgerüstet sein.

Analoge Kameras sind in großer Vielfalt im Handel erhältlich. Sie sind meist sehr preisgünstig. Neuere Modelle bieten eine ausreichende Auflösung bis zu 720 TV-Linien (bei analogen Kameras wird die Auflösung nicht in Anzahl von Pixeln sondern von TV-Linien angegeben). Nachteilig ist, dass sie nur über eine Zusatz-Schnittstelle (Video-Encoder zur Umwandlung der analogen Signale) an den Überwachungs-PC angeschlossen werden können. Die Bildqualität wird durch die Signalumwandlung meist beeinträchtigt. Alternativ ist der Anschluss an einen digitalen Videorekorder möglich.

Digitale Kameras sind teurer und bisher nur in wenigen wasserdichten Modellen erhältlich. Sie bieten jedoch eine hohe Auflösung und eine direkte Schnittstelle zum PC. Gegebenenfalls ist mit weiterer Technikausstattung eine Steuerung der Kameraausrichtung möglich.

Mithilfe von computergestützten Systemen oder Videorekordern und geeigneter Software können die aufgezeichneten Filmsequenzen gespeichert und ausgewertet werden. Im Allgemeinen ist handelsübliche Software für Überwachungszwecke nutzbar. Die eingesetzte Software sollte die Möglichkeit bieten, Signale mehrerer Kameras gleichzeitig zu verarbeiten sowie Videosequenzen nur zu speichern, wenn eine Bewegung erfasst wurde. Die Bewegungsempfindlichkeit sollte einstellbar sein, um sie an die aktuellen Verhältnisse anpassen zu können. Für viele Systeme ist eine Online-Fernüberwachung möglich. Dies erlaubt eine schnelle Reaktion auf sich ändernde Bedingungen, wie z. B. zunehmende Trübung, Verschmutzung der Kameras oder Kameraausfälle. Um auch bei schlechten Lichtverhältnissen oder bei nächtlicher Überwachung Aufnahmen zu realisieren, kommen Infrarotkameras in Verbindung mit Infrarotlichtquellen zum Einsatz. Die meisten im Handel angebotenen Infrarot-Lichtquellen arbeiten mit einer Wellenlänge von 850 nm. Es gibt Kameras, die bereits mit Infrarot-LEDs ausgestattet sind. Ist die Nutzung von externen Infrarot-Strahlern vorgesehen, sollten auch diese wasserdicht sein. Ein Einsatz außerhalb des Wassers, für die Beleuchtung eines im Wasser befindlichen Beobachtungsfeldes, erbringt in der Regel nicht die nötige Lichtstärke. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Fische Infrarotlicht wahrnehmen können. Untersuchungen an verschiedenen Arten ergaben aber keine Hinweise auf verhaltensbiologische Effekte (SCHMALZ 2013, SCHMALZ 2014). So verursachte plötzliches Zuschalten des Infrarotstrahlers keine Fluchtreaktionen. Auch eine Attraktionswirkung von Infrarotlicht konnte nicht beobachtet werden.



Abbildung 31: Zwei mit zusätzlichen Gehäusen abgedichtete Kameras an einem Gestell zur Überwachung einer größeren Passageöffnung (Foto: M. Schmalz)

## 17.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Kamerasysteme sind geeignet, um das Fischverhalten im Nahbereich von Fischschutzeinrichtungen und im Einstiegsbereich von Bypässen zu erfassen. Diese Informationen können zur Interpretation von Fangdaten sowie zur verhaltensbiologisch begründeten Optimierung baulicher oder hydraulischer Parameter genutzt werden.

Durch Untersuchungen mit Kamerasystemen kann, abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter ermittelt werden:

1. Normierter Tagesfang
2. Durchflussnormierter Einheitsfang
3. Abstiegsrate
4. Schutzrate
5. Artselektivität Fischabstiegseinrichtung
6. Schutzsystemableitrate
7. Standortbezogene Ableitrate
8. Einschwimmrate
9. Suchrate
10. Fluchtrate
11. Mittlere Suchzeit

## 17.4 Methodische Grenzen

Bei sehr trübem Wasser kann die Sichttiefe derart eingeschränkt sein, dass eine Erfassung von Fischen nicht mehr möglich ist. Auch nachts ist je nach verwendetem Infrarotstrahler eine Einschränkung der Sichtweite gegeben. Im Normalfall ist von einer maximalen Sichtweite von 0,5 bis 1 m auszugehen. Die Arterkennung ist je nach Blickwinkel, Größe des Tieres und Schwimmgeschwindigkeit nicht immer eindeutig möglich. Bei größeren Schwärmen ist eine sichere quantitative Erfassung der Individuenzahl stark erschwert. Insbesondere bei höherem Treibgutaufkommen oder bei Lichtreflexionen sowie bei kontrastarmen Bedingungen versagt die Aufzeichnungsautomatik von bewegungsgesteuerten Softwaresystemen. In diesem Fall muss mit Daueraufzeichnung gearbeitet werden. Bei längeren Aufzeichnungsperioden ist mit erheblichen Datenmengen und entsprechendem Sichtungsaufwand zu rechnen. Im Vergleich zu Imaging Sonaren (z. B. DIDSON, siehe Kapitel 16) ist der Einsatz von Kamerasystemen mit höherem Arbeitsaufwand verbunden (MOURSUND et al. 2003). Inzwischen steht Bildauswertungssoftware zur Verfügung, mit deren Hilfe Filmsequenzen ohne Fische vorab entfernt werden, so dass die auszuwertende Datenmenge in der Regel um 70 bis 90 % reduziert werden kann (NEGREA et al. 2014).

Bei Infrarotbeleuchtung, die dem Blickwinkel der Kamera entspricht (z. B. bei in der Kamera eingebauten LEDs), verursacht die Rückstreuung des Lichtes durch Partikel häufig eine starke Beeinträchtigung der Bildqualität. Es sind infolgedessen Lichtquellen von schräg oben, von der Seite oder gegebenenfalls als Gegenlicht vorzuziehen. Von einer Beleuchtung mit sichtbarem Licht ist abzuraten, da dies sowohl abschreckende als auch anziehende Effekte auf Fische haben kann (BLASEL 2011).

## **17.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung**

Kameras und Lichtquellen, die direkt im Wasser eingesetzt werden, müssen regelmäßig von Biofilm, Algenaufwuchs und Schmutz gereinigt werden. Die Qualität der eingesetzten technischen Komponenten, die Ausrichtung von Infrarotbeleuchtung und Kamera sowie die Softwareausstattung entscheiden über Datenqualität, Datenausfälle sowie Möglichkeiten der Erkennung von Fischart und -anzahl.

Bei der Beobachtung von Korridorbereichen, die von Fischen ungehindert in beide Richtungen passiert werden können, sind Mehrfacherfassungen desselben Fisches nicht auszuschließen. Die Interpretation der Sichtungen muss dementsprechend mit erheblicher Sorgfalt vorgenommen werden. Unter Umständen sind keine abgesicherten quantitativen Aussagen möglich.

## **17.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik**

Es sind keine speziellen rechtlichen Voraussetzungen zu berücksichtigen.

## 18 Automatische Zählsysteme

### 18.1 Allgemeine Aspekte

Automatische Zählsysteme lassen sich entsprechend der zugrunde liegenden Technologie unterschiedlichen Haupttypen zuordnen, deren Beschreibung in den Kapiteln 18.2 bis 18.5 erfolgt. Die nachstehenden Ausführungen zum Einsatzgebiet, zur Methodik, zu den methodischen Grenzen und zur spezifischen Anwendung von Zählsystemen gelten für alle aufgeführten Haupttypen.

#### 18.1.1 Einsatzgebiet

Automatische Zählsysteme wurden ursprünglich entwickelt, um den Fischaufstieg in Fischaufstiegsanlagen zu erfassen. Durch die Modifizierung einiger dieser Systeme können sie mittlerweile auch für die Untersuchung des Fischabstieges eingesetzt werden. Die Fische sind jedoch meist nicht in natürlichen oder vorhandenen Gerinnen erfassbar, sondern müssen in der Regel in spezielle Kontrollkanäle geleitet werden, um eine hohe Detektionsrate zu erreichen.

#### 18.1.2 Beschreibung der Methodik

Für die Erfassung von Fischpassagen in Zählsystemen werden unterschiedliche physikalische Prinzipien genutzt:

1. Detektion von Veränderungen des elektrischen Widerstandes im Wasser
2. Detektion von Veränderungen der Lichtintensität (Infrarot- oder Laserstrahlen)
3. Bildaufzeichnung (Video)

Verschiedentlich werden diese Prinzipien auch miteinander kombiniert, um die Aussagefähigkeit der Untersuchung zu verbessern. Für große Gewässer und Kanäle werden in Spezialfällen auch Sonargeräte oder akustische Kameras als automatische Zählsysteme eingesetzt.

#### 18.1.3 Methodische Grenzen

Jedes System hat konstruktionsbedingt und abhängig vom Prinzip der Fischerfassung spezifische Einsatzmöglichkeiten und methodische Grenzen. Im Hinblick auf die Möglichkeiten der Datenanalyse bestehen unterschiedliche, systemabhängige Entwicklungsstände. Bei der Wahl der im betreffenden Fall einzusetzenden Technik sind folgende Parameter zu berücksichtigen:

1. Datenqualität
2. Anschaffungskosten
3. Wartungsaufwand
4. Zeitbedarf für die Auswertung

Eine zuverlässige Zählung kleiner Fische und sohnah wandernder Tiere ist bei den meisten automatischen Zählsystemen nicht gegeben. Bei nahezu zeitgleicher Passage mehrerer Fische (Fischschwärme) ist die Bestimmung der exakten Individuenzahl schwierig oder nicht möglich. Die Detektiereinheiten der Zählsysteme erfordern in der Regel eine Verengung des Wanderkorridors durch spezielle Einbauten, die wiederum durch glatte Profilflächen und fehlende Strukturelemente gekennzeichnet sind. Diese Profileigenschaften können Vermeidungsreaktionen der Fische auslösen und so die Untersuchungsergebnisse beeinflussen. Dies sollte in die Datenanalyse und abschließende Betrachtung einfließen. Zu berücksichtigen ist, dass alle Systeme anfällig für Treibgut, wie Laub und Totholz, sind. Große Schwemmgutmengen im Gewässer schränken die Einsatzmöglichkeit automatischer Zählsysteme stark ein und erhöhen den Wartungsaufwand erheblich. Bei elektrischen

(z. B. Fischwiderstandszähler, Kapitel 18.3) und optischen Methoden (z. B. Videozählsystemen, Kapitel 18.2) ist der Ausfall der Systeme durch die Entwicklung von Biofilmen und Algenwachstum auf optischen Sendern und Empfängern, Elektroden sowie Kameralinsen beziehungsweise Sichtscheiben nur durch intensiven Wartungsaufwand zu verhindern.

Eine Artbestimmung ist nur bei wenigen Systemen verlässlich möglich und muss stets durch Fachpersonal durchgeführt werden. Kameraunterstützte Auswertungsmethoden sind bei Gewässertrübung nicht oder nur bedingt einsetzbar.

#### **18.1.4 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen**

Für Untersuchungen des Fischabstieges sind die für Fischaufstiegsuntersuchungen entwickelten automatischen Zählsysteme in der Regel zu modifizieren. Sofern hierbei nur kleine Profile (z. B. Bypässe) beobachtet werden sollen, sind im Allgemeinen nur geringfügige Anpassungen erforderlich. Ist ein Standort mit groß dimensionierten Korridoren zu untersuchen, wie etwa Anströmbereiche von Wasserkraftanlagen, sind automatische Zählsysteme hingegen nur in Ausnahmefällen und nach entsprechenden umfangreicheren Modifikationen verwendbar.

Automatische Zählsysteme sind zur Bereitstellung der Datengrundlage für folgende Untersuchungsparameter einsetzbar:

1. Normierter Tagesfang
2. Durchflussnormierter Einheitsfang
3. Abstiegsrate
4. Schutzrate
5. Artselektivität Fischabstiegseinrichtung
6. Schutzsystemableitrate
7. Standortbezogene Ableitrate

#### **18.1.5 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik**

Es sind keine speziellen rechtlichen Voraussetzungen für die verschiedenen automatischen Zählsysteme zu berücksichtigen. Da jedoch in jedem Fall elektrische Geräte im Wasser oder in Wassernähe eingesetzt werden, sind diesbezüglich die entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen und Richtlinien (z. B. CE-Richtlinien) zu beachten.

## **18.2 Videozählsysteme**

### **18.2.1 Beschreibung der Methodik**

Bei Videozählsystemen passieren die Fische einen meist speziell beleuchteten Kontrollkanal (Abbildung 32). Anhand der aufgenommenen Bildsequenzen können Anzahl, Artzugehörigkeit sowie die ungefähren Körpermaße der erfassten Tiere bestimmt werden. Für eine hohe Detektionsrate und Bildqualität ist ein guter Kontrast zwischen Fischen und Hintergrund notwendig. Aus diesem Grund werden die Kontrollkanäle meist mit hellen Wandungen versehen, von denen sich die dunklen Fische gut abheben. Die Videodaten werden auf externen Speichermedien archiviert.



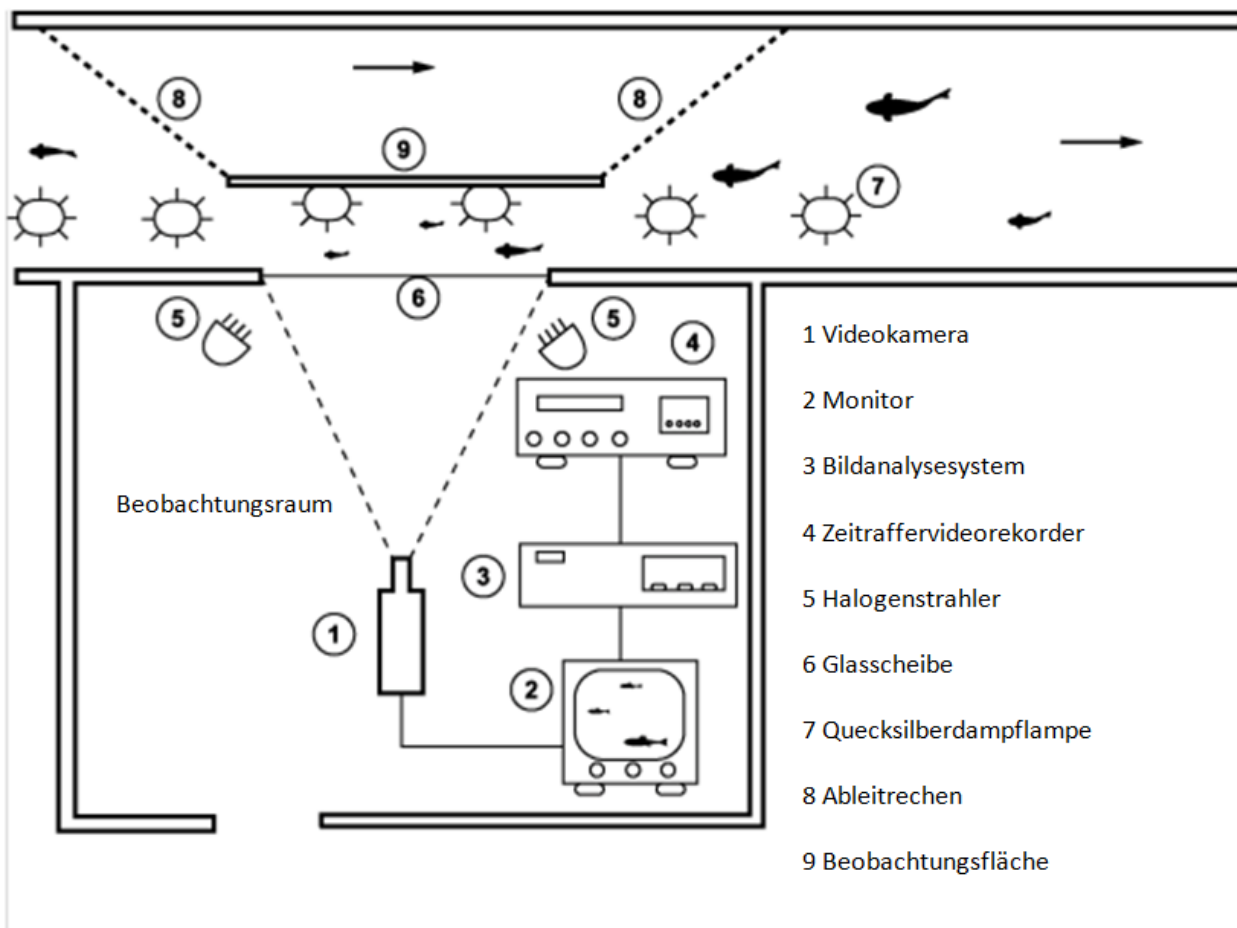


Abbildung 32: Schematische Darstellung eines automatischen Videozählsystems (verändert nach: TRAVADE & LARINIER 2002)

Ein im Kontrollkanal befindliches metrisches Raster ermöglicht eine grobe Abschätzung der Körpergröße der Fische. Da automatische Videozählsysteme mit Bewegungserkennungssoftware ausgestattet sind, zeichnen sie in der Regel nur die Phasen auf, in denen tatsächlich Fischpassagen stattfinden. Auf diese Weise reduzieren sich das auszuwertende Videomaterial und der Auswertungsaufwand deutlich (CATTOEN et al. 1999).

### 18.2.2 Methodische Grenzen

Die Detektionsrate bei Videozählsystemen und die Möglichkeiten zur Arterkennung werden durch Wassertrübung, Luftblasen, die Anzahl gleichzeitig passierender Fische sowie die Fischgestalt (Größe, Form, Farbe, Flossenausprägung, etc.) beeinflusst. Die Fließgeschwindigkeit im Beobachtungskanal ist ebenfalls ein wichtiger Faktor für die Qualität der Fischerfassung. So bedingen zu geringe Fließgeschwindigkeiten häufig ein zögerliches, ungerichtetes Schwimmverhalten und können daher Mehrfachregistrierungen desselben Fisches zur Folge haben. Dies verfälscht die Zählergebnisse. Außerdem sollten im Kontrollkanal annähernd laminare Strömungsverhältnisse vorliegen, da die Fische unter dieser Bedingung eine stabilere horizontale Schwimmrichtung aufweisen. Dies vereinfacht die Größen- und Artdetektion. Es ist davon auszugehen, dass der durchschnittliche Anteil von Bildanalysen bei geringen Fischpassageraten (weniger als 400 Individuen pro Tag) rund 4 bis 6 % der Echtzeit der Überwachungsdauer und bei hohen Passageraten (3000 bis 5000 Individuen pro Tag) rund 15 bis 25 % beträgt (TRAVADE & LARINIER 2002).

### 18.2.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung

Die Artbestimmungsrate von Videozählssystemen kann bei günstigen Sichtverhältnissen für Arten mit gut erkennbaren, charakteristischen Körpermerkmalen (z. B. Aal, Hecht, Wels) und individuellen Körperlängen von mindestens 25 cm bei über 90 % liegen. Mit abnehmender Körperlänge reduziert sich die Artbestimmungsrate. Bei Fischen < 10 cm Körperlänge liegt sie oft unter 50 bis 70 % (TRAVADE & LARINIER 2002). Die Artidentifikation wird durch das Auftreten morphologisch ähnlicher Arten erheblich erschwert (z. B. Güster/Brasse, Aland/Plötze, Döbel/Hasel, Maifisch/Finte).

Die zur Größenabschätzung der Fische verwendeten Raster befinden sich meist auf dem Boden und der Rückseite des Kontrollkanals. Sie besitzen eine konstante und zugleich bekannte Distanz zur Kamera. Die Entfernung der passierenden Fische zur Kamera variiert dagegen und entspricht nur selten der Entfernung zwischen Kamera und Vergleichsraster. Die Qualität der Größenabschätzung ist damit insbesondere von der Distanz des Fisches zum Raster abhängig.

Zur Reduktion des Videomaterials wird in der Regel eine Software zur Bewegungserkennung eingesetzt, durch welche die Videoaufzeichnung gesteuert wird. Die Software erkennt Veränderungen der Inhalte (Farbverteilung, Helligkeit, etc.) zwischen aufeinanderfolgenden Bildern und löst in Abhängigkeit von Sensitivitätskriterien die Speicherung des Videomaterials aus. Die Kalibrierung der Sensitivität, die etwa zwischen Fisch und Treibgut unterscheidet, ist in der Praxis häufig schwierig und langwierig, sodass in der Regel nicht von einer 100 %-igen Detektionsrate für Fische ausgegangen werden kann.

Mit einer Einengung des Abstiegskorridors im Bereich eines Videozählsystems werden die hydraulischen Bedingungen lokal verändert. Eine resultierende Verhaltensbeeinflussung der Fische ist durch ergänzende Untersuchungen oder Experimente erfassbar und bei der Datenauswertung zu berücksichtigen. Das gleiche gilt für die potenziell verhaltensbeeinflussende Wirkung künstlicher Beleuchtung, insbesondere nachts oder bei getrübttem Wasser.

Nicht ausgeschlossen ist, dass einzelne Individuen den Videokanal durch Vor- und Zurückschwimmen mehrmals passieren und so die Anzahl der passierenden Fische überschätzt wird. Mehrfachpassagen und daraus resultierende Mehrfachzählungen von Fischen können dadurch vermieden werden, dass eine Rückkehr durch ausreichend hohe Fließgeschwindigkeiten oder netzkehlenartige Einbauten verhindert wird. Allerdings bergen Netzkehlen wiederum die Gefahr einer Meidungsreaktion bis hin zur Umkehr beziehungsweise zum Abbruch der Migration. Zudem können sich Netzkehlen mit Treibgut zusetzen und so unpassierbar werden oder die Strömungsverhältnisse im Videokanal infolge des Versatzes so negativ beeinflussen, dass die Fische den Kanal verlassen.

## 18.3 Fischwiderstandszähler

### 18.3.1 Beschreibung der Methodik

Der elektrische Widerstand eines Fischkörpers ist in der Regel geringer als der des ihn umgebenden Süßwassers. Fischwiderstandszähler nutzen diesen Umstand gezielt aus, indem sie die temporäre Widerstandsreduktion bei der Fischpassage mithilfe von Elektroden im Kontrollquerschnitt (Abbildung 33) detektieren (DUNKLEY & SHELTON 1991, GOSSET 1986). Die Elektroden sind meist ringförmig, können aber auch einen quadratischen oder rechteckigen Querschnitt besitzen. Alternativ lassen sich auch horizontale, am Boden des Korridors installierte Elektroden einsetzen, die eine Detektionsrate von bis zu 90 % erzielen (MCCUBBING et al. 2000).

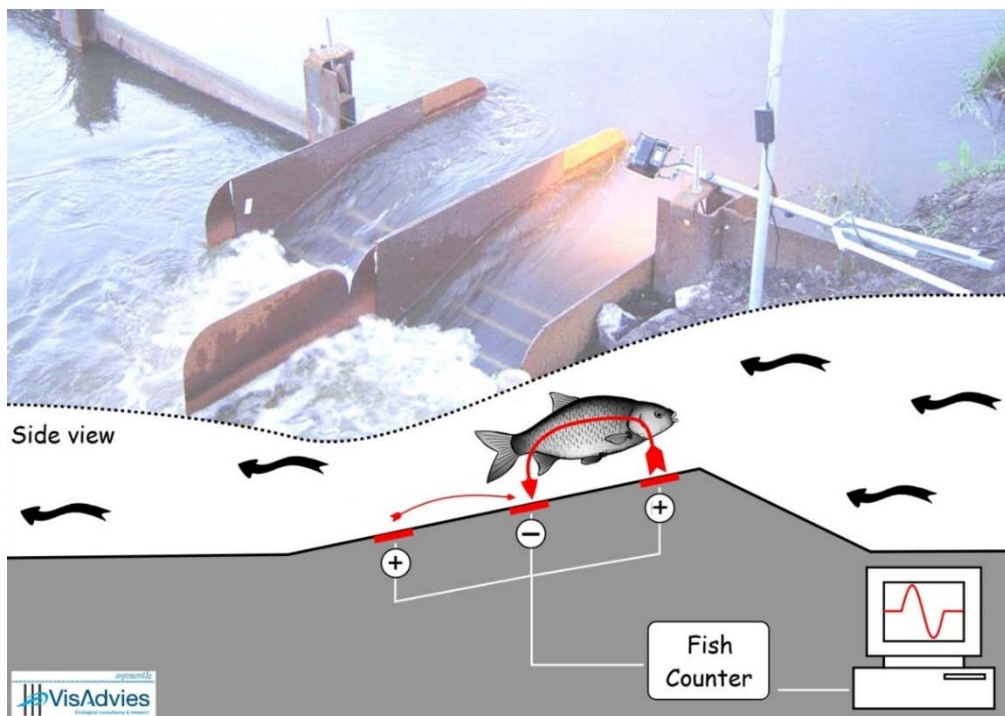


Abbildung 33 Prinzipskizze eines Fischwiderstandszählers (LOGIE 2100c, VisAdvies B. V., Niederlande), an einem Wehr installiert, bestehend aus zwei Kontrollkanälen mit Bodenelektroden (Quelle: KEMPER & DE BRUIJN 2014)

### 18.3.2 Methodische Grenzen

Die Technologie wird von verschiedenen Firmen zur Herstellung von Fischerfassungssystemen genutzt. Widerstandszähler sind relativ kostengünstig, müssen aber intensiv gewartet werden. Eine Größemessung der Individuen oder eine Artidentifikation ist in der Regel nicht möglich. Aus diesem Grund werden Widerstandszählsysteme häufig mit einer Videoerfassung gekoppelt, wobei sich Wassertrübung und Dunkelheit negativ auf die Bestimmungsrate auswirken.

### 18.3.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung

Die Detektionsrate wird vor allem durch die Leitfähigkeit des Wassers und das Fischverhalten beeinflusst. Rasche Veränderungen der Leitfähigkeit wirken sich ungünstig auf die Genauigkeit der Detektion von Fischpassagen aus. Die Leitfähigkeit muss daher durch Datalogger im Untersuchungszeitraum kontinuierlich aufgezeichnet werden, um das System bei Veränderungen neu zu justieren. Eine weitere Fehlerquelle bildet das Verweilen beziehungsweise das Vor- und Zurückschwimmen von Fischen im Erfassungsbereich. Die Gefahr der Mehrfachdetektion solcher Tiere kann durch die Auswahl des Einbauortes und hohe Fließgeschwindigkeiten im Erfassungsbereich reduziert oder vermieden werden.

## 18.4 Laserzählssystem (Laser-Beam-Counting System)

### 18.4.1 Beschreibung der Methodik

Nach derzeitigem Kenntnisstand existiert mit dem IchtyoS™ bisher nur ein Erfassungsgerät, das mit einem Laserstrahlzählssystem ausgestattet ist (CHARBONNEAU et al. 2014). Das System besteht aus einem Plexiglasrahmen, der innerhalb eines Fischpasses oder eines speziell installierten Kontrollkanals installiert wird. Die Detektionseinheit besteht aus drei Reihen horizontal angeordneter Laseremitter und den zugehörigen Empfängern (Abbildung 34).



Abbildung 34: IchtyoS™ Laserfischzählssystem bei der Installation in einer naturnahen Fischaufstiegsanlage in Belgien (Foto: WSP, Canada & Profish Technology)

Passiert ein Fisch den Rahmen mit der Detektionseinheit, werden die Laserstrahlen teilweise unterbrochen. Dies löst eine computergestützte automatische Zählung, Höhenmessung und eine indirekte Längenerfassung aus. Zusätzlich nimmt eine Infrarot-Videokamera die Fischpassage automatisch auf. Ergänzend werden folgende Daten aufgezeichnet:

1. Datum und Uhrzeit
2. Fischlänge (indirekte Näherung)
3. Passagerichtung
4. eine Videosequenz der Passage
5. abiotische Daten (Temperatur, Trübung, etc.)

Durch die Kombination von Laserdetektor und Videobeobachtung wird in relativ klaren Flüssen eine Detektionsrate von 98 % für Fische mit Körperlängen > 10 cm erreicht (WSP CANADA, pers. Mitt.). Eine individuelle Arterkennung ist anhand der Videos durch Fachpersonal möglich. Eine Anpassung der Laserstrahlenwellenlänge an die Wassertrübung ermöglicht einen flexiblen Betrieb des Systems. Die Daten werden im Computer des Systems automatisch als Excel-Datei gespeichert und können durch Fernabfrage heruntergeladen werden. Der Datentransfer erfolgt über Satellit (WSP CANADA,

pers. Mitt.). Die Wartungsintervalle sind stark abhängig von der Treibgutmenge und der Wuchsgeschwindigkeit von Biofilmen und Algen. Unter optimalen Bedingungen können sie 10 bis 15 Tage betragen. In der Regel (insbesondere unter den Bedingungen mitteleuropäischer Untersuchungsgewässer) sind jedoch deutlich häufigere Inspektionen und Wartungen des Zählsystems erforderlich.

Bisher wurde das System ausschließlich zur Untersuchung von Fischaufstiegsanlagen eingesetzt. Dafür wird es direkt in der Anlage oder in den Ein- bzw. Ausstiegsöffnungen installiert. Auch der Einsatz im Hauptstrom eines Flusses ist möglich. Hierfür wurde im Romaine River (Kanada) eine 400 m breite und 8 m tiefe schwimmende Barriere errichtet, um alle flussaufwärts ziehenden Fische zum Fischzähler zu führen. Der Einsatz des Laserzählsystems zur Untersuchung des Fischabstieges ist prinzipiell möglich.

### **18.4.2 Methodische Grenzen**

Die minimale Höhe des durchflossenen Kontrollkanals beträgt etwa 70 cm. Diese Mindesthöhe ist erforderlich, um eine gute Kommunikation zwischen Lasersender und Empfänger zu gewährleisten. Durch die Anpassung der Wellenlänge des Lasers kann das System Funktionseinschränkungen bei Wassertrübung teilweise kompensieren. Bei starker Trübung (z. B. Hochwasser, Gletscherschliff) ist jedoch auch dann keine Messung mehr möglich. Das System kann nicht frei käuflich erworben werden. WSP Canada bietet das Fischzählsystem nur in Verbindung mit ihren Untersuchungsdienstleistungen an. Der Preis für den Einsatz dieser Technologie ist somit relativ hoch, schließt jedoch alle Analysen und Wartungsarbeiten ein, die beim Preis anderer Zählssysteme ergänzend zu berücksichtigen sind.

### **18.4.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung**

Das System kann durch ins Wasser eingetragene Gasblasen beeinträchtigt werden, welche häufig in Fischabstiegseinrichtungen vorkommen. Folgen die Blasen jedoch einem regelmäßigen Muster, können sie über die Software stufenweise ausgeblendet werden, indem der Auswertungsalgorithmus des Systems angepasst wird. Veränderungen der Wassertrübung erfordern Anpassungen der Laser durch technisches Personal, das über die Systemparameter kontinuierlich mittels Fernkommunikation informiert wird.

## **18.5 Infrarotzählssysteme**

### **18.5.1 Vaki-Riverwatcher**

#### **18.5.1.1 Beschreibung der Methodik**

Vergleichbar mit der Detektion durch Laserstrahlen, wird beim Riverwatcher (Abbildung 35) mit gebündelten Infrarotstrahlen gearbeitet. Zwei vertikal angeordnete Reihen von Lichtschranken detektieren die passierenden Fische sowie deren Schwimmrichtung und Geschwindigkeit. Anhand des Unterbrechungsmusters der Infrarotstrahlen wird die Silhouette der Fische erfasst und durch eine kontinuierliche Aufzeichnung der Infrarotsignale als Zeitreihe abgespeichert. Die Länge des Fisches wird vom System über ein artspezifisches Längen- / Höhenverhältnis kalkuliert. Über die Fischsilhouette kann eine Bestimmung morphologisch markanter Arten erfolgen. In artenreicheren Gewässern wird das System meist mit einer zusätzlichen Kamera ausgestattet, welche Videosequenzen (Abbildung 36) jeder Fischpassage aufzeichnet, sodass anhand der Videos eine Artbestimmung durch Fachpersonal vorgenommen werden kann. Treibgut, wie Blätter und Äste, aber auch Luftblasen werden vom System weitestgehend automatisch erkannt und herausgefiltert. Weiterhin erfasst das System die genaue Uhrzeit der Passage sowie die Wassertemperatur.

Die Kombination von Infrarot- und Weißlicht-Kameras mit einem Lichtsystem ermöglicht eine Anpassung an lichtscheue Arten sowie die Identifikation zahlreicher Fischarten auch bei erhöhter Trübung und bei Nacht. Ein Einsatz des Systems in Fischabstiegshilfen kann mit geringem Aufwand realisiert werden. Automatische Datenanalyseprozesse übernehmen die Filterung und Vorauswertung der großen Rohdatenmengen. In der Regel muss die automatische Analyse jedoch von einer erfahrenen Person überprüft und durch eine Detailauswertung mit Artenbestimmung (Abbildung 36) abgeschlossen werden.

In Deutschland findet das System sowohl in kleinen Gewässern (HAAS et al. 2014) als auch in Fischaufstiegsanlagen an artenreichen Bundeswasserstraßen (SCHNEIDER et al. 2012, GROß 2014) Anwendung.



Abbildung 35 Installationsbeispiel eines Vaki-Riverwatchers an der Mosel/Deutschland in einer (Foto: W. Schmalz)

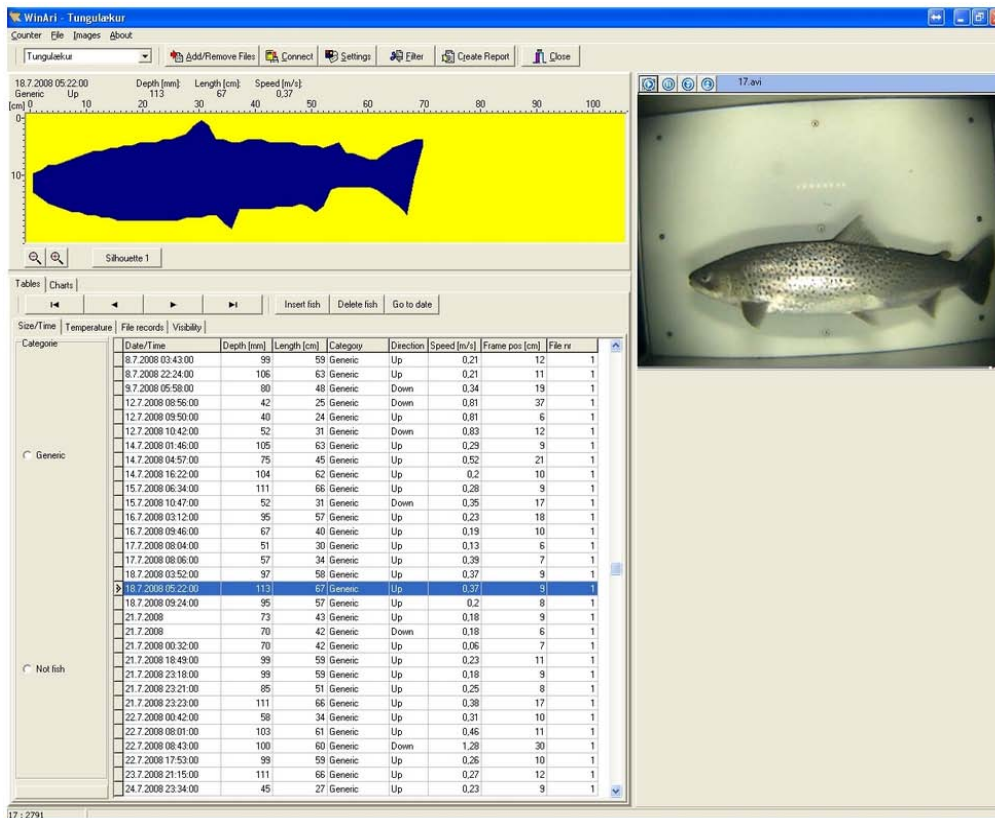


Abbildung 36 Auswertungssoftware zur Datennachbearbeitung und Artenbestimmung (Quelle: VAKI Aquaculture Systems Ltd.)

### 18.5.1.2 Methodische Grenzen

Die Erfassungseinheit des Riverwatchers ist einfach zu bedienen und flexibel an den Standort anzupassen. Die beiden Scannerplatten haben in Fließrichtung gesehen eine Breite von jeweils 0,03 m, eine Tiefe von 0,21 m und eine Höhe von 0,61 m inklusive Anschlüssen. Der Abstand der Platten und damit die Breite des Kontrollkanals kann variabel eingestellt werden. Infrarotstrahlen haben jedoch eine relativ geringe Durchdringungstiefe im Wasser, die bei zunehmender Trübung des Wassers weiter verringert wird. Die maximale Breite der Erfassungseinheit ist daher in den meisten Gewässern auf ca. 0,45 m limitiert. Bei einer Trübung von 90 NTU (Nephelometric Turbidity Unit – Einheit für Wassertrübung) wurde für einen Scanner mit 0,35 m Breite eine Erfassung von 90 % der tatsächlichen Passagen nachgewiesen (HAAS 2015, pers. Mitt.).

Die Erfassungsgenauigkeit kann durch die Verringerung des Abstands zwischen den Scannerplatten erhöht werden. Die Höhe des Systems ist beliebig gestaltbar. Einer Vielfachauslösung durch schwankende Wasserstände im System kann über die selektive Abschaltung einzelner Dioden entgegengewirkt werden. Aufgrund der räumlichen Anordnung der horizontalen Lichtschranken ist eine verlässliche Detektion erst ab einer Fischhöhe von ca. 3 cm gegeben (entspricht einer Fischlänge von ca. 15 cm). Zur Erfassung kleinerer Fische kann die Sensitivität des Systems erhöht werden. Dies führt aber meist zu einer Zunahme falscher Zählungen durch Treibgut oder Laub. An Standorten mit hohen Erfassungsquerschnitten ist es möglich, mehrere Zählsysteme übereinander einzubauen und miteinander zu verbinden.

Das supplementär einsetzbare Videokamerasystem ist insbesondere in artenreichen Gewässern ein essentieller Baustein des Riverwatchers zur Artenerkennung. Die Kamera unterliegt dabei den bereits dargestellten Einschränkungen durch Trübung. Die Firma Vaki (VAKI Aquaculture Systems Ltd., Island) hat diesbezüglich eine Anpassung vorgenommen: Der sogenannte Fototunnel (Länge 160 cm x Breite 105 cm x Höhe 63 cm) befindet sich an der Seite des Scanners und ist normalerweise geflutet.

Durch eine Abtrennung der Scannereinheit vom Fototunnel mittels einer robusten Glasscheibe (Tunnel in dem Fall trockenliegend) kann die Distanz, die die Kamera im Wasser durchdringen muss, erheblich verringert werden. Hierdurch lassen sich trübungsbedingte Ausfalltage deutlich reduzieren.

Das System ist von geschulten Personen anzuwenden, welche mit der Technik und Software vertraut sind. In regelmäßigen Abständen müssen Kamera und Scanner von Algenaufwuchs befreit werden. Die dafür nötigen Wartungsintervalle sind stark von der anfallenden Menge an Treibgut und Algenbewuchs und damit von Jahreszeit, Wassertemperatur und Nährstoffhaushalt des Gewässers abhängig. Die Reinigung von Kamera und Scanner ist bei der Planung des Gesamtaufwandes ebenso zu berücksichtigen, wie die notwendige Treibgutentfernung an der Leitvorrichtung. Da die Länge des Fisches anhand der gemessenen Höhe errechnet wird, muss im System ein artspezifisches Längen- / Höhenverhältnis hinterlegt werden. Dieses ist gegebenenfalls an die regionsspezifischen morphologischen Besonderheiten der Arten anzupassen. Kleine Individuen (< 15 cm) lösen keine Zählung aus und können somit nicht systematisch erfasst werden.

### **18.5.1.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung**

Das System ist die weltweit am weitesten verbreitete automatisierte Zähleinrichtung für Fische. Obwohl die Technik relativ ausgereift ist können Fehlfunktionen im System auftreten (BAUMGARTNER et al. 2010). Eine Unterschätzung der Fischanzahl wurde beobachtet, wenn mehrere Fische das System zeitgleich passieren, wie es bei erhöhten Fischwanderaktivitäten vorkommt. Durch parallel eingesetzte Videosysteme kann dieser Fehler jedoch individuell korrigiert werden, falls eine Abschätzung der Zahlen auf Basis des Videos möglich ist. Ein Zögern des Fisches im Inneren des Zählsystems kann wie bei anderen automatischen Zählsystemen eine Mehrfachzählung des Fisches auslösen. Diese Fehler können im Rahmen der Datenauswertung anhand der Silhouettenbilder oder Videodaten korrigiert werden.

## **18.5.2 Spezieller Infrarot-Aal-Scanner**

### **18.5.2.1 Beschreibung der Methodik**

Eine deutsche Firma hat eine neue Art eines Fischabstiegsbypasses für Blankaale, den sogenannten „Zick Zack“ Bypass, entwickelt. Dieser Bypass besteht aus einem Rohr mit einem Innendurchmesser von 22 cm und bietet Blankaalen einen Bypasseinstieg in Bodennähe vor Rechenanlagen an Wasserkraftanlagen. Um die Effizienz des Bypasses an zwei Wasserkraftanlagen in Deutschland nachzuweisen, wurde ein spezielles Aalzählsystem an diesem Bypass installiert. Es besteht aus einem durchsichtigen Plexiglasrohr, dessen Durchmesser identisch dem des Bypassrohres ist (Abbildung 37). Acht Infrarotzellen entlang der Längsachse des Rohres, mit einem Abstand von jeweils 10 cm, erfassen die passierenden Aale hinsichtlich Anzahl und Körperlänge. Die Genauigkeit der Längenbestimmung beträgt 10 cm. Mithilfe einer zusätzlichen Videokamera werden die Detektionsdaten der Infrarotsensoren verifiziert.





Abbildung 37 Ansicht eines Aal-Infrarot-Scanners, installiert an einem Abschnitt des Bypassrohres; A: Infrarotsender, B: Schaltschrank, F: Kameraeinheit (Foto: Profish Technology)

Zur Datenspeicherung dient die bei dem Laserstrahlzählsystem IchtyoS<sup>TM</sup> (vgl. Kapitel 18.4) genutzte Software. Es ist geplant, die Eignung dieses Systems als „Warnsystem für Aalabwanderungen“ an Wasserkraftwerken zu überprüfen.

### 18.5.2.2 Methodische Grenzen

Für die Untersuchung groß dimensionierter Korridore, beispielsweise breiter, kanalartiger Abstiegs-einrichtungen, ist dieses System nicht verwendbar. Desweiteren wurden im bisherigen Einsatz ausschließlich Aale detektiert. Der derzeitige Entwicklungsstand gibt keine Aussage darüber, inwiefern mit dem System auch weitere Arten verlässlich erfasst werden können.

### 18.5.2.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung

Das Zählsystem wird wie andere Systeme durch Treibgut beeinträchtigt, so dass Fehlfunktionen und Detektionsfehler auftreten können. Die Detektionsrate ist daher durch ergänzende Untersuchungen zu überprüfen. Die Durchdringungstiefe von Infrarotstrahlen im Wasser ist stark von der Trübung abhängig. Bei sehr starker Trübung oder stark wechselnden Trübungen ist die Einsatzmöglichkeit des Infrarot-Aal-Scanners demzufolge eingeschränkt.

## 19 Transponder (aktiv, passiv)

### 19.1 Allgemeine Aspekte

Transpondersysteme lassen sich entsprechend der zugrunde liegenden Technologie unterschiedlichen Haupttypen zuordnen, deren Beschreibung in den Kapiteln 19.2 und 19.3 erfolgt. Die nachstehenden Ausführungen zum Einsatzgebiet, zur Methodik, zu den methodischen Grenzen und zur spezifischen Anwendung der Transponder gelten für alle Transpondersysteme.

#### 19.1.1 Einsatzgebiet

Unter bestimmten standörtlichen Bedingungen, wie beispielsweise bei großen Schwemmgutmengen, Schiffsverkehr oder erheblicher Gewässergröße, ist der Netzfang von Fischen nur mit sehr hohem technischen Aufwand oder gar nicht möglich. In diesem Fall können einzelne Aspekte der Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges durch den Einsatz von Transpondertechnologien untersucht werden. Hiermit lassen sich zugleich auch spezielle Fragestellungen zum Verhalten beantworten. Bestimmte Transpondertypen erlauben eine Positionsbestimmung der Fische im Gewässer sowie die Identifikation artspezifischer Präferenzen bezüglich Schwimmhorizonten oder Schwimmkorridoren. Sie ermöglichen somit eine Analyse der Raumnutzung und der Wandergeschwindigkeiten individuell markierter Fische.

#### 19.1.2 Beschreibung der Methodik

Fische werden mit aktiven oder passiven Transpondern ausgestattet, um eine Positionsbestimmung vornehmen zu können. Dies kann an stationären Leseeinheiten beziehungsweise Empfängern oder über mobile Detektionseinheiten erfolgen. Transponder ermöglichen eine individuelle Markierung von Fischen.

Eine Erläuterung der einzelnen Transpondertypen enthalten die Kapitel 19.2 bis 19.3.

#### 19.1.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter ist unter Berücksichtigung standortspezifischer Rahmenbedingungen durch den Einsatz von Transpondern erfassbar.

1. Abstiegsrate
2. Schutzrate
3. Artenselektivität Fischabstiegseinrichtung
4. Schutzsystemableitrate
5. Standortbezogene Ableitrate
6. Einschwimmrate
7. Mittlere Suchzeit
8. Mittlere Migrationsverzögerung

Zusätzlich ist durch den Einsatz von Transpondern die Fangeffizienz von Netzfangtechniken evaluierbar.

### 19.1.4 Methodische Grenzen

Für den Untersuchungszeitraum muss für die Besenderung eine ausreichende Anzahl geeigneter Fische zur Verfügung stehen. Nicht an jedem Standort ist es möglich, genügend Fische für diesen Zweck zu fangen. Eine Alternative ist die Nutzung von Fischen aus anderen Gewässern, beispielsweise über den Bezug aus der Berufsfischerei. Die Tiere sind in diesem Fall an die lokalen Bedingungen zu adaptieren und es sind tier- und seuchenhygienische Standards einzuhalten.

Da die Ergebnisse von Transponderuntersuchungen auf Beobachtungen von Einzelindividuen basieren, sind Verallgemeinerungen auf die Grundgesamtheit nur im Fall einer repräsentativen Stichprobe transponierter Fische möglich. Die Übertragbarkeit der Befunde auf den natürlichen Fischbestand am Standort ist stets kritisch zu prüfen. Ein Effekt der Besenderung oder Detektionseinheiten auf die Untersuchungsergebnisse ist mit geeigneten Verfahren zu überprüfen.

### 19.1.5 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik

In Deutschland ist für die Ausstattung von Fischen mit Sendern sowie für die hierfür notwendige Betäubung, eine behördliche Genehmigung entsprechend Tierschutzgesetz erforderlich (TierSchG 1972). Weiterführende Informationen zur sachgerechten Betäubung sowie zur Ausstattung von Fischen mit Sendern können der Arbeit von ADAM et al. (2013) entnommen werden. Eventuell durchzuführende Elektrobefischungen erfordern hingegen fischereirechtliche Genehmigungen (vgl. Kapitel 23).

## 19.2 Aktive Transponder

### 19.2.1 Radiotelemetrie

#### 19.2.1.1 Einsatzgebiet

Die Radiotelemetrie wird bevorzugt eingesetzt, um von Fischen präferierte Lebensräume in einem Fluss zu identifizieren (OVIDIO et al. 2007, ENDERS et al. 2009). Für die Erfassung der Wanderrouten wird häufig die Methode der mobilen Ortung eingesetzt. Hierbei werden die Fische durch permanente, mobile Ortung des gesendeten Signals per Boot, vom Ufer aus oder aus der Luft verfolgt. Auf diese Weise sind beispielsweise Laichwanderungen in Flüssen bei verschiedenen Arten detailliert untersucht worden (z. B. BARAS & CHERRY 1990, FREDRICH 1996, OVIDIO et al. 1998, FREDRICH & ARZBACH 2002). In Abhängigkeit von der Signalstärke beträgt die maximal zulässige Entfernung zwischen dem Sender und dem Empfänger 50 bis 500 m. Da die Wandergeschwindigkeit viele Kilometer pro Tag betragen kann, erfordert die Bestimmung der exakten Wanderoute über mobile Ortung einen sehr großen personellen und logistischen Aufwand.

Für größere Individuenzahlen ist ein mobiles Orten nicht mehr möglich. In solchen Fällen kommen stationäre Empfänger zum Einsatz, um die wandernden Fische an bestimmten Lokalitäten automatisch zu detektieren. Sofern transponierte Fische durch stationäre Empfänger, die an aufeinanderfolgenden Staustufen oder Wasserkraftanlagen installiert sind, automatisch erfasst werden können, lassen sich sowohl die mittlere Wandergeschwindigkeit zwischen diesen Örtlichkeiten als auch eventuelle Mortalitätseffekte dokumentieren. Darüber hinaus können automatische Radioempfänger dazu verwendet werden, das Verhalten von Fischen bei der Annäherung an ein Querbauwerk zu erfassen und so die Auffindbarkeit und Effizienz von Fischwegen zu charakterisieren (z. B. SMITH et al. 1997, GERLIER & ROCHE 1998, CHANSEAU & LARINIER 1999, GESSEL et al. 2001, JOHNSON et al. 2009).

In den letzten 20 Jahren wurden insbesondere in Frankreich umfangreiche Kenntnisse über die flussabwärts gerichtete Wanderung von Blankaalen und jungen Atlantischen Lachsen mittels Radiotelemetrie gesammelt. Dies betrifft allgemeine Wander- und Verhaltensmuster, Einflüsse von Staustufen

und Wasserkraftanlagen (TRAVADE et al. 1999) sowie die Auswirkungen unterschiedlich gestalteter Bypässe (CHANSEAU et al. 1999, TRAVADE et al. 2010).

Darüber hinaus sind nach dem Wiederfang der markierten Tiere, die Verletzungs- und Mortalitätsraten von Fischen bei der Turbinenpassage bestimmbar (GESSEL et al. 2001; vgl. Kapitel 21).

### 19.2.1.2 Beschreibung der Methodik

Bei der Radiotelemetrie werden Fische mit Funksendern ausgestattet. Diese senden aktiv Funksignale in Form von Pulsfolgen aus, welche in Reichweite einer Antenne mit einem Empfänger geortet werden. Die auf diese Weise generierten und empfangenen Daten geben Auskunft über die Position des Fisches.

Die Funksender bestehen aus einer Batterie, einem elektronischen Prozessor und einer Antenne. Die Funktionseinheit ist in einem glasartigen Behältnis verkapselt (Abbildung 38). Größe und Gewicht des Funksenders sind variabel.



Abbildung 38: Vergleichende Darstellung zweier Radiosender der Firma Sigma Eight Inc., Kanada; das Gewicht des linken Senders beträgt 3,0 g, das des rechten Senders 0,8 g (Foto: Profish Technology)

Jeder Sender generiert basierend auf einer spezifischen Pulsfolge in einer festen Frequenz einen individuellen Code. Jeder Frequenz sind hunderte individuell erkennbare Pulsfolgen zuzuordnen. Manche Funksender sind mit einem kippensensiblen System ausgestattet und können abhängig von den vertikalen Bewegungen des Fisches zwei verschiedene Impulsgeschwindigkeiten senden und vermitteln so detailliertere Daten über die Aktivität des Fisches (OVIDIO et al. 2002). Andere Funksender sind in der Lage, Angaben zur Wassertiefe, Bewegung und Temperatur sowie Daten zur Elektromyografie (EMG) zu übermitteln.

Fische können auf unterschiedliche Weise mit Sendern ausgestattet werden (Überblick in ADAM et al. 2013). Eine Möglichkeit besteht darin, den Sender durch einen operativen Eingriff in die Bauchhöhle

zu implantieren (intraabdominale Applikation), wobei der Wundverschluss mit Fäden oder extra starkem Kleber erfolgt (BARAS & JEANDRAIN 1998). Darüber hinaus existieren auch weniger invasive Markierungsmethoden. So kann der Sender im Magen (gastrointestinale Applikation) oder an der Rückenflossenbasis des Fisches extern befestigt werden. Die Implantation im Magen kommt insbesondere bei nicht mehr fressenden Wanderstadien in Betracht.

Da die Markierungsprozedur das Verhalten und die Physiologie des Fisches stark beeinflussen kann, sollte sie nur von erfahrenen Personen durchgeführt werden (BRIDGER & BOOTH 2003). Die diesbezüglich erforderlichen Kenntnisse betreffen sowohl die Eingriffe am Fisch und die hierbei notwendigen hygienischen Maßnahmen als auch die physiologischen Reaktionen auf Betäubungsmittel (Überblick in ADAM et al. 2013). Weiterhin ist es wichtig, das Verhältnis zwischen Sendergewicht und Fischgewicht zu beachten, um Verhaltensbeeinträchtigungen zu reduzieren. Generell wird empfohlen, dass das Sendergewicht nicht mehr als 1,75 % (BARAS et al. 1996) beziehungsweise 2 % (JEPSEN et al. 2002) des Fischgewichts betragen sollte. Größe beziehungsweise Masse der Sender sind daher limitierende Faktoren für deren Einsatz (BEHRMANN-GODEL & ECKMANN 2003). Die leichtesten derzeit verfügbaren Sender wiegen etwa 0,3 g, sodass das Minimalgewicht eines zu markierenden Fisches ca. 20 g beträgt. Die technische Entwicklung geht jedoch schnell voran und es kommen regelmäßig neue Transponder auf den Markt. Deshalb ist damit zu rechnen, dass künftig noch leichtere Sender zur Verfügung stehen werden. Die Lebensdauer eines Senders ist abhängig von der Kapazität der internen Batterie und somit von der Sendergröße sowie Impulsfrequenz (HOCKERSMITH et al. 2000).

Die Radioempfänger bestehen aus mehreren Funktionseinheiten (Filter, Verstärker, Demodulator) und sind mit Antennen verbunden, welche elektromagnetische Wellen in elektrische Signale umwandeln. Jeder Empfänger ist für einen bestimmten Frequenzbereich mit entsprechender Sensitivität ausgelegt. Radioempfänger sind in verschiedenen Komplexitätsstufen erhältlich. Kleine, tragbare Empfänger dienen der mobilen Verfolgung einzelner Tiere und haben generell ein niedrigeres Frequenzband und eine geringere Datenspeicherkapazität (Abbildung 39) als große, stationäre Empfängersysteme.

Die Antennen können verschiedene Formen aufweisen. Für die mobile Signalverfolgung werden Richtantennen eingesetzt (Abbildung 39). Sie sind als Viereck oder Hexagon geformt. Yagi-Antennen werden dazu verwendet, Signale weiterer Antennen aus größeren Empfangsbereichen zu empfangen (Abbildung 40). Für die Signaldetektion im Wasser wurden spezielle Antennensysteme entwickelt. Mit Dipol-Unterwasserantennen können Fische in sehr kleinen Gebieten, wie im Einlaufbereich einer Turbine oder eines Bypasses geortet werden (Abbildung 41). Dies ist ebenso durch ein Stück blankes Koaxialkabel möglich (BEEMAN et al. 2004).



Abbildung 39: Tragbarer Empfänger für Radiosignale mit manueller Richtantenne (Foto: M. Ovido)



Abbildung 40: Stationäre Yagi-Antenne im Anströmbereich einer Wasserkraftanlage (Foto: Profish Technology)



Abbildung 41: Stationäre Unterwasser-Antenne zur Detektion besonderer Fische im Turbinenauslauf einer Wasserkraftanlage (Foto: Profish Technology)

### 19.2.1.3 Methodische Grenzen

Die Signalübertragung ist abhängig von der Tiefe und der Leitfähigkeit des Wassers (BEHRMANN-GODEL & ECKMANN 2003). Bei Leitfähigkeiten zwischen 200 und 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kann ein markierter Fisch mittels Luftantenne in einer maximalen Tiefe von drei bis fünf Metern geortet werden. Bei sehr niedrigen Leitfähigkeitswerten kann die maximale Tiefe jedoch 10 m und mehr betragen. Der Gebrauch von Unterwasserantennen erleichtert die Detektion in tieferen Zonen. Die Antenneninstallation erfordert spezielle Kenntnisse und umfangreiche Erfahrung, insbesondere wegen der enormen mechanischen Belastung der Systeme bei starker Strömung. Die Radiotelemetrie ist in Brack- und Salzwasser aufgrund der zu hohen Leitfähigkeit nicht einsetzbar.

Eine korrekte Dreiecksortung (Triangulation) eines Signals erfordert eine genaue Kalibrierung des Systems. Alle Empfänger müssen aufeinander abgestimmt werden. Dies wird durch die Verwendung von Synchronisierungssendern erreicht, die im Untersuchungsgebiet installiert werden und fortlaufend Impulse senden. Für eine exakte Triangulation ist auszuschließen, dass Unterwasserstrukturen das Signal reflektieren und somit eine falsche Positionsbestimmung erfolgt.

Aufgrund der zu berücksichtigenden Relationen zwischen Fisch- und Sendergewicht (siehe Kapitel 19.2.1.2), können nicht beliebig kleine Fische für die Radiotelemetrie verwendet werden. Die Methode ist somit art- und gröÙenselektiv.

### 19.2.1.4 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung

Wasserbauliche Einrichtungen, wie Schleusentore oder Schützanlagen aber auch Boote, angrenzende Straßen und benachbarte Industriegebiete können Störfrequenzen erzeugen, die die Signalübertragung beeinträchtigen und die Verfolgung der Tiere und die Positionsbestimmung erheblich erschweren. Die Auswahl der Funkfrequenz hat daher stets unter Berücksichtigung der Hintergrundsignale im Untersuchungsgebiet zu erfolgen.

Alle Luft- und Unterwasserantennen müssen mit einem Funkfeuer kalibriert werden, um die Empfindlichkeitsschwelle der Detektion einzustellen. Eine fehlerhafte Kalibrierung führt zu einer falschen Bestimmung der Fischposition. Diesbezüglich sind fundierte Kenntnisse erforderlich.

Bei der Datenauswertung ist zu berücksichtigen, dass der Funktionsausfall oder Verlust von Transpondern aus dem Fisch nie ganz auszuschließen ist (CLEMENS et al. 2009). Verluste von Sendern durch Prädation fischfressender Vögel oder Raubfische sind gleichfalls in Betracht zu ziehen (VOGEL 2008). Ferner besteht die Möglichkeit, dass ein markierter Fisch unbemerkt aus dem Detektionsbereich abwandert.

Detektionsprobleme können auch aufgrund technischer Probleme, wie z. B. defekte Kabel, Kabelverbindungen oder eine ungünstige Installation der Empfangssysteme entstehen. Die Einrichtung einer Erfassungsstation, insbesondere mit mehreren Empfängern und Antennen (z. B. an einem Wasserkraftwerk), erfordert spezielle Fachkenntnisse.

## 19.2.2 Akustische Telemetrie

### 19.2.2.1 Einsatzgebiet

Die akustische Telemetrie wird eingesetzt, um Fischwanderungen in großen Flüssen, Flussmündungen (HEUPEL et al. 2010) und Seen (ROY et al. 2014) sowie in Küstengewässern über große Distanzen zu verfolgen. In strukturdiversen Flüssen, in denen Bankstrukturen und Rauschen, steiniger Grund, Turbulenzen und Blasen die Ausbreitung des Signals mindern können, ist sie jedoch weniger effektiv. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit besteht in der Analyse des Fischverhaltens im Bereich von Wanderhindernissen und Fischwegen. Durch Verknüpfung der erfassten Migrationsmuster und Schwimmgeschwindigkeiten mit abiotischen Einflussgrößen lassen sich die wahrscheinlichen Ursachen der beobachteten Verhaltensweisen analysieren (BEHRMANN-GODEL & ECKMANN 2003, VOGEL 2008, MCCARTHY et al. 2008, BULTEL et al. 2013). In Flüssen wird die akustische Telemetrie der Radiotelemetrie dann vorgezogen, wenn die Fischwanderung in 2D- oder 3D-Auflösung mit einer Genauigkeit von < 1 m untersucht werden soll.

Verschiedene Veröffentlichungen präsentieren die Ergebnisse telemetrischer Untersuchungen im Bereich von Wasserkraftanlagen (z. B. STEIG 2009, MCMICHAEL 2010).

An der Mosel (Deutschland) wurde das Verhalten abwandernder Blankaale bei Annäherung an eine Wasserkraftanlage telemetrisch charakterisiert und hierbei ein ausgeprägtes Meidungsverhalten festgestellt (BEHRMANN-GODEL & ECKMANN 2003). Derartige Ergebnisse sind von praktischer Bedeutung, ermöglichen sie doch beispielsweise Fischwege anhand der tatsächlichen verhaltensbiologischen Anforderungen zu positionieren.

Da die Ausbreitung von Ultraschallwellen bei hohen Elektrolytkonzentrationen unproblematischer als die von Radiosignalen ist, kann die akustische Telemetrie auch im Brackwasser und in mariner Umgebung eingesetzt werden.



### 19.2.2.2 Beschreibung der Methodik

Acoustic-Tags (Ultraschall-Sender) erzeugen akustische Pulsfolgen in Frequenzen zwischen 30 kHz und 300 kHz (LUCAS & BARAS 2001) (Abbildung 42, Abbildung 43), die von Hydrophonen erfasst werden. Jeder Sender emittiert die Signale in einer festen Frequenz. Die Codierung erfolgt über individuelle Pulsfolgen. Der Sender wird meist durch einen operativen Eingriff in die Bauchhöhle des Fisches implantiert (intraabdominale Applikation). Es existieren aber auch andere, weniger invasive Markierungsmethoden. So kann der Sender in den Magen (gastrointestinale Applikation) oder in die Rückenmuskulatur (externe Applikation) eingebracht werden (Details vgl. ADAM et al. 2013).



Abbildung 42: Acoustic-Tag, V9-Coded-Tag der Firma Vemco (Foto: R. Roy)



Abbildung 43: Acoustic-Tag, Juvenile-Salmon-Acoustic-Tag der Firma Lotek Wireless Inc. (Foto: E. De Oliveira)

Die mit dem Ultraschall-Empfänger korrespondierenden Hydrophone sind unter Wasser meist fest montiert und speichern die empfangenen Signale automatisch. Die Kombination mehrerer Hydrophone erlaubt eine 2D-Ortung der Fische. Auch 3D-Ortungen sind in Flüssen bei Verwendung von Acoustic-Tags mit Tiefensensoren oder bei geeigneter Positionierung der Ultraschall-Empfänger und großen Wassertiefen möglich. Die markierten Fische können zudem mit mobilen Empfängern per Boot oder vom Ufer aus verfolgt werden (BEHRMANN-GODEL & ECKMANN 2003).

Im Gegensatz zu Radio-Empfängern können akustische Hydrophone die vom Sender generierten Signale über große Distanzen im Wasser empfangen. Der Detektionsbereich erstreckt sich über mehrere hundert Meter. Die von den Sendern erhaltenen Daten werden gesammelt, um den Fisch unter Anwendung der Triangulation zu lokalisieren (vgl. Kapitel 19.2.1.3).

### 19.2.2.3 Methodische Grenzen

Vorteil der akustischen Telemetrie ist die gegenüber der Radiotelemetrie größere Ortungsgenauigkeit. Daher wird die akustische Telemetrie eingesetzt, wenn eine präzise Verortung der Tiere erforderlich ist. Aufgrund der vergleichsweise hohen Kosten kommt das akustische Verfahren bisher überwiegend in Großprojekten zur Anwendung. Wie bereits dargestellt, kann die Signalausbreitung durch im Wasserkörper befindliche Strukturen beeinträchtigt werden (Kapitel 19.2.2.1). Die Positionierung der Empfänger im Gewässer erfordert daher fundierte methodische Kenntnisse (SMITH et al. 1998) und in der Regel eine direkte Einbindung des Herstellers. Die Detektionsdistanz ist abhängig vom Sendertyp, dem Wetter und den hydraulischen Bedingungen (BEHRMANN-GODEL & ECKMANN 2003). Die Einsatzdauer eines Senders wird durch die Batterielebensdauer bestimmt (BEHRMANN-GODEL & ECKMANN 2003).

Da bestimmte Relationen zwischen Fisch- und Sendergewicht einzuhalten sind (Kapitel 19.2.1.2), können nicht beliebig kleine Fische für die Radiotelemetrie verwendet werden. Die Methode ist somit art- und gröbenselektiv.

#### **19.2.2.4 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung**

Bei der Datenauswertung ist zu berücksichtigen, dass der Funktionsausfall oder Verlust von Acoustic-Tags aus dem Fisch nicht ganz auszuschließen ist. Verluste von Sendern durch Prädation fischfressender Vögel oder Raubfische sind gleichfalls in Betracht zu ziehen (VOGEL 2008). Ferner besteht die Möglichkeit, dass ein markierter Fisch unbemerkt aus dem Detektionsbereich abwandert.

Die Detektionsprobleme sind bei der akustischen Telemetrie identisch mit denen der Radiotelemetrie (Kapitel 19.2.1.4). Die Installation der Empfänger erfordert auch hier spezielle Fachkenntnisse.

In Flüssen ist es möglich, dass akustische Störsignale markierte Fische vortäuschen. Eine Verwechslung ist in der Regel jedoch unwahrscheinlich, da das Signal des Senders regelmäßiger ist als das eines Störsignals. Allerdings wird im Vorfeld empfohlen, die Senderfrequenzen im Untersuchungsgebiet zu testen, um weitgehend ungestörte Frequenzbereiche zu selektieren.

Für die exakte Bestimmung der Position eines Fisches ist eine Triangulation notwendig (vgl. Kapitel 19.2.1.3).

### **19.3 Passive Transponder**

#### **19.3.1 Passive-Integrated-Transponder (PIT-Tag)**

##### **19.3.1.1 Einsatzgebiet**

Passive-Integrated-Transponder (PIT-Tags) werden zur Identifikation von Wild- und Haustieren verwendet. In der fischereiwissenschaftlichen Forschung gibt es verschiedene methodische Ansätze für den Einsatz von PIT-Tags. Eine Möglichkeit ist die individuelle Markierung von Fischen, beispielsweise zur Erfassung von Fischpassagen an Querbauwerken durch Markierung und Wiederfang. Hierbei werden Fische mit PIT-Tags markiert (Vorgehensweise vgl. ADAM et al. 2013) und in der Nähe des Querbauwerks ausgesetzt. Durch spätere Befischungen wird festgestellt, ob markierte Fische das Querbauwerk überwunden haben. Die PIT-Tags werden dabei in der Regel mit mobilen Lesegeräten ausgelesen.

Meist werden PIT-Tags jedoch in Verbindung mit stationären Detektionssystemen eingesetzt. Letztere werden in Engstellen installiert, um die Passage der mit PIT-Tags ausgestatteten Tiere zu erfassen. Auf diese Weise kann die Nutzung von Fischaufstiegs- und Fischabstiegsanlagen untersucht werden (CASTRO-SANTOS et al. 1996, ADAM & SCHWEVERS 1997, BOUBÉE & WILLIAMS 2006, ADAM & NEUMANN 2012, HUFGARD et al. 2013). Hierfür werden automatische Ortungssysteme unter Verwendung von Ring- oder Rahmenantennen installiert. Auf diese Weise werden die bei der Passage eines Fisches generierten Signale aufgezeichnet, wodurch sie für weitere Auswertungsschritte zur Verfügung stehen (AARESTRUP et al. 2003).

Mithilfe von PIT-Tags lassen sich Informationen zu Wanderzeiten und Wanderdistanzen aber auch zu Wachstum und Lebenszyklus gewinnen (PRENTICE et al. 1994, ZYDLEWSKI et al. 2006, ADAM 2013). Ergänzend wird darauf verwiesen, dass die Antennen auch als Flachbett-Schleifen auf dem Boden des Flusses installiert werden können, um wandernde Fische zu erfassen.

##### **19.3.1.2 Beschreibung der Methodik**

Die Funktionseinheit ist in einem glasartigen Behältnis verkapselt (Abbildung 44). PIT-Tags senden den auf ihnen gespeicherten alphanummerischen Code bei der Passage eines magnetischen Feldes der Empfangseinheit durch elektromagnetische Induktion (ZYDLEWSKI et al. 2006, DUMONT et al. 2012). Die PIT-Tags benötigen daher keine eigene Stromversorgung durch eine Batterie und können

kleiner und leichter sein als aktive Transponder. Sie bleiben in der Regel die gesamte Lebenszeit des markierten Tieres funktionsfähig (BOND et al. 2007).

Der Transponder wird meist durch einen operativen Eingriff in die Bauchhöhle des Fisches implantiert (intraabdominale Applikation, Abbildung 45). Eine Applikation unter die Haut (subkutan) ist mit kleinen Transpondern ebenfalls möglich (Details vgl. ADAM et al. 2013).



Abbildung 44: HDX-Tag der Firma Biomark Inc. (USA), Größenvergleich zu einem 5 Eurocent-Stück (Foto: Profish Technology)



Abbildung 45: Einsetzen eines HDX-Tags (Biomark Inc., USA) in einen Flussbarsch (Foto: J. Schneider)



Abbildung 46: Ansicht einer PIT-Tag-Antenne im Bereich der Bypassöffnung einer Wasserkraftanlage in Belgien (Foto: M. Ovido)

Die Empfängereinheit besteht aus einer Antenne (Abbildung 46), einem Tuner und einem Lesegerät. Letzteres ist zur Datenspeicherung an einen Computer oder einen Datenlogger angeschlossen. Die

Reichweite der Detektion ist geringer als bei aktiven Transponder-Systemen und hängt vom Transpondertyp und dessen Größe ab. Detektionsentfernungen von über einem Meter sind in Flüssen bereits schwierig zu erreichen (ZYDLEWSKI et al. 2006), wobei nach DUMONT et al. (2012) die Erfassung HDX-transpondierter Fische innerhalb 1,2 m breiter Schlitze einer Fischaufstiegsanlage möglich war.

Zu unterscheiden sind zwei Haupttypen von Tags:

1. Half Duplex PIT-Tag (HDX PIT-Tag)
2. Full Duplex PIT-Tag (FDX PIT-Tag)

FDX-Tags sind kleiner als HDX-Tags und daher für den Einsatz bei kleinen Fischen geeignet (BURNETT et al. 2013). FDX-Systeme senden und empfangen gleichzeitig, sodass deren Signalverarbeitung schneller verläuft als bei HDX-Systemen (JOHNSTON et al. 2009). Die Detektionsentfernung von FDX-Tags ist allerdings geringer als bei HDX-Tags. Eine Sonderform passiver Transponder stellt das NEDAP-Trial®-System (Nedap N.V., Niederlande) dar. Durch größere Spulen und eine zusätzliche elektrische Verstärkung des Signals wird eine deutlich höhere Sendeleistung erreicht. Dies bedingt jedoch eine gegenüber den anderen Systemen größere Bauform (vgl. ADAM et al. 2013).

PIT-Tags sind vergleichsweise kostengünstig und ermöglichen die Markierung einer großen Stichprobe und die Erfassung groß- und kleinräumiger Fischwanderungen, auch in Ästuaren und tidebeeinflussten Gewässern (CASTRO-SANTOS et al. 1996).

### 19.3.1.3 Methodische Grenzen

Die Detektionsentfernung ist abhängig von der Größe der Transponder. Mit abnehmender Größe verringert sich die Senderreichweite. Die Empfangsqualität ist stark von angrenzenden elektrischen Feldern abhängig, die beispielsweise durch Hochspannungsleitungen, elektronische Schaltschränke oder Erdkabel erzeugt werden. In der Nähe derartiger Störquellen sollten keine Empfangseinheiten installiert werden.

Bei Verwendung mehrerer Antennen ist es wichtig, dass sich deren Empfangsbereiche nicht überlagern, um eine eindeutige Datenerfassung zu gewährleisten. Ist der zu untersuchende Fließquerschnitt größer als die maximal mögliche Antennengröße (z. B. bei starkem Durchflussanstieg) oder wird die erforderliche Antennenarray-Größe durch die Empfängereinheit nicht mehr unterstützt, werden nicht alle passierenden Tags zuverlässig ausgelesen (ACHORD et al. 2012).

Die zuverlässige Erfassung transpondierter Fische bei hohen Fischdichten ist problematisch (CASTRO-SANTOS et al. 1996, RILEY et al. 2010), da während des Auslesevorgangs eines Tags zeitgleich kein weiterer Tag vom selben Empfänger registriert werden kann.

### 19.3.1.4 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung

Bei der Installation der Antennen ist auf eine ausreichende Entfernung zu vorhandenen elektrischen Feldern zu achten, da ansonsten keine zuverlässige Detektion transponierter Fische sichergestellt werden kann. Ferner müssen die Antennengeometrie und deren räumliche Anordnung eine sichere Erfassung der Fische gewährleisten. Es ist sinnvoll die Detektionsrate experimentell zu testen. Gegebenenfalls ist die Empfängeranordnung zu optimieren oder die Ergebnisse entsprechend zu korrigieren. Die Installation der Empfänger erfordert spezielle Fachkenntnisse.

Bei der Datenauswertung ist zu berücksichtigen, dass der Funktionsausfall oder Verlust von PIT-Tags aus dem Fisch nicht ganz auszuschließen ist. Verluste von Sendern durch Prädation fischfressender Vögel oder Raubfische sind gleichfalls in Betracht zu ziehen (VOGEL 2008). Ferner besteht die Möglichkeit, dass ein markierter Fisch unbemerkt aus dem Detektionsbereich abwandert.

## 20 Markierung und Wiederfang

### 20.1 Allgemeine Aspekte

#### 20.1.1 Einsatzgebiet

Bei standörtlichen Evaluierungen des Fischschutzes und Fischabstieges ist häufig eine Markierung der eingesetzten Versuchsfische erforderlich, um diese von anderen Tieren der gleichen Art und Größe zu unterscheiden. Hierdurch können verschiedene wissenschaftliche Fragestellungen (z. B. Effizienz von Fangvorrichtungen) gezielt bearbeitet werden.

#### 20.1.2 Beschreibung der Methodik

Generell ist zwischen individuellen und nicht-individuellen Markierungsmethoden zu unterscheiden. Individuelle Markierungen, die beispielsweise mittels Zahlencode erfolgen, ermöglichen die Wiedererkennung des konkreten Fisches. Dagegen werden nicht-individuelle Markierungen vorgenommen, um die Zugehörigkeit von Individuen zu einer bestimmten Versuchsgruppe kenntlich zu machen. Für derartige Gruppenmarkierungen wird häufig ein Farbpunkt am Fisch appliziert. Durch Variation der eingesetzten Farben oder der markierten Körperregion lassen sich unterschiedliche Gruppen voneinander abgrenzen.

Im Gegensatz zu passiven und aktiven Transpondern (vgl. Kapitel 19) können die im Folgenden dargestellten Markierungen nicht automatisch ausgelesen oder detektiert werden. Die Tiere müssen folglich wiedergefangen werden, um sie visuell auf Markierung zu überprüfen. Der Wiederfang kann je nach Fragestellung mit verschiedenen Methoden (vgl. Kapitel 12, 13, 23) erfolgen.

#### 20.1.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Mithilfe der verschiedenen Markierungs- und Wiederfangtechnologien kann die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter ermittelt beziehungsweise die Aussagekraft bei der Datenerhebung präzisiert werden:

1. Abstiegsrate
2. Korridorspezifische Schädigungsrate
3. Standortschädigungsrate
4. Korridorspezifische Mortalitätsrate
5. Korridorspezifische Überlebensrate
6. Standortmortalitätsrate
7. Standortüberlebensrate
8. Schutzrate
9. Artselektivität Fischabstiegseinrichtung
10. Schutzsystemableitrate
11. Standortbezogene Ableitrate
12. Einschwimmrate

#### 20.1.4 Methodische Grenzen

Allen Methoden ist gemeinsam, dass eine Mindestgröße der zu markierenden Tiere zu beachten ist (Ausnahme Coded-Wire-Tags, vgl. Kapitel 20.2.6).

Abhängig von der Methode gibt es in der Literatur entsprechende Mindestgrößengaben, die in den folgenden Kapiteln zitiert werden. Bei manchen Methoden wie beispielsweise der Farbmarkierung ist die Mindestgröße davon abhängig, an welcher Körperstelle die Markierung erfolgt und um welche

Fischart es sich handelt. Für die Markierung von Fischen sind auch in dieser Hinsicht entsprechende Fachkenntnisse zwingend erforderlich.

### **20.1.5 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik**

Für Markierungsmethoden, die eine Narkotisierung der Fische erfordern und mit operativen Eingriffen verbunden sind (Schnitte oder Einführen von Markern mit speziellen Nadeln), ist in Deutschland eine behördliche Genehmigung notwendig.

Verschiedentlich wird auch die nadellose Markierung von Fischen mit Farbpunkten als genehmigungspflichtig angesehen. Viele Veterinärämter stufen sie jedoch eindeutig als gängige, genehmigungsfreie Methode des Monitorings ein, vergleichbar mit dem Vermessen von Fischen auf einem Messbrett.

## **20.2 Markierungsmethoden**

### **20.2.1 Farbmarkierung**

#### **20.2.1.1 Beschreibung der Methodik**

Mit Farbstoffen und Pigmenten lassen sich Fische auf einfache Weise und in großen Stückzahlen als Gruppen markieren. Eine gängige Markierungsmethode ist die nadellose Injektion, bei der die Markierungsflüssigkeit mittels Druckluft subkutan appliziert wird. Dabei kommen Injektionsgeräte wie Panjet, Dermojet oder Injex<sup>TM</sup> aus der Human- bzw. Veterinärmedizin zur Anwendung (Abbildung 47). Für die Markierung werden unterschiedliche Farbstoffe verwendet, die lange sichtbar bleiben. Hierfür können z. B. handelsübliche Tätowierfarbstoffe verwendet werden. Voraussetzung ist, dass insbesondere eingesetzte Lösungsmittel von den Fischen vertragen werden. Der früher verwendete Farbstoff Alcian-Blau gilt als kanzerogen und darf an Fischen, die gegebenenfalls in die menschliche Nahrungskette gelangen können, nicht mehr verwendet werden. Die Farbmarkierungen sind an hellen Körperstellen oder im Bereich der Flossen besonders gut sichtbar.





Abbildung 47: Farbmarkierung der Afterflosse einer Forelle mit dem Injex™ (Foto: M. Schmalz)

### 20.2.1.2 Methodische Grenzen

Es können nicht beliebig kleine Fische markiert werden. Abhängig von der zu markierenden Fischart beziehungsweise Körper- oder Flossenregion lassen sich Individuen ab einer Größe von 8 bis 12 cm markieren (SCHWEVERS & ADAM 1995, SCHNEIDER 1999, SCHNEIDER et al. 2012). Bei Aalen kann die Farbmarkierung ab einer Totallänge von 25 cm erfolgen. Die Markierung sollte grundsätzlich an der Körperseite, an der Flossenbasis oder im Flossenbereich selbst erfolgen. Die empfindliche Bauchunterseite ist vor allem bei kleinen Individuen für die Markierung weniger geeignet (z. B. HÜBNER 2014).

### 20.2.1.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung

Da nicht alle Farbinjektionen eine gut erkennbare Markierung zur Folge haben, ist eine Kontrolle der Sichtbarkeit direkt nach der Markierung obligat, um die Qualität der Farbpunkte zu überprüfen. Falls erforderlich, ist die Injektion zu wiederholen. Dies betrifft insbesondere die Markierung von Aalen, bei denen die Markierungen aufgrund der dicken Hautschicht schlecht sichtbar sind, sofern nur geringe Farbmengen injiziert werden. Allgemein gilt, dass die Farbmarkierung im Laufe der Zeit, mit zunehmendem Wachstum des Fisches sowie gegebenenfalls aufgrund der Alterung des Farbstoffs verblasst. Die Markierungsmethode eignet sich daher nur eingeschränkt für Untersuchungen, die über längere Zeiträume angelegt sind.

## **20.2.2 Flossenschnitte und Adiposenschnitte**

### **20.2.2.1 Beschreibung der Methodik**

Die partielle oder vollständige Entfernung der Adipose (Fettflosse), bei der es sich um eine nicht innervierte, strahlenlose Hautausstülpung handelt, gehört zu den international am häufigsten eingesetzten Markierungen. Da die Adipose im Gegensatz zu anderen Flossen nicht regenerationsfähig ist, ermöglicht der Adiposenschnitt eine dauerhafte Wiedererkennung des Fisches.

Neben der Adipose können auch andere Flossen partiell entfernt werden, wobei eine derartige Markierung aufgrund von Regenerationsvorgängen meist nur für eine vergleichsweise kurze Zeit sichtbar ist.

### **20.2.2.2 Methodische Grenzen**

Da eine Fettflosse nur bei einigen Verwandtschaftskreisen auftritt (in Europa z. B.: Salmonidae, Thymallidae, Coregonidae, Siluridae), ist der Adiposenschnitt nicht bei allen Arten anwendbar. Generell gilt, dass Flossenschnitte erst bei Tieren mit einer Mindestlänge von 6 bis 7 cm vorgenommen werden sollten. Im Gegensatz zu anderen Staaten wird dem Flossenschnitt in Deutschland eine tierschutzrechtliche Relevanz beigemessen.

### **20.2.2.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung**

Wie bereits dargestellt, unterscheidet sich die Regenerationsfähigkeit der Adipose von der der übrigen Flossen. Während der Adiposenschnitt eine dauerhafte Wiedererkennung ermöglicht, ist das beim Beschnitt der übrigen Flossen nicht gewährleistet. Hier erfolgt eine Regeneration in Abhängigkeit von der Beschnittgröße in einem Zeitraum von einigen Tagen bis Monaten. Da Flossen der Fortbewegung dienen, kann die Schwimmleistung der Fische durch Flossenschnitte prinzipiell beeinträchtigt werden. Um derartige Effekte zu minimieren, wird der Anteil des entfernten Flossenabschnitts in der Praxis auf lediglich 20 bis 30 % der Gesamtfläche der betreffenden Flosse begrenzt (Ausnahme: Adipose, siehe oben).

## **20.2.3 Sichtbare Implantatmarkierung (Visible-Implant-Elastomer-Tags und Visible-Implant-Alpha-Tags)**

### **20.2.3.1 Beschreibung der Methodik**

Bei dieser Methode wird entweder eine kleine Menge eines farbigen fluoreszierenden Elastomers mit einer Spritze unter Betäubung des Fisches subkutan im Bauchbereich oder hinter dem Auge injiziert. Durch den Einsatz verschiedener Farben können unterschiedliche Gruppen von Tieren markiert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Implantation von farbigen, fluoreszierenden Kunststoffplättchen. Diese Visible-Implant-Alpha-Tags tragen numerische Codes, so dass eine Individualerkennung von Tieren möglich ist.

### **20.2.3.2 Methodische Grenzen**

Es können nicht beliebig kleine Fische markiert werden. Der Markierungsaufwand ist deutlich höher als bei subkutanen Farbmarkierungen mittels Druckluft (siehe Kapitel 20.2.1).

### 20.2.3.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung

Bei Visible-Implant-Alpha-Tags besteht das Risiko des Markenverlustes, da die Plättchen unter Umständen unter der Haut hervorrutschen können. Es liegen Hinweise auf eine höhere Verlustrate dieser Implant-Tags gegenüber Ankermarken (Floy- oder Anchor-Tags, siehe Kapitel 20.2.4) vor (MOURNING et al. 1994). Bei Verrutschen des Implantats in stärker pigmentierte Hautbereiche kann es außerdem zu Schwierigkeiten beim Ablesen des Codes kommen.

## 20.2.4 Ankermarken (Floy- oder Anchor-Tags)

### 20.2.4.1 Beschreibung der Methodik

Bei dieser Methode wird eine Kunststoffmarke mit einem T-förmigen Ankerfaden mithilfe einer Markierungspistole mit Hohlnadelspitze unterhalb der Rückenflosse appliziert (Abbildung 48, Abbildung 49). Aufgrund ihres Widerhakens verankert sich die Marke im Muskelgewebe. Gruppen von Fischen können mit unterschiedlichen Farben oder Markengrößen gekennzeichnet werden. Sind die Fähnchen mit einem Nummerncode versehen, ist eine Individualerkennung möglich. Auch weitere Informationen, wie Telefonnummern für Rückmeldungen, können auf größeren Marken angebracht werden.



Abbildung 48: Ankermarkierung eines Zanders mittels Markierungspistole (Foto: D. Hübner)



Abbildung 49: Beschriftete Ankermarke unterhalb der Rückenflosse (Foto: D. Hübner)

#### 20.2.4.2 Methodische Grenzen

Es können nicht beliebig kleine Fische markiert werden. Die minimale Größe der Fische liegt bei Verwendung kleiner Marken je nach Fischart bei ca. 15 bis 20 cm Totallänge.

#### 20.2.4.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung

Verhaltensänderungen von Fischen mit derartigen Marken können nicht ausgeschlossen werden. Falls sich die Marken lösen, wird das Wiederfangergebnis verfälscht. Insbesondere bei Netzfangtechniken können sich die Ankerfähnchen in den Netzmaschen verfangen. Es liegen Hinweise auf eine erhöhte Mortalität im Vergleich zu Visible-Implant-Tags vor (MOURNING et al. 1994).

### 20.2.5 Metallmarke am Kiemendeckel oder am Kiefer

#### 20.2.5.1 Beschreibung der Methodik

Die Befestigung von Metallmarken am Fisch wurde bereits von STEINMANN (1937) angewendet. Die Ausführung und Befestigung kann sehr unterschiedlich ausfallen. Beispielsweise kann eine ringförmige Metallmarke um den Unterkieferbogen geformt und festgeklemmt werden. Bei einer anderen Vorgehensweise wird eine Metallmarke am hinteren Rand des Kiemendeckels fixiert. Durch Nummerierung der Metallmarken ist eine individuelle Wiedererkennung möglich.

#### 20.2.5.2 Methodische Grenzen

Es können nicht beliebig kleine Fische markiert werden.

### **20.2.5.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung**

Verhaltensänderungen der Fische mit Metallmarken können nicht ausgeschlossen werden. Dies betrifft insbesondere das Schwimm- und Fressverhalten. Falls sich die Marken lösen, wird das Wiederfangergebnis verfälscht.

## **20.2.6 Coded-Wire-Tags (CWT)**

### **20.2.6.1 Beschreibung der Methodik**

Bei den Coded-Wire-Tags (CWT) handelt es sich um kleine magnetisierte Stahlstifte mit 0,25 mm Durchmesser und einer Länge von 1,1 mm. Sie werden im Allgemeinen mit einem Injektionsgerät in das Gewebe im Kopfbereich implantiert. Alternativ kann der Stift auch in andere Körperbereiche, z. B. in den Flossensaum, injiziert werden (KRAPPE 1998). Jeder Stift hat einen eigenen binären Strichcode, sodass eine Individualmarkierung der Fische möglich ist. Allerdings kann der Individualcode an lebenden Tieren nicht von außen ausgelesen werden, sondern es ist mithilfe eines Magnetdetektors lediglich feststellbar, ob das Tier markiert wurde. Zur genauen Identifizierung muss der Stift aus der betreffenden Körperregion entfernt und danach ausgelesen werden. Für Gruppenmarkierungen sind auch nicht codierte Stifte (Wire-Tags) erhältlich. Es können sehr kleine Individuen (Salmoniden ab 22 mm) markiert werden (CHAMPIGNEULLE et al. 1987).

### **20.2.6.2 Methodische Grenzen**

Vor Entfernung des Stahlstiftes aus dem Kopfbereich müssen die Fische getötet werden. Eine individuelle Identifizierung ist hier folglich nur ein Mal möglich. Die Applikation im Flossenbereich ermöglicht eine Bergung des Tags am lebenden Individuum (KRAPPE 1998), ist aber zeitaufwändig.

### **20.2.6.3 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und –vermeidung**

Die Verlustraten der im Kopfbereich implantierten Stifte und die markierungsbedingte Mortalität sind als gering zu bezeichnen. Über Verluste von in Flossen implantierten CWTs sind keine Informationen verfügbar.

## 21 Fisch-Injektion

### 21.1 Einsatzgebiet

Die turbinenbedingte Mortalitätsrate ist gelegentlich für Zielarten zu bestimmen, die nur selten in dem betreffenden Fluss vorkommen. In derartigen Fällen empfiehlt es sich, nicht natürlich abwandernde Fische zu untersuchen, sondern eine ausreichend große Zahl geeigneter Versuchsfische zu nutzen. Als Beschaffungsquellen der Tiere kommen z. B. Elektrofischungen (Kapitel 23) in anderen Gewässern oder der Bezug der Fische aus der Berufsfischerei in Frage.

Die Versuchsfische werden in experimentellen Versuchen mithilfe spezieller Vorrichtungen in die gewünschte Position, meist unmittelbar vor die Turbinen, injiziert. Nach der Turbinenpassage müssen die Fische wiedergefangen und hinsichtlich ihres Gesundheitszustands untersucht werden. Für den Wiederfang im Unterwasser können unterschiedliche Methoden zur Anwendung kommen. Die einfachste Methode ist in der Regel der Einsatz eines Hamens im Austrittsquerschnitt der betreffenden Turbine. Diese Methode ist geeignet für kleine Turbinen mit Durchflüssen von wenigen hundert l/s bis hin zu größeren Turbinen mit Durchflüssen von 100 m<sup>3</sup>/s (vgl. Kapitel 12). Für größere Turbinen, an denen ein Einsatz von Hamen nicht mehr möglich ist, wurden Balloon-Tags (HI-Z Turb'N Tag®, Normandeau Associates Inc., USA) entwickelt, welche die Fische nach Turbinenpassage im Unterwasser an die Wasseroberfläche befördern, wo sie durch farbige Ballons oder zusätzliche Transponder detektierbar sind und geborgen werden können.

Im Vergleich zu konventionellen Hamenuntersuchungen, bei denen natürlich abwandernde Fische kontinuierlich über einen längeren Zeitraum erfasst werden, weist die Fisch-Injektion folgende Vorteile auf:

1. Die Injektion und der Wiederfang erfordern nur einen geringen Zeitaufwand. Sofern für den Wiederfang Hamen eingesetzt werden, treten aufgrund der nur kurzen Exposition des Fanggerätes meist keine Probleme durch Schwemmgutversatz auf. Da die Fangzeit erheblich reduziert ist, sind zugleich auch die Unfallrisiken während der Untersuchung vergleichsweise gering. Allerdings treten durch das obligate, vollständige Heben des Hamens (siehe Kapitel 21.2.5) z. B. mit Hebezeugen oder Kran zusätzliche Risiken auf.
2. Bestimmte Fischarten und -größen können gezielt untersucht werden.
3. Der gesundheitliche Zustand der Fische vor der Passage durch die Turbinen ist bekannt.

Durch Anwendung der Injektionsmethode können nicht nur Turbinen, sondern auch Schöpfwerke untersucht werden.

### 21.2 Beschreibung der Methodik

#### 21.2.1 Beschaffung der Versuchsfische

Voraussetzung für die Anwendung der Injektionsmethode ist die Verfügbarkeit der Zielfischart in ausreichender Individuenzahl (möglichst 200 bis 400 Individuen), charakteristischer Größe und guter physischer und physiologischer Verfassung. Die gewünschten Zielarten werden durch Elektrofischung gefangen (vgl. Kapitel 23) oder aus der Berufsfischerei bezogen. In beiden Fällen ist es notwendig, die Fische unter geeigneten Bedingungen zwischenzuhältern, um sie an die Wasserbeschaffenheit des Standorts zu adaptieren und ihren gesundheitlichen Zustand über 48 Stunden hinweg zu beobachten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Zwischenhälterung den Ausbruch beziehungsweise das Fortschreiten von Krankheiten und Parasitosen begünstigen kann. Weiterführende Hinweise zur sachgerechten Hälterung von Fischen sowie zur Prophylaxe und Bekämpfung von Krankheiten und Parasitosen sind der einschlägigen Fachliteratur zu entnehmen (z. B. BASSLEER 2006). Da bereits vorhandene äußere Verletzungen beziehungsweise krankheitsbedingte Veränderungen mit turbinenbedingten Schädigungen verwechselt werden können, ist der Zustand der Fische unmittelbar vor

dem Beginn der Injektion exakt zu dokumentieren. Sofern Fische, aus anderen Regionen angeliefert werden, sind geeignete Haltungsbedingungen während des Transports zu gewährleisten (z. B. pH-Wert, Temperatur, Sauerstoffgehalt; Details vgl. ADAM et al. 2013). Die Akklimation von Fischen ist besonders sorgfältig vorzunehmen und durch erfahrenes Personal fachlich zu begleiten.

### 21.2.2 Hälterung der Fische

Die Fischhälterung kann durch Lochkästen, die direkt im Fluss eingebracht werden oder durch Hälterungsbecken, die mit Flusswasser gespeist werden, realisiert werden. In beiden Fällen darf die Fischdichte in den Haltungseinrichtungen nicht zu hoch sein, um Stress zu vermeiden und die Verbreitung von Parasitosen, Bakteriosen und Mykosen zu begrenzen. Keinesfalls sollten die aus Aquakulturen bekannten Fischdichten überschritten werden. Günstiger ist eine Orientierung an den bei extensiver Haltung praktizierten Fischdichten. Für Wildfische sind gegebenenfalls noch geringere Dichten zu empfehlen. Das gilt vor allem dann, wenn es sich um revierbildende, aggressive Arten handelt (z. B. Hecht). Hinweise zu konkreten Fischdichten bei der Hälterung enthält beispielsweise ADAM et al. (2013).

### 21.2.3 Injektionsverfahren der Fische

Die für die Fischinjektion einzusetzende Vorrichtung muss stets standortspezifisch geplant und gefertigt werden. Sie besteht aus einem initialen Aufnahmegefäß (Abbildung 50), in das die Fische aus dem Hälter per Hand überführt werden, sowie aus einer sich hieran anschließenden Leitung, durch welche die Fische zum Injektionsort gelangen (Abbildung 50). Der genaue Injektionsort kann variieren und ist insbesondere von der wissenschaftlichen Fragestellung abhängig. So kann die Injektion sowohl vor der Fischschutzeinrichtung als auch im Turbineneinlauf oder am Leitapparat direkt vor der Turbine erfolgen. Eine Injektion am Leitapparat wird dann praktiziert, wenn die Fischpassage an bestimmten Radien des Laufrades erzwungen werden soll, um diesbezügliche Differenzierungen der Mortalitätsrate zu evaluieren. Zu berücksichtigen ist, dass der Injektionsort durch unterschiedliche technische Restriktionen beeinflusst werden kann, die sich z. B. aus der Turbinenanströmgeschwindigkeit, der Rechenreinigungstechnik oder der Struktur des Einlaufbauwerks ergeben. Um den Transport der Fische im Injektionsrohr zu ermöglichen, wird dieses mit einer Pumpe kombiniert. Deren Kapazität ist von der Rohrlänge abhängig und beträgt meist 2 bis 10 l/s.



Abbildung 50: Apparaturen zur gezielten Fischinjektion; links: initialer Behälter für die Aufnahme von Blankaalen, rechts: am Leitapparat einer Kaplan-Turbine befestigtes Injektionsrohr (Fotos: Profish Technology)

Die Vorrichtung zur Fischinjektion ist bei Turbinenbetrieb gegebenenfalls hohen Fließgeschwindigkeiten und hohem Druck sowie Kollisionen mit Schwemmgut ausgesetzt. Sofern sich Teile der Injektionsvorrichtung während des Versuchs ablösen, besteht die Gefahr, das Laufrad der Turbine zu beschädigen. Daher ist die Injektionsvorrichtung gewissenhaft zu planen und auszuführen. Bei großen Kraftwerken, an denen sich die Turbinen tief im Wasserkörper befinden, kann für die Installation der Injektionsvorrichtung ein Berufstauchteam erforderlich werden. Als Grundlage für eine statistische Absicherung der Ergebnisse sollten pro betrachteter Zielart mindestens drei Wiederholungen des Injektions-Experimentes durchgeführt werden. Die Wiederholungen müssen dafür unter nahezu konstanten Rahmenbedingungen mit jeweils mindestens 100 Tieren erfolgen.

#### 21.2.4 Untersuchung der Fische

Jeder Fisch muss vor und nach der Injektion genau untersucht und sein Gesundheitszustand dokumentiert werden. Hierfür werden fotografische Aufnahmen beidseitig vom Fisch unter vergleichbaren Bedingungen gefertigt. Die turbinenbedingten Verletzungen sind detailliert zu untersuchen, wobei alle potenziellen Verletzungsarten (vgl. Kapitel 5.3.2.6) berücksichtigt und alle erforderlichen Methoden (z. B. Sektion, Röntgen) zu deren Erkennung eingesetzt werden sollten. In Bezug auf durch Turbinenpassagen hervorgerufene Verletzungstypen sind zu unterscheiden:

1. äußere mechanische Verletzungen z. B. Schnittwunden (Abbildung 51)
2. innere mechanische Verletzungen z. B. Wirbelfrakturen (Abbildung 52)
3. druckbedingte Verletzungen und Schädigungen z. B. Hämorrhagien (Abbildung 53)





Abbildung 51: Totaldurchtrennung des Fischkörpers nach Turbinenpassage (Foto: Profish Technology)



Abbildung 52: Wirbelfraktur bei einer Bachforelle nach Turbinenpassage (Foto: Profish Technology)



Abbildung 53: Einblutung in das Auge nach Turbinenpassage (Foto: W. Schmalz)

Die Verletzungen werden entsprechend Kapitel 5.3.2.6 klassifiziert, wobei auch zu erfassen ist, ob die Fische noch leben oder bereits verendet sind.

Die für die Injektionsversuche verwendeten Fische sollten möglichst individuell markiert werden (vgl. Kapitel 19 und 20). Anstelle individueller Markierungen können auch ganze Versuchsgruppen durch jeweils spezifische Gruppenmarkierungen gekennzeichnet werden.

### 21.2.5 Wiederaufnahme der Fische

Eine verbreitete Methode zum Fang der injizierten Fische unterhalb der Turbinen besteht in der Verwendung von Netzen. Wie bereits dargestellt, ist die Netzfangtechnik (vgl. Kapitel 12) für kleine Turbinen mit Durchflüssen von wenigen l/s bis hin zu Turbinen mit Durchflüssen von 100 m<sup>3</sup>/s einsetzbar. Das Netz für den Wiederaufnahme der Tiere ist an die Turbinenauslassdimension anzupassen, um eine hohe Wiederaufnahmerate zu garantieren. Im Regelfall wird ein Stahlrahmen konstruiert und daran das Netz befestigt. Der Rahmen kann meist in die Revisionsverschlüsse am Saugrohraustrittsprofil eingebracht werden, so dass der gesamte Austrittsquerschnitt der Turbine beprobt werden kann. Die Installation und das Heben des Netzes erfolgt im Regelfall mit einem Kran. Mobile Kräne mit einer Kapazität von 10 bis 50 Tonnen sind je nach Gewicht der Fangtechnik und der Entfernung zwischen Kranstellplatz und Hebeort für diese Arbeiten notwendig. Die Fängigkeit des Netzes ist entscheidend für die Genauigkeit der Daten.

Die Fangtechnik ist so zu gestalten, dass Verletzungen der Fische vermieden werden (vgl. Kapitel 12). Da Verletzungen häufig an den Knoten des Netzes (Schuppenverluste) sowie bei Fluchtversuchen aus dem Netz (Aufmaschen) entstehen, sollte ein möglichst engmaschiges, knotenloses Netz als Netzmateriale gewählt werden. Das Ende des Netzes ist so zu konstruieren, dass es sich leicht öffnen lässt und die Fische in einer guten Verfassung erhält (vgl. Kapitel 12). Vor jeder Injektion muss das Netz komplett fischleer sein, um Fehlzuordnungen zu vermeiden. Hierfür muss das Netz

komplett gehoben werden. Die Injektionszeit und somit die Fangzeit des Hamens sollten möglichst kurz gehalten werden, um den Treibgutversatz des Hamens zu minimieren.

Bei Injektionsexperimenten an großen Turbinen ( $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ist die Nutzung der Hamenfangtechnik meist nicht mehr möglich. Für spezielle Anwendungen hat eine amerikanische Firma spezielle Balloon-Tags entwickelt und patentiert (HI-Z Turb'N Tag®, Normandeau Associates Inc., USA). Die äußerlich an Fischen zu befestigenden Balloon-Tags enthalten eine wasserlösliche Kapsel mit Chemikalien, die nach Wasserkontakt Gas bilden und den Ballon füllen. Dieser Prozess dauert etwa 3 min. Die gasgefüllten Ballons haben genügend Auftrieb, um den Fisch an die Wasseroberfläche zu bringen (DUNCAN 2011, DE OLIVEIRA 2012). An größeren Fischen werden gegebenenfalls mehrere Ballon-Tags angebracht. Die Fische sollten zusätzlich mit Funksendern ausgestattet werden (vgl. Kapitel 19.2), um das Auffinden der Tiere nach der Standortpassage im Unterwasser zu erleichtern.

Diese Technik hat den Vorteil, dass kein Fangnetz nötig ist. Andererseits setzt die Anwendung der Technik den Einsatz von bis zu drei Booten voraus, um Fische in großer Individuenzahl wiederzufangen. Aufgrund des bestehenden Patentes ist der Einsatz von Balloon-Tags nur durch den Patentinhaber selbst zulässig. Neben den hierdurch entstehenden hohen Kosten für Personal- und Technikeinsatz sind daher zugleich auch die Reiseaufwendungen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Patentinhabers aus den USA bei der finanziellen Planung des Projektes zu berücksichtigen.

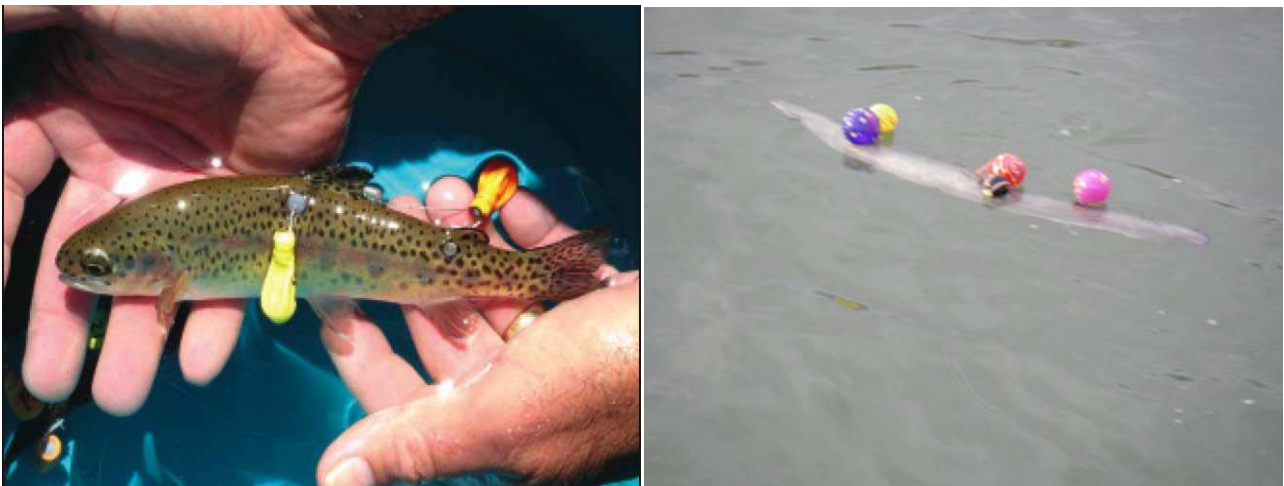


Abbildung 54: Balloon "HI-Z tag"; links: frisch an einer jungen Forelle angebrachte Balloon-Tags, rechts: gasgefüllte Balloon-Tags an einem Blankaal nach der Passage durch eine Turbine (Foto: De Oliveira, EDF R&D)

### 21.2.6 Probengröße und Ermittlung der Mortalitätsrate

Die Genauigkeit der Untersuchungsergebnisse verringert sich erwartungsgemäß mit abnehmender Individuen- und Probenzahl (Zunahme des Konfidenzintervalls). Andererseits ist es im Sinne des Tierschutzgesetzes (TierSchG 1972) notwendig, die Anzahl der Tiere, die gezielt in den Gefahrenbereich eingebracht werden, so gering wie möglich zu halten. Eine Minimierung der Probengröße wirkt sich zugleich vorteilhaft auf den technischen und personellen Aufwand aus, da hohe Fisch- und Probenzahlen größere Hälterungskapazitäten, längere Untersuchungszeiträume und aufwändigere Individualuntersuchungen erfordern.

Aus fachlicher Sicht ist die Nutzung von drei Probandengruppen für die Turbinenpassagen und einer zusätzlichen Kontrollgruppe anzustreben. Eine Versuchsgruppe umfasst dabei mindestens 50 bis 100 Fische in optimalem gesundheitlichem Zustand. Die Kontrollgruppe ist erforderlich, um methodisch bedingte Verletzungen sowie die Mortalität zu erfassen. Zu diesem Zweck wird die Kontrollgruppe mit Ausnahme der Turbinenpassage identisch behandelt wie die anderen Versuchsgruppen.

Die Kontrollgruppe muss somit ebenfalls die Injektionsvorrichtung passieren und – im Falle der Anwendung eines Turbinenhamens – darüber hinaus auch im Hamen exponiert werden. Nur so lässt sich der Einfluss der Injektions- und Fangtechnik auf die Fische eindeutig belegen. Die Proben- und Individuenzahl stellt stets einen Kompromiss zwischen Aufwand und Genauigkeit der Ergebnisse dar.

Nach Injektion und Wiederfang sind die Fische über mindestens 48 Stunden (vgl. Kapitel 5.3.2.5), zu hältern, um die verzögerte Mortalität zu erfassen. Im Anschluss werden die Ergebnisse ausgewertet. Bei der Berechnung der turbinenbedingten Mortalität muss der über die Kontrollgruppe ermittelte methodenbedingte Mortalitätsanteil in der Gesamtmortalität eliminiert werden (vgl. Kapitel 6.3.7).

### **21.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen**

Mithilfe von Fischinjektionen kann die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter ermittelt werden:

1. Korridorspezifische Schädigungsrate
2. Korridorspezifische Mortalitätsrate
3. Korridorspezifische Überlebensrate

### **21.4 Methodische Grenzen**

Die in Ergänzung zu Fisch-Injektionen notwendige Hamenfangtechnik ist nur bei Turbinendurchflüssen  $\leq 100 \text{ m}^3/\text{s}$  einsetzbar (vgl. Kapitel 12).

### **21.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung**

Das Entweichen von Fischen aus dem Netz ist nicht immer sicher auszuschließen. Ungeeignete Maschenweiten oder defekte Netzbereiche können zu geringen Wiederfangraten führen. Abhängig von der Wiederfangrate im Netz kann es notwendig sein, eine Stichprobe geeigneter Dummies zu injizieren (vgl. Kapitel 22), um über deren Wiederfangrate den Anteil der passiv aus dem Hamen ausgetragenen, immobilen Fische abzuschätzen. Alternativ zu Dummies können auch betäubte Fische injiziert werden, um die Wiederfangrate toter Fische zu untersuchen. Am aussagefähigsten ist jedoch die Injektion toter Versuchsfische.

Liegen die Wiederfangraten der Dummies beziehungsweise der betäubten oder toten Versuchsfische bei 100 %, ist davon auszugehen, dass das Entkommen aus dem Hamen mit aktiven Schwimmbewegungen verbunden ist und daher nur für lebende Fische zutrifft. Sofern die Wiederfangrate der Dummies beziehungsweise der betäubten oder toten Versuchsfische aber bei  $< 100 \%$  liegt, ist dieser Aspekt bei Ermittlung der Mortalitätsrate zu berücksichtigen. Ansonsten besteht die Gefahr, die Mortalität zu unterschätzen. Die dargestellten Möglichkeiten zur Ermittlung der Wiederfangrate (Einsatz von Dummies oder betäubten oder toten Versuchsfischen) sind methodisch nur dann aussagefähig, wenn mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden kann, dass die injizierten Dummies beziehungsweise Fische nicht im Oberwasser oder im Turbineneinlaufkanal verbleiben. Leider kann dies häufig nach derzeitigem Kenntnisstand nicht garantiert werden.

Injizierte Fische aus einer Versuchsgruppe werden gelegentlich erst verzögert mit einer anderen Untersuchungsgruppe gefangen. In diesem Fall kommt es zu Fehlern bezüglich der Anzahl wiedergefangener Fische der jeweiligen Gruppe. Dies kann durch individuelle Markierung vermieden werden.

Natürlich im Fluss vorkommende Tiere können während Untersuchungsphase zusätzlich durch die Turbine absteigen und das Untersuchungsergebnis verfälschen. Auch hier verhindert die individuelle Markierung die Ergebnisverfälschung.

Der Gesundheitszustand der Fische vor dem Versuch sollte so optimal wie möglich sein. Wenn man auf die Zulieferung der Tiere durch die Berufsfischerei angewiesen ist, kann man diesen Faktor nicht immer zuverlässig beeinflussen. Gesundheitlich beeinträchtigte Tiere sollten aussortiert und nicht in Versuchsgruppen integriert werden.

Die Fischhälterung kann selbst bei optimalen Haltungsbedingungen eine Ursache für eine Verschlechterung des Gesundheitszustandes sein. Kleine, durch Parasiten hervorgerufene Verletzungen können mitunter von turbinenbedingten Verletzungen schlecht unterschieden werden. Die exakte Dokumentation des Gesundheitszustandes, inklusive einer Bilddokumentation der einzelnen Individuen vor und nach der Turbinenpassage ist daher obligat, um zusätzliche Verletzungen eindeutig belegen zu können.

Methodisch bedingte Fischschäden sind unter anderem abhängig von der Netzgröße und -form sowie von der Leerungsmethode und den Leerungsintervallen. Wenn das Netz breit und lang ist, können Fische beim Heben des Netzes aufgrund der sich bildenden Aussackungen mehrere Minuten oberhalb des Wassers exponiert und hierbei gegebenenfalls geschädigt werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, jeden Schritt des Hebens zu überwachen und den Hamen sanft aber schnell zu heben.

## 21.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik

Letztlich bedeutet die Injektion der Fische in die Turbine, die Tiere bewusst in einen Gefahrenbereich zu bringen. Auch wenn dabei experimentell lediglich das wiederholt wird, was täglich im Gewässer passiert, besteht die Möglichkeit, dass die Fischinjektion als Tierversuch eingestuft wird. In Deutschland ist dies die Regel. Zwar gibt es Ansätze, künstliche Fische zu verwenden (DUNCAN 2011), die Nutzung echter Fische ist jedoch bisher obligat, wenn belastbare Aussagen zu den biologischen Folgen der Turbinenpassage gewonnen werden sollen.

Weitere bei Fischinjektionen eingesetzte Methoden können behördliche Genehmigungen erfordern. Das betrifft beispielsweise Fischmarkierung mit invasiven Methoden, die Betäubung von Fischen und das gezielte Einbringen von Tieren in Gefahrenbereiche. Derartige Methoden sind tierschutzrechtlich relevant und daher im Vorfeld bei der zuständigen Behörde zu beantragen. Eventuell durchzuführende Elektrofischungen erfordern hingegen fischereirechtliche Genehmigungen (vgl. Kapitel 23). Darüber hinaus sind Sicherheitsmaßnahmen für den Kranbetrieb beziehungsweise für den Umgang mit der Fangtechnik notwendig.

## 22 Dummies

### 22.1 Einsatzgebiet

Dummies werden bei Evaluierungen des Fischabstieges zur Bearbeitung unterschiedlicher Fragestellungen verwendet. Durch ihren Einsatz können auf experimentellem Weg tendenzielle Vorhersagen zur Schädigung von Fischen in Triebwerken und anderen technischen Einrichtungen getroffen sowie Fanggeräte hinsichtlich ihrer Effizienz überprüft werden, ohne hierfür lebende Fische einzusetzen.

### 22.2 Beschreibung der Methodik

Es werden zwei Typen von Dummies unterschieden:

1. einfache Fischnachbildungen
2. technische Dummies (Sensor-Fische)

Für den Einsatz der unterschiedlichen Dummy-Typen gibt es keine einheitliche methodische Vorgehensweise. Der jeweils geeignete methodische Ansatz ist von der Fragestellung und den lokalen Rahmenbedingungen abhängig. Bei der Vorbereitung ist exakt zu überprüfen, an welcher Stelle Dummies eingesetzt werden.

#### 22.2.1 Dummy-Typen (Beispiele)

##### 22.2.1.1 Einfache Fischnachbildungen und weitere Fischattrappen

Einfache Fischnachbildungen beziehungsweise –attrappen bewegen sich passiv mit der Strömung ohne Daten zu erfassen und zu speichern. Für Deutschland sind bisher nur wenige Studien bekannt, in denen derartige Fischnachbildungen eingesetzt wurden (SCHNEIDER et al. 2012, WAGNER 2013a). WAGNER (2013a) nutzte aus Silikon gefertigte Dummies (Abbildung 55) zur Einschätzung der Fängigkeit eines Hamens für tote Fische während einer Fischabstiegsuntersuchung in der Weißen Elster. Die Verwendung unterschiedlicher Dummy-Größen ermöglicht eine Differenzierung der Fangeffizienz für verschiedene Fisch-Größenklassen.

Die Dichte einfacher Fischnachbildungen sollte der Dichte toter oder verletzter Individuen der betreffenden Zielarten entsprechen. Ein großer Vorteil einfacher Dummies sind die in der Regel geringen Anschaffungskosten. Silikondummies können von Hand hergestellt werden (Abbildung 55). Alternativ ist die Anschaffung von Gummifischen, wie sie im Angelsport als Kunstköder Verwendung finden, möglich. Diese sind im Handel in verschiedenen Größen bis ca. 30 cm erhältlich. Für die Evaluierung der Fängigkeit eines Netzes sind Form und Größe der Dummies den Zielfischen anzupassen (WAGNER 2013a).



Abbildung 55: Herstellung von Silikonfischen zur Überprüfung der Fängigkeit eines Hamens hinsichtlich toter Fische (Foto: F. Wagner)

Bockwürste sind eine weitere preisgünstige und einfache Art von Dummys, die für eine erste orientierende Voreinschätzung potenzieller Schädigungen von Fischen bei der Turbinenpassage genutzt werden können (SCHNEIDER et al. 2012). Die Bockwürste werden bei diesem Verfahren unmittelbar vor der Turbine injiziert und müssen nach der Passage wiedergefangen und auf Beschädigungen hin untersucht werden. Als Methoden zum Wiederfang im Unterwasser kamen bei SCHNEIDER et al. (2012) Hamen im Austrittsquerschnitt von Turbinen zum Einsatz (vgl. Kapitel 12). Die zerteilten Bockwürste wiesen beim Versuch von SCHNEIDER et al. (2012) auf Scherkräftwirkungen beziehungsweise auf Kollisionen hin, die prinzipiell auch Fische schädigen können. Auch tote Fische wie Speisefische können als Dummys in ähnlicher Weise eingesetzt werden (ADAM & LEHMANN 2011, ADAM et al. 2013). Mit einer Indikatorpaste beschichtete Weichschaumzylinder werden als Aalatrappen verwendet, um an diesen Modellfischkörpern mögliche Kollisions- und Abrasionschäden zu indizieren (HENKEL 2015).

### 22.2.1.2 Sensor-Fische

Neben einfachen Fischnachbildungen wurden auch mit Sensoren ausgerüstete Dummys in unterschiedlichen Typen entwickelt. Der sogenannte Sensor-Fish ist eine Entwicklung des Pacific Northwest National Laboratory (U.S. Department of Energy) in Zusammenarbeit mit der North Pacific Division (U.S. Army Corps of Engineers; DENG et al. 2014). Ebenso wie einfache Fischnachbildungen simulieren auch derartige Dummys einen passiv driftenden Fisch, verfügen jedoch in Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Ausführung zugleich über die Möglichkeit, verschiedene physikalische Parameter zu erfassen und zu speichern (CARLSON & DUNCAN 2003, DENG et al. 2014). Derartige Daten können beispielsweise Hinweise auf das Verletzungsrisiko in Turbinen oder anderen Korridorcomponenten liefern. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die physiologischen Toleranzschwellen für die entsprechenden Zielfischarten bekannt sind. Einen Überblick über die physiologischen Toleranzen gegenüber Druckänderungen, Scherkräften und Turbulenzen enthält die umfangreiche Studie von EBEL (2013).

Durch den Einsatz von Sensor-Fischen wird das Verständnis für die physikalischen Wirkungen von Turbinen, Bypässen sowie über- und unterströmten Wehren verbessert, wodurch Gefahrenbereiche lokalisiert und gegebenenfalls zukünftig entschärft oder beseitigt werden können (CARLSON & DUNCAN 2003, DENG et al. 2007).

Die erste Generation des Sensor-Fisches (sogenannter Gen 1 Sensor-Fish) wurde ursprünglich zur Untersuchung großer Kaplanturbinen im Columbia River (USA) entwickelt (DENG et al. 2014). Die aktuelle Version des Sensor-Fisches (sogenannter Gen 2 Sensor-Fish) unterscheidet sich zum Vorgängermodell in Größe, Form, Ausstattung an Messinstrumenten sowie in Auftriebs- und Bewegungseigenschaften, Robustheit, Datenerfassungsmöglichkeiten und Kostenintensität (DENG et al. 2014). Die in der neuen Version umgesetzten Optimierungen ermöglichen den Einsatz an extremeren Standorten. Der Gen 2 Sensor-Fish besitzt die Gestalt einer länglichen Kapsel, die eine Länge von 9 cm, einen Durchmesser von 2,5 cm und ein Gewicht von 42 g aufweist. Interne Module ermöglichen die Messung der Kapsel-Ausrichtung, des Drucks, der Temperatur, der gerichteten Beschleunigung aller drei Raumdimensionen und der Geschwindigkeit der Winkelveränderung in drei Ebenen. Der Sensor-Fish wird durch spezielle Injektionsvorrichtungen in den zu untersuchenden Gefahrenbereich eingebracht (CARLSON & DUNCAN 2003) (vgl. Kapitel 21). Die bei der Passage aufgenommenen Daten werden nach der Bergung des Sensor-Fisches ausgelesen und mit spezieller Software ausgewertet.

Nach aktuellen Informationen sind Sensor-Fish-Dummys des Pacific Northwest National Laboratory bisher hauptsächlich an Wasserkraftanlagen in den USA getestet und eingesetzt worden (DENG et al. 2014). Über Kooperationen mit europäischen Forschungseinrichtungen können keine Aussagen getroffen werden. Mit der Entwicklung des aktuellen Sensor-Fish-Modells (siehe oben) haben sich die Kosten nach DENG et al. (2014) im Vergleich zum Vorgängermodell deutlich reduziert.

### 22.2.2 Injektionsverfahren für Dummys

Für die Injektion der Dummys sollte die jeweils geeignete Lokalität entsprechend der Fragestellung gewählt werden. Der Injektionsort kann beispielsweise direkt vor der Fischschutzeinrichtung, im Überfallbereich des Wehres oder im Turbineneinlauf liegen. Falls der Einsatz spezieller Injektionsvorrichtungen nötig ist, müssen diese stets im Planungsprozess berücksichtigt und gegebenenfalls vorgefertigt werden. Weitere Hinweise zu Injektionsexperimenten enthält Kapitel 21.



### 22.2.3 Wiederfang der Dummies

Einfache Fischnachbildungen werden in der Regel durch Verwendung von Hamen im Turbinenauslauf wiedergefangen (SCHNEIDER et al. 2012, WAGNER 2013a). Die Anwendung der Hamenfangtechnik ist im Kapitel 12 ausführlich erläutert. Zusätzliche Informationen bietet das Kapitel 21.2.5. Der Wiederfang an Anlagen, an denen ein Einsatz von Hamen nicht erfolgen kann (z. B. bei Turbinendurchfluss  $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ist sehr kostenintensiv.

Bei nordamerikanischen Untersuchungen mit Sensor-Fischen nutzte man sowohl integrierte Micro-Radio-Sender in Kombination mit Balloon-Tags (CARLSON & DUNCAN 2003, DUNCAN 2011) als auch Micro-Radio-Sender kombiniert mit orange leuchtenden LED's hoher Intensität (DENG et al. 2014), um den Wiederfang zu ermöglichen. Die eingebauten Funksender senden aktiv Funksignale aus, welche mithilfe von Empfängern geortet werden können (vgl. Kapitel 19.2.1). Balloon-Tags (vgl. Kapitel 21) sowie LED's dienen der optischen Wiederauffindung.

Für das Aufsuchen und Einsammeln der Sensor-Fische im Unterwasser kann der Einsatz mehrerer Boote erforderlich werden.

## 22.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Im Wesentlichen können Dummies für die Bearbeitung folgender Fragestellungen verwendet werden:

1. Evaluierung der Fangeffizienz von Netzen für passive Fische (tote, verletzte)
2. orientierende Vorab einschätzungen des potenziellen Verletzungsrisikos von Fischen bei der Standortpassage (Turbinen, Wehre, Durchlässe, etc.)
3. Erfassung physikalischer Parameter bei der Standortpassage

Die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter ist durch den Einsatz von Dummies erfassbar:

1. Korridorspezifische Schädigungsrate (orientierende Grobeinschätzung)
2. Korridorspezifische Mortalitätsrate (orientierende Grobeinschätzung)

## 22.4 Methodische Grenzen

Dummies sind in der Regel passiv und entsprechen damit in ihrem „Verhalten“ toten oder stark geschädigten Fischen. Auf lebende Fische sind die Dummy-Befunde im Regelfall nicht übertragbar. Zur Bestimmung von Schädigungs- und Mortalitätsraten bei Fischen sind Untersuchungen mit Dummies als alleinige Methode nicht geeignet. Um die Aussagefähigkeit von Dummy-Untersuchungen zu verbessern, lassen sich deren Ergebnisse in einem gewissen Maß kalibrieren, indem die für die Dummies am betreffenden Standort erhaltenen Befunde (Schäden an Fischnachbildungen beziehungsweise Datenaufzeichnungen von Sensor-Fischen) mit den Verletzungen an realen Fischen verglichen werden.

Beim Einsatz von Sensor-Fischen lässt sich die Aussagefähigkeit der Untersuchung zudem dadurch verbessern, dass die ausgelesenen Daten mit physiologischen Toleranzen realer Fische verglichen werden. Diesbezügliche Bezugswerte sind derzeit aber noch nicht für alle physikalischen Parameter, Fischarten und Entwicklungsstadien verfügbar. Bei der Interpretation der Ergebnisse der Dummy-Experimente ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass sich Dummies und Fische nicht identisch verhalten.

## **22.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung**

Da die Ergebnisse von Dummy-Studien durch das Material, die Form und die Anzahl der eingesetzten Dummies sowie durch die Auswahl des Injektionsortes beeinflusst werden, ist stets eine gewissenhafte Vorbereitung derartiger Untersuchungen erforderlich. Die Übertragbarkeit der Befunde auf reale Fische ist detailliert zu prüfen. Bei der Bewertung der Ergebnisse und der Ableitung von praktischen Schlussfolgerungen sind die methodischen Grenzen zu berücksichtigen und darzustellen.

Die Wiederfangraten für Dummies können durch ungeeignete Maschenweiten, defekte Netzbereiche oder eine suboptimale Exponierung des Netzes eingeschränkt werden. Diese Effekte lassen sich wiederum mit einfachen Fischnachbildungen quantifizieren.

## **22.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik**

Bei der Arbeit mit Dummies sind keine rechtlichen Einschränkungen gegeben. Werden zum Wiederfang Fischfangmethoden eingesetzt, sind die in Kapitel 12 und 13 dargestellten Aspekte zu berücksichtigen.

## 23 Elektrofischerei

### 23.1 Einsatzgebiet

Elektrobefischungen dienen der fischfaunistischen Datenerhebung im Ober- und/oder Unterwasser eines Standortes, um vergleichende Aussagen treffen zu können, welche Fischarten und Fischgrößen im Standortbereich vorkommen. Daraus können Rückschlüsse gezogen werden, welche Arten und Größen bei Fischabstiegsuntersuchungen zu erwarten sind. Zudem können Vorschäden der Fische im Oberwasser eines Standortes erfasst werden. Aufgrund der Momentaufnahme sind diese Untersuchungen dazu aber nur eingeschränkt geeignet. Darüber hinaus können mit Elektrofischerei größere Anzahlen autochthoner Fische gefangen werden, um sie beispielsweise für Transpondierungen oder Fischinjektionen zu verwenden (vgl. Kapitel 19 und 21).

### 23.2 Beschreibung der Methodik

In kleineren Gewässern erfolgt die Befischung wattend im Wasser mit tragbaren Elektrofischereigeräten, die eine Leistung von meist unter 2 kW besitzen (Abbildung 56). Bei größeren Gewässern wird vom Boot aus mit leistungsfähigeren Geräten befischt (Abbildung 57). Zwischen der Fanganode (z. B. Edelstahlring oder Streifenanode an Ausleger) und der Kathode (z. B. Kupferlitze) bildet sich ein elektrisches Feld aus. Die Fische bewegen sich im Nahfeld der Anode auf diese zu (Galvanotaxis). Der Wirkungsradius ist von der Elektrolytkonzentration, messbar als Leitfähigkeitswert des Wassers, und der abgegebenen Leistung des Elektrofischereigerätes abhängig. In unmittelbarer Nähe der Anode werden die Fische gegebenenfalls kurz betäubt (Galvanonarkose). Die Tiere können kurzzeitig entnommen und, falls nötig, zwischengehältet werden. Neben der Erfassung der Artzugehörigkeit, der Größe und des Gewichts der einzelnen Fische erfolgt je nach Aufgabenstellung eine Kontrolle hinsichtlich sichtbarer Verletzungen, Verhaltensauffälligkeiten oder Markierungen (vgl. Kapitel 20).



Abbildung 56: Watbefischung mit batteriebetriebenen Elektrofischereigerät (Foto: M. Schmalz)



Abbildung 57: Bootsbefischung mit einem leistungsstarken Elektrofischereigerät (Foto: F. Wagner)

### 23.3 Einsatz im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Erhebungen mithilfe Elektrobefischung können begrenzt Aussagen zu folgendem Untersuchungsparameter liefern:

1. Vorschäden

Des Weiteren sind nachstehende Aussagen möglich:

2. Artenausstattung und Individuendichte im Nahbereich des Standortes
3. Fischfaunistische Prädatorenkonzentration beispielsweise unterhalb von Turbinenausläufen

### 23.4 Methodische Grenzen

Fische legen im Gewässer große Distanzen zurück. Das mittels Elektrofischerei in einem Gewässerabschnitt im Oberwasser eines Standortes ermittelte Arteninventar, umfasst daher nicht zwingend alle Arten, die während des Abstiegsuntersuchungszeitraums zu erwarten sind.

Eine aus diesen Daten ermittelte Vorschädigungsrate ist nicht repräsentativ für einen längeren Untersuchungszeitraum. Stark vorgeschädigte Fische mit reduziertem Schwimmvermögen nähern sich der Anode langsamer an und sind gegebenenfalls im Fang unterrepräsentiert. Tote Tiere werden generell nicht erfasst.

Die Elektrobefischung weist zudem eine gewisse Arten- und Größenselektivität auf. Bei sehr hohen oder niedrigen Leitfähigkeitswerten ist die Fangfähigkeit gering. Bei extrem hohen Leitfähigkeitswer-

ten (z. B. im Brackwasser) kann aufgrund des steilen Spannungsabfalls an der Anode kein fangwirksames Feld aufgebaut werden.

### **23.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung**

In der Regel wird durch Elektrobefischungen der Fischbestand eines Gewässerabschnittes nicht vollständig erfasst. Durch eine Ermittlung der Fangeffizienz mittels Mehrfachbefischungen (DE LURY 1947, SEBER & LECREN 1967,) oder Markierung und Wiederfang (vgl. Kapitel 20) kann aus den Befischungsergebnissen jedoch der tatsächliche Fischbestand abgeschätzt werden.

Der Einsatz der Elektrobefischung im Rahmen von Fischabstiegsuntersuchungen zielt häufig auf den Fang einer repräsentativen Stichprobe ab, zum Beispiel zur groben Abschätzung der Vorschädigungsrate. Eine exakte Kenntnis des Fischbestandes ist dafür im Allgemeinen nicht erforderlich.

Bei der Datenauswertung ist zu beachten, dass es sich um lokal begrenzte Momentaufnahmen handelt. Mit mehreren Befischungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten kann die Aussagekraft der Erhebung erhöht werden.

### **23.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik**

Die rechtlichen Voraussetzungen für Elektrobefischungen sind in den Fischereigesetzen und Fischereiverordnungen der Länder spezifisch geregelt. Diese Befischungsmethode ist genehmigungspflichtig. Der Ausführende der Elektrobefischung muss einen Bedienungsschein für Elektrofischereigeräte und einen Fischereischein sowie gegebenenfalls eine entsprechende Betriebshaftpflichtversicherung vorweisen. Alle eingebundenen Personen sind entsprechend DIN-VDE Normen/VDE-Bestimmungen in die Befischung einzuweisen. Es ist nach VDE geeignete Schutzkleidung, wie Elektrofischereihandschuhe, zu tragen. Detailliertere Angaben enthält VDFF (2000). Unter Umständen sind ergänzend Genehmigungen bei Arbeiten in Schutzgebieten beziehungsweise bei Erfassung geschützter Arten zu beantragen.

## 24 Untersuchungen an Rechenreinigungssystemen

### 24.1 Einsatzgebiet

An Wasserkraftanlagen, Pumpstationen, Schöpfwerken und tangentialen Flusswasserentnahmebauwerken zur Kühl- oder Prozesswassergewinnung kommen unterschiedliche Rechen- und Siebsysteme zur Anwendung (vgl. z. B. ATV-DVWK 2004, EBEL 2013). Bei thermischen Kraftwerken können dabei feine Filter zum Einsatz kommen, die Maschenweiten von bis zu 1 mm<sup>2</sup> aufweisen, so dass auch sehr kleine Organismen ausgefiltert werden.

Allen Systemen ist gemeinsam, dass das Rechen- oder Siebgut, welches neben unterschiedlichen Feststoffen auch lebende und tote Fische enthält, durch mechanische Reiniger oder Spülvorgänge mit Wasserstrahlen entfernt wird.

Bezogen auf die „Entsorgung“ des Rechengutes gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Die Feststoffe werden aus dem Gewässer entfernt und auf einer Rechengutfläche oder in einem Container gesammelt und anschließend nach dem geltenden Abfallrecht entsorgt.
2. Die Feststoffe verbleiben im Gewässer oder werden in dieses zurückgeführt.

Im ersten Fall besteht für Fische keine Überlebenschance. Im zweiten Fall können Fische je nach technischer Ausführung mit sehr stark variierenden Schädigungsraten überleben. Bei Kühl- und Prozesswasserentnahmebauwerken kommen zum Teil eigens konzipierte Fischrückführungssysteme zum Einsatz, die besonders auf die schonende Rückführung der Fische in das Fließgewässer ausgelegt sind.

Die Untersuchung des Korridors „Rechenreinigungssystem“ stellt sich aufgrund der unterschiedlichen Reinigungstechnologien methodisch sehr heterogen dar.

Je nach technischer Ausführung der Wasserkraftanlage oder sonstigen Wassernutzungseinrichtung wird das Rechengut wie folgt behandelt:

1. Heben über die Wasseroberfläche und Entsorgung in einem Rechengutcontainer oder Ablagerung auf einem Rechengutsammelplatz (nach vertikaler Rechenreinigung),
2. Transport durch eine oberflächennahe Spülrinne ins Unterwasser oder in einen Rechengutcontainer (nach vertikaler Rechenreinigung),
3. Transport durch einen lateralen, schachtartigen Bypass ins Unterwasser (nach horizontaler Rechenreinigung),
4. Abreinigen von Feinsieben mittels Wasserstrahlen und Abtransport der Feinstoffe über eine Spülrinne, die in einem Rechengutcontainer oder im Fließgewässer mündet,
5. Selbstreinigende Rechensysteme, bei denen das Rechengut direkt im Fließgewässer verbleibt.

### 24.2 Beschreibung der Methodik

Für biologische Untersuchungen des Rechenguts beziehungsweise der Rechenreinigungssysteme sind grundsätzlich sehr individuelle Methoden notwendig. Das gilt insbesondere dann, wenn die Fische auch auf Verletzungen hin untersucht werden sollen.

Befindet sich das Rechengut in einem Rechengutcontainer oder auf einem Rechengutplatz, muss es nach Fischen durchsucht werden. Gegebenenfalls wird es hierzu zunächst in Wannen mit Wasser überführt, so dass noch lebende Fische bestmöglich geschont werden können. Zudem wird hierdurch die Erkennbarkeit kleinerer Fische verbessert.

Das durch Spülrinnen weitergeleitete Wasser kann über Gitterkörbe oder Fangkästen geführt und das darin gesammelte Rechengut anschließend auf das Vorhandensein von Fischen untersucht werden

(Abbildung 58). Bei kontinuierlich beaufschlagten Spülrinnen werden durch diese Methode auch jene Fische erfasst, die außerhalb der Phasen mit Rechenreinigungsvorgang in die Spülrinne gelangen. Die Größe und technische Ausführung des Fangkastens orientiert sich an der Dimension der Spülrinne und der Rechengutmenge.



Abbildung 58: Lochkiste zum Auffangen des Rechengutes, um es anschließend auf enthaltene Fische zu untersuchen (Foto: W. Schmalz)

Auch bei der Untersuchung von schachtartigen Bypässen, die meist in Kombination mit Horizontalrechen eingesetzt werden (Leitrechen-Bypass-System nach EBEL, GLUCH & KEHL 2001, vgl. EBEL 2013 sowie EBEL et al. 2015), sind die jeweils geeigneten Methoden stark von den standörtlichen Bedingungen, wie z. B. Rechenfeldgröße, lichte Rechenstabweite, Treibgutaufkommen und Bypassdurchfluss abhängig. Letzterer wird durch die im Bypassgerinne angeordneten Regelorgane (z. B. Klappe mit vertikaler Drehachse) definiert und kann eine hohe zeitliche Variabilität aufweisen. Während bei Normalbetrieb eine vergleichsweise geringe Wassermenge im Bypassgerinne abfließt, nimmt der Durchfluss bei Spülvorgängen durch gezielte Steuerung der Regelorgane im gewünschten Umfang zu. In vielen Fällen können schachtartige Bypässe mit Schwalgreusen oder Hamen beprobt werden (z. B. EBEL 2007, 2008b und 2011), wobei auch jene Individuen erfasst werden, die außerhalb von Phasen mit Rechenreinigungsvorgängen durch den Bypass abwandern (Abbildung 59). Die eingesetzten Fangvorrichtungen sind stets kontinuierlich zu betreuen (vgl. Kapitel 12 und 13). In Phasen mit intensivem Treibgutaufkommen (Hochwasser, herbstlicher Laubfall) muss die Untersuchung gegebenenfalls eingestellt werden.



Abbildung 59: Schwalgreuse im Austrittsprofil eines schachtartigen Bypasses (Foto: G. Ebel)

Alternativ können längere Bypasskanäle bei vorausschauender Planung so konzipiert werden, dass diese selbst als Fangkammer fungieren und somit kein Einsatz einer Reuse oder eines Hamens erforderlich wird (EBEL 2010b, 2013). Des Weiteren besteht die Möglichkeit zur Beprobung schachtartiger Bypässe oder Korridore, die der unterwasserseitigen Ableitung des Rechengutes dienen, sehr großräumig dimensionierte Fangkästen in Kombination mit geeigneten Hebevorrichtungen einzusetzen. Praktische Erfahrungen liegen hierzu bislang jedoch nicht vor.

In schwach beaufschlagten Spülrinnen, die beispielsweise an Siebbandmaschinen Verwendung finden, können Fische mit eingepassten Lochblechen oder kleinen Kastenreusen direkt in der Rinne gefangen werden.

Größer dimensionierte Fischrückführungen können zur Kontrolle der Fischrückführung über entsprechend bemessene Fangkästen geleitet werden (Abbildung 60).





Abbildung 60: Schacht mit Einmündung einer Fischrückführung (links) und hierfür angepasster Fangkasten zur Kontrolle der Fischrückführung (rechts) (Fotos: W. Schmalz)

### 24.3 Einsatzgebiet im Rahmen der Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen

Im Rahmen der Kontrollen der verschiedenen Rechen- und Siebgutreinigungsanlagen kann die Datengrundlage folgender Untersuchungsparameter ermittelt werden:

1. Abstiegsrate
2. Korridorspezifische Schädigungsrate
3. Standortschädigungsrate
4. Korridorspezifische Mortalitätsrate
5. Korridorspezifische Überlebensrate
6. Standortmortalitätsrate
7. Standortüberlebensrate
8. Schutzrate
9. Artselektivität Fischabstiegseinrichtung
10. Schutzsystemableitrate
11. Standortbezogene Ableitrate

### 24.4 Methodische Grenzen

In der Regel ist die ankommende Treibgutmenge, die auf Fische untersucht werden muss, ein begrenzender Faktor. Bei großen Feststoffmengen ist schnell die Fangtechnik überlastet. Sofern die betreffende Untersuchung auch auf die Erfassung von Fischschäden abzielt, ist der Umstand zu berücksichtigen, dass bei großen Feststofffrachten die Schädigungsrate aufgrund des Kontaktes der Fische mit den Feststoffen enorm zunehmen kann.

## **24.5 Methodenbedingte, systematische Fehlerquellen sowie Fehlerreduktion und -vermeidung**

Fang- oder rechengutbedingte Verletzungen können bei Erfassung der Verletzungsraten zu erheblichen Fehlern führen. Dies gilt in besonderem Maße auch für hydraulische Überlastung in den Fangbehältnissen, die durch entsprechende Schmutzbelegung der Gitterflächen rasch auftreten können. In großen Rechengutmengen sind gegebenenfalls nicht alle Fische auffindbar. Für alle oben genannten Methoden gilt generell, dass die Häufigkeit der Untersuchungs- und Leerungsintervalle sowohl von der jeweils abwandernden beziehungsweise anfallenden Individuenzahl als auch von der jeweils anfallenden Rechengutmenge bestimmt wird. Letztere variiert hinsichtlich ihrer Menge und Zusammensetzung in Abhängigkeit vom Durchfluss und der Jahreszeit.

## **24.6 Rechtliche Voraussetzungen zum Gebrauch der Methodik**

Hinsichtlich der rechtlichen Belange gelten die Ausführungen zu Reusen in Kapitel 13.

## 25 Quellenverzeichnis

- AARESTRUP, K.; LUCAS, M. C.; HANSEN, J. A. (2003): Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology of Freshwater fish* 12 (3): 160-168.
- ACHORD, S.; SANDFORD, B. P.; SMITH, S. G.; WASSARD, W. R.; PRENTICE, E. F. (2012): In-Stream Monitoring of PIT-tagged Wild Spring/Summer Chinook Salmon Juveniles in Valley Creek, Idaho. *Advances in Fish Tagging and Marking Technology - American Fisheries Society Symposium* 76: 163–176.
- ADAM, B. (2013): Neuigkeiten von HDX-transpondierten Elbe-Fischen. *Fischer & Teichwirt* 64: 251.
- ADAM, B.; LEHMANN, B. (2011): Ethohydraulik – Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Springer, 351 S., Heidelberg.
- ADAM, B.; NEUMANN, C. (2012): Einrichtung zum Monitoring des Fischaufstiegs im Doppelschlitzpass Geesthacht. *Wasserwirtschaft* 4: 44–48.
- ADAM, B.; SCHÜRMAN, M.; SCHWEVERS, U. (2013): Zum Umgang mit aquatischen Organismen - Versuchstierkundliche Grundlagen. Springer Spektrum, 188 S., Wiesbaden.
- ADAM, B.; SCHWEVERS, U. (1997): Zur Funktionskontrolle von Fischwegen – Einsatz automatischer Kontrollstationen unter Anwendung der Transponder-Technologie. *DVWK-Schrift* 119 (Hrsg. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH), 100 S., Bonn.
- ADAM, B.; SCHWEVERS, U.; GUMPINGER, C. (1997): Verhaltensbeobachtungen zur Abwanderung von Aalen (*Anguilla anguilla*) und Lachsen (*Salmo salar*) unter Laborbedingungen. Studie im Auftrag des Regierungspräsidiums Kassel, Kassel (unveröffentlicht).
- ANDERER, P.; DUMONT, U.; BAUERFEIND, C.; DRÖSSER, I.; KEUNEKE, R.; MASSMANN, E. (2008): Durchgängigkeit und Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz - Bewertung der rheinland-pfälzischen Wanderfischgewässer hinsichtlich Durchgängigkeit und Eignung zur Wasserkraftnutzung-Phase. *LUWG-Bericht* 2/2008 (Hrsg. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz), 138 S., Mainz.
- ARRHENIUS, F.; BENNEHEIJ, B.J.; RUDSTAM, L.G.; BOISCLAIR, D. (2000): Can stationary bottom split-beam hydroacoustics be used to measure fish swimming speed in situ? *Fisheries Research* 45: 31-41.
- ATV-DVWK (Abwassertechnische Vereinigung-Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) [Hrsg.] (2004): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. *ATV-DVWK Themen*, 256 S., Hennef.
- BARAS, E.; CHERRY, B. (1990): Seasonal activities of female barbel *Barbus barbus* (L.) in the river Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Resources* 3: 283–294.
- BARAS, E.; BIRTLES, C.; WESTERLOPPE, L.; THOREAU, X.; OVIDIO, M.; JEANDRAIN, D.; PHILIPPART, J.-C. (1996): A critical review of surgery techniques for implanting telemetry devices into the body cavity of fish. *Bericht des 5th European conference on wildlife telemetry* (Hrsg. LE MAHO, Y.), 10 S., Strasbourg.
- BARAS, E.; JEANDRAIN, D. (1998): Evaluation of surgery procedures for tagging eel *Anguilla anguilla* (L.) with biotelemetry transmitters. *Hydrobiologia* 371/372: 107-111.
- BAUERFEIND, C.; KRISCHER, S.; KEUNEKE, R.; DUMONT, U. (2011): Modellhafte Erarbeitung einer Gesamtbewertung für die Herstellung der Durchgängigkeit am Beispiel der Ilm „Durchgängigkeitskonzept Ilm“. *TLUG-Studie* (Hrsg. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie), 86 S., Jena.
- BAUMGARTNER, L. J.; BETTANI, M.; MCPHERSON, J.; JONES, M.; ZAMPATTI, B.; BEYER, K. (2010): Assessment of an infrared fish counter (Vaki Riverwatcher) to quantify fish migrations in the Murray-Darling Basin. *Fisheries Final Report Series* 116 (Hrsg. Industry & Investment NSW): 1-47.
- BAUMGARTNER, L. J.; REYNOLDS, N.; CAMERON, L.; STANGER, J. (2006): Assessment of a dual-frequency identification sonar (Imaging Sonar) for application in fish migration studies. *Fisheries Final Report Series* 84 (Hrsg. NSW Department of Primary Industries): 1-33.

- BASSLEER, G. (2006): Der neue Bildatlas der Fischkrankheiten bei tropischen Zierfischen und Teichfischen. Beobachten, erkennen, vorbeugen, behandeln. 232 S. Deutschland.
- BEEAMAN, J. W.; GRANT, C.; HANER, P. V. (2004): Comparison of three underwater antennas for use in radiotelemetry. *North American Journal of Fisheries Management* 24: 275-281.
- BEHRMANN-GODEL, J.; ECKMANN, R. (2003): A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish* 12 (3): 196–202.
- BILOTTA, G. S.; SIBLEY, P.; HATELEY, J.; DON, A. (2011): The decline of the European eel *Anguilla anguilla*: quantifying and managing escapement to support conservation. *Journal of Fish Biology* 78: 23-38.
- BLASEL, K. (2011): Beobachtung von Lachssmolts an Fischabstiegsanlagen unterschiedlichen Bautyps in Baden-Württemberg. Studie des Büros für Fischereibiologie & Ökologie, 22 S., Sölden.
- BOND, M. H.; HANSON, C. V.; BAERTSCH, R.; HAYES, S. A.; MACFARLANE, B. R. (2007): A new low-cost instream antenna system for tracking passive integrated transponder (PIT)-tagged fish in small streams. *Transactions of the American Fisheries Society* 136 (3): 562–566.
- BOUBÉE, J. A. T.; WILLIAMS, E. K. (2006): Downstream passage of silver eels at a small hydroelectric facility. *Fisheries Management and Ecology* 13 (3): 165–176.
- BRIDGER, C. J.; BOOTH, R. K. (2003): The effects of biotelemetry transmitter presence and attachment procedures on fish physiology and behaviour. *Fisheries Science* 11 (1): 13-34.
- BULTEL, E.; LASNE, E.; ACOU, A.; GUILLAUDEAU, J.; BERTIER, C.; FEUNTEUN, E. (2013): Migration behaviour of silver eels (*Anguilla anguilla*) in a large estuary of Western Europe inferred from acoustic telemetry. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 137: 23-31.
- BURNETT, N. J.; STAMPLECOSKIE, K. M.; THIEM, J. D.; COOKE, S. J. (2013): Comparison of detection efficiency among three sizes of half-duplex passive integrated transponders using manual tracking and fixed antenna arrays. *North American Journal of Fisheries Management* 33 (1): 7–13.
- CARLSON, T. J.; DUNCAN, J. P. (2003): Evolution of the sensor fish device for measuring physical conditions in severe hydraulic environments. Studie im Auftrag des U.S. Department of Energy, 36 S., Idaho.
- CASTRO-SANTOS, T.; HARO, A.; WALK, S. (1996): A passive integrated transponder (PIT) tag system for monitoring fishways. *Fisheries Research* 28 (3): 253–261.
- CATTOEN, M.; LARINIER, M.; THOMAS, N. (1999): System and softwares for the monitoring of fishways. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture* 353/354: 263-277.
- CECH, M.; KUBECKA, J. (2002): Sinusoidal cycling swimming pattern of reservoir fishes. *Journal of Fish Biology* 61: 456-471.
- CHAMPIGNEULLE, A.; ESCOMEL, J.; LAURENT, P. (1987): Marking small Arctic charrs (*Salvelinus alpinus*) by injection of magnetized microtags. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 304: 22-31.
- CHANSEAU, M.; LARINIER, M. (1999): The behaviour of returning adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the vicinity of Baigts hydroelectric power plant on the Pau River as determined by radiotelemetry. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture* 353/354: 239-262.
- CHANSEAU, M.; LARINIER, M.; TRAVADE, F. (1999): Efficiency of a downstream bypass as estimated by the mark-recapture technique and behaviour of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) smolts at the Bedous water intake on the Aspe River (France) monitored by radiotelemetry. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture* 353/354: 99-120.
- CHARBONNEAU, P.; CORMIER, E.; BRUNET, R.; AMYOT, G. (2014): Aménagement et suivi d'une passe migratoire pour l'omble chevalier et le touladi à l'exutoire du lac du Bombardier, Nunavik. *Le Naturaliste Canadien* 138 (1): 56-68.
- CLEMENS, B. J.; CLEMENTS, S. P.; KARNOWSKI, M. D.; JEPSEN, D. B.; GITELMAN, A. I.; SCHRECK, C. B. (2009): Effects of transportation and other factors on survival estimates of juvenile salmonids in the unpounded lower Columbia River. *Transactions of the American Fisheries Society* 138 (1): 169–188.
- DE LURY, D. B. (1947): On the estimation of biological populations. *Biometrics (Biometrics)* 3: 145–167.

- DE OLIVEIRA, E. (2012): Estimation des taux de survie et de blessures pour des anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) franchissant une turbine Kaplan. Test du Groupe 3 de l'usine de Fessenheim (2009) et du Groupe 3 de l'usine d'Ottmarsheim (2010). Rapport EDF R&D H-P76-2011-02056-FR, 92 S., Chatou Cedex.
- DENG, Z.; CARLSON, T.J.; DUNCAN, J.P.; RICHMOND, M.C. (2007): Applications of the sensor fish technology. *Hydro Review* 26 (5): 10-14.
- DENG, Z. D.; LU, J.; MYJAK, M. J.; MARTINEZ, J. J.; TIAN, C.; MORRIS, S. J.; CARLSON, T. J.; ZHOU, D.; HOU, H. (2014): Design and implementation of a new autonomous sensor fish to support advanced hydropower development. *Review of Scientific Instruments* 85 (11): 1-7.
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) (2013): Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis - Empfehlungen der Kommission „Selbstkontrolle in der Wissenschaft“. Wiley-VCH, 110 S., Weinheim.
- DUMONT, U.; ANDERER, P.; SCHWEVERS, U. (2012): Methoden zur Untersuchung von Fischwanderungen und der Schädigung von Fischen an Wasserkraftstandorten. UBA-Texte 21/2012 (Hrsg. Umweltbundesamt), 195 S., Dessau-Roßlau.
- DUNCAN, J. P. (2011): Sensor fish characterization of fish passage conditions through John Day Dam spillbay 20 with a modified flow deflector. Studie im Auftrag der U.S. Army Corps of Engineers in Kooperation mit dem U.S. Department of Energy. 110 S., Richland.
- DUNKLEY, D. A.; SHELTON, G. J. (1991): Recent developments in automatic fish counters for salmon rivers. *International Council for the Exploration of the Sea* 27, 12 S..
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) [Hrsg.] (1996): Fischaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 232, 120 S., Bonn.
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) [Hrsg.] (1997): Fischabstieg - Literaturdokumentation. DVWK-Materialien 4/1997, 230 S., Bonn.
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) [Hrsg.] (2014): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Merkblatt DWA-M 509, 334 S., Hennef.
- EBEL, G. (2001): Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit der Fischabstiegsanlage am Wasserkraftanlagenstandort Mahlmühle Weißenfels (Saale). Gutachten im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens (Auftraggeber: Dipl.-Kaufm. R. Kress), 66 S., Halle (Saale) (Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie).
- EBEL, G.; FREDRICH, F.; GLUCH, A.; LECOUR, C.; WAGNER, F. (2006): Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. *BWK-Fachinformation* 1/2006, 115 S., Sindelfingen.
- EBEL, G. (2007): Funktionskontrolle der Fischabstiegsanlage an der Wasserkraftanlage Halle-Planena (Saale). Gutachten im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens (Auftraggeber: Wasserkraftanlage Planena GmbH & Co. KG), 72 S., Halle (Saale) (Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie).
- EBEL, G. (2008a): Turbinenbedingte Schädigung des Aals (*Anguilla anguilla*) – Schädigungsraten an europäischen Wasserkraftanlagenstandorten und Möglichkeit der Prognose. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, Band 3, 176 S., Halle (Saale).
- EBEL, G. (2008b): Funktionskontrolle der Fischabstiegsanlage an der Wasserkraftanlage Rothenburg (Saale). Gutachten im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens (Auftraggeber: Wasserkraft Rauch), 95 S., Halle (Saale) (Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie).
- EBEL, G. (2008c): Funktionskontrolle der Fischabstiegsanlage an der Wasserkraftanlage Calbe (Saale). Gutachten im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens (Auftraggeber: Saale-Kraftwerk Calbe GmbH), 91 S., Halle (Saale) (Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie).
- EBEL, G. (2010a): Funktionskontrolle der Fischabstiegsanlage an der Wasserkraftanlage Alsleben (Saale). Gutachten im Rahmen des wasserrechtlichen Erlaubnisverfahrens (Auftraggeber: Libelle Wasserkraft GmbH), 85 S., Halle (Saale) (Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie).
- EBEL, G. (2010b): Funktionskontrolle der Fischabstiegsanlage an der Wasserkraftanlage Raguhn (Mulde). Gutachten im Rahmen des wasserrechtlichen Bewilligungsverfahrens (Auftraggeber: Enercon GmbH), 76 S., Halle (Saale) (Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie).

- EBEL, G. (2011): Untersuchungen zur biologischen Effizienz eines neuartigen Fischschutz- und Fischabstiegssystems – vorläufige Ergebnisse für den Aal (*Anguilla anguilla*). Mskr. (zit. in EBEL 2013), 37 S., Halle (Saale).
- EBEL, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, Band 4, 483 S., Halle (Saale).
- EBEL, G. (2014a): Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen – internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen. Mskr. zum 4. Workshop „Forum Fischschutz und Fischabstieg“ am 21./22.01.2014, 42 S., Augsburg.
- EBEL, G. (2014b): Biologische Effizienz von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen – Charakterisierung größenselektiver Effekte durch Einsatz logistischer Regressionsmodelle. Briefliche Mitteilung vom 20.05.2014.
- EBEL, G. (2014c): Modellierung der Schwimmfähigkeit europäischer Fischarten – Zielgrößen für die hydraulische Bemessung von Fischschutzsystemen. - *Wasserwirtschaft* 104 (7/8): 40-47.
- EBEL, G.; GLUCH, A.; KEHL, M. (2015): Einsatz des Leitrechen-Bypass-Systems nach Ebel, Gluch & Kehl (2001) an Wasserkraftanlagen – Grundlagen, Erfahrungen und Perspektiven (im Druck).
- EDLER, C.; DIESTELHORST, O.; KOCK, M. (2011): Untersuchungen zur Abwanderung und Schädigung von Fischen an der Wasserkraftschnecke Rhede-Krechting (Bocholter Aa, Kreis Borken) im Sommer und Herbst 2010. Studie im Auftrag des Landesfischereiverbandes Westfalen und Lippe e.V. (Hrsg. Planungsgemeinschaft terra aqua, Bochum), 56 S., Münster.
- EICHER, G. J. (1987): Turbine-related fish mortality: review and evaluation of studies. Studie im Auftrag des Electric Power Research Institute: 185 S., Palo Alto.
- ELLIOTT, J. M. (1970): Methods of sampling invertebrate drift in running water. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 6 (2): 133–159.
- ENDERS, E.; ROY, M. L.; OVIDIO, M.; HALLOT, E. J.; BOYER, C.; PETIT, F.; ROY, A. G. (2009): Habitat choice by Atlantic salmon parr in relation to turbulence at a reach scale. *North American Journal of Fisheries Management* 30: 1819-1830.
- FERGUSON, J. W.; ABSOLON, R. F.; CARLSON, T. J.; SANDFORD, B. P. (2006): Evidence of Delayed Mortality on Juvenile Pacific Salmon Passing through Turbines at Columbia River Dams. *Transactions of the American Fisheries Society* 135:139–150.
- FORUM „FISCHSCHUTZ UND FISCHABSTIEG“ [Hrsg.] (2012): Ergebnisse des 1. Workshops „Umweltpolitik und rechtliche Rahmenbedingungen – Wasserrahmenrichtlinie, Durchgängigkeit und Wassernutzungen“ vom 12.-13.11.2012, Ergebnispapier, <http://forum-fischschutz.de/>, 18 S., Bonn.
- FORUM „FISCHSCHUTZ UND FISCHABSTIEG“ [Hrsg.] (2013a): Ergebnisse des 2. Workshops „Fischschutz & Fischabstieg an wasserbaulichen Anlagen – Was ist nötig?“ vom 23.-24.01.2013, Ergebnispapier, <http://forum-fischschutz.de/>, 28 S., Karlsruhe.
- FORUM „FISCHSCHUTZ UND FISCHABSTIEG“ [Hrsg.] (2013b): Ergebnisse des 3. Workshops „Schutz und Erhalt von Fischpopulationen – Was ist nötig?“ vom 25.-26.04.2013, Ergebnispapier, <http://forum-fischschutz.de/>, 23 S., Koblenz.
- FORUM „FISCHSCHUTZ UND FISCHABSTIEG“ [Hrsg.] (2014): Ergebnisse des 4. Workshops „Fischschutz und Fischabstieg – Ziele, Maßnahmen und Funktionskontrolle“ vom 21.-22.01.2014, Ergebnispapier, <http://forum-fischschutz.de/>, 30 S., Augsburg.
- FREDRICH, F. (1996): Preliminary studies on daily migration of chub (*Leuciscus cephalus*) in the Spree river. *Unterwaterbiotelemetry* (Hrsg. BARAS, E.; PHILIPPART, J. C.), 66 S., Liège.
- FREDRICH, F.; ARZBACH, H. H. (2002): Wanderungen und Uferstrukturnutzung der Quappe, *Lota lota*, in der Elbe, Deutschland. *Zeitschrift für Fischkunde*, Suppl. 1: 159-178.
- GALE, W. F.; MOHR, H. W. (1978): Larval Fish Drift in a Large River with a Comparison of Sampling Methods. *Transactions of the American Fisheries Society* 107 (1): 46–55.
- GERLIER, M.; ROCHE, P. (1998): A radio telemetry study of the migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta* L.) in the upper Rhine. *Hydrobiologia* 371/372: 283-293.

- GESSEL, M. H.; FERGUSON, J. W. (2001): Evaluation of a High-Velocity Induction/Release System for Testing Turbine-Related Injuries to Juvenile Salmonids at Hydroelectric Projects. Studie im Auftrag des U.S. Army Corps of Engineers, 14 S., Walla Walla.
- GOSSET, C. (1986): Presentation and trials of a resistivity fish counter. Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture 303: 141-151.
- GROß, J. (2014): Ökologische Durchgängigkeit der Mosel - Neubau einer Fischwechsellanlage mit Monitoringstation sowie eines Besucher-Informationszentrums „Mosellum“ an der Moselstaustufe in Koblenz. Korrespondenz Wasserwirtschaft 2: 107-112.
- GURSHIN, C. W. D.; BALGE, M. P.; TAYLOR, M.; LENZ, E. (2014): Importance of ultrasonic field direction for guiding juvenile blueback herring past hydroelectric turbines. North American Journal of Fisheries Management 34: 1242-1258.
- HAAS, C. (2015) Informationen zu Erfassungsergebnissen des VAKI- RiverWatcher. persönliche Mitteilung.
- HAAS, C.; THUMSER, P.; VÖLKER, F. (2014): Technisches Monitoring mit einem Infrarot-Fischzähler am Lachsbach, Sachsen. WasserWirtschaft 7/8: 98-99.
- HACK, H.-P.; SCHMALZ, M (2010): Kontrolle der Funktionsfähigkeit von Wanderhilfen für Fische und Makrozoobenthos. Durchgängigkeit und Habitatmodellierung von Fließgewässern – Wiederherstellen der Durchgängigkeit, Funktionskontrolle von Wanderhilfen, Habitate und ihre Beschreibung. In: Weiterbildendes Studium „Wasser und Umwelt“ (Hrsg. Bauhaus-Universität Weimar; in fachlicher Kooperation mit DWA): 123 – 148, Weimar.
- HADDERINGH, R. H.; BAKKER, H. D. (1998): Fish mortality due to passage through hydroelectric power stations on the Meuse and Vecht Rivers. In: Fish migration and fish bypasses (Hrsg. JUNGWIRTH, M. et al.): 315 – 328, Oxford (Fishing News Books).
- HADDERINGH, R. H.; KOOPS, F. B. J.; VAN DER STOEP, J. W. (1988): Research on fish protection at Dutch thermal and hydropower station. Kema Scientific and Technical Reports 6: 57 – 68.
- HÄNFLING, B.; BRANDL, R. (1998): Genetic variability, population size and isolation of distinct populations in the freshwater fish *Cottus gobio* L.. Molecular Ecology 7 (12): 1625–1632.
- HANSON, B.N. (1999): Effectiveness of two different surface bypass facilities on the Connecticut River to pass emigrating Atlantic salmon (*Salmo salar*) juvenile salmonids. In: Innovations in Fish Passage Technology (Hrsg.; American Fisheries Society): 43-60, Bethesda.
- HARO, A.; CASTRO-SANTOS, T. (2000): Behavior and passage of silver-phase American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur), at a small hydroelectric facility. Dana 12: 33-42.
- HASSINGER, R.; HÜBNER, D. (2009): Entwicklung eines neuartigen Aal-Abstiegsystems mithilfe von Laborversuchen. Korrespondenz Wasserwirtschaft 5/2009: 276-281.
- HENKEL, H. (2015): Untersuchung des Gefahrenpotentials für Fische beim Überwinden von Stauklappen in Fließgewässern mittels „technischem Aal“. Vortrag auf der 12. Fachtagung „Fischartenschutz & Gewässerökologie“, 20.02.2015 – 21.02.2015, Jena.
- HEUPEL, M. R.; YEISER, B. G.; ORTEGA, L.; SIMPFENDORFER C. A. (2010): Long-term presence and movement patterns of juvenile bull shark, *Carcharhinus leucas*, in an estuarine river system. Marine and Freshwater Research 61 (1): 1-10.
- HINTERLEITNER, A. (1937): Schutz der Fischerei bei Wasserkraftanlagen. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 32: 97-101.
- HOAR, W.S. (1953): Control and timing of fish migration. Biological Reviews 28 (4): 437-452.
- HOCKERSMITH, E. E.; MUIR, W. D.; SMITH, S. G.; SANDFORD, B. P.; ADAMS, N. S.; PLUMB, J. M.; PERRY, R. W.; RONDORF, D. W. (2000): Comparative performance of sham radio-tagged and PIT-tagged juvenile salmon. Studie im Auftrag des U.S. Army Corps of Engineers, 36 S., Walla Walla.
- HOLMES, J. A.; CRONKITE, G. M. W.; ENZENHOFER, H. J.; MULLIGAN, T. J. (2006): Accuracy and precision of fish-count data from a dual-frequency identification sonar (DIDSON) imaging system. ICES Journal of Marine Science - Journal du Conseil 63 (3): 543–555.
- HOLZNER, M. (1999): Untersuchung zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich, dargestellt am Kraftwerk Dettelbach a. Main / Unterfranken. Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Bayern e.V. 1, 224 S., München.

- HÜBNER, D. (2009): Funktionskontrolle eines neuartigen Aalabstieges mit unterschiedlicher Einstiegsanordnung einschließlich des hydraulischen Tests eines neuartigen fischschonenden Rechens - Laboruntersuchungen. Studie im Auftrag der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umweltechnik und Wasserbau (Universität Kassel), 65 S., Kassel.
- HÜBNER, D. (2014): Pilotprojekt Aalmonitoring - Optimiertes Aal-Besatzmanagement in der Lahn – Maßnahmen zur Steigerung des Besatzerfolges. Studie im Auftrag des Regierungspräsidiums Gießen (Obere Fischereibehörde), 60 S., Gießen.
- HÜBNER, D.; MENZEL, C.; FRICKE, R.; HASSINGER, R.; RAHN, S. (2011): Laboruntersuchungen zu Auswirkungen von Kraftwerksrechen auf Rotaugen (*Rutilus rutilus*) und Brasseln (*Abramis brama*) in Abhängigkeit von Stababstand und Anströmgeschwindigkeit. Studie im Auftrag des Regierungspräsidiums Kassel (Obere Fischereibehörde), 54 S., Marburg.
- HUET, M. (1949): Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 11 (3-4): 332–351.
- HUFGARD, H.; NEUMANN, C.; MENZEL, H.-J.; HEINZE, D. (2013): Der Doppelschlitzpass Geesthacht. Bauweise und Funktion. Artenschutzreport 31: 33–40.
- JENS (1953): Über den lunaren Rhythmus der Blankaalwanderung. Archiv für Fischereiwissenschaften 4: 94-110.
- JEPSEN, N.; KOED, A.; THORSTAD, E. B.; BARAS, E. (2002): Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: How much we have learned? Hydrobiologia 483: 239-248.
- JOHNSON, E. L.; PEERY, C. A.; KEEFER, M. L.; CAUDILL, C. C.; MOSER, M. L. (2009): Effects of lowered nighttime velocities on fishway entrance success by Pacific lamprey at Bonneville Dam and fishway use summaries for lamprey at Bonneville and the Dalles Dams, 2008. In: Idaho cooperative fish and wildlife research unit, Studie im Auftrag des U.S. Army Corps of Engineers 10, 41 S., Portland.
- JOHNSTON, P.; BÉRUBÉ, F.; BERGERON, N. E. (2009): Development of a flatbed passive integrated transponder antenna grid for continuous monitoring of fishes in natural streams. Journal of Fish Biology 74 (7): 1651–1661.
- JONSSON, N. (1991): Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. Nordic Journal of Freshwater Research 66: 20 – 35.
- JONSSON, B.; RUUD-HANSEN, J. (1985): Water temperature as the primary influence on timing of seaward migrations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42: 593-595.
- KEMPER, J. H.; DE BRUIJN, Q.A.A. (2014): Evaluatie van de vispassage Kerkeland, 2013/ 2014. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2014\_08, 24 S.
- KNUDSEN, F.R.; HAWKINS, A.; SAND, O. (2009): Diel interactions between sprat and mackerel in a marine lough and their effects upon acoustic measurements of fish abundance. Fisheries Research 100 (2): 140-147.
- KRAPPE, M. (1998): Der Einsatz von sequentiell codierten Wire Tags zur Markierung von juvenilen und adulten Bachneunaugen, *Lampetra planeri* Bloch, 1784. Verhandlungen der Gesellschaft für Ichthyologie 1: 129-137.
- KUBECKA, J.; DUNCAN, A. (1996): Patchiness of longitudinal fish distribution in a river as revealed by a continuous hydroacoustic survey. ICES Journal of Marine Science 53: 161-165.
- LANGKAU, M. C.; BALK, H.; SCHMIDT, M. B.; BORCHERDING, J. (2012): Can acoustic shadows identify fish species? A novel application of imaging sonar data. Fisheries Management & Ecology 19: 213-223.
- LARINIER, M.; DARTIGUELONGUE, J. (1989): The movement of migratory fish: Transit through turbines of hydroelectric installations. Bulletin français de la pêche et de la pisciculture 312-313: 1-90.
- LECOUR, C.; RATHCKE, P.-C. (2006): Abwanderung von Fischen im Bereich von Wasserkraftanlagen. Binnenfischerei in Niedersachsen 8 (Hrsg. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), 51 S., Hannover.
- LILJA, J.; MARJORNÄKI, T. J.; RIIKONEN, R.; JURVELIUS, J. (2000): Side aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*) and pike (*Esox lucius*). Aquatic Living Resources 13: 349-354.
- LUCAS, M.; BARAS, E. (2001): Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, 440 S., Oxford.



- MATK, M. (2012): Schädigungen von Fischen in Turbinenanlagen. LfULG-Schriftenreihe 12/2012 (Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie), 83 S., Dresden.
- MCCARTHY, T. K.; FRANKIEWICZ, P.; CULLEN, P.; BLASZKOWSKI, M.; O'CONNOR, W.; DOHERTY, D. (2008): Long-term effects of hydropower installations and associated river regulation on River Shannon eel populations: mitigation and management. *Hydrobiologia* 609 (1): 109–124.
- MCCUBBING, D. J. F.; WARD, B.; BURROUGHS, L. (2000): Salmonid escapement enumeration on the Keogh River: A demonstration of a resistivity counter in British Columbia. *Fisheries Technical Circular* 104: 1-22.
- McMICHAEL, G. A.; EPPARD, M. B.; CARLSON, T. J.; CARTER, J. A.; EBBERTS, B. D.; BROWN, R. S.; WEILAND, M.; PLOSKEY, G. R.; HARNISH, R. A.; DENG, Z. D. (2010): The juvenile salmon acoustic telemetry system: A new tool. *Fisheries* 35 (1): 9–22.
- MEYER, P.F. (1938): Die Beeinflussung des Blankaalfanges an der Rügenküste durch meteorologische und kosmische Faktoren. *Z. Fischerei* 36: 643-680.
- MOORE, A.; IVES, S.; MEAD, T. A.; TALKS, L. (1998): The migratory behaviour of wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in the River Test and Southampton Water, southern England. *Hydrobiologia* 371/372: 295-304.
- MORITA, K.; YAMAMOTO, S. (2002): Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. *Conservation Biology* 16 (5):1318–1323.
- MOURNING, T.E.; FAUSCH, K.D.; GOWAN, C. (1994): Comparison of visible implant tags and floy anchor tags on hatchery rainbow trout. *North American Journal of Fisheries Management* 14 (3): 636-642.
- MOURSUND, R. A.; CARLSON, T. J.; PETERS, R. D. (2003): A fisheries application of a dual-frequency identification sonar acoustic camera. *ICES Journal of Marine Science - Journal du Conseil* 60 (3): 678–683.
- NEGREA, C.; THOMPSON, D. E.; JUHNKE, S. D.; FRYER, D. S.; LOGE, F. J. (2014): Automated detection and tracking of adult Pacific lampreys in underwater video collected at Snake and Columbia River fishways. *North American Journal of Fisheries Management* 34 (1): 111–118.
- ODEH, M. (1999): A Summary of Environmentally Friendly Turbine Design Concepts. Studie im Auftrag des U.S. Department of Energy, 47 S., Idaho.
- OVIDIO, M.; BARAS, E.; GOFFAUX, D.; BIRTLES, C.; PHILIPPART, J.-C. (1998): Environmental unpredictability rules the autumn migrations of brown trout (*Salmo trutta*) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia* 371/372: 262-273.
- OVIDIO, M.; BARAS, E.; GOFFAUX, D.; GIROUX, F.; PHILIPPART, J.-C. (2002): Seasonal variations of activity pattern of brown trout (*Salmo trutta*) in a small stream, as determined by radio-telemetry. *Hydrobiologia* 470: 195-202.
- OVIDIO, M.; ENDER, E. C.; HALLOT, E. J.; ROY, M. L.; PHILIPPART, J.-C.; PETIT, F.; ROY, A. G. (2007): Mobility and home-range use of Atlantic salmon parr over short time scales. *Aquatic Living Resources* 20: 95-101.
- OVIDIO, M.; PHILIPPART, J.-C. (2002): The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. *Hydrobiologia* 483: 55-69.
- PAVLOV, D. S.; LUPANDIN, A. I.; KOSTIN, V. V. (2002): Downstream migration of fish through dams of hydroelectric power plants. Buch im Auftrag des U.S. Department of Energy Hydropower Program, 249 S., Oak Ridge.
- PIPAL, K.; JESSOP, M.; BOUGHTON, D.; ADAMS, P. (2010): Using Dual-Frequency Identification Sonar (DIDSON) to estimate adult steelhead escapement in the San Lorenzo River, California. *California Fish and Game* 96 (1): 90–95.
- POTTGIESSER, T.; KAIL, J.; SEUTER, S.; HALLE, M. (2004): Abschließende Arbeiten zur Fließgewässertypisierung entsprechend den Anforderungen der EU-WRRL - Teil II. Endbericht im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 20 S., Kiel.
- PRENTICE, E. F.; MAYNARD, D. J.; DOWNING, S. L.; FROST, D. A.; KELLETT, M. S.; BRULAND, D. A.; SPARKS-McCONKEY, P.; WAKNITZ, F. W.; IWAMOTO, R. N.; MCINTYRE, K.; PAASCH, N. (1994): A Study to determine the biological feasibility of a new fish tagging system 1990-1993. Studie im Auftrag des U.S. Department of Energy, Bonneville Power Administration, 87 S., Portland.
- RABEN, K. VON (1957): Zur Frage der Beschädigung von Fischen durch Turbinen. *Wasserwirtschaft* 47: 97-100.

- RAKOWITZ, G.; HEROLD, W.; FESL, C.; KECKEIS, H.; KUBECKA, J.; BALK, H. (2008): Two methods to improve the accuracy of target-strength estimates for horizontal beaming. *Fisheries Research* 93: 324-331.
- RANSOM, B.H.; JOHNSTON, S.V.; STEIG, T.W. (1998): Summary of the use of hydroacoustics for quantifying the escape-ment of adult salmonids (*Oncorhynchus* and *Salmo* spp) in rivers. *International Symposium and Workshop on Management and Ecology of River Fisheries* (University of Hull), 25 S., Hull.
- RILEY, W. D.; IBBOTSON, A. T.; BEAUMONT, W. R. C.; RYCROFT, P.; COOK, A. C. (2010): A portable, cost effective, pass-through system to detect downstream migrating salmonids marked with 12mm passive integrated transponder tags. *Fisheries Research* 101 (3): 203–206.
- ROY, R.; BEGUIN, J.; ARGILIER, C.; TISSOT, L.; SMITH, F.; SMEBDOL, S.; DE OLIVEIRA, E. (2014): Testing the Vemco positioning system: Spatial distribution of the probability of location and positioning error in a reservoir. *Animal Biotelemetry* 2: 1.
- SCHIEMENZ, F. (1960): Unterschied der Wanderungen der Fische, insbesondere der Aale verschiedenen Reifegrades, im unkanalisierten Strom und im kanalisierten Strom. *Z. Fisch* 9, 133-154.
- SCHILT, C.R. (2007): Review: Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science* 104: 295–325.
- SCHMALZ, M. (2012): Optimierung von Bypässen für den Fischabstieg. Studie gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Az: 26632–24/0), 92 S., Schleusingen.
- SCHMALZ, M. (2014): Funktionskontrolle der Fischschleuse an der Wasserkraftanlage Höllenstein am Schwarzen Regen. Unveröff. Gutachten im Auftrag der HÖLLAG, 73 S.
- SCHMALZ, W. (2002): Modifizierung, Erprobung und Untersuchung einer neuartigen Fangtechnik zur Erforschung des Fischabstiegs im Bereich von Wasserkraftanlagen. Studie gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Az: 18620), 45 S., Schleusingen.
- SCHMALZ, W. (2010): Untersuchungen zum Fischabstieg und Kontrolle möglicher Fischschäden durch die Wasserkraftschnecke an der Wasserkraftanlage Walkmühle an der Werra in Meiningen. Studie im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG), 220 S., Breitenbach.
- SCHMALZ, W. (2011): Fischabstieg durch eine Wasserkraftschnecke an einem Ausleitungskraftwerk. *Wasserwirtschaft* 7-8/2011: 82-87.
- SCHMALZ, W. (2013): Funktionskontrollen der Fischaufstiegs- und Fischabstiegsanlage an der Wasserkraftanlage Hütengrund an der Steinach. Gutachten im Auftrag der Muldekraftwerk Greppin GmbH, 73 S., Breitenbach.
- SCHMALZ, W.; SCHMALZ, M. (2007): Durchführung systematischer Untersuchungen zur Konzeption funktionsgerechter Wanderhilfen im Bereich von Wasserkraftanlagen am Beispiel der Wasserkraftanlage Camburg/Döbritschen (Thüringen). Studie gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Az: 18364/01+02), 187 S., Schleusingen.
- SCHNEIDER, J. (1999): Zeitliche und räumliche Einnischung juveniler Lachse (*Salmo salar* Linnaus, 1758) allochthoner Herkunft in ausgewählten Habitaten. *Bibliothek Natur und Wissenschaft* 15, 218 S., Solingen.
- SCHNEIDER, J. (2009): Fischökologische Gesamtanalyse einschließlich Bewertung der Wirksamkeit der laufenden und vorgesehenen Maßnahmen im Rheingebiet mit Blick auf die Wiedereinführung von Wanderfischen. Studie im Auftrag der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) 167, 165 S., Koblenz.
- SCHNEIDER, J.; HÜBNER, D. (2014): Funktionskontrolle der Fischwechselanlagen am Main-Kraftwerk Kostheim. *Wasserwirtschaft* 7-8/2014: 54-59.
- SCHNEIDER, J.; HÜBNER, D.; KORTE, E. (2012): Funktionskontrolle der Fischaufstiegs- und Fischabstiegshilfen sowie Erfassung der Mortalität bei Turbinendurchgang an der Wasserkraftanlage Kostheim am Main. Gutachten im Auftrag der WKW Staustufe Kostheim/Main GmbH & Co. KG, 46 S., Frankfurt a. M..
- SCHWEVERS, U. (1998): Die Biologie der Fischabwanderung. *Bibliothek Natur und Wissenschaft* 11, 84 S., Solingen.
- SCHWEVERS, U.; ADAM, B. (1995): Erfolgskontrolle von Besatzmaßnahmen mit Lachsen und Meerforellen im rheinland-pfälzischen Abschnitt des Gewässersystems der Lahn. Studie im Auftrag der Bezirksregierung Koblenz, 20 S., Koblenz.
- SEBER, G. A. F.; LE CREN, E. D. (1967): Estimating population parameters from catches large relative to the population. *Journal of Animal Ecology* (36) 3: 631–643.

- SIMMONDS, J.; MACLENNAN, D. N. (2005): Fisheries acoustics, theory and practice, 2nd Edition. John Wiley & Sons (Blackwell Science), 437 S., Oxford.
- SINGER, S. (2011): Comparison of seasonal fish abundance estimates of deep pools in the River Danube by two different sonar systems. Diplomarbeit durchgeführt an der Universität Wien (Fakultät für Lebenswissenschaften), 53 S., Wien.
- SMITH, G. W.; URQUHART, G. G.; MACLENNAN, D. N.; SARNO, B. (1998): A comparison of theoretical estimates of the errors associated with ultrasonic tracking using a fixed hydrophone array and field measurements. *Hydrobiologia* 371/372: 9-17.
- SMITH, I. P.; JOHNSTONE, A. D. F.; SMITH, G. W. (1997): Upstream migration of adult Atlantic salmon past a fish counter weir in the Aberdeenshire Dee, Scotland. *Journal of Fish Biology* 51: 266-274.
- SONNY, D.; KNUDSEN, F.R.; ENGER, P.S.; KVERNSTUEN, T.; SAND, O. (2006): Reactions of cyprinids to infrasound in a lake and at the cooling water inlet of a nuclear power plant. *Journal of Fish Biology* 69: 735-748.
- SONNY, D. (2009): La dévalaison des poissons dans la Meuse moyenne belge. *Cahier d'Ethologie Appliquée*, Volume 22, fascicule 3-4, Université de Liège. 267 S., Liege.
- STEIG, T. W. (2009): Three-dimensional behavioural results from acoustically tagged salmon smolts approaching hydroelectric dams. *Studie der Hydroacoustic Technology Inc.*, 11 S., Seattle.
- STEINMANN, P.; KOCH, W.; SCHEURING, L. (1937): Die Wanderungen unserer Süßwasserfische. Dargestellt auf Grund von Markierungsversuchen. *Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften* 35: 369-467.
- THIEL, R.; MAGATH, V. (2011): Populationsdynamik der diadromen Fischarten - Atlantischer Lachs, Meerforelle, Meerneunauge, Flussneunauge und Europäischer Aal. UBA-Texte 76/2011 (Hrsg. Umweltbundesamt), 112 S., Dessau-Roßlau.
- TOMBEK, B.; HOLZNER, M. (2008): Untersuchungen zur Effektivität alternativer Triebwerkstechniken und Schutzkonzepte für abwandernde Fische beim Betrieb von Kleinwasserkraftanlagen. Studie im Auftrag des Landesfischereiverbands Bayern, 85 S., München.
- TRAVADE, F.; GOUYOU, C.; DE FAVERI, N. (1999): Efficiency of a downstream bypass and a behavioural acoustic barrier for Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.) at the St. Cricq hydropower plant on the Ossau River (France). *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture* 353-354: 157-180.
- TRAVADE, F.; LARINIER, M. (2002): Monitoring techniques for fishways. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture* 364: 166-180.
- TRAVADE, F.; LARINIER, M.; SUBRA, S.; GOMES, P.; DE OLIVEIRA, E. (2010): Behaviour and passage of European silver eels (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 398: 1.
- VDFF [Verband Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V.] (2000): Fischereiliche Untersuchungsmethoden in Fließgewässern. Schriftenreihe des VDFF 13, 52 S., Offenbach/Main.
- VOGEL, D. A. (2008): Pilot Study to evaluate acoustic-tagged juvenile chinook salmon smolt migration in the Northern Sacramento - San Joaquin Delta 2006-2007. Studie im Auftrag des California Department of Water Resources, 38 S., Sacramento.
- WAGNER, F. (2003): The Impact of Anthropogenic Channel Alteration on the Retention of Particulate Organic Matter (POM) in the Third-Order River Ilm, Germany. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Ökologie. 113 S., Jena.
- WAGNER, F. (2013a): Überprüfung der Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen sowie der Fischschädigung an der WKA Wehlitz/Weiße Elster. Studie im Auftrag des WKA-Betreibers Andreas Knapikowski, 79 S., Jena.
- WAGNER, F. (2013b): Überprüfung der Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen sowie der Fischschädigung an der WKA Lützschena/Weiße Elster. Studie im Auftrag des WKA-Betreibers Josef Bauer, 87 S., Jena.
- WAGNER, F. (2013c): Überprüfung der Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen sowie der Fischschädigung an der WKA Stahmeln/Weiße Elster. Studie im Auftrag der Mühlenwerke Stahmeln GmbH, 89 S., Jena.
- WAGNER, F. (2014): Funktionskontrolle der Fischschleuse an der WKA Euteneuen in der Sieg. Gutachten im Auftrag der Albrecht Grundstücks GbR, 48 S., Jena.

ZYDLEWSKI, G. B.; HORTON, G.; DUBREUIL, T.; LETCHER, B.; CASEY, S.; ZYDLEWSKI, J. (2006): Remote monitoring of fish in small streams: A unified approach using PIT tags. *Fisheries* 31 (10): 492–502.

## 26 Gesetzestexte

EG-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327 vom 22.12.2000, 1–72.

EU-Aalverordnung (2007) Verordnung (EG) Nr. 1100/2007 des Rates vom 18. September 2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestands des Europäischen Aals (Aal-VO). Amtsblatt der Europäischen Union L248 vom 22.09.2007, 17-23.

FFH-Richtlinie (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 206 vom 22.07.2992, 7-50.

TierSchG (1972): Tierschutzgesetz, TierSchG, Ausfertigungsdatum: 24.07.1972 (BGBI. I S. 1277), in Kraft getreten am 01.10.1972, Neubekanntmachung vom 18.05.2006 (BGBI. I S. 1206, 1313), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetz vom 28.07.2014 (BGBI. I S. 1308).

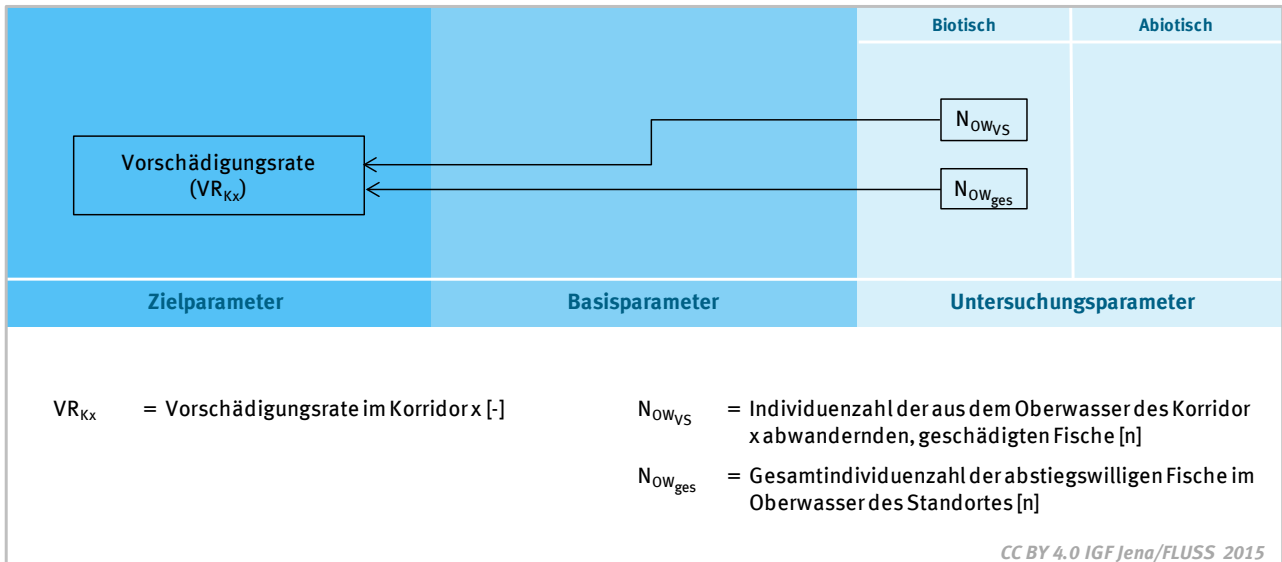
TierSchVersV (2013): Tierschutzversuchstierverordnung, TierSchVersV, Ausfertigungsdatum: 01.08.2013 (BGBI. I S. 3125, 3126), die durch Artikel 6 der Verordnung vom 12. Dezember 2013 (BGBI. I S. 4145) geändert worden ist.

WHG (2010): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz-WHG), WHG, Ausfertigungsdatum: 31.07.2009 (BGBI. II S. 2585), in Kraft getreten am 07.08.2009 bzw. 01.03.2010, zuletzt geändert durch Gesetz vom 15.11.2014 (BGBI. I S. 1724).

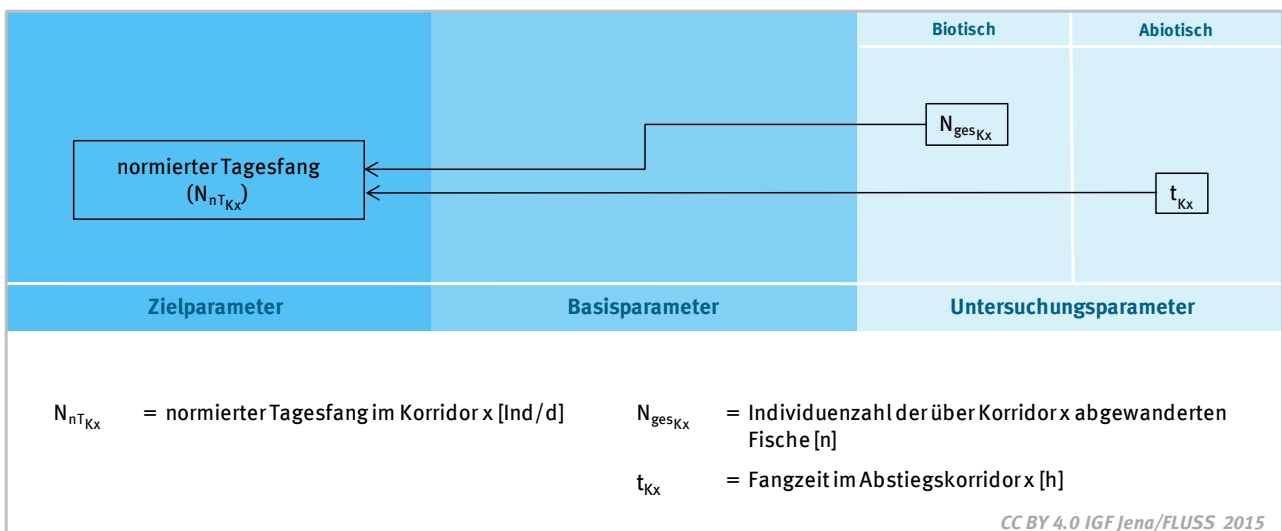
## 27 Anhang

Der Anhang enthält Schemata der Berechnungsgrundlagen der Zielparameter zur Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges an Standorten.

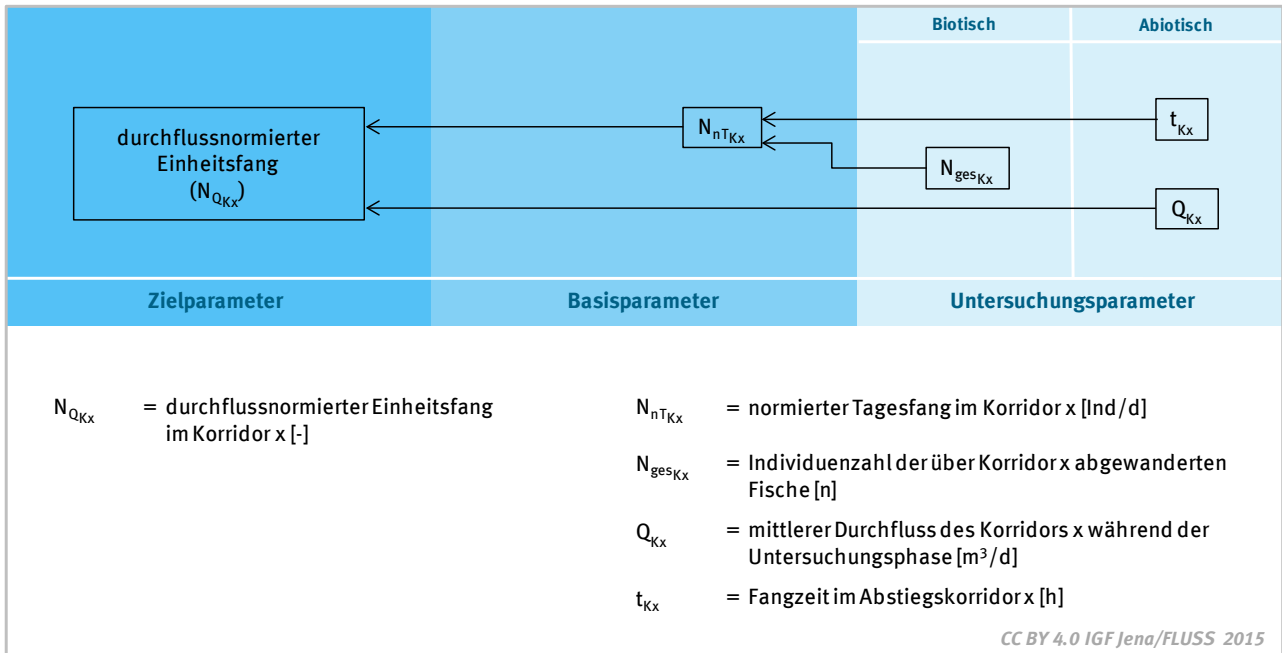
### 27.1 Berechnungsgrundlage Vorschädigungsrate im Oberwasser



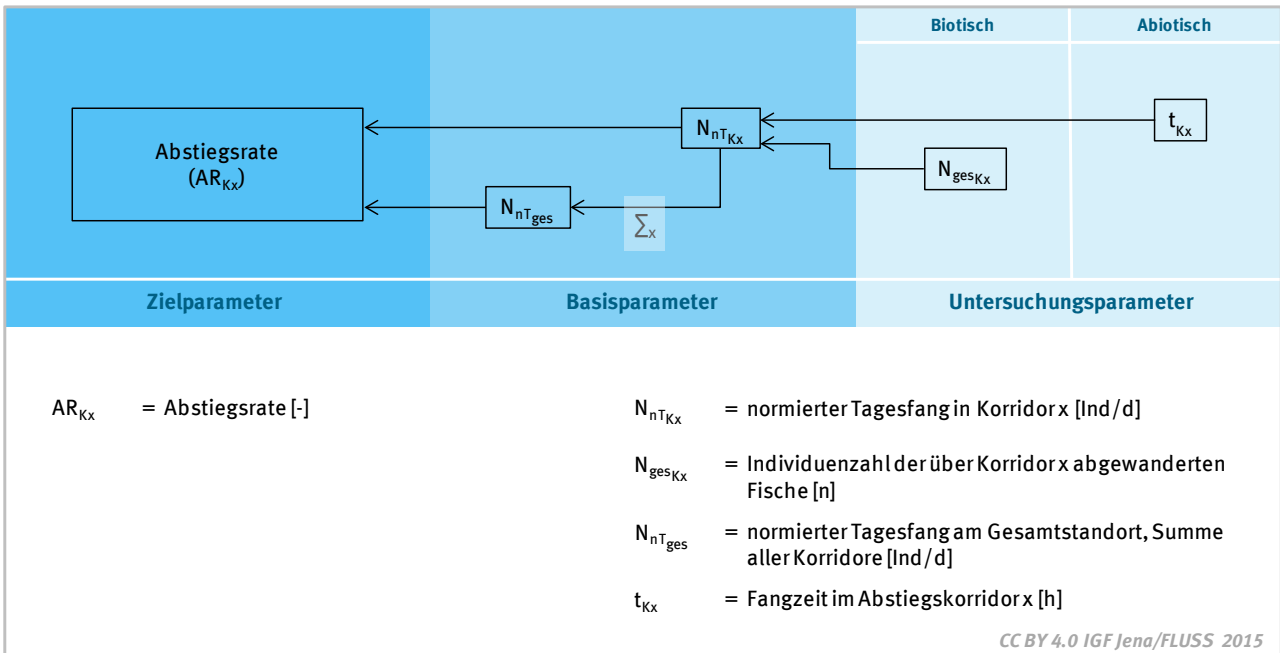
### 27.2 Berechnungsgrundlage normierter Tagesfang



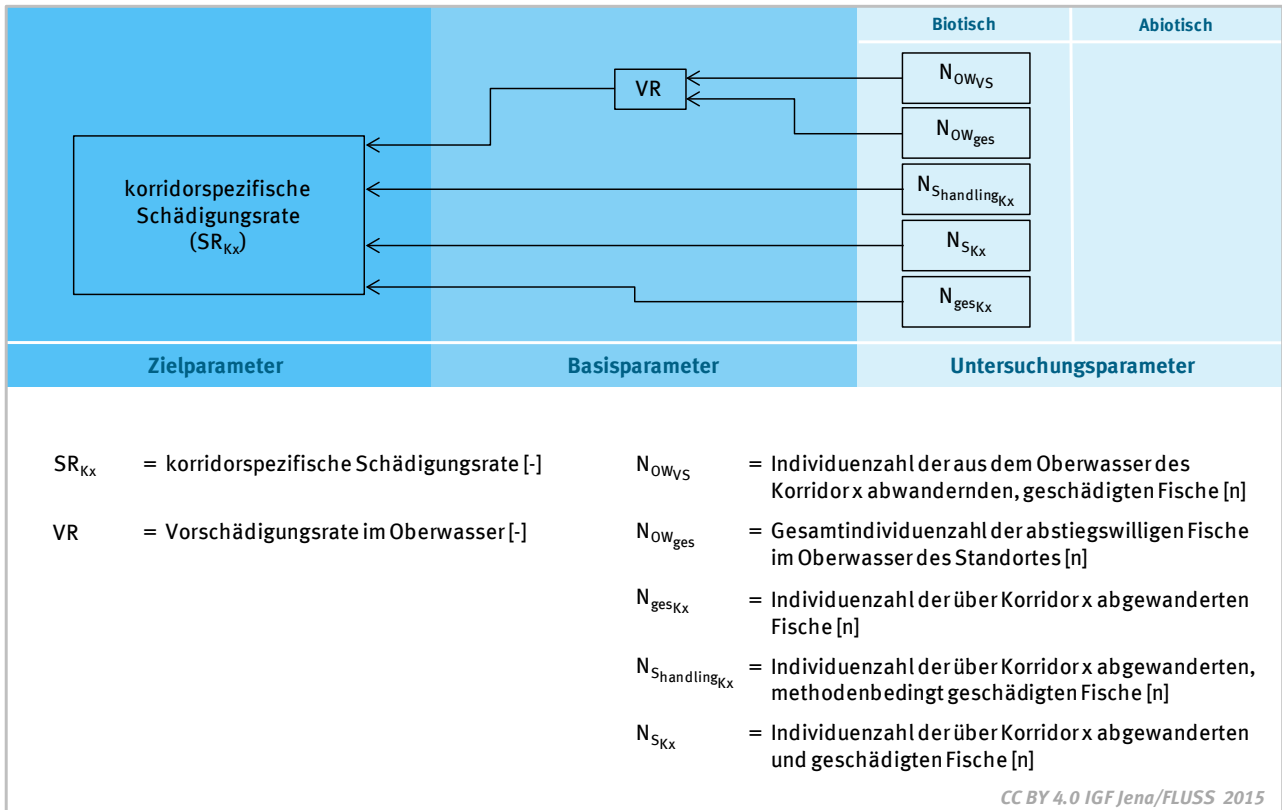
### 27.3 Berechnungsgrundlage durchflussnormierter Einheitsfang



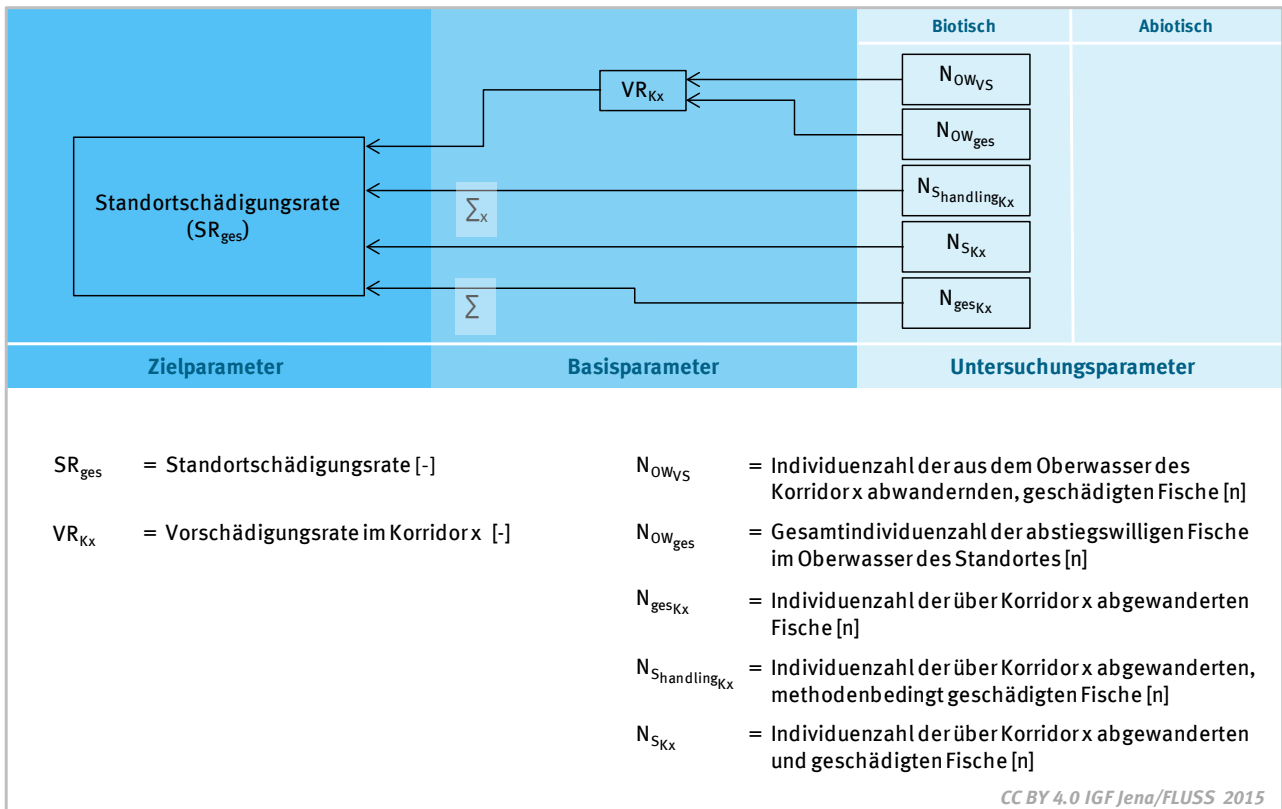
### 27.4 Berechnungsgrundlage Abstiegsrate



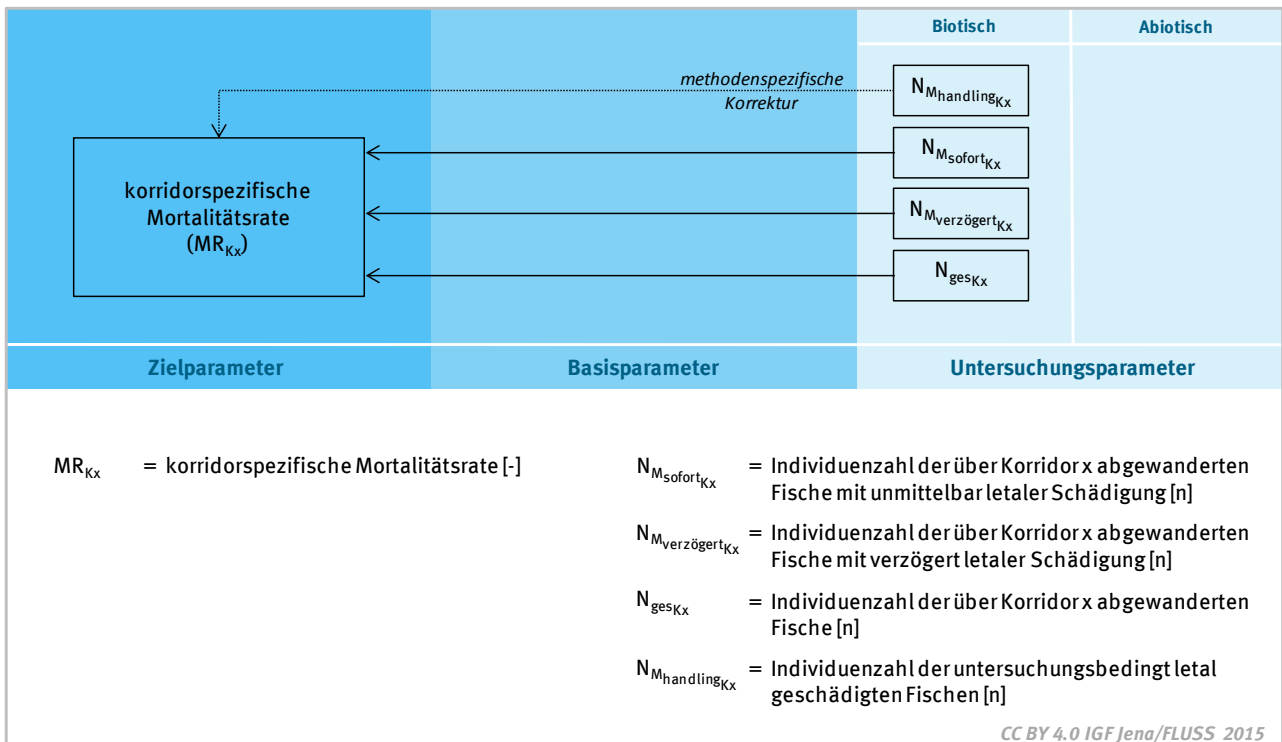
## 27.5 Berechnungsgrundlage korridorspezifische Schädigungsrate



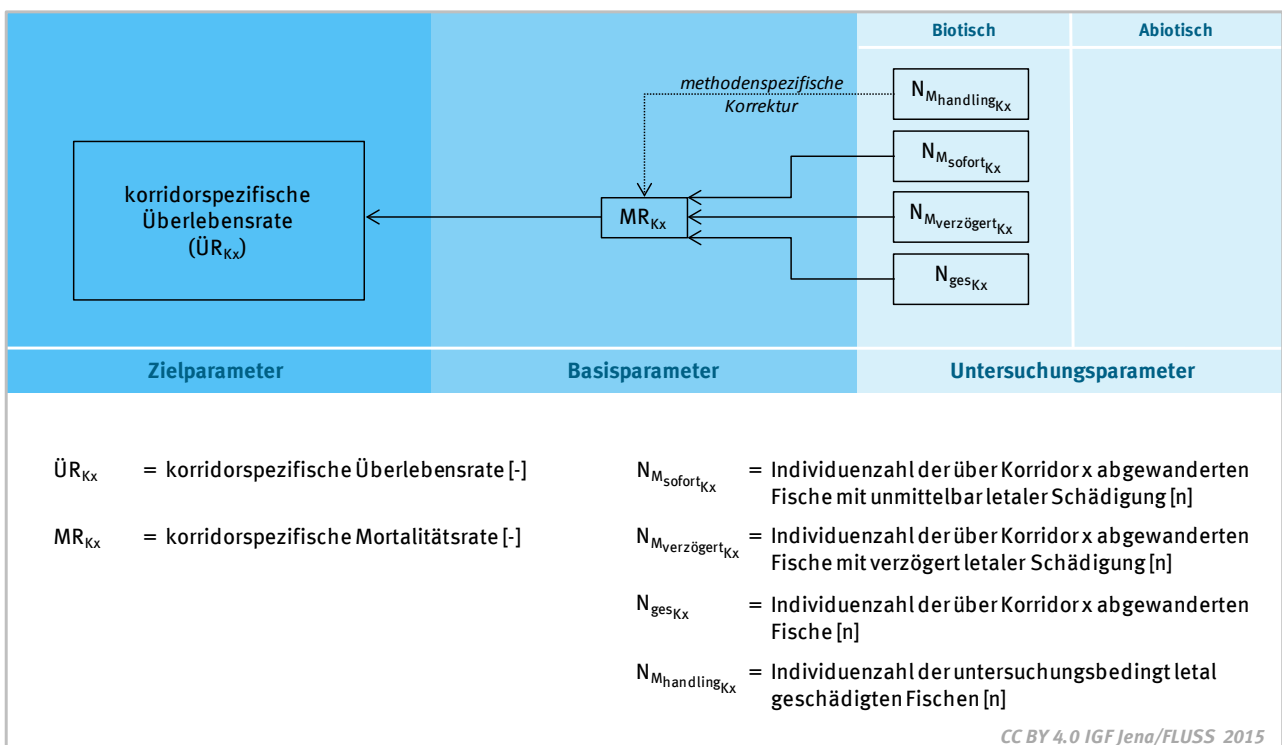
## 27.6 Berechnungsgrundlage Standortschädigungsrate



## 27.7 Berechnungsgrundlage Standortmortalitätsrate

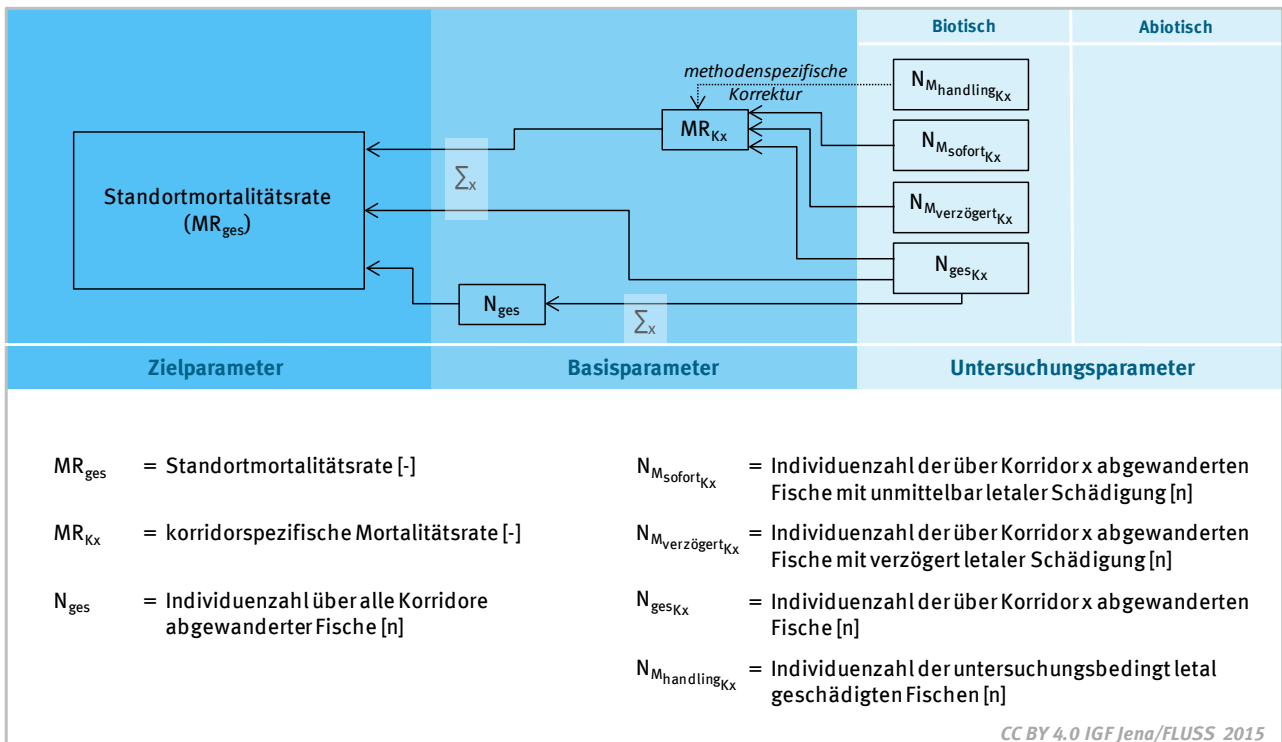


## 27.8 Berechnungsgrundlage korridorspezifische Überlebensrate

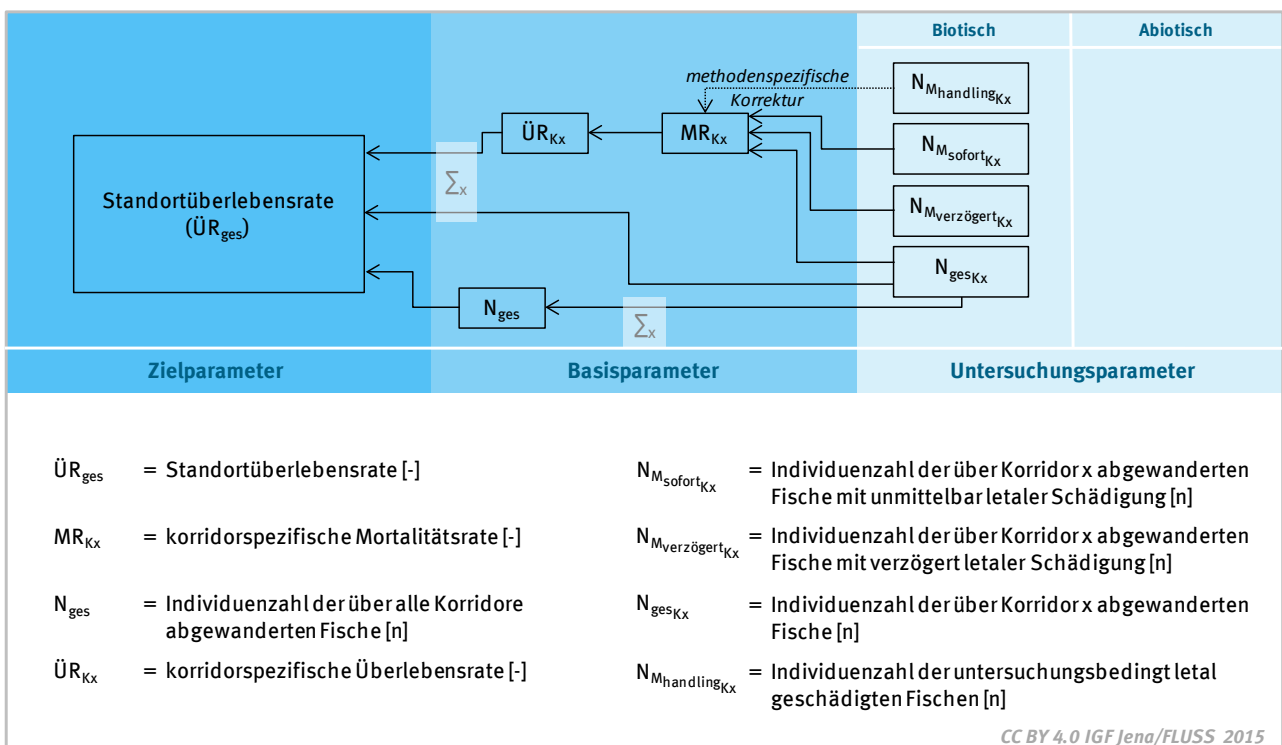




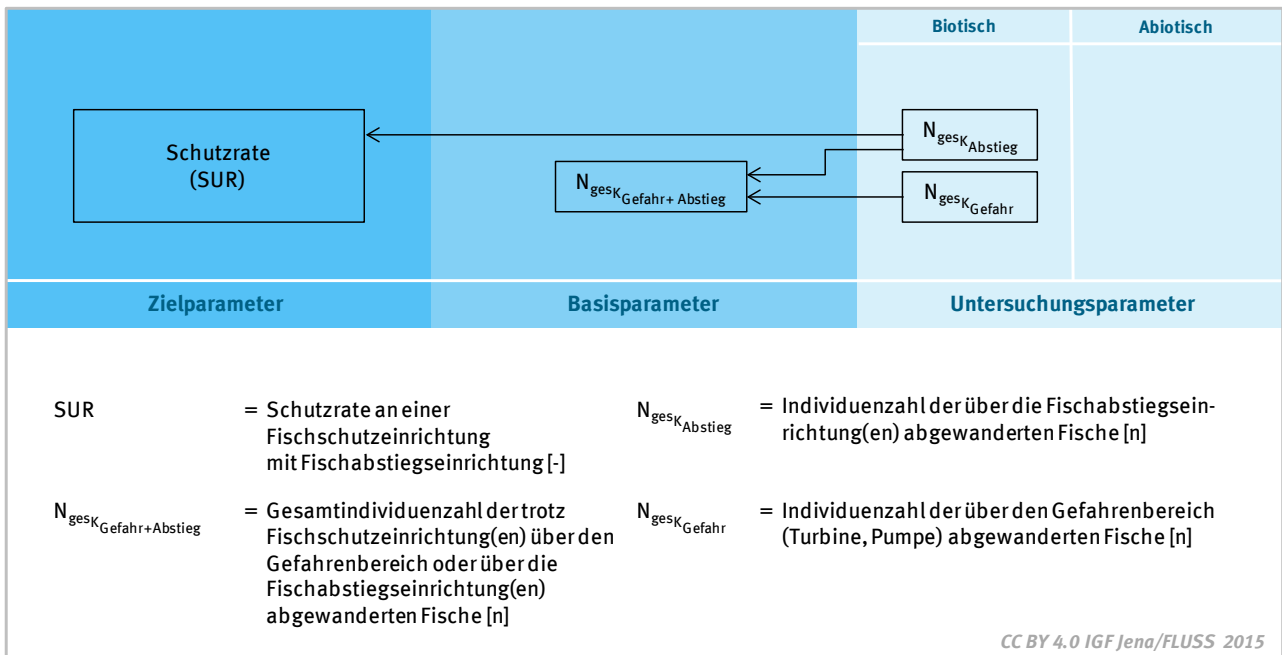
## 27.9 Berechnungsgrundlage Standortmortalitätsrate



## 27.10 Berechnungsgrundlage Standortüberlebensrate

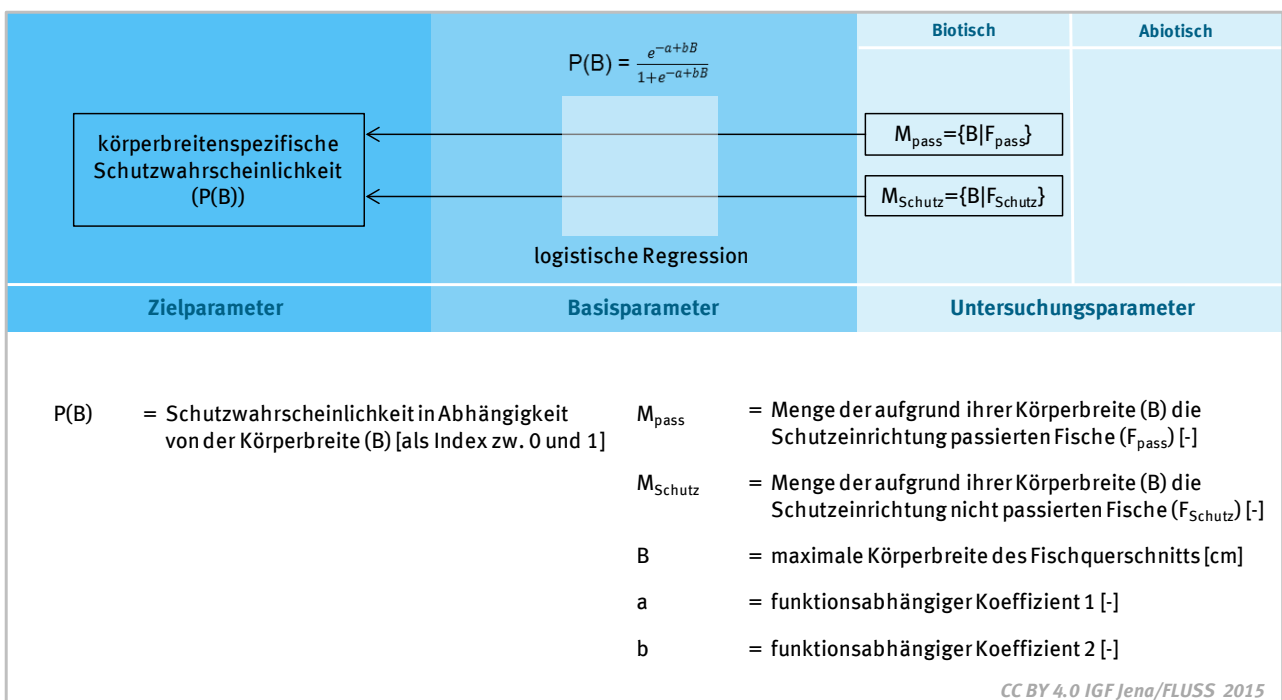


## 27.11 Berechnungsgrundlage Schutzrate



## 27.12 Berechnungsgrundlage körpergrößenspezifischen Schutzwahrscheinlichkeit

### 27.12.1 Berechnungsgrundlage körperbreitenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit



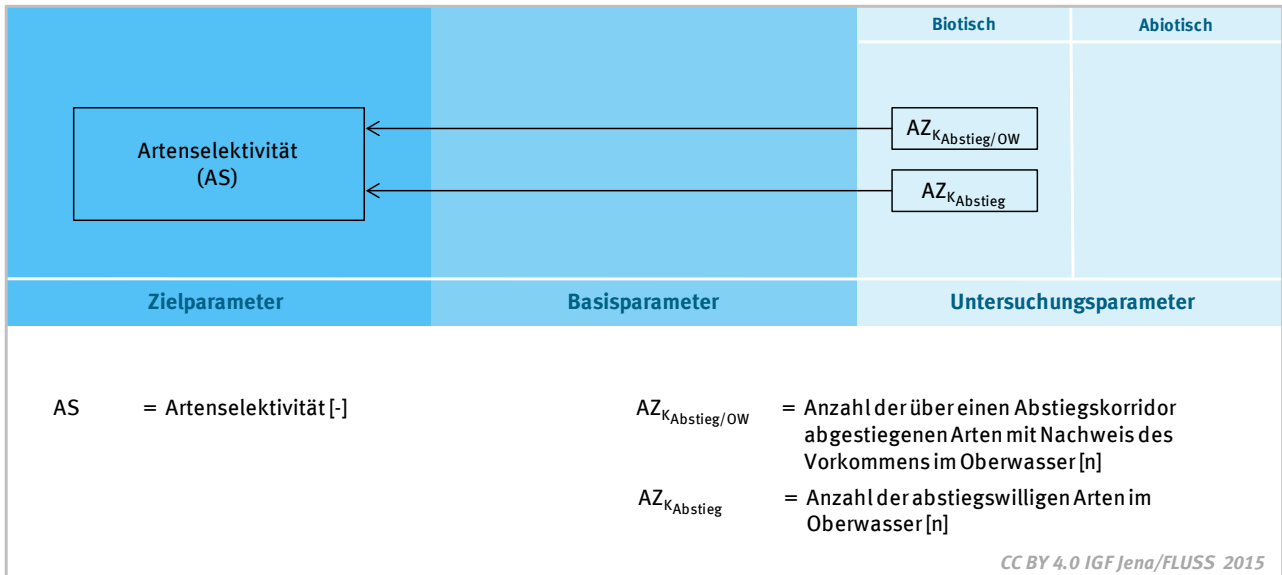
### 27.12.2 Berechnungsgrundlage körperhöhenpezifische Schutzwahrscheinlichkeit

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;">körperhöhenpezifische Schutzwahrscheinlichkeit (P(H))</div>	$P(H) = \frac{e^{-a+bH}}{1+e^{-a+bH}}$	Biotisch	Abiotisch
		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;">M<sub>pass</sub>={H F<sub>pass</sub>}</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;">M<sub>Schutz</sub>={H F<sub>Schutz</sub>}</div>
logistische Regression			
Zielparameter	Basisparameter	Untersuchungsparameter	
<p>P(H) = Schutzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Körperhöhe (H) [als Index zw. 0 und 1]</p> <p>M<sub>pass</sub> = Menge der aufgrund ihrer Körperhöhe (H) die Schutzeinrichtung passierten Fische (F<sub>pass</sub>) [-]</p> <p>M<sub>Schutz</sub> = Menge der aufgrund ihrer Körperhöhe (H) die Schutzeinrichtung nicht passierten Fische (F<sub>Schutz</sub>) [-]</p> <p>H = maximale Körperhöhe des Fischquerschnitts [cm]</p> <p>a = funktionsabhängiger Koeffizient 1 [-]</p> <p>b = funktionsabhängiger Koeffizient 2 [-]</p>			
CC BY 4.0 IGF Jena/FLUSS 2015			

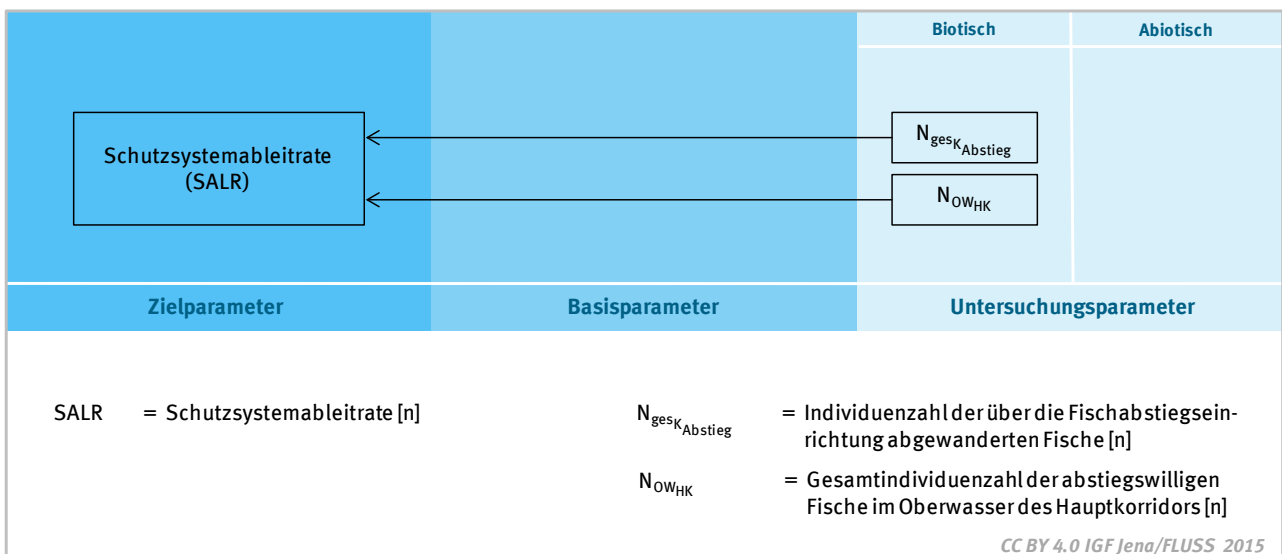
### 27.12.3 Berechnungsgrundlage körperlängenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;">körperlängenspezifische Schutzwahrscheinlichkeit (P(L))</div>	$P(L) = \frac{e^{-a+bL}}{1+e^{-a+bL}}$	Biotisch	Abiotisch
		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;">M<sub>pass</sub>={L F<sub>pass</sub>}</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;">M<sub>Schutz</sub>={L F<sub>Schutz</sub>}</div>
logistische Regression			
Zielparameter	Basisparameter	Untersuchungsparameter	
<p>P(L) = Schutzwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Körperlänge (L) [als Index zw. 0 und 1]</p> <p>M<sub>pass</sub> = Menge der aufgrund ihrer Körperlänge (L) die Schutzeinrichtung passierten Fische (F<sub>pass</sub>) [-]</p> <p>M<sub>Schutz</sub> = Menge der aufgrund ihrer Körperlänge (L) die Schutzeinrichtung nicht passierten Fische (F<sub>Schutz</sub>) [-]</p> <p>L = Körperlänge (Total- oder Standardlänge) [cm]</p> <p>a = funktionsabhängiger Koeffizient 1 [-]</p> <p>b = funktionsabhängiger Koeffizient 2 [-]</p>			
CC BY 4.0 IGF Jena/FLUSS 2015			

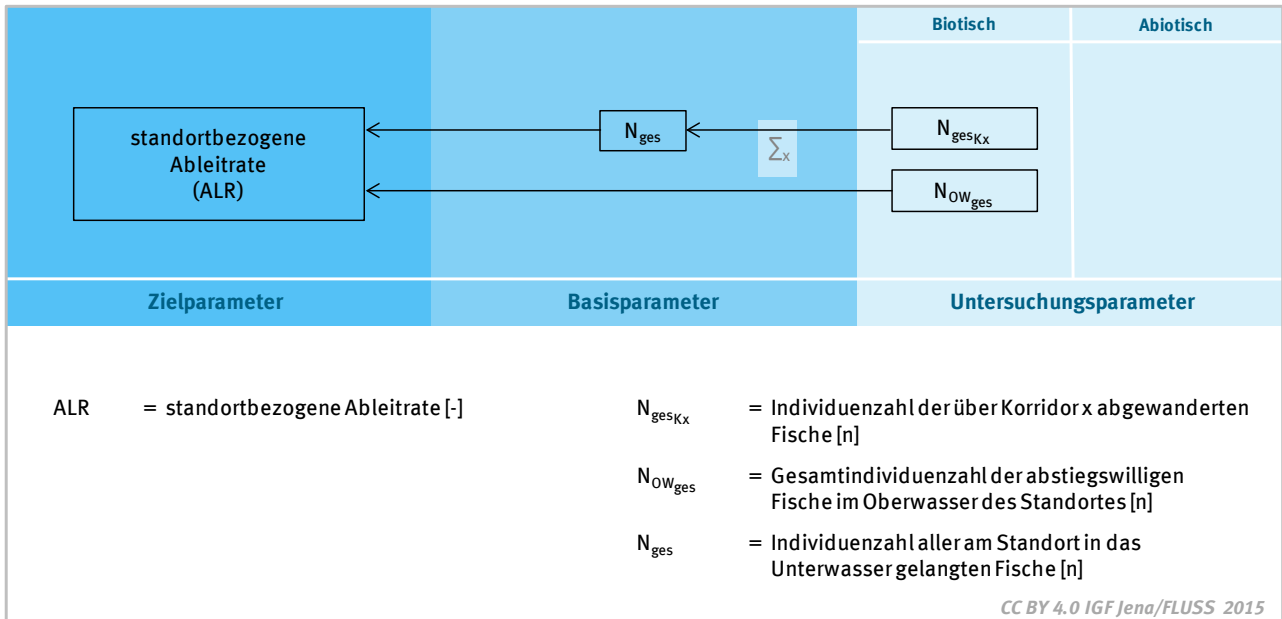
### 27.13 Berechnungsgrundlage Artenselektivität von Abstiegskorridoren



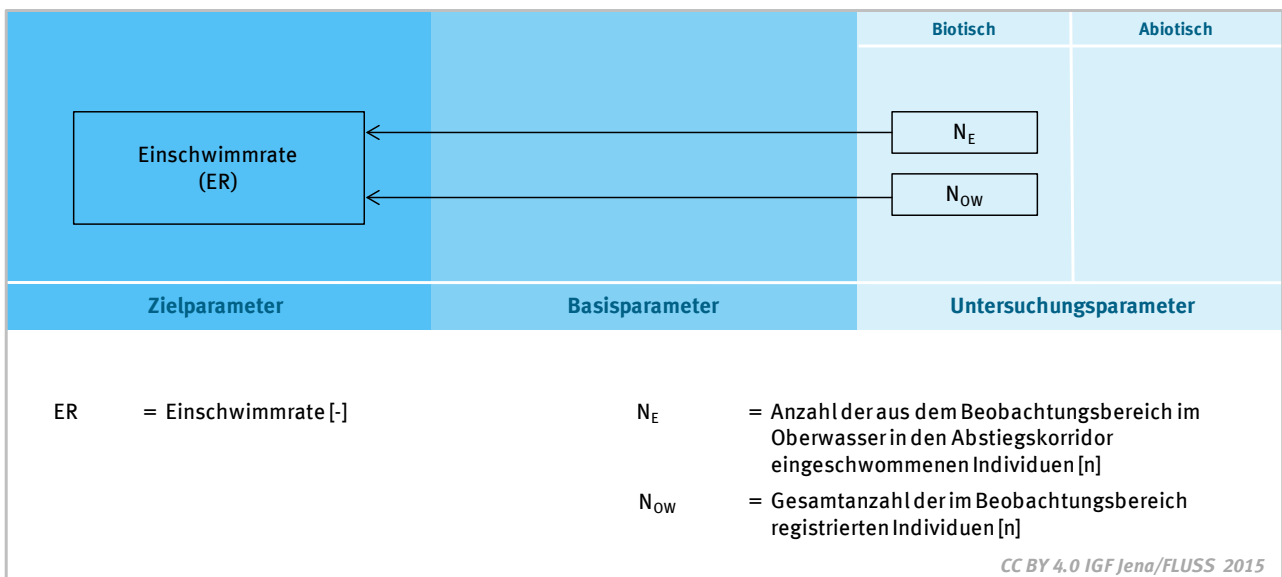
### 27.14 Berechnungsgrundlage Schutzsystemableitrate



## 27.15 Berechnungsgrundlage standortbezogene Ableitrate



## 27.16 Berechnungsgrundlage Einschwimmrate



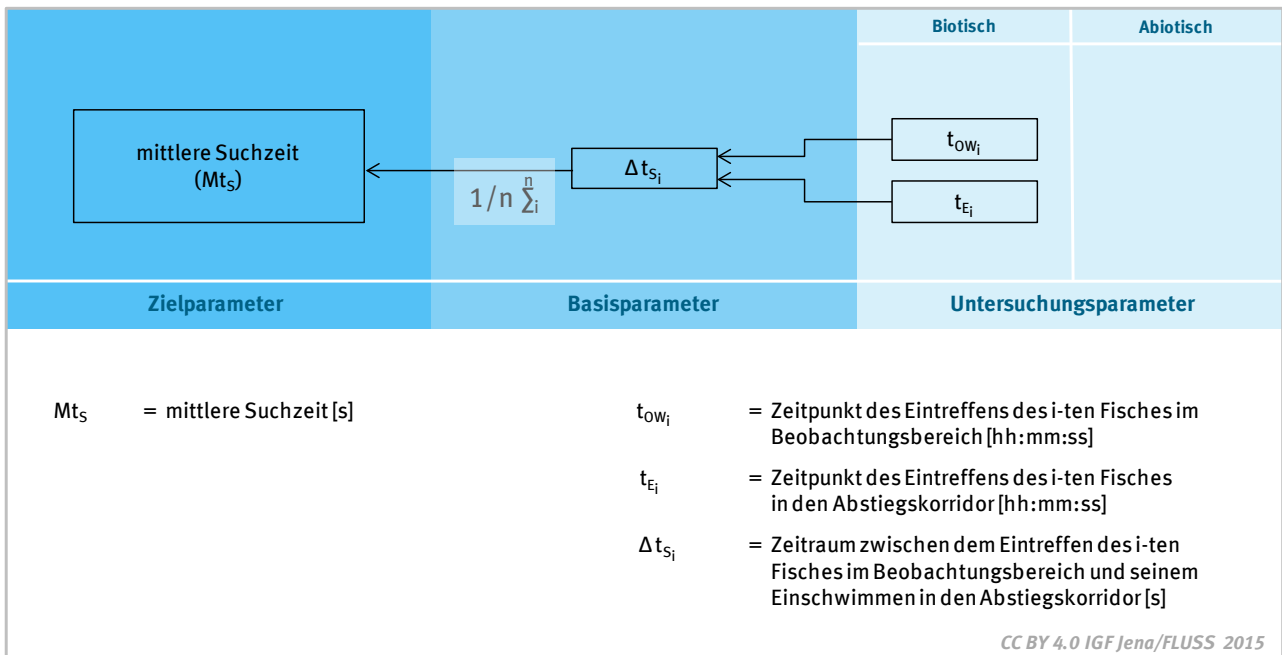
## 27.17 Berechnungsgrundlage Suchrate

		Biotisch	Abiotisch
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Suchrate (SR)</div>		← <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">N<sub>S</sub></div>	
		← <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">N<sub>OW</sub></div>	
Zielparameter	Basisparameter	Untersuchungsparameter	
SR = Suchrate [-]	N <sub>S</sub> = Anzahl der im Beobachtungsbereich nicht in den Abstiegskorridor eingeschwommenen Individuen, die sich eine definierte Mindestdauer im Beobachtungsbereich aufhielten [n]	N <sub>OW</sub> = Gesamtanzahl der im Beobachtungsbereich registrierten Individuen [n]	
<i>CC BY 4.0 IGF Jena/FLUSS 2015</i>			

## 27.18 Berechnungsgrundlage Fluchrate

		Biotisch	Abiotisch
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Fluchrate (FR)</div>		← <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">N<sub>F</sub></div>	
		← <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">N<sub>NE</sub></div>	
Zielparameter	Basisparameter	Untersuchungsparameter	
FR = Fluchrate [-]	N <sub>F</sub> = Anzahl der im Beobachtungsbereich in die Nähe der Einstiegsöffnung gelangten Individuen, die eine deutliche Fluchtreaktion zeigten [n]	N <sub>NE</sub> = Gesamtanzahl der Individuen, die sich der Einstiegsöffnung bis auf eine kritische Distanz näherten, in welcher der Abstiegskorridor für die Fische wahrnehmbar wird [n]	
<i>CC BY 4.0 IGF Jena/FLUSS 2015</i>			

## 27.19 Berechnungsgrundlage mittlere Suchzeit



## 27.20 Berechnungsgrundlage mittlere Migrationsverzögerung

