



Praxishandbuch

# Fischaufstiegsanlagen in Bayern

Hinweise und Empfehlungen  
zu Planung, Bau und Betrieb







Praxishandbuch

# Fischaufstiegsanlagen in Bayern

2. Überarbeitete Auflage

**Hinweise und Empfehlungen  
zu Planung, Bau und Betrieb**

von Dr. Kurt Seifert, BNGF GmbH – Büro für Naturschutz-, Gewässer- und Fischereifragen  
im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU)  
und des Landesfischereiverbandes Bayern e.V. (LFV Bayern)  
unter Mitwirkung des Verbandes der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft e.V. – VBEW



# Inhalt

	<b>Grußwort Staatsministerin Scharf</b> . . . . .	<b>4</b>
	<b>Gemeinsames Vorwort</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Grundsatzfragen zur Durchgängigkeit und zu Fischwanderungen</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Ökologische Durchgängigkeit</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Fischaufstieg – Zielrichtung des Praxishandbuches</b> . . . . .	<b>10</b>
<b>2.3</b>	<b>Flussdynamik, Habitatnutzung und Fischwanderungen</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>2.4</b>	<b>Leistungsvermögen und Orientierung von Fischen, verhaltenssteuernde Reize</b> . . . . .	<b>13</b>
2.4.1	Schwimtleistung . . . . .	13
2.4.2	Orientierung und Schwimmverhalten . . . . .	14
2.4.3	Verhalten und Orientierung im Unterwasser von Querbauwerken bzw. im Bereich von konkurrierenden Strömungen (FAA-Mündungen) . . . . .	17
<b>2.5</b>	<b>Wanderkorridor, Wanderroute, rheoaktive Geschwindigkeit</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>Ziel-Organismen, Zielartenkonzept</b> . . . . .	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>Durchgängigkeit und Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), natur- und artenschutzrechtliche Verknüpfungen</b> . . . . .	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Grundlagen, allgemeine Anforderungen und Hinweise zur Planung von Fischaufstiegsanlagen</b> . . . . .	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Betriebs-/Funktionsdauer für FAA</b> . . . . .	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Auffindbarkeit von FAA</b> . . . . .	<b>29</b>
5.2.1	Auffindbarkeit im Nahbereich – FAA Einstieg im Unterwasser – Schlüsselposition . . . . .	30
5.2.2	Auffindbarkeit (Dotation) bei unterschiedlichen Unterwasser-/Oberwasser-Spiegeln . . . . .	34
5.2.3	Leitströmung und Leitkorridor . . . . .	36
5.2.4	Positionierung der FAA und Auffindbarkeit – großräumige Betrachtung . . . . .	37
<b>5.3</b>	<b>Passierbarkeit</b> . . . . .	<b>40</b>
5.3.1	Allgemeine Anforderungen . . . . .	40
5.3.2	Geometrische Grenzwerte und Bemessungswerte für FAA . . . . .	44
5.3.3	Hydraulische Grenz- und Bemessungswerte für FAA . . . . .	47
5.3.4	Engstellen und Zwangspunkte . . . . .	50
5.3.5	Durchgängige raue Sohle, Anbindung im Unter- und Oberwasser . . . . .	51
5.3.6	Lichtverhältnisse in Fischaufstiegsanlagen . . . . .	52
5.3.7	Ausstieg/Einlauf im Oberwasser, Kontrolleinrichtungen, Treibgutschutz . . . . .	52
<b>5.4</b>	<b>Dotation von Fischaufstiegsanlagen</b> . . . . .	<b>54</b>

<b>6</b>	<b>Typen von Fischaufstiegsanlagen</b>	<b>58</b>
6.1	Definition	58
6.2	Rückbau	59
6.3	Sohlrampen, Sohlgleiten	59
6.4	Umgebungsgewässer (Umgebungsbach)	64
6.5	Tümpelpass (naturnaher Beckenpass)	67
6.6	Schlitzpass	69
6.7	Raugerinne-Beckenpass	73
6.8	Borstenfischpass	75
<b>7</b>	<b>Grundlagenermittlung und -analyse</b>	<b>76</b>
7.1	Allgemeine Grundlagenerhebungen zum Querbauwerk und Umgebungsgelände/Planungsraum, Nutzungen	76
7.2	Ermittlung der Zielarten	77
7.3	Ermittlung hydrologischer, hydrographischer und ökomorphologischer Grundlagen	78
7.4	Ermittlung ökohydraulischer Grundlagen	79
7.5	Auswahl des FAA-Typs	80
7.6	Ökotechnische Gesamtanalyse	82
7.7	Fehlervermeidung bei der Planung und Möglichkeiten der Optimierung bestehender Anlagen	82
7.7.1	Auffindbarkeit	82
7.7.2	Passierbarkeit	85
<b>8</b>	<b>Wartung, Qualitätssicherung und Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen</b>	<b>88</b>
8.1	Wartung, Qualitätssicherung und Betriebssicherheit	88
8.2	Funktionskontrollen	89
<b>9</b>	<b>Literatur</b>	<b>92</b>
	<b>Anhang I</b>	<b>96</b>
	Planungsrelevante Kriterien zur Herstellung der Durchgängigkeit	96
	<b>Anhang II</b>	<b>99</b>
	Anlage 1	99
	Anlage 2	100
	<b>Anhang III</b>	<b>104</b>
	Beispielsammlung	104
	<b>Glossar</b>	<b>145</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>148</b>

## Grußwort von Frau Staatsministerin Scharf

Bayern ist reich an attraktiven Landschaften und einer vielfältigen Natur mit seltenen Tier- und Pflanzenarten sowie Bergen und Mittelgebirgen, die reichlich Wasser mit großem Energiepotential bieten. Unsere Aufgabe ist es, ökologisch wertvolle Lebensräume zu bewahren und Störungen soweit als möglich zu beheben, aber gleichzeitig auch das dargebotene Potential umweltverträglich und nachhaltig zu nutzen.

Eine Nutzung, die große Bedeutung für Bayern hat, ist die Gewinnung regenerativer Energie aus Wasserkraft. Zwei Drittel der Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen werden mit Wasserkraft erzeugt. Wasserkraft trägt dazu bei, dass Bayern mit einem deutschlandweit unterdurchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von etwa sechs Tonnen pro Kopf und Jahr Vorreiter im Klimaschutz ist.

Die Nutzung der Wasserkraft hat Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen im Gewässer. Eine nachhaltige Gewässerentwicklung hat daher zum Ziel, die Anforderungen der Gewässerökologie und des Naturschutzes mit Klimaschutz und regenerativer Energieerzeugung in Einklang zu bringen. Hierzu müssen Standards eingeführt werden, die auf Forschungsergebnissen, Praxisbeispielen und der Erfahrung von Fachleuten aus Natur- und Ingenieurwissenschaften beruhen.

Das vorliegende Praxishandbuch „Fischaufstiegsanlagen in Bayern“ ist ein solches Standardwerk. Die jetzt vorliegende Neuauflage berücksichtigt die zwischenzeitlich hinzugewonnenen Erfahrungen und zeigt Lösungswege für die Herstellung der biologischen Durchgängigkeit eines Gewässers auf. Das Werk ist aber auch ein gelungenes Beispiel für eine fruchtbare Kooperation von Fischerei, Wasserkraftbetreibern und Fachbehörden.

Den Verantwortlichen gratuliere ich zu der Neuauflage dieses Handbuchs und wünsche, dass die vertrauensvolle Zusammenarbeit in diesem Sinne fortgesetzt wird.



A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Ulrike Scharf', written in a cursive style.

**Ulrike Scharf MdL**  
Staatsministerin

## Gemeinsames Vorwort

Das Bayerische Landesamt für Umwelt und der Landesfischereiverband Bayern e.V. haben in Abstimmung mit dem Verband der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft e.V. – VBEW ihr gemeinsames Praxishandbuch „Fischaufstiegsanlagen in Bayern“ von 2012 überarbeitet und neu aufgelegt. Erfahrungen aus der praktischen Anwendung und zwischenzeitlich hinzugekommenen Fachgrundlagen (wie bspw. der Weißdruck des DWA-Merkblattes M 509 „Fischaufstiegsanlagen“) runden die Neuauflage ab. Nachdem die erste Auflage innerhalb kürzester Zeit vergriffen war, steht nun – neben einer im Internet digital verfügbaren pdf-Version – auch wieder eine gedruckte Fassung des Praxishandbuches zur Verfügung.

Fischaufstiegsanlagen ermöglichen Fischen und anderen Gewässerorganismen stromaufwärts zu wandern. Naturnah oder technisch gestaltet, stellen sie zumindest in einem bestimmten Umfang die ehemals vorhandene Längsvernetzung wieder her. An Planung, Bau und Betrieb solcher Fischaufstiegsanlagen werden hohe Ansprüche gestellt. Mit den vorhandenen Mitteln muss eine möglichst gute biologische Durchgängigkeit erzeugt werden und Selektionseffekte durch fischartenspezifische Hürden sind weitestmöglich zu vermeiden. Maßgeblich dabei sind das jeweils vorhandene Fischartenspektrum sowie Charakteristik und Größe des jeweiligen Gewässersystems. Eine individuelle Anpassung jeder einzelnen Fischaufstiegsanlage ist daher erforderlich.

Im bundesweiten Vergleich hat Bayern stark regionalspezifisch geprägte Fließgewässerlebensräume mit einzigartigen, teilweise nur hier vorkommenden Fischartengemeinschaften. Demgegenüber ist die Vernetzung verschiedenster Lebensraumtypen durch zahlreiche Querbauwerke beeinträchtigt. Diese wurden aus unterschiedlichen Gründen errichtet: Zur Sohlstützung, zur Grundwasseraufhöhung, für einen Ausbau als Schifffahrtsstraße und zur Wasserkraftnutzung. Die Wasserkraft spielt im bayerischen Energiemix aufgrund der Gefällesituation eine wesentliche Rolle und ist die bedeutendste regenerative Stromquelle Bayerns.

Eine verantwortungsbewusste Wasserkraftnutzung erfüllt die Anforderungen an die Durchgängigkeit für stromaufwärtswandernde Fische. Sie trägt zudem dem Energiekonzept der bayerischen Staatsregierung und den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes Rechnung. Gerade wegen der Bedeutung der Wasserkraft in Bayern, ist dieses Praxishandbuch so wichtig. Die hohe Anzahl an Anlagen macht umfassende Maßnahmen für den Fischartenschutz notwendig.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt, der Landesfischereiverband Bayern e.V. und Vertreter der Bayerischen Wasserkraft haben auf diese Erfordernisse im vorliegenden Praxishandbuch „Planung, Bau und Betrieb von Fischaufstiegsanlagen“ reagiert. Das Werk orientiert sich an anerkannten Regelwerken für Fischaufstiegsanlagen. Aufgrund geographischer wie fischfaunistischer Besonderheiten in den bayerischen Gewässerläufen stellt das Praxishandbuch eine regionalspezifische Ergänzung für Bayern dar. Es beleuchtet alle relevanten Kriterien in übersichtlicher Form. Anhand zahlreicher Bilder und Beispiele soll es Vertretern von Behörden, Planungsbüros, Naturschutzverbänden und sonstigen interessierten Personen als praxisnahe Grundlage für die Planung, bauliche Ausführung, den Betrieb und die Bewertung von Fischaufstiegsanlagen dienen.



**Claus Kumutat**  
Präsident des Bayerischen  
Landesamtes für Umwelt



**Prof. Dr.-Ing. Albert Göttle**  
Präsident des  
Landesfischereiverbandes  
Bayern e.V.



**Wolfgang Brandl**  
Vorsitzender des Verbandes  
der Bayerischen Energie- und  
Wasserwirtschaft e.V. – VBEW

# 1 Einführung

Der Schutz der einheimischen Fischfauna hat in den letzten Jahrzehnten deutliche Fortschritte gemacht. Das fischökologische Erfahrungswissen hat sich verbessert ebenso wie der technische Standard bei Planung und Bau von Fischaufstiegsanlagen (kurz FAA). Die Praxis zeigt aber, dass trotz dieser Fortschritte nicht alle in jüngerer Zeit gebauten Fischaufstiegsanlagen funktionstüchtig sind und von Fischen nur unzureichend aufgefunden und passiert werden können.

Damit ist der einheimischen Fischfauna wenig gedient. Zudem wird mit solchen Anlagen – sofern es keine Möglichkeit der Nachbesserung gibt – oft auf Jahre und Jahrzehnte hinaus die unzulängliche Durchgängigkeit „zementiert“, da die verfügbaren Mittel erschöpft sind.

Trotz einer Fülle an bereits vorliegenden Leitfäden und weiteren Publikationen zum Thema FAA und Durchwanderbarkeit von Querbauwerken in Gewässern, bedarf es deshalb eines aktualisierten, praxisnahen Handbuchs zur Optimierung der FAA-Planungen für die bayerischen Fließgewässer.

Obwohl umfangreiche praktische Erfahrungen mit FAA vorliegen, wird bei eingehender Beschäftigung mit der Thematik deutlich, dass vieles über das (Wander-)Verhalten der Fische, insbesondere der Nicht-Salmoniden, also der Mehrzahl unserer einheimischen Fischarten, wie etwa der großen Gruppe der Cypriniden (z.B. Barbe und Nase), noch unbekannt ist. Gerade auch das Verhalten in turbulenten Strömungsbereichen, wie sie an Wehren und FAA zwangsläufig auftreten, ist bislang wenig untersucht und kaum verstanden. Es wird also in Zukunft im Zuge einer vertieften Erkenntnis weiter verbesserte FAA und verfeinerte Planungsmethoden und -kriterien geben. Dennoch ist es sehr wohl möglich, auf der Basis des heutigen Wissens gut funktionierende Anlagen zu planen und zu realisieren. Dabei ist es zweifellos eine Herausforderung, möglichst vielen Fischarten und deren verschiedenen Altersstadien bei unterschiedlichen Abflussverhältnissen eine „reibunglose“ Aufwärtswanderung zu ermöglichen. Die Kenntnis der wesentlichen fischbiologischen und ökologischen Grundlagen ist daher unverzichtbare Voraussetzung für die Planung funktionsfähiger FAA und wird insbesondere im ersten Drittel der Broschüre entsprechend ausführlich dargestellt.

Dieses Handbuch ist hinsichtlich des relevanten Fischartenspektrums auf bayerische Verhältnisse zugeschnitten und bezieht sich im Wesentlichen auf die Fischarten des Donau- und Main-Einzugsgebietes. Die vergleichsweise kleinen bayerischen Anteile der Einzugsgebiete von Weser und Elbe sind hierbei im Rahmen der dort vorkommenden Fischarten und der grundlegenden Planungskriterien mit eingeschlossen.

Neben einem notwendigen Überblick über die Grundlagen der ökologischen Durchgängigkeit der Fischwanderungen und über maßgebliche Kriterien für Planung und Gestaltung von Fischaufstiegsanlagen soll das Augenmerk hier vor allem auf potenzielle Schwachstellen im Planungs- und Umsetzungsprozess gelenkt werden, insbesondere auf die oft mangelhafte oder fehlende Verknüpfung von fischereibiologischem, ökologischem und ingenieurtechnischem Sachverstand.

Die vorgestellten Bemessungswerte für Fischaufstiegsanlagen (FAA) repräsentieren den derzeitigen Stand der Technik bzw. die gute fachliche Praxis zur Herstellung der ökologischen, flussaufwärtsgerichteten Durchgängigkeit<sup>1</sup>. Bei fachgerechter Planung ist daher bei Einhaltung der angeführten Werte und Planungskriterien im Regelfall von der Funktionsfähigkeit der FAA für Fische, aber auch z.B. für wirbellose Kleinlebewesen (Makrozoobenthos) auszugehen. Hervorzuheben ist, dass Planung und Bau von Fischaufstiegsanlagen ein hohes Maß an ökologisch-biologischem, hydraulischem und technischem Fachwissen erfordert und daher von fachkundigen, erfahrenen

<sup>1</sup> Das vorliegende Praxishandbuch erfasst ausschließlich Gesichtspunkte des Fischaufstiegs; Maßnahmen zum Fischschutz, zu morphologischen Entwicklungsmaßnahmen oder zum Fischabstieg werden nicht besprochen.

2 Als umfassendstes Regelwerk hierzu ist das Merkblatt DWA-M 509 Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung“ (DWA 2014) zu nennen und zu empfehlen.

Experten durchzuführen ist. Mit dieser Broschüre soll ein fachlich fundierter Überblick und ein für die Praxis geeignetes „Werkzeug“ vorgelegt werden, um funktionsfähige Anlagen zu konzipieren und mögliche Fehler zu vermeiden. Wenn es um die umfassende Bauplanung einer FAA geht, wird ergänzende Fachlektüre mit vertiefendem Kenntnisstand insbesondere im technisch-hydraulischen Bereich<sup>2</sup> empfohlen.

Grundsätzlich zielt das Handbuch darauf ab, einen fachlichen Beitrag zu Erhalt und Verbesserung der Fischbestände in bayerischen Flüssen und Bächen zu leisten und somit auch zur Erreichung der ökologischen Ziele mit Blick etwa auf die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) oder die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH) beizutragen.



## 2 Grundsatzfragen zur Durchgängigkeit und zu Fischwanderungen

### 2.1 Ökologische Durchgängigkeit

Naturbelassene Fließgewässer sind in aller Regel hochgradig vernetzte Ökosysteme, die durch vielfältige räumlich-zeitliche Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Bereichen des Wasserkörpers, des Flussbettes und des Umlandes (Aue) geprägt und charakterisiert sind. Eine Vielzahl von Lebensraumtypen, Teillebensräumen (Mesohabitats) und ökologischen Nischen stehen über die Wasserkörper der Flüsse hinweg sowohl in kleinräumlicher Verteilung und geringer Distanz als auch über viele hunderte bis tausende von Kilometern Entfernung miteinander in Verbindung. Gewässerorganismen, insbesondere die Fische, sind an diese vernetzungsbedingte Habitatvielfalt perfekt angepasst.

Der Artenreichtum der Fischfauna und die Integrität der Fischpopulationen hängen in hohem Maße von der Verfügbarkeit unterschiedlicher, räumlich voneinander getrennter Teilhabitate innerhalb der Flussgebiete ab. Bei Fernwanderern wie dem Lachs, liegen Teillebensräume sogar in entfernten marinen Lebensräumen, die mit dem Süßwasser vernetzt sind. Umgekehrt führt die Unterbrechung dieser Vernetzung, und damit die Abtrennung und der Entzug von wichtigen, teils überlebenswichtigen Teilhabitats, zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Fischfauna, zu einem Rückgang der Artenvielfalt (Biodiversität) und in letzter Konsequenz zu einer Destabilisierung und Degradation der sog. Metapopulationen<sup>3</sup>.

In der modernen Gewässerökologie gilt die komplexe, vier-dimensionale Natur von Fließgewässersystemen als allgemein anerkanntes Grundprinzip (JUNGWIRTH et al. 2003). Die Interaktionen vollziehen sich dabei in

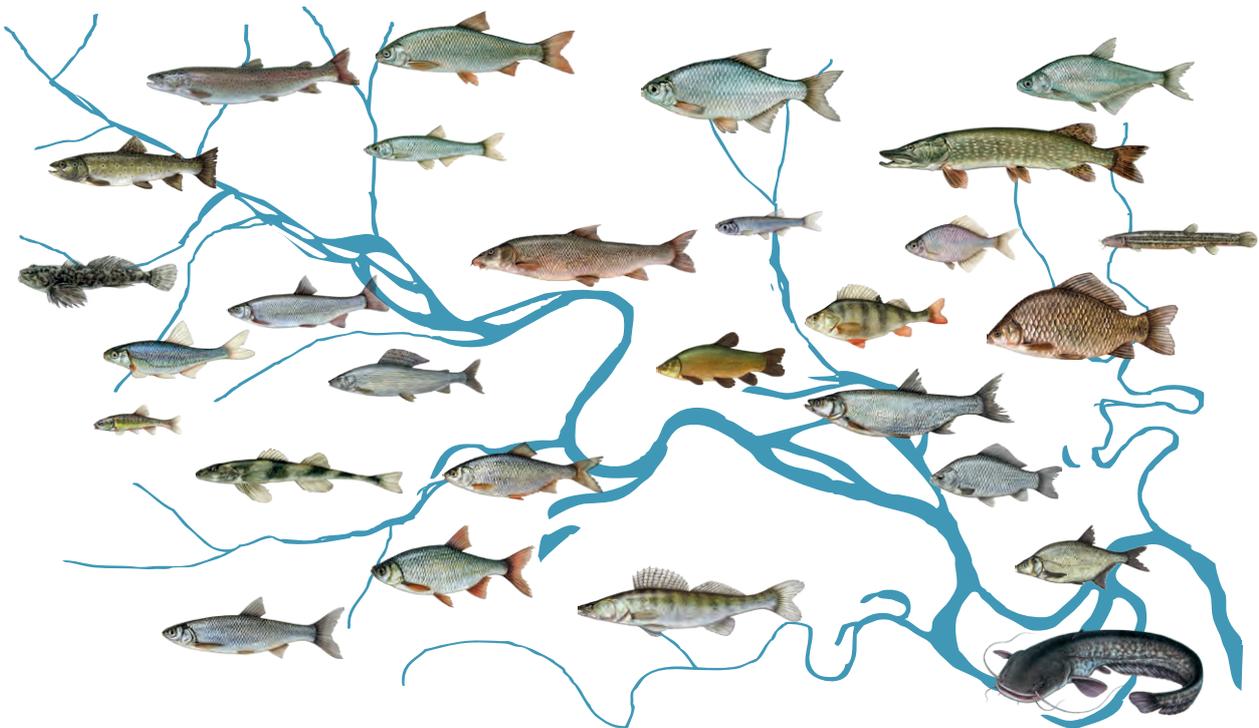
- den drei räumlichen Dimensionen: a) longitudinal innerhalb des Flusses sowie zwischen Fluss und Zubringern, b) lateral zwischen Flussbett und Ufer bzw. den Überflutungsgebieten, c) vertikal zwischen dem Wasserkörper des Flusses, dem Interstitial (Lückenraum) und dem Grundwasser

**3 Metapopulationen:** Netz lokaler Populationen, zwischen denen ein mehr oder weniger intensiver Austausch über wandernde Individuen erfolgt. Verschiedene Subpopulationen, die miteinander in räumlicher Verbindung stehen, bilden eine Metapopulation.

Abb. 1a und 1b: Artenvielfalt in natürlichen (1a) und beeinflussten (1b) Systemen.

Abb 1a: Hohe Artenvielfalt und dynamische Metapopulationen<sup>3</sup> in natürlichen, vernetzten Systemen.

1a)



und werden zusätzlich von der

- vierten Dimension, dem zeitlichen Geschehen, überlagert und determiniert, insbesondere vom zeitlichen Wechsel zwischen unterschiedlichen Abflusssituationen und von saisonalen Änderungen sonstiger abiotischer Rahmenbedingungen (z.B. Wassertemperatur, Abfluss).

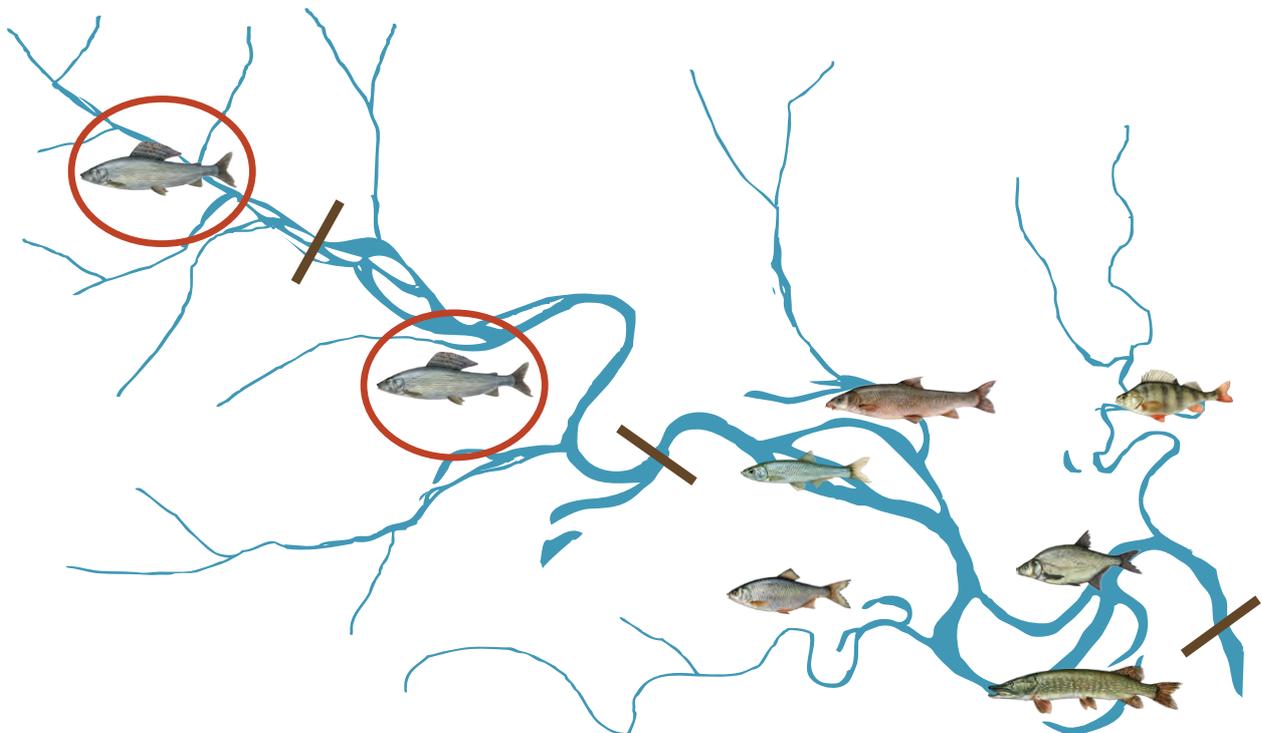
Auch die ökologische Durchgängigkeit (synonym: Konnektivität, Vernetzung, JUNGWIRTH et al. 2003) folgt dem Prinzip der Vier-Dimensionalität. Das Konzept der „ecological connectivity“ (AMOROS & ROUX 1988 in JUNGWIRTH et al. 2003) beschreibt die Wechselwirkungen und Austauschprozesse innerhalb und zwischen verschiedenen Gewässerabschnitten sowie zwischen aquatischen und terrestrischen Lebensräumen. Die Interaktionen umfassen den Transport von Wasser und Sedimenten, Nährstoffen und Detritus sowie die aktive und passive Bewegung von Organismen.

Als Durchgängigkeit gemäß WRRL kann die freie Passierbarkeit des Fließgewässer-Lebensraumes für Organismen und zum Teil auch für Feststoffe (Geschiebe etc.) definiert werden. In dieser Broschüre wird der Begriff der Durchgängigkeit auf die **biologische Durchgängigkeit** (Durchgängigkeit für Organismen) begrenzt und diese wie folgt definiert:

- Die freie Passierbarkeit in Längsrichtung entlang der Flussachse sowie in die Zubringer hinein, sowohl flussaufwärts wie auch flussabwärts (**longitudinale Durchgängigkeit**).
- Die ständige oder zeitweise laterale Passierbarkeit zwischen dem Fluss und seinen natürlichen Überflutungsflächen; mit anderen Worten: die Vernetzung von Fluss-Aue-Lebensräumen (**laterale Durchgängigkeit**). Insbesondere spielt hier auch die zeitliche Komponente eine bedeutende Rolle, denn etliche Teillebensräume in der Flussaue sind natürlicherweise nur temporär oder gar selten, etwa bei Hochwasserereignissen bzw. Überflutungen, angebunden.

Abb 1b: Nicht durchgängige Querbauwerke beeinträchtigen die Metapopulationen und isolieren die Subpopulationen<sup>3</sup>. Folge kann die Abnahme der Biodiversität sein.

1b)



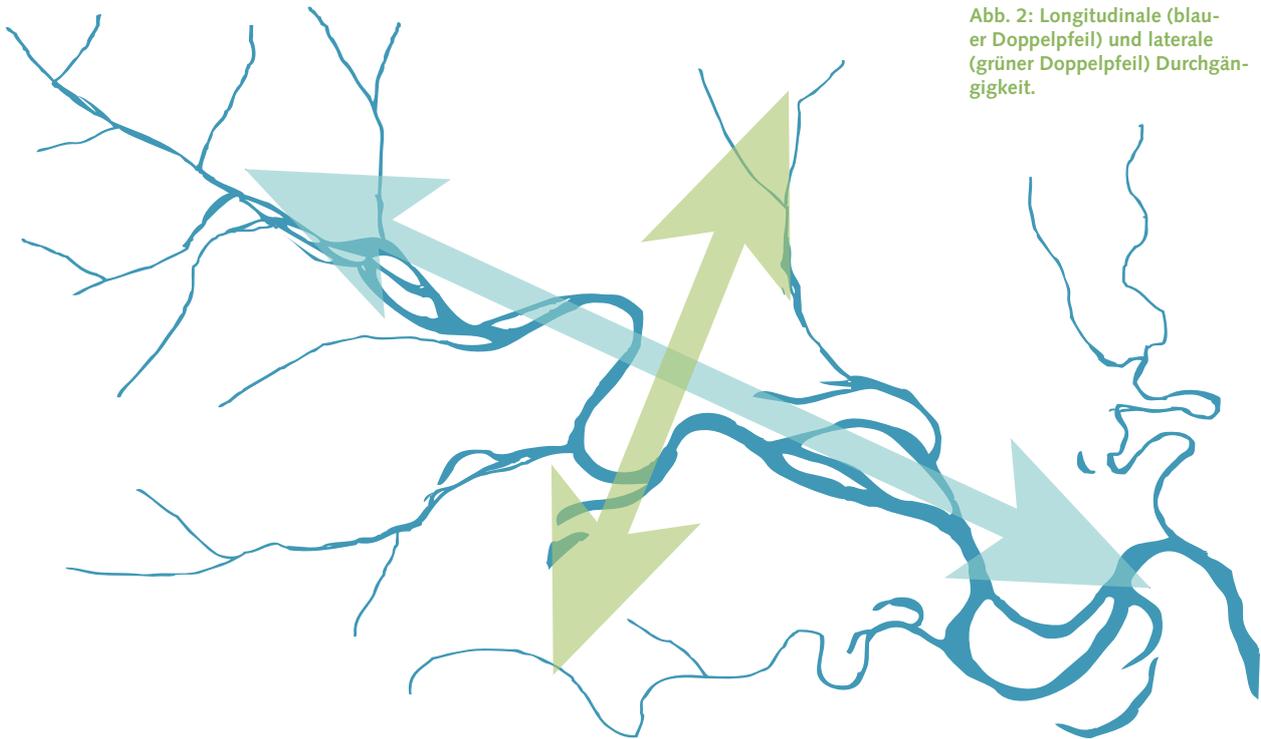


Abb. 2: Longitudinale (blauer Doppelpfeil) und laterale (grüner Doppelpfeil) Durchgängigkeit.

## 2.2 Fischaufstieg – Zielrichtung des Praxishandbuches

Diese Broschüre befasst sich systematisch und umfassend ausschließlich mit Möglichkeiten und Methoden zur Herstellung der **Durchgängigkeit** (synonym: Kontinuum-Sanierung) **flussaufwärts**. Die Durchgängigkeit **flussabwärts** ist zwar für das Leben und nachhaltige Überleben bestimmter Fischarten und Artengemeinschaften – insbesondere solcher, die auf den Wechsel zwischen Süßwasser und Meer angewiesen sind (diadrome Langstreckenwanderer: Lachs, Aal, Maifisch, Meerforelle, Störartige etc.) – ebenso wichtig wie die Aufwärtswanderung. Allerdings sind die Orientierungsmechanismen, das Verhalten von Fischen bei der Abwärtswanderung und damit auch die ökotechnischen Kriterien für die Herstellung funktionstauglicher **Fischabstiegsanlagen** in der Regel andere als für den Fischaufstieg. Die meisten **Fischaufstiegsanlagen**, welche im Oberwasser von Stauanlagen nur von winzigen – im Vergleich zum Gesamtquerschnitt des Flusses – meist seitlich gelegenen Mündungsöffnungen gespeist werden, können von abwärtswandernden Fischen nicht oder nur zufallsbedingt aufgefunden werden. Anders bei FAA in Form fischpassierbarer Bauwerke, die über die gesamte oder große Teile der Flussbreite reichen und mit dem überwiegenden Anteil des Abflusses beschickt werden (Sohlrampen und Sohlgleiten ohne konkurrierende Wassernutzung). Solche Anlagen sind in der Regel in beide longitudinale Richtungen gut passierbar. Insofern können Teilaspekte der Abwärtswanderungen auch durch die entsprechenden Konstruktionsformen im Rahmen dieser Broschüre abgedeckt werden. Insgesamt sind aber die biologischen, ökotechnischen und ökohydraulischen Grundlagen zur Planung und zum Bau funktionsfähiger Fischschutz- und **-abstiegsanlagen** zu komplex und umfangreich, um sie gemeinsam mit dem Fischaufstieg in einer Broschüre zu behandeln.

Die laterale Durchgängigkeit, deren Bedeutung für die Fischfauna von den rhithralen Oberläufen zu den potamalen Mittel- und Unterlaufbereichen hin stetig zunimmt, kann durch den Rückbau

4 **Uferrehne** ist ein böschungsnaher bzw. uferbegleitender Wall aus Feinteilen, der in strömungsberuhigten Zonen natürlich entstanden ist.

von Uferbefestigungen, Abtrag von Uferrehnen<sup>4</sup>, die Anbindung von Altgewässern und durch fischpassierbare Durchlässe und Verbindungsbauwerke (Siele, Deich- und Dammdurchlässe, Dücker) verbessert werden und dies, soweit hierbei Höhengsprünge zu überwinden sind, in Kombination mit **Fischaufstiegsanlagen**. Maßnahmen und spezielle Anlagentypen zur Herstellung der lateralen Durchgängigkeit übersteigen den Rahmen dieses Handbuchs und werden daher nicht weiter behandelt.

## 2.3 Flusssdynamik, Habitatnutzung und Fischwanderungen

Natürliche Fließgewässer sind, bedingt vor allem durch wechselnde Abflüsse, in der Regel hochdynamische Systeme. Die Dynamik wird dabei auf vielfältige Weise wirksam. Beeinflusst von der Abfluss- und Wasserspiegeldynamik werden Strömungsgeschwindigkeit, Schleppkraft, Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Bspannungsflächen, in erster Linie aber der Geschiebe- und Sedimenttransport. Ergebnis der dynamischen Verhältnisse im Fluss sind u.a. stete Störungen (Veränderungen), teilweise sogar Zerstörung bestimmter Strukturen, aber im gleichen Zuge auch wieder Schaffung und Erneuerung von Strukturen und (Teil-)Lebensräumen. Die flusseigene und die flussbegleitende Pflanzen- und Tierwelt hat sich nicht nur an die jeweiligen typischen Bedingungen angepasst, sondern viele Arten sind auf diese Dynamik zwingend angewiesen. Klassisches Beispiel dafür, welche Bedeutung flusssdynamische Vorgänge für die Habitatbildung und Habitatnutzung haben, sind die Umlagerung und der Transport von Sedimenten insbesondere von Kies. Die regelmäßige Umlagerung und Wiederherstellung von Kiesbänken/-flächen ist zwingende Voraussetzung für die Schaffung, Erhaltung und Erneuerung funktionstauglicher Kieslaichplätze für eine Vielzahl rhithraler und rheophiler Flussfischarten und damit für deren Leben und Überleben.

Viele Tiere im Fluss zeigen in verschiedenen Perioden und in sehr unterschiedlichem räumlichen Umfang Wander- und Ausweichbewegungen. Das können bei den Kleinlebewesen (Insekten, Schnecken, Würmer u.a.) – dem sog. Makrozoobenthos – kleinräumige Bewegungen zwischen Oberfläche und Lückenraum des Sediments sein, aber auch tausende von Kilometern reichende Wanderungen bei bestimmten Fischarten.

Viele Fischarten haben sich in ihrer Entwicklungsgeschichte an die o.g. Vier-Dimensionalität und an die abflussabhängige Raum-Zeit-Dynamik von Fließgewässern angepasst und führen daher in fast allen Altersstadien im Laufe ihres Lebens Migrationen (Wanderungen) innerhalb von und zwischen Gewässersystemen durch (AG-FAH 2011). In den meisten natürlichen Fließgewässern finden Wanderungen sowohl flussauf- und flussabwärts (longitudinal) als auch lateral statt. Biologische Grundlage und Ziel dieser Wanderungen ist:

- Habitate und zugehörige Ressourcen hinsichtlich Fortpflanzung, Ernährung, Schutz vor Feinden und „Katastrophenereignissen“ (Hochwasser) bestmöglich zu nutzen und
- die in Fließgewässern permanent einwirkende Verdriftung, insbesondere von juvenilen Stadien der Fische, zu kompensieren.

Wanderungen von Fischen können daher als im Zuge der Evolution entstandene Anpassungsmechanismen verstanden werden, die vor allem der Steigerung von Wachstum, Bioproduktion, Überlebensrate und Abundanz (NORTHCOTE 1978) und somit letztlich der Verbreitung und Erhaltung der Art und der Population allgemein dienen. Unterbrechungen der Fischwanderungen durch künstliche Barrieren (Querbauwerke) haben daher für die Populationen der meisten Fischarten negative Auswirkungen.

Folgende **Grundtypen der Fischwanderungen** werden unterschieden:

### Diadrom

Oberbegriff für alle Wanderbewegungen von Fischen, die zwischen Meer und Süßwasser wechseln. Oft handelt es sich bei diadromen Wanderungen um sog. Fernwanderungen (Wanderdistanzen > 300 km in eine Richtung im Jahr). Die diadrom wandernden Fische werden wie folgt eingeteilt:

- **Anadrom:** nennt man diadrome Arten, die überwiegend im Meer leben und zu ihren Laichplätzen ins Süßwasser wandern (Lachs, Meerforelle, Maifisch, Störe). Potenzielle Lachs-Laichgewässer in Bayern liegen im Einzugsgebiet des Mains vor. Die anadromen Schwarzmeer-Störarten (Hausen, Waxdick und Sternhauen), von denen in der Vergangenheit gelegentlich Einzelexemplare bis in die bayerische Donau aufgestiegen sind, gelten dort seit langem als verschollen bzw. ausgestorben.
- **Katadrom:** nennt man diadrome Arten, die überwiegend im Süßwasser leben und zu ihren Laichplätzen ins Meer wandern. Der einzige in Bayern heimische katadrome Wanderfisch ist der Aal. Sein natürliches Vorkommen ist dort aber auf das Main Einzugsgebiet beschränkt. In der Donau ist der Aal zwar weit verbreitet, aber nicht heimisch.
- **Amphidrom:** nennt man diadrome Arten wie Flundern, die während ihres Lebenszyklus regelmäßig zwischen Meer und Süßwasser hin- und herpendeln (überwiegend Nahrungswanderungen).

### Potamodrom

Potamodrome Wanderungen sind Migrationen, die ausschließlich im Süßwasser stattfinden und die sich dort über Distanzen von wenigen Kilometern (Kurzstanzwanderungen bis ca. 30 km im Jahr) bis zu hundert Kilometern und mehr (Mitteldistanzwanderungen bis ca. 300 km pro Jahr) erstrecken können. Nach derzeitigem Wissensstand führen nahezu alle heimischen Fischarten mehr oder weniger ausgedehnte Wanderungen durch. Nach dem Verschwinden der großen Störe zählen praktisch alle in der bayerischen Donau und ihren Nebenflüssen heimischen rhithralen<sup>5</sup> und rheophilen<sup>5</sup> Fischarten sowie einige indifferente<sup>5</sup> Fischarten zu den potamodromen Wanderern.

### Ozeanodrom

Wanderungen, die nur im Meer stattfinden.

### Wanderungsarten

Als Wanderungen im eigentlichen Sinn werden aktive, zielorientierte Ortsveränderungen von Fischen bezeichnet. Dabei kann zwischen folgenden Wanderungsarten unterschieden werden:

- Laichwanderungen (zumeist flussauf bzw. aufwärts mit lateraler Komponente) inkl. Rückwanderungen,
- Nahrungswanderungen (flussab, flussaufwärts, lateral),
- Ausgleichs- und Kompensationswanderungen (z.B. nach der Verdriftung durch Hochwässer),
- Wanderungen in Winterlager (meist flussabwärts und lateral),
- Ausgleichs- und Wiederbesiedlungswanderungen (alle Richtungen),
- Flucht- und Ausweichwanderungen bei sich verschlechternden Umweltbedingungen (z.B. bei Trockenheit und/oder zu hohen Wassertemperaturen in tiefere Bereiche, in kühlere Zubringer oder Grundwasseraustrittsbereiche, meist abwärts oder lateral)

Bei der Drift ist zwischen **passiver**, oft durch erhöhte Abflüsse oder Hochwässer (Katastrophendrift) ausgelöste Abschwemmung von Fischen (meist juveniler Stadien) und **passiv-aktiver Drift** zu unterscheiden, die auf verhaltensauslösende Umweltfaktoren zurückgeht. Passiv-aktive Drift, bei der sich die juvenilen Fische – gegen die Strömungsrichtung gestellt – mit der Strömung abtreiben lassen, ist z.B. von Salmonidenbrütlingen bekannt, die sich nach dem Verlassen des Interstitials in die Drift begeben.

### 5 Die ökologischen Gilden der Fische:

Als **Rhithral** wird die sommerkalte, steinig-kiesige Oberlaufregion von Gewässern bezeichnet. Gemäß der Einteilung von Fischarten in ökologische Gilden werden als **rhithral** jene Arten benannt, die vorwiegend das Rhithral besiedeln oder die zur Fortpflanzung in die rhithrale Region (Forellen/Äschenregion) einwandern (Bachforelle, Äsche, Huchen, Rutte). Als **rheophil** (fließwasserliebend) werden Organismen bezeichnet, die ausschließlich oder überwiegend in Lebensräumen mit rascher Strömung leben (Fischarten: Nase, Barbe, Hasel, Streber etc.); **indifferent** (eurytop) werden Organismen eingestuft, die keine ausgeprägte Präferenz gegenüber einem oder mehreren lebensraumbestimmenden Faktoren, z.B. Fließgeschwindigkeit, zeigen (Fischarten: Brachse, Güster, Barsch, Hecht, Wels); als **limnophil** (stagnophil) solche Arten, die Stillwasserverhältnisse bevorzugen (Fischarten: Karausche, Rotfeder, Schlammpeitzger).

### Auslösende Faktoren für Wanderungen und Wanderzeiten

Fischwanderungen werden in der Regel von einer ganzen Reihe von Umweltparametern sowie von äußeren und inneren Faktoren determiniert, welche sich oft in komplexer Weise wechselseitig beeinflussen (PAVLOV 1989). Zu den äußeren Faktoren zählen abiotische Parameter (Tag-/Nachtlänge, Abfluss, Wassertemperatur, Mondphase und Gezeiten) bzw. deren Veränderung ebenso wie die Verfügbarkeit oder Verknappung von Nahrung und Habitaten. Innere Faktoren, welche Wanderaktivitäten auslösen, sind meist hormonell gesteuerte Vorgänge wie die Gonadenreifung, das Nahrungsbedürfnis, Stress, genetische Anlagen sowie circadiane Rhythmen (innere Uhr) und nicht zuletzt auch Prägungen, die zu sog. Heimkehrverhalten (Homing) führen. Bekanntestes Beispiel für das Homing ist die geruchsorientierte Rückkehr der pazifischen Lachse zu ihren Geburtsplätzen im Süßwasser, welche auf die Prägung während der juvenilen Phase der Lachse auf den Geruch des Wassers ihres Heimatflusses zurückgeht. Auch bei heimischen potamodromen Arten gibt es Anhaltspunkte für – möglicherweise – geruchsorientierte Homing-Effekte bei den Wanderungen. Die inneren Faktoren bzw. die Bereitschaft der Fische zu wandern, werden in hohem Maße von den äußeren Faktoren beeinflusst und auch „getaktet“. Wanderungen finden daher vielfach in saisonalen, monatlichen oder täglichen Rhythmen statt. Hauptauslöser für Laichwanderungen vieler potamodromer Arten sind beispielsweise die (saisonalen) Änderungen der Wassertemperatur und zwar sowohl Temperaturerhöhungen bzw. das Überschreiten von Schwellenwerten (Frühjahrslaicher wie Äsche, Nase, Barbe u.v.a.) als auch Temperaturrückgänge (Herbst- und Winterlaicher wie Bachforelle, Rutte).

Aufgrund der Vielzahl an Arten und entsprechend vielfältigen biologischen Anpassungen und Spezialisierungen können Fischwanderungen in größeren mitteleuropäischen Flüssen grundsätzlich zu jeder Jahres- und Tageszeit stattfinden. Die Hauptwanderzeiten für aufwärtsgerichtete und laterale Migrationen der meisten heimischen Fischarten liegen dabei zwischen März und November mit Schwerpunkt zwischen März und Juni (Frühjahrswanderungen) sowie zwischen September und November (Herbstwanderungen). Zwischen Dezember und Februar sind in den meisten Fließgewässern eher geringe Wanderaktivitäten zu erwarten. Eine Ausnahme stellen Laichwanderungen der Rutte (synonym: Quappe, Trüsche) dar, deren Laichwanderungen und Laichzeiten zwischen November und März liegen.

## 2.4 Leistungsvermögen und Orientierung von Fischen, verhaltenssteuernde Reize

### 2.4.1 Schwimmlistung

Von zentraler Bedeutung für die Planung von FAA ist das Schwimm-Leistungsvermögen der unterschiedlichen Fischarten. Dieses hängt primär von der Körperform, der Größe und der Kondition des Individuums sowie von der Wassertemperatur ab, die bei den wechselwarmen Fischen jedwede Stoffwechselaktivität insbesondere die Muskelarbeit, maßgeblich beeinflusst. Man unterscheidet bei Fischen, in Anlehnung an JENS et al. (1997), hinsichtlich des Zeitraumes, über den eine bestimmte Geschwindigkeit aufrechterhalten werden kann, zwischen:

1. **Dauergeschwindigkeit:** Geschwindigkeit, die der normalen Fortbewegung im Gewässer dient und die lange Zeit (> 200 min) ohne Ermüdung der Muskulatur aufrechterhalten werden kann. Unter diese Kategorie fallen auch die **Wandergeschwindigkeiten** der meisten Fischarten.

2. **Gesteigerte Geschwindigkeit:** Diese Geschwindigkeit kann nur für kürzere Zeit aufrechterhalten werden (20 s bis 200 min)
3. **Sprintgeschwindigkeit:** Ist die maximale Geschwindigkeit, die ein Fisch erreichen bzw. nur für sehr kurze Zeit (bis max. 20 s) aufrechterhalten kann. Auf die Höchstleistung muss in der Regel ein „Erholungs- oder Erschöpfungsschwimmen“ in gering bis moderat strömender Umgebung stattfinden können, anderenfalls würde der Fisch abgetrieben werden. Daneben wurde die „**kritische Strömungsgeschwindigkeit**“ definiert. Dies ist eine Fließgeschwindigkeit, gegen die ein Fisch eine gewisse Zeit (< 20 s) anschwimmen kann, bevor er abgetrieben wird und die in ihrer Dimension zwischen Geschwindigkeit (2) und (3) liegt.

Für die Planung von Fischaufstiegsanlagen geben die Sprintgeschwindigkeiten der schwimmschwächsten Zielfischarten der gebietstypischen Fischzönosen (Bezug: Fischregion) den Grenzwert für die Maximalgeschwindigkeit an den Engstellen und Zwangspunkten der Anlage vor. Wird dieser Wert überschritten oder über größere Streckenabschnitte, die ohne Ruhepause überwunden werden müssen, erreicht, werden die schwimmschwächeren Arten nicht erfolgreich passieren können, d.h. die Anlage wird nur eingeschränkt (selektiv) funktionsfähig sein. Die kritischen Sprintgeschwindigkeiten für unterschiedliche Fischarten, Größenklassen und Wassertemperaturen bilden daher die Grundlage für die Bemessung von FAA. In Abhängigkeit von der Gewässer-/Fischregion (siehe Abb. 3, S. 16) können folgende Faustzahlen für die **Maximalgeschwindigkeiten** im Bereich von Engstellen/Zwangspunkten von FAA verwendet werden:

- Rhithral (Forellen-Äschen-Region): 1,5–2,2 m/s
- Potamal (Barben-Brachsen-Region): 0,8–1,5 m/s

Grundsätzlich sollten die planerischen Bemessungswerte eher etwas niedriger angesetzt werden als die Maximalgeschwindigkeiten (Grenzwerte). Für die Schwimmgeschwindigkeit von Fischen hat sich eine Angabe in „Körperlängen ( $L_{\text{Fisch}}$ ) pro Sekunde“ als physiologisch sinnvoll erwiesen. Bei Untersuchungen an Fischaufstiegsanlagen wurden dabei reale Sprintgeschwindigkeiten bei Optimaltemperaturen von adulten Salmoniden (Bachforelle), Cypriniden (Barbe, Nase, Hasel) und Perciden (Flussbarsch) von ca.  $10 L_{\text{Fisch}}/s$  festgestellt, bei kleineren Fischen  $15\text{--}20 L_{\text{Fisch}}/s$ . Die Brut verschiedener Arten kann noch höhere, längenbezogene und damit relative Schwimmgeschwindigkeiten erreichen.

Die maximalen absoluten Schwimmgeschwindigkeiten für die Bachforelle liegen bei 2–3 m/s, für typische Bewohner des Potamals wie unterschiedliche Cypriniden bzw. Barschartige bei 0,7–1,5 m/s. Die leistungsschwächsten Schwimmer sind die Brut und juvenile Stadien der gebietstypischen Arten und der Kleinfischarten wie Koppen, Schmerlen, Schneider, Gründlinge und andere. Nach Laborversuchen gilt als Grenzwert für die kritische Geschwindigkeit für einheimische Klein- und Jungfische 0,35–0,6 m/s (JENS et al. 1997). Derart moderate Geschwindigkeiten nahe der Sohle oder an den Randbereichen können in FAA durch eine entsprechende Sohlrauigkeit oder durch strömungswirksame Randstrukturen hergestellt werden.

## 2.4.2 Orientierung und Schwimmverhalten

Fische nutzen bei ihren Wanderungen zur Orientierung sämtliche Sinnesorgane, wobei man zwischen Orientierungsleistungen in der unmittelbaren Umgebung und solchen, die auf Fernziele ausgerichtet sind, unterscheiden muss. Bei der Orientierung an und zwischen Strukturen und der Bestimmung der Fließ- bzw. Wanderrichtung werden v.a. der optische Sinn, der Tastsinn und das Seitenlinienorgan benutzt. Über den Anteil des Gehörs ist noch wenig bekannt, doch weiß man inzwischen, dass bestimmte Strömungsverhältnisse und Unterwasserstrukturen typische akustische Signaturen in unterschiedlichen Frequenzbereichen aufweisen, die von Fischen sicherlich unterschieden und zur Orientierung benutzt werden können. Auch der Temperatursinn ist von nicht zu unterschätzender Bedeutung, werden doch gerade im Frühjahr bevorzugt wärmere

Bereiche zur Beschleunigung der Gonadenreifung und Eientwicklung aufgesucht. Geruchs- und Geschmackssinn spielen bei der Nahrungssuche oft eine Rolle, aber durchaus auch bei der Fernorientierung, wenn bestimmte Gewässer offenbar an einem typischen Geruch erkannt werden. Zusätzlich scheinen manche Fischarten sich zur Fernorientierung, ähnlich den Zugvögeln, auch am Erdmagnetfeld orientieren zu können. Über das Zusammenspiel bzw. den jeweiligen Anteil dieser sehr unterschiedlichen Orientierungsmechanismen bei verschiedenen Fischarten weiß man noch vergleichsweise wenig. Für die Planung und Konstruktion von FAA ist in erster Linie **die Orientierung der Fische an der Strömung** und ihr spezifisches Verhalten bei der Aufwärtswanderung von Bedeutung.

Grundlegende Erkenntnisse zur Strömungswahrnehmung, Strömungsorientierung und zum Schwimmverhalten von Fischen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Alle Fische erkennen ab einem gewissen Schwellenwert der Fließgeschwindigkeit Strömungen, richten sich danach aus und schwimmen dann, soweit sie entsprechend verhaltensorientiert sind, in der Regel dagegen an (positive Rheotaxis). Die Fließgeschwindigkeit, ab der dieses gegen die Strömung gerichtete Schwimmverhalten ausgelöst wird, heißt **rheoaktive Geschwindigkeit** oder Grenzgeschwindigkeit (siehe Kap. 2.5). Bei Unterschreitung der art-/größenspezifischen Grenzgeschwindigkeit verlieren die Fische in der Regel die positiv rheotaktische Orientierung.
- Fische orientieren sich primär an der direkt auf ihren Körper einwirkenden Strömung. Wenn sie in einer stärkeren Strömung schwimmen, kann eine seitlich auftreffende, schwächere Strömung nicht wahrgenommen werden.
- Bei der Aufwärtswanderung bewegen sich die meisten Fischarten in oder am Rande der Hauptströmung. In der Regel wandern die Fische dabei mit Dauergeschwindigkeit flussauf.
- Verschiedene Arten scheinen bei der Aufwärtswanderung bestimmte Strömungsgeschwindigkeiten zu bevorzugen. So präferierten z.B. Nasen, die aus der Donau in einen Nebenfluss einwanderten, auf ihrer Wanderroute den Fließgeschwindigkeitskorridor von 0,4 m/s (MELCHER 1999).
- Übersteigt die Fließgeschwindigkeit das Schwimmvermögen eines Fisches und wird dieser dabei aus seiner Schwimmlage und -richtung abgetrieben, dann versucht er, in der von ihm bewältigbaren Strömungslinie parallel zur schnellsten Strömung flussaufwärts zu wandern.
- Eine seitlich auftreffende Strömung, z.B. aus einem Zubringer oder aus der Mündung einer FAA, können von Fischen nur bemerkt werden, wenn sie direkt in die Strömungslinien der Seitenströmung hinein schwimmen.
- Liegen unterschiedlich starke Geschwindigkeitskorridore parallel nebeneinander vor oder verschneiden sich in bestimmten Winkeln miteinander, so orientieren sich Fische hinsichtlich der Schwimmrichtung primär gegen die stärkere/schnellere Strömung.
- Hochturbulente<sup>6</sup> Strömungsverhältnisse, die sich über den gesamten „Schwimmraum“ des Fisches erstrecken und dort insbesondere Wirbelgrößen erzeugen, welche die Größe des Fisches erreichen oder übersteigen, erschweren bzw. verhindern das gerichtete Aufwärtsschwimmen. Gleichermaßen können Kehr-, Kreis- und Rückströmungen ebenso wie Stillwasserbereiche (keine richtungsweisende rheoaktive Strömung) die flussaufwärtsgerichtete Wanderung stören (Fehlleitung) bzw. unterbrechen.

6 Fische, insbesondere rheophile Arten, vermeiden nicht grundsätzlich Wasserwirbel jeder Art oder können diese nicht bewältigen. Im Gegenteil: Salmoniden und andere Rheophile nutzen geradezu bestimmte Strömungsstrukturen (z.B. „Wellenrücken“) in turbulenzbehafteten Bereichen im Umfeld von Strömungshindernissen (Störsteine, Bühnenköpfe) oder in Schnellen für ein energiesparendes Aufwärtsschwimmen oder um gegen die Strömung ohne Schwimmaufwand auf der Stelle zu stehen. Dieses Verhalten ist vergleichbar mit dem „Surfen“ von Delfinen in den Bugwellen von Schiffen, welche auf diese Art kilometerlange Schwimmstrecken fast ohne jede Eigenbewegung zurücklegen.

Im Hinblick auf das Verhalten und die Orientierung der Fische vor Querbauwerken (s.u.) lassen sich aus den oben genannten Kriterien grundlegende Anforderungen bezüglich der Fließgeschwindigkeiten und Strömungsverhältnisse im Einstiegsbereich von Fischaufstiegsanlagen ableiten:

- Idealerweise sollte die Fließgeschwindigkeit der Leitströmung größer sein als die Geschwindigkeit konkurrierender Strömungen im unmittelbaren Umfeld. Dies gilt aber nur für solche Geschwindigkeitsbereiche, die innerhalb der physiologischen Leistungsfähigkeit der jeweiligen Zielarten liegen.

- Als Optimalwerte für das „Aufwärtsleiten“ von Salmoniden und anadromen Fischarten gelten nach LARINIER (2000) 2,0–2,4 m/s. Diese Geschwindigkeiten sind allerdings von vielen der in bayerischen Flüssen lebenden Fischarten nicht oder nur schwer zu bewältigen, insbesondere nicht von Jung- und Kleinfischen. Daher sind sie, solange nur eine FAA-Mündung für alle Zielarten zur Verfügung steht, als Bemessungswert für FAA-Leitströmungen nicht geeignet.
- Die Fließgeschwindigkeit der Leitströmung sollte zwischen Grenzgeschwindigkeit (rheoaktive G., siehe unten) und kritischer Geschwindigkeit liegen. Gute Aufstiegsraten wurden bei Versuchen mit dem 0,6–0,8-fachen der kritischen Geschwindigkeit erreicht. Geschwindigkeiten zwischen 0,8–1,2 m/s (1,0 m/s) werden allgemein als geeignet für ein großes Spektrum von Fischarten der Rhithral- und Potamalregion angesehen.
- Zusätzlich sollte die Geschwindigkeit der Leitströmung um etwa den Wert der rheoaktiven Geschwindigkeit (siehe oben) höher sein als jene Strömung, in der der Fisch flussauf wandert. Hier gibt PAVLOV (1989) einen Erhöhungswert von 0,15–0,20 m/s an.
- Im Einzelfall kann es, gerade bei großen Flüssen und entsprechend diversen Fischartengemeinschaften mit sehr verschiedenartigen „Leistungsspektren“ sinnvoll sein, mehrere Einstiegsöffnungen mit unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten bei der FAA-Planung vorzusehen.

Fast alle der in Bayern gebietstypischen Fischarten versuchen bei der Aufwärtsbewegung Abstürze, Schnellen und sonstige Höhensprünge des Wasserspiegels innerhalb des Wasserkörpers zu durchschwimmen. Wanderungshindernisse können somit nur überwunden werden, wenn an Überfällen, Schnellen oder in Durchlassöffnungen ein ausreichend tiefes und durchgehendes „Wasserpelster“ vorliegt. So können bereits geringe Absturzhöhen mit abgelöstem Überfall (abgelöster Strahl) und damit ohne durchgehendes Wasserpelster Wanderungshindernisse für schwimmschwächere Arten und Größen darstellen. Nur wenige heimische Arten wie Lachs und Bachforelle sind in der Lage, Abstürze und Höhensprünge springend zu überwinden. Im Sinne einer umfassenden und unselektiven Durchgängigkeit für alle gebietstypischen Fischarten sind daher zu hohe Fließgeschwindigkeiten, zu geringe Wassertiefen, abgelöste Überfälle sowie zu gering dimensionierte Durchlässe bei der Planung von FAA zu vermeiden.

Die Aufwanderungswege von Fischen in Fließgewässern sind meist ungleichmäßig im Flussquerschnitt verteilt. Neben der Grundorientierung an dieser asymmetrischen Strömungsverteilung – ausgenommen in monotonen, geradlinigen Regelquerschnitten – spielen auch artspezifische Präferenzen sowie die Morphologie und Strukturiertheit des Gewässers als Orientierungsebene bei der Wahl des Wanderwegs eine Rolle.

Die in Bayern heimischen Fluss-Fischarten können hinsichtlich ihres Schwimmverhaltens bzw. der von ihnen präferierten Wanderrouen wie folgt typisiert werden:

- **Bodenorientiert** sind Arten, die sich vorwiegend am Gewässerboden, oft mit physischem Kontakt zum Sohlsubstrat aufhalten und bewegen. Beispiele sind Kleinfischarten wie Mühlkoppe (Groppe), Streber, Schmerle, Gründlinge.
- **Sohl nah und uferorientiert** sind Arten, die sich innerhalb der sog. Rauigkeitshöhe (ca. 15 cm über der Sohle) oder in der fließenden Welle nahe der Gewässersohle bzw. oft auch in Ufernähe bewegen und aufhalten. Beispiele: Rutte (Quappe), Barbe, Aitel (Döbel), Nerfling (Aland), juvenile Brachsen, Wels, Karpfen, Hecht sowie die Jungfische vieler Salmoniden und rheophiler Cypriniden.
- **Freiwasserorientiert** sind Fische, die den Mittelwasserkörper der fließenden Welle oder oberflächennahe Bereiche als Schwimm- und/oder Aufenthaltsraum bevorzugen. Hierzu zählen beispielhaft: Laube, Schneider, Äsche, Frauenerfling, Nase, Brachsen, Rapfen (Schied) und Zander ebenso wie die großen Laichfische vieler schwimmstarker Arten der Salmoniden und der rheophilen Cypriniden.

Die Zuordnung der einzelnen Arten bedeutet nicht, dass diese bei der Aufwanderung streng an die jeweiligen Gewässerbereiche gebunden sind (deshalb auch teilweise Doppelnennungen). Maßgebender Orientierungsparameter und bestimmendes Moment bei der Aufwärtswanderung ist immer die Strömung. Dabei ist es speziell der Bereich der **Hauptströmung**, in dem und um den sich die Fische in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit, von artspezifischen Strömungs- und Raum-Präferenzen und vom Leistungsvermögen der einzelnen Arten konzentrieren und gruppieren. Entsprechend dieser Grundorientierung führen die Wanderwege der überwiegenden Anzahl der Fische, dem Verlauf der Hauptströmung folgend, entlang des „Strömungspfad“ flussaufwärts, bei Flussbiegungen naturgemäß entlang der Prallufer bzw. von einem Prallufer zum anderen.

Von Bedeutung bei der Aufwanderung ist auch das Schwarm- und Gruppenverhalten ebenso wie Präferenzen für bestimmte Gewässertypen/-größen bei einigen Fischarten. Massenfischarten wie Nase und Barbe wandern regelmäßig in größeren Laichfisch-Schwärmen. Dabei suchen oftmals die männlichen Tiere zuerst den Laichplatz auf und entscheiden so indirekt über die Weiterwanderung der Rogner (AG-FAH 2011). Derartiges Gruppenwanderverhalten muss bei der Planung von FAA in Betracht gezogen werden, da sich bezüglich der Leistungsfähigkeit der Anlagen (Passierbarkeit von Einstiegsbereichen und Durchlässen) entsprechend erhöhte Anforderungen hinsichtlich der räumlichen Bemessung ergeben können.

Auch im Hinblick auf die Präferenz für die Größe eines Neben-Gewässers, das im Zuge der Laichwanderung aufgesucht wird, scheint es artspezifische Unterschiede zu geben. So ist z.B. für Bachforelle und Huchen eine deutliche Präferenz für rasch fließende Zubringer belegt (AG-FAH 2011). Äschen hingegen wandern vor allem im Hauptfluss flussaufwärts um zu laichen und meiden kleinere, sehr rasch fließende Zubringer (PARKINSON et al. 1999).

Rheophile Arten wie Nase, Barbe und der hinsichtlich der Fortpflanzung rithral determinierte Huchen orientieren sich erfahrungsgemäß bei ihren Laichwanderungen streng an der Hauptströmung und folgen beim Auftreffen auf Wanderungshindernisse mit konkurrierenden Strömungen jeweils dem stärksten Strömungsimpuls. Bachforellen, Aitel, Rutten (Quappen) und juvenile Äschen orientieren sich beim Aufwandern vorwiegend am Ufer und weisen daher wie eine Reihe von indifferenten und limnophilen (stagnophilen) Arten ein „zubringerorientiertes“ Wanderverhalten auf (AG-FAH 2011).

### 2.4.3 Verhalten und Orientierung im Unterwasser von Querbauwerken bzw. im Bereich von konkurrierenden Strömungen (FAA-Mündungen)

Die in, entlang oder am Rande der Hauptströmung, meist auf der zugehörigen Uferseite aufwandernden Fische folgen derselben bis zum Wanderungshindernis und zwar bis in Bereiche hinein, die ihrem Schwimm Leistungsvermögen entsprechend noch bewältigt werden können (Saug-schlauchende von Turbinenauslässen, Rand der Deckwalze oder der Turbulenz-(Weißwasser-) Zonen von Wehren, Schwellen, Schnellen und sonstigen Abstürzen etc.). Eröffnet sich kein für die Fische „erkennbarer“ Weg weiter nach flussaufwärts, konzentrieren sie sich im Unterwasser des Querbauwerkes und beginnen in Querrichtung zu suchen. Dieses „Suchen“ ist allerdings bei den meisten rheophilen, stark strömungsgeprägten Arten auf die Randbereiche der sich dort sukzessive abschwächenden Hauptströmung begrenzt. D.h. die Fische orientieren sich immer wieder aufs Neue nach den jeweils stärkeren Strömungsimpulsen innerhalb ihres direkten, körpernahen Wahrnehmungsbereiches und gelangen damit, sofern sie keine „konkurrenzstärkeren“ Leitströmungsimpulse oder zusätzliche Orientierungsreize (Uferlinie, Böschungsfuß, sonstige Leitstrukturen) erhalten, immer wieder zurück in den Einflussbereich der Hauptströmung.

Im Hinblick auf die Anordnung von FAA und die Art sowie Intensität (Impulsstärke, räumliche Ausdehnung) der Leitströmung ergeben sich hieraus in Anlehnung an ADAM und SCHWEVERS (1998) folgende Hinweise und Schlussfolgerungen:

- Parallel zur Hauptströmung gerichtete Leitströmungen von FAA werden von den Fischen am besten aufgefunden. Die Fische können dabei einem weitgehend gleichförmigen Strömungskorridor folgen und damit einem übergangslosen **Wanderkorridor** (siehe unten) zwischen Fließgewässer und FAA. Besonders gut auffindbar sind daher Leitströmungen, die sich parallel zur Hauptströmungsseite entlang der entsprechenden Uferseite flussabwärts entwickeln.
- Austrittswinkel der Leitströmung aus FAA in Bezug auf die Hauptströmungsrichtung von bis zu 30 Grad (maximal 45 Grad) werden als geeignet und günstig angesehen. Bei höheren Austrittswinkeln wird die Leitströmung durch die turbulente Hauptströmung oft aufgelöst, so dass keine gleichförmigen Strömungslinien für die aufwandernden Fische mehr vorliegen.
- Unabhängig vom Austrittswinkel des Leitstrahles finden die Fische die Einstiegsöffnung einer FAA am besten, wenn sie auf gleicher Höhe mit dem Wanderungshindernis liegt, speziell dort, wo die Strömungsbereiche beginnen, die von den Fischen nicht mehr bewältigt werden können (flussabwärtiges Ende der Turbulenz-(Weißwasser)-Zonen, nahe Turbinensaugschlauchende etc.).
- Besonders ungünstig hinsichtlich der Auffindbarkeit des Einstiegs ist somit eine weit ins Unterwasser vorspringende FAA mit geringem Leitströmungsimpuls und mit einem Austrittswinkel der Leitströmung von 90 Grad, die eine kurze Turbulenzzone im rechten Winkel zur Hauptfließrichtung im Gewässer erzeugt.
- Positiv strömungsorientierte Fische, die einmal am Einstieg einer ins Unterwasser vorgelegerten Fischaufstiegsanlage vorbeigeschwommen sind, setzen ihren Weg entlang der Hauptströmung, durch diese Turbulenzzone hindurch, bis unmittelbar zum Querbauwerk fort und finden in der Regel den „Rückweg“ in die FAA nicht mehr oder erst nach sehr langer Suchzeit.

Das Schwimmverhalten bzw. die entsprechenden Aufstiegsrouten unterschiedlicher Fischarten sind nicht nur hinsichtlich der Strömungs-Verbindung zwischen Gewässer und FAA von Bedeutung. Wichtig, gerade für die bodenorientiert aufwandernden Arten, ist auch die nahtlose Verbindung zwischen der Gewässersohle im Unterwasser der FAA und der Sohle in der FAA. Abrupte, senkrechte Geländesprünge zwischen der FAA-Mündung und dem Flussbett des Unterwassers behindern bei diesen Arten das Auffinden der FAA und den Einstieg. Der Anschluss zwischen FAA-Sohle und Unterwassersohle und ggf. auch dem Böschungsfuß ist daher durch Anrampungen aus Blocksteinwurf oder Steinpackungen (Neigungen 1:2 bis 1:4) möglichst nahtlos herzustellen. Auch zwischen der oberwasserseitigen Ausstiegsöffnung und der Sohle des Oberwassers empfiehlt sich eine Anrampung in ähnlicher Weise.

## 2.5 Wanderkorridor, Wanderroute, rheoaktive Geschwindigkeit

Als **Wanderkorridor** im Sinne dieser Broschüre wird jener Raum im Wasserkörper des Fließgewässers und innerhalb einer FAA betrachtet, der von Fischen bei ihren gegen die Strömung flussaufwärts orientierten Bewegungen bevorzugt benutzt bzw. durchschwommen wird. Hinsichtlich seiner Lage im Verhältnis zum Querbauwerk lässt sich der Wanderkorridor nach EBEL (2006) untergliedern in die:

- Unterwasserkomponente,
- FAA-Komponente,
- Oberwasserkomponente.

Der Wanderkorridor gemäß dieser Definition beinhaltet somit im Idealfall alle potenziellen **Wanderrouten** (Schwimmwege) der in einem bestimmten Gewässerbereich und/oder in einer FAA zielgerichtet aufwärts wandernden Fische. Als **rheoaktive Geschwindigkeit** wird jene art- und größenspezifische Geschwindigkeit bezeichnet, bei der Fische beginnen, sich positiv rheotaktisch zu orientieren, d.h. sie stellen ihren Körper gegen die Strömung und beginnen, so sie wanderstimmig sind, gegen die Strömung anzuschwimmen. Als planerische Orientierungswerte für die rheoaktive Geschwindigkeit der autochthonen Fischarten in Bayern können folgende Zahlen herangezogen werden:

Tabelle 1: Rheoaktive Geschwindigkeiten.

Fischart/Lebensstadium	Geschwindigkeit
Juvenile Stadien der meisten Cypriniden, Salmoniden und sonstigen Familien; adulte Stadien der Kleinfischarten wie Elritze, Mühlkoppe, Schmerle	0,15 m/s
Adulte Stadien der meisten Cypriniden (Barbe, Nase, Aitel (Döbel)), Salmoniden (Bachforelle, Äschen) und sonstigen Familien	0,20 m/s
Lachssmolts (12–15 cm)	0,30 m/s
Huchen, Seeforelle, Lachs, Meerforelle (adult)	≥ 0,30 m/s

Die Funktion eines Wasserkörpers als Wanderkorridor wird grundsätzlich sowohl von hydraulischen Parametern (Strömungseigenschaften, Fließgeschwindigkeit) als auch hydrographischen und hydromorphologischen Charakteristika (Wassertiefe bzw. Tiefenverteilung, Dimension des Wasserkörpers, strömungsbeeinflussenden Unterwasserstrukturen, Sohlrauigkeit etc.) bestimmt. Beispielsweise bewegen sich Fische bei ungleichmäßiger Verteilung der Strömung im Fließprofil meist innerhalb oder am Rande der Hauptströmung flussaufwärts. Bei gleichmäßiger Strömungsverteilung im Querprofil können bestimmte Flussbettstrukturen (z.B. die Uferböschung oder der Böschungfuß) morphologische Determinanten für den bevorzugten Wanderweg und somit für den Wanderkorridor sein. Im Idealfall fügt sich die FAA bzw. deren interner Wanderkorridor nahtlos in den Gewässer-Wanderkorridor der aufwandernden Fische ein.

Zentrale hydraulische Funktionskriterien für den Wanderkorridor im Gewässer, wie auch innerhalb einer FAA sind, dass

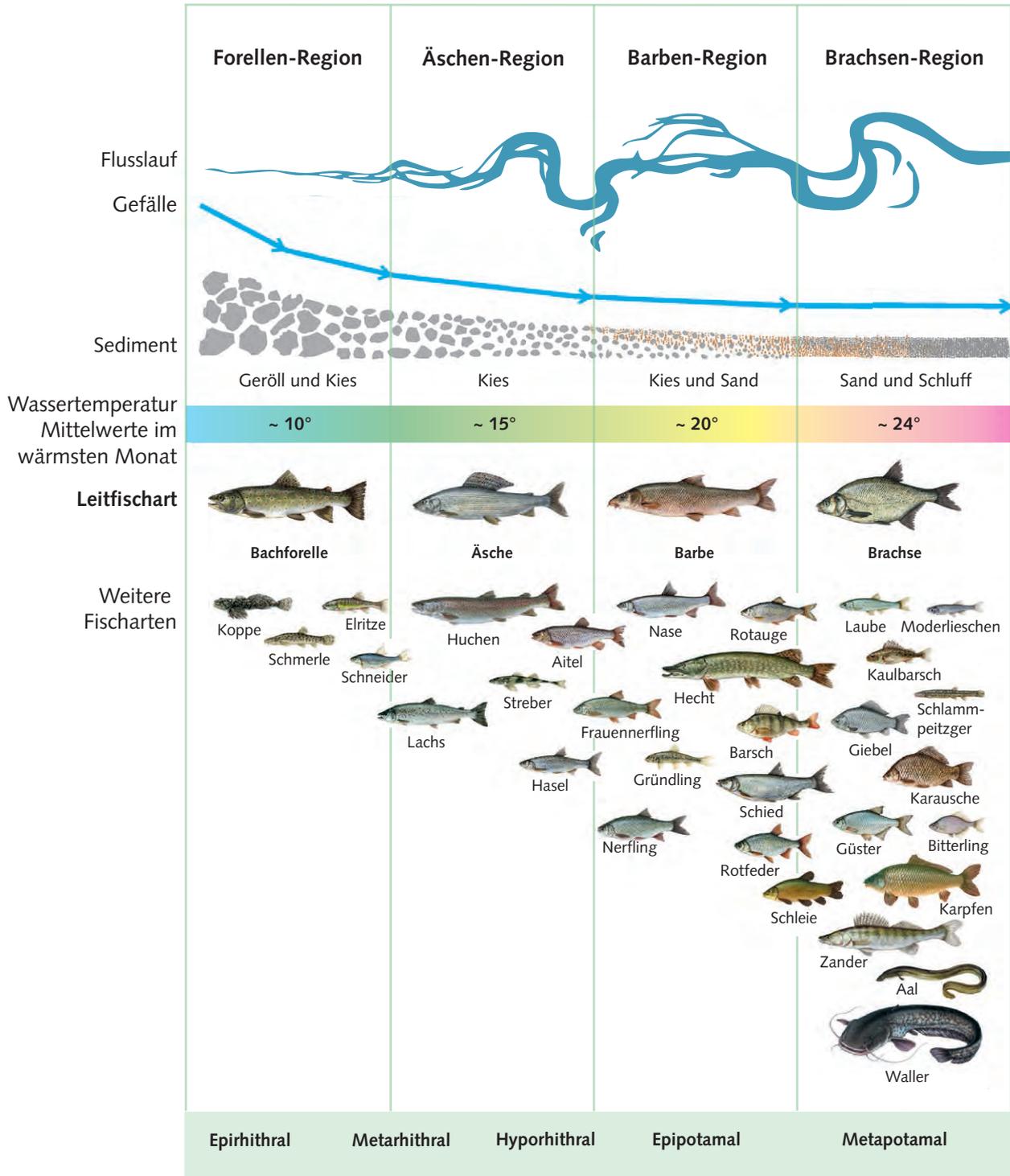
- in ihm ein durchgehender Bereich (Strömungsfaden) gegeben ist, innerhalb dessen die rheoaktive Fließgeschwindigkeit der autochthonen Fischarten überschritten wird,
- sich gleichzeitig aber die Fließgeschwindigkeiten im Längs- und Querschnitt des Korridors insbesondere aber im Bereich von Engstellen nicht oder nur auf kurzen Strecken der maximalen Schwimmgeschwindigkeit (Sprintgeschwindigkeit) der den Korridor nutzenden Zielarten annähert.

### 3 Ziel-Organismen, Zielartenkonzept

#### Ziel-Organismen

Primäre Ziel-Organismen von Fischaufstiegsanlagen sind naturgemäß die in der entsprechenden **Fließgewässerregion** bzw. der **Fischregion** (Abb. 3) vorkommenden, autochthonen (gebietsheimischen) **Fischarten und Neunaugenarten** (Rundmäuler).

Abb. 3: Fisch- bzw. Fließgewässerregionen mit charakteristischen Leitarten, typspezifischen Arten und Begleitarten.



Grundsätzlich wird postuliert, dass Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke (im Folgenden in der Abkürzung FAA zusammengefasst) auch für die im Gewässer lebenden wirbellosen Kleintiere (**Makrozoobenthos**: Insektenlarven, Kleinkrebse und sonstige Gruppen) durchgängig sein sollen. Hierzu ist zu sagen, dass alle der gängigen, modernen FAA-Typen über eine durchgehende, großlückige, raue Gerinnesohle auch für wirbellose Kleintiere geeignete Aufwanderpfade zur Verfügung stellen. Da somit von gut geplanten und gebauten FAA in den meisten Fällen auch andere Wasserorganismen profitieren können, wird es als sinnvoll und zielführend angesehen, sich bei Planungsprojekten **allein auf Fische und Neunaugen als Zielarten** der Aufstiegsanlagen zu konzentrieren.

### Zielartenkonzept

Vor der Auswahl von Zielarten für eine FAA-Planung an einem bestimmten Querbauwerk ist primär der räumliche Bezugsraum zu definieren, innerhalb dessen die relevante Fischzönose zu betrachten ist. Als **Bezugsraum einer FAA-Planung** werden nachfolgend Fließgewässerstrecken unterhalb und oberhalb des betroffenen Querbauwerkes definiert, deren Ausdehnung von der Gewässer-/Fischregion und der Größe des Gewässers sowie seiner Bedeutung für die Fischwanderung abhängt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bezugsraum zur Eingrenzung der Zielfischarten (Distanzen in km jeweils flussaufwärts und flussabwärts des Querbauwerkes).

Fließgewässerregion/Gewässergröße	Distanz zum Querbauwerk in km
Kleine und mittelgroße Rhithralgewässer	5–10 km
Große Rhithralgewässer	10–20 km
Kleine und mittelgroße Potamalgewässer	10–20 km
Große Potamalgewässer	20–30 km
Hauptverbindungsgewässer	≥ 30 km

7 *fiBS = fischbasiertes Bewertungssystem zur Fließgewässerbewertung nach WRRL (Qualitätskomponente Fische)*

Die Zielarten sind nun aus der für den Bezugsraum repräsentativen regionstypischen Fischzönose auszuwählen. Hierbei dient als primäre Bezugsgrundlage (a) die Fischzönose des Ist-Zustandes und ergänzend, bei Vorliegen eines fischfaunistischen Entwicklungspotenzials im Bezugsraum, das fischfaunistische Leitbild in Form (b) der Referenz-Fischzönose gemäß fiBS<sup>7</sup> (WRRL).

### Zur Auswahl der Zielarten

Aus der Gesamtheit der jeweiligen Fischzönose gemäß Bezugsgrundlage (a) und (b) müssen nun die eigentlichen Zielarten für ein konkretes FAA-FB-Planungsprojekt ausgewählt werden. Im Zuge eines praxisorientierten Planungsprozesses für Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Querbauwerke sind dabei möglichst wenige, dabei aber höchst repräsentative Zielarten nach folgenden Hauptkriterien zu selektieren:

- a Vertreter der Leitarten, typspezifischen Arten und Begleitarten, ggf. mit anadromen Fischarten, welche die Ausbreitungs- und Lebensraumansprüche der Artengemeinschaft innerhalb des Planungsbezugsraumes bestmöglich vereinigen,
- b Vertreter der Arten, welche die maximalen räumlichen Ansprüche hinsichtlich der geometrischen Dimensionen der FAA repräsentieren (Beckengrößen, Wassertiefen, Schlitzweiten). Hierzu ist nach der entsprechenden Gewässerregion/Fischregion und dort zusätzlich nach Gewässergrößen differenziert, die sog. **größenbestimmende Fischart** zu definieren,
- c Vertreter der Arten mit **geringer Leistungsfähigkeit** (Schwimmleistung bei der Aufwanderung in der FAA, **schwimmschwächste Art**).

Ergänzende Kriterien bei der Auswahl der Zielarten können sein:

- die Wertigkeit der Art unter Natur- und Artenschutzaspekten (FFH-Anhang-II-Arten, Rote-Liste-Arten, speziell geschützte Arten),
- fischereiliche Aspekte.

Grundregeln bei einer zielartenorientierten FAA-Planung sind, dass

- a der FAA-Einstieg im Unterwasser des Querbauwerkes mit dem Wanderkorridor der Zielarten korrespondiert (Auffindbarkeit),
- b die **räumliche Dimensionierung** (Länge, Breite, Wassertiefen) der FAA nach der für die jeweilige Fischregion/Gewässergröße typischen Körpergröße der **größenbestimmenden Zielart** zu bemessen ist (Tabelle 3, Tabelle 4),
- c die **hydraulischen Verhältnisse** innerhalb der Anlage und im Einstiegs-/Leitströmungsbereich der FAA (Fließgeschwindigkeiten in Schlitzen, Überläufen oder an sonstigen Engstellen/Zwangspunkten, Energieumwandlung in Becken oder Gerinnen) an die Schwimmleistungen der **schwimmschwächsten Zielart** bzw. an deren schwächste Alters-/Größenstadien (Passierbarkeit) anzupassen sind.

Im Hinblick auf die Bemessungs-Körpergrößen der größtenbestimmenden Arten wird auf das österreichische Modell (AG-FAH 2011) zurückgegriffen. Hierbei wird vorausgesetzt, dass nicht für die allergrößten Individuen einer Art innerhalb einer FAA optimale räumliche Bedingungen herrschen müssen. Vielmehr wurde anhand reproduktionsbiologischer Überlegungen in Bezug zum Erhalt bzw. der Wiederherstellung des guten ökologischen Zustandes gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie, eine maximale Bemessungsgröße für die unterschiedlichen Fischarten festgelegt (Tabelle 3, Tabelle 4), welche die meisten wanderwilligen Fische einer Art umfasst.

Abb. 4: Durch ein reichhaltiges Strukturangebot wird in dieser FAA den Anforderungen verschiedenster Fischarten und -größen Rechnung getragen.

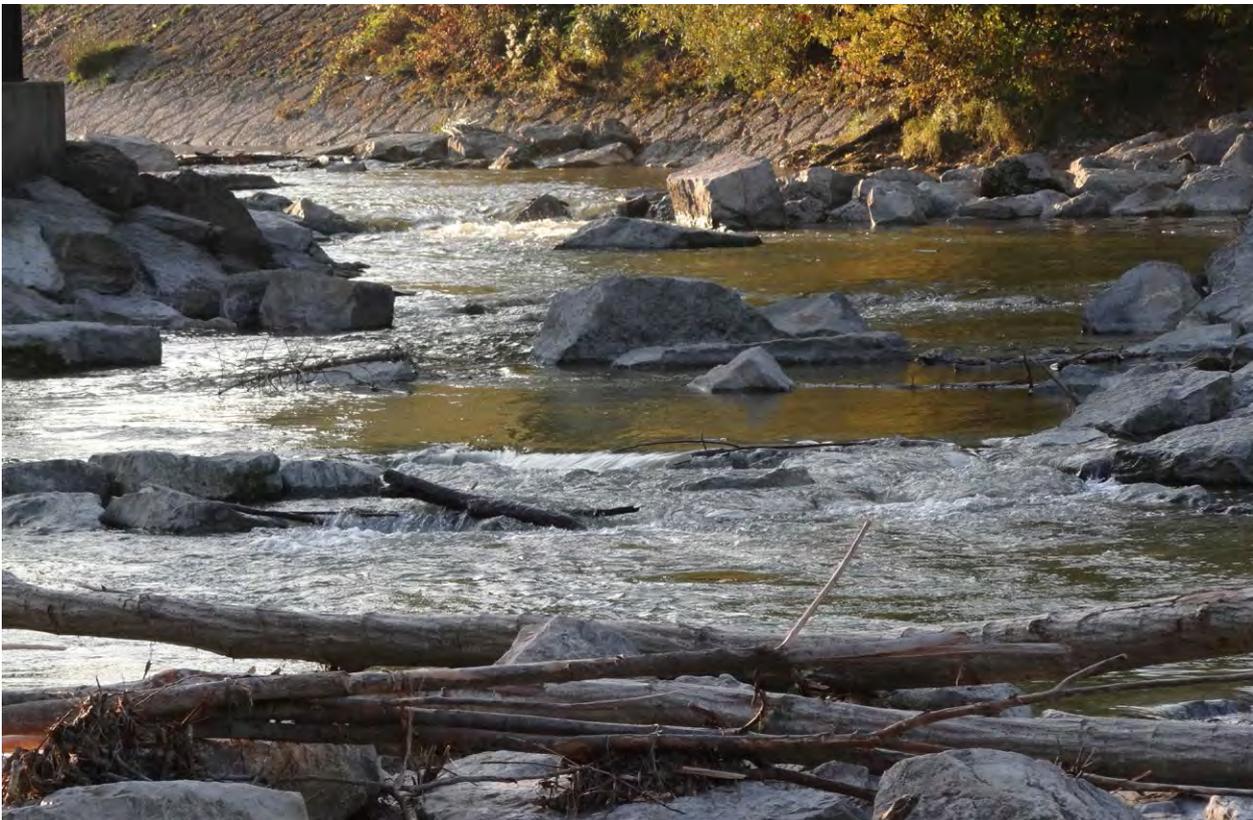


Tabelle 3: Körpermaße der größenbestimmenden Leitfischarten und typischer Begleitfischarten gemäß (JÄGER et al. 2010) und DWA-M 509 (2014); (nach AG-FAH 2011 abgeändert). Die Mehrfachbenennung verschiedener Arten berücksichtigt das unterschiedliche Größenwachstum der Fische in Abhängigkeit von der Gewässergröße

Größenbestimmende Fischart	Länge [cm]	Höhe [cm]	Dicke* [cm]
Bachforelle	30	6	3
Bachforelle	40	8	4
Bachforelle	50	11	6
Äsche	40	9	5
Äsche	50	11	6
Aitel, Döbel	40	8	5
Aitel, Döbel	50	11	6
Aal	100	6	5
Barbe	70	13	8
Brachse, Blei	60	21	6
Hecht	60	8	6
Hecht	90	12	8
Hecht	110	16	12
Huchen	80	13	10
Huchen	90	14	12
Huchen	100	16	12
Huchen	120	19	14
Karpfen	80	24	13
Lachs	100	17	10
Maifisch	80	16	8
Meerforelle	80	17	9
Nase	60	15	9
Rapfen, Schied	80	18	8
Rutte, Quappe	50	9	9
Rutte, Quappe	60	11	11
Seeforelle	100	21	12
Sterlet	100	15	10
Wels	90	14	13
Wels	120	23	22
Wels	150	31	30
Perlfisch	70	13	7

\* Da die meisten Fische außerhalb der Laichzeit vermessen wurden, sind die Fischdicken je nach Art zur Laichzeit zumindest ein bis mehrere cm größer anzunehmen.

Fischregion	Maß gebende Längen relevanter Zielfischarten (Auswahl)
<b>Epirhithral</b>	
Epirhithral, < 2 m <sup>3</sup> /s MQ*	30 cm Bachforelle
Epirhithral, > 2 m <sup>3</sup> /s MQ	40 cm Bachforelle
<b>Metarhithral</b>	
Metarhithral, < 2 m <sup>3</sup> /s MQ	40 cm Bachforelle
Metarhithral, > 2 m <sup>3</sup> /s MQ	50 cm Bachforelle, Äsche
<b>Hyporhithral</b>	
Hyporhithral, klein (< 2 m <sup>3</sup> /s MQ)	50 cm Bachforelle, Aitel, Äsche, 60 cm Rutte
Hyporhithral, mittel (> 2 m <sup>3</sup> /s MQ)	60 cm Rutte, 70 cm Barbe
Hyporhithral, mittel (> 2 m <sup>3</sup> /s und < 20 m <sup>3</sup> /s MQ) mit Huchen	80 cm Huchen
Hyporhithral, groß (> 20 m <sup>3</sup> /s MQ), mit Huchen	100 cm Huchen
<b>Epipotamal</b>	
Epipotamal, klein (< 1 m <sup>3</sup> /s MQ)	70 cm Barbe, 50 cm Aitel, evtl. 50 cm Äsche
Epipotamal, mittel ohne Hecht ohne Huchen	70 cm Barbe
Epipotamal, mittel mit Hecht ohne Huchen	90 cm Hecht, 60 cm Brachse
Epipotamal, mittel mit Huchen	90 – 100 cm Huchen, 60 cm Brachse
Epipotamal, mittel bis groß mit Huchen	100 – 120 cm Huchen
Epipotamal, mittel bis groß ohne Huchen mit Wels	140 – 150 cm Wels
Epipotamal, mittel bis groß, ohne Huchen ohne Wels	90 – 110 cm Hecht, 60 cm Brachse
<b>Große Flüsse bzw. Hauptverbindungsgewässer</b>	
Donau	120 cm Huchen, 150 cm Wels
Main	100 cm Lachs, 110 cm Hecht
Iller	100 cm Huchen, 50 cm Äsche
Salzach	100 cm Huchen, 60 cm Nase
Inn	100 – 120 cm Huchen
Isar	100 cm Huchen, Unterlauf 120 cm Wels
Lech	100 cm Huchen
Regen	100 cm Huchen
<b>Seezubringer und Seeausläufe</b>	
Größere Seezubringer und Seeausläufe	100 cm Seeforelle, 90 cm Hecht, 70 cm Perlfisch (Chiemsee), 70 cm Barbe, 60 cm Brachse
* MQ = Mittelwasserabfluss	

Tabelle 4: Gewässertypen/-größen und zugehörige größenbestimmende Fischarten (Leitfischarten und typspezifische Arten) mit regionsspezifischen Körpergrößen (nach AG-FAH (2011) und DWA-M 509 (2014) abgeändert).

Die Planungsoptimierung an die Alters- und Größenstadien der Zielarten hat jedoch ihre natürlichen Grenzen. Diese sind durch das sehr geringe Schwimmvermögen der 0,6–3 cm großen Larven oder Brütlinge der meisten „normalwüchsigen“ Fischarten sowie der jüngeren Altersklassen sog. Kleinfischarten wie Schmerle, Schneider oder Elritze begrenzt. Diese Stadien und Größenklassen, deren maximale Schwimgeschwindigkeit (sog. Sprintgeschwindigkeit) auf einen bis wenige Dezimeter pro Sekunde beschränkt ist, können bei der Planung und Gestaltung der hydraulischen Verhältnisse nicht berücksichtigt werden. Für die frühen juvenilen Entwicklungsstadien der Fische ist eine Durchgängigkeit flussaufwärts in der Regel auch nicht erforderlich (Herstellung der Durchgängigkeit für Fischgrößen ab 1<sup>+</sup> = zweisömmrige Stadien).

## Planungsbeispiel zur Auswahl von Zielarten für die Bemessung von FAA:

### Annahmen und Vorgaben

- Mittelgroßer Fluss der Barbenregion (Eipotamal)/Main-/Rhein-Einzugsgebiet, LachsaufstiegsGewässer
- Bezugsraum: Gesamtstrecke 40 km
- Referenzzönose: 22 Fischarten, davon 9 rheophile Arten, 11 indifferente Arten, 2 limnophile Arten.

### Auswahl Zielarten

- Zielartenkollektiv:
  - Leitarten gemäß FiBS: Barbe, Nase, Aitel (Döbel), Laube (Ukelei)
  - Typspezifische Arten: Hasel, Schneider, Gründling
  - Begleitarten: Rutte (Quappe), Mühlkoppe, Brachse, Nerfling (Aland), Hecht
  - Anadrome Arten: Lachs
  - Arten mit FFH-Schutzstatus: Lachs, Mühlkoppe (FFH-Anhang II)
  - Sonstiger Schutzstatus: Rutte, Nase, Schneider (Rote Liste Bayern 2)
  - Arten mit besonderer fischereilicher Bedeutung: Lachs, Hecht
- Planungsrelevante Eingrenzung:
  - 1. Schritt:**  
Größenbestimmende Zielarten: Lachs, Hecht  
Zielarten mit geringstem Leistungsvermögen: Mühlkoppe, Schneider
  - 2. Schritt:**  
Größenbestimmende Bemessungs-Zielart: **Lachs**  
Schwimmschwächste Bemessungs-Zielart: **Schneider** (Art mit geringster Schwimmleistung, welche den mittleren/oberen Bereich der Wassersäule bei der Auswanderung präferiert).

**Besondere Planungsvorgaben aus Zielartenansprüchen:** Wegen der besonderen rheotaktischen Orientierung der Lachse sind hohe Leitströmungsgeschwindigkeiten (> 1,5 m/s) erforderlich. Dadurch ist der Einstieg der schwimmschwächeren Arten behindert bzw. verhindert. Es sollten unter diesen Voraussetzungen **zwei FAA-Mündungen** geplant werden, eine mit hohem Leitströmungsimpuls, die andere mit moderaten Strömungsgeschwindigkeiten (1–1,2 m/s).

## 4 Durchgängigkeit und Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), natur- und artenschutzrechtliche Verknüpfungen

Die Wasserrahmenrichtlinie verfolgt einen umfassenden, integrativen und länderübergreifenden Ansatz der Bewirtschaftungsplanung in Flussgebieten, der den nachhaltigen Ressourcenschutz und den Erhalt der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer in den Mittelpunkt stellt. Als Hauptziel wird angestrebt, dass Flüsse, Seen, Küstengewässer und Grundwasser nach Möglichkeit bis 2015 – spätestens bis 2027 – den guten Zustand erreichen. Als Leitbild und Referenz gilt die natürliche Vielfalt an Pflanzen und Tieren in den Gewässern, ihre unverfälschte Gestalt und Wasserführung und die natürliche Qualität des Oberflächen- und Grundwassers (LfU-Bayern 2010). Unsere Fließgewässer stellen natürlicherweise durchgängige, miteinander vernetzte Lebensräume dar. Insofern ist auch die Durchgängigkeit als zentrale hydromorphologische Qualitätskomponente der Wasserrahmenrichtlinie von besonderer Bedeutung für die Zielerreichung. Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie erfordert deshalb, wo immer geboten und möglich, die Erhaltung oder Wiederherstellung der Durchgängigkeit an Gewässern.

Zielsetzung hinsichtlich der Durchgängigkeit ist, in Verbindung mit den Anforderungen an den Zustand der biologischen Qualitätskomponente „Fische“, die **Herstellung des guten ökologischen Zustandes**. Für erheblich veränderte oder künstliche Gewässer gilt das Umweltziel des **guten ökologischen Potenzials**. Grundsätzlich gelten hinsichtlich des Zustands eines Gewässers bzw. einer biologischen Qualitätskomponente sowohl ein Verbesserungsgebot als auch ein Verschlechterungsverbot.

Eine Erfüllung der Maßgaben, methodischen Vorgaben und Kriterien dieser Broschüre soll u.a. dazu beitragen, dass hinsichtlich der Durchgängigkeit gemäß WRRL der gute ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potential erreichbar sind.

Im Sinne der WRRL wird dabei vorausgesetzt, dass grundsätzlich alle relevanten Individuen und Altersstadien der Zielarten der Referenz-Fischzönosen (siehe Kap. 3) die Aufstiegsanlagen gut auffinden und passieren können. Daneben wird auch die Passage geschützter Fischarten gemäß FFH-Richtlinie und sonstiger naturschutzrechtlich relevanter Arten (Rote-Liste-Arten, streng geschützte Arten) hinsichtlich geeigneter Aufstiegsbedingungen berücksichtigt.

Die in den Folgekapiteln vorgestellten Planungsmethoden und -kriterien sowie die Grenz- und Bemessungswerte repräsentieren den Stand der Technik bzw. die fachlich gute Praxis zur Herstellung der Durchgängigkeit. Bei fachgerechter Planung ist daher durch die Einhaltung der angeführten Werte im Regelfall von der Funktionsfähigkeit<sup>8</sup> der FAA auszugehen und damit auch von der Herstellung einer guten Durchgängigkeit im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie.

<sup>8</sup> Funktionskontrollen (siehe Kap. 8.2) von FAA sind auch bei Einhaltung der Planungsgrundsätze in der Regel notwendig.

**Darüber hinaus finden sich planungsrelevante Leitlinien zur Herstellung der Durchgängigkeit** und daraus abzuleitende Planungsvorgaben für Fischaufstiegs- und Abstiegsanlagen in Anhang I.

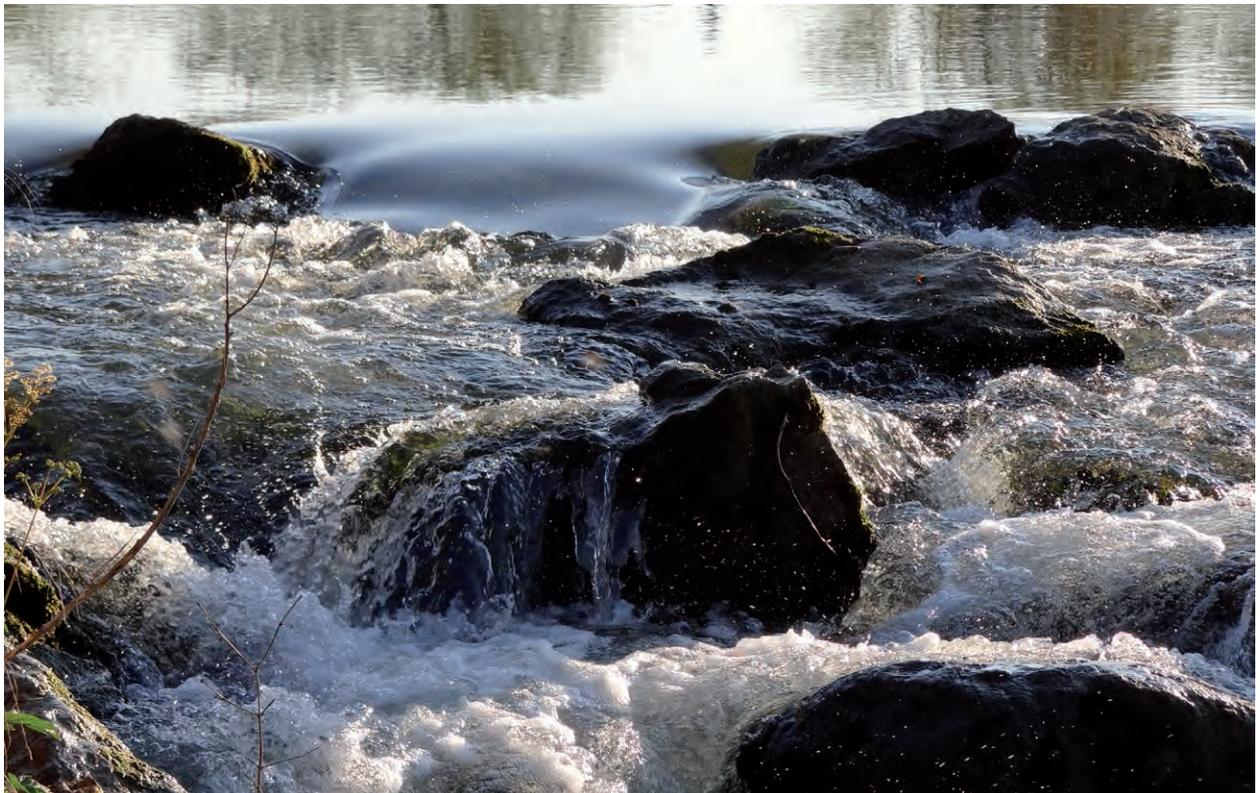


Abb. 5: aufgelöste Schwellen, wie hier in der Münchner Stadt-Isar, können von Fischen aller Arten und Größenklassen sehr gut überwunden werden.

## 5 Grundlagen, allgemeine Anforderungen und Hinweise zur Planung von Fischaufstiegsanlagen

Für die Planung und Konstruktion von FAA liegen bereits seit Erscheinen des DVWK Merkblattes 232 „Fischaufstiegsanlagen“ (1996) und der Schriftenreihe des VDFF „Fischwanderhilfen“ hinreichende technische Grundlagen vor. Spätestens mit der Herausgabe des Regelwerks „Merkblatt DWA-M 509 Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke“ ist ein umfassender und gesicherter Stand der Technik erreicht. Selbst wenn in Zukunft die ein oder andere hydraulische Berechnung noch geändert oder verbessert wird und Ergebnisse aus neuen 3D-Simulationsmodellen hinzukommen, sind wohl keine größeren „systemverändernden“ Erkenntnisprünge mehr zu erwarten. Das technisch-hydraulische Planungsinstrumentarium ist damit in ausgereifter Form gegeben und soll hier nicht in allen Einzelheiten wiederholt werden. Vielmehr wird für darüber hinaus gehende Detailfragen auf das neue DWA-Merkblatt M 509 (2014) als Planungsinstrumentarium verwiesen. Defizite, die zu Fehlplanungen und schlechten FAA-Lösungen führen, gab und gibt es jedoch trotz des guten technischen Rüstzeuges vor allem in drei Bereichen:

- unzureichende Verknüpfung zwischen ökologischen Grundlagen/Anforderungen und technischer Planung,
- Eingehen von Kompromissen aus Kostengründen oder um Konflikte mit Nutzungen innerhalb und außerhalb der Gewässer zu vermeiden.
- unzureichende Grundlagenermittlung.

Zentrale Voraussetzung für die Planung und den Bau funktionsfähiger Fischaufstiegsanlagen bildet die sorgfältige, umfassende und mit ökotechnischem Sachverstand durchgeführte Grundlagenermittlung. Diese Feststellung mag auf den ersten Blick selbstverständlich erscheinen, ist es aber nicht angesichts der Tatsache, dass sehr viele, darunter auch neue Anlagen, ihre Funktion nicht oder nur unzureichend erfüllen. Als eine der Hauptaufgaben des Praxishandbuches wird es daher angesehen, die notwendigen Planungs- und Arbeitsschritte der Grundlagenerhebung, deren fachlich korrekte Bearbeitung dann letztlich für die Funktionsfähigkeit der Anlagen entscheidend ist, besonders detailliert und praxisorientiert darzustellen. Bei Planung und Bau von Fischaufstiegsanlagen müssen insbesondere die beiden Haupt-Funktionskriterien

**Auffindbarkeit** (Kap. 5.2) und **Passierbarkeit** (Kap. 5.3)

für die Zielfischarten im Vordergrund aller Betrachtungen stehen.

Darüber hinaus wird darauf verwiesen, dass die notwendigerweise sehr umfangreiche hydraulische Bemessung und Berechnung für die vorgestellten FAA-Typen nicht Gegenstand dieser Broschüre sind. Auch hierfür bietet DWA-M 509 (2014) eine umfassende, fachlich fundierte Grundlage.

### 5.1 Betriebs-/Funktionsdauer für FAA

Fischbewegungen finden in Fließgewässern in der Regel zu allen Jahreszeiten und bei verschiedenen Abflusssituationen statt. Insofern ist grundsätzlich anzustreben, dass Fischaufstiegsanlagen im Idealfall dauerhaft funktionsfähig sind. Dennoch gibt es Situationen und Zeiten, zu welchen eine zielgerichtete Aufwärtswanderung nicht erfolgt, sei es, dass keine entsprechenden Verhaltensauslöser bei den Fischarten (Laichreife, Nahrungsmangel etc.) vorliegen, sei es, dass die Aufwärtswanderung z.B. durch Hochwasser oder extremes Niedrigwasser unmöglich ist. Da es einerseits technisch nicht möglich ist, FAA so zu planen und zu bauen, dass bei allen denkbaren Abfluss-Extremsituationen fischpassierbare hydraulische Verhältnisse gegeben sind, andererseits auch keine biologische Notwendigkeit dafür besteht, dass Fische an 365 Tagen im Jahr und bei jedweden Bedingungen aufwärts wandern können, besteht in Fachkreisen weitgehend Konsens

darüber, dass es im Normalfall ausreicht, wenn FAA an ca. 300 Tagen im Jahr und zwar innerhalb des Abflussspektrums zwischen dem

$Q_{30}$  und  $Q_{330}$  (=Abflüsse die an jeweils 30 Tagen bzw. 330 Tagen im Jahr unterschritten werden)

funktionsfähig sind. Bei jeder FAA-Planung sind daher die geometrisch-hydraulischen Verhältnisse so auszulegen, dass innerhalb der beiden Abflussgrenzwerte eine gute Passierbarkeit der Anlage und eine gute Auffindbarkeit des unterwasserseitigen Einstieges gewährleistet sind. Von der starren Festlegung auf die  $Q_{30}$ - $Q_{330}$ -Regel kann in fachlich begründeten Fällen abgewichen werden. Beispielsweise liegen für die Aufwärtswanderungen der Fische in Gewässern mit alpin geprägtem Abfluss-/Temperaturregime oder in anderen Gewässern mit sehr starken Abflussschwankungen von Natur aus kürzere Zeitfenster im Jahresverlauf vor. In solchen Fällen kann die Funktionsdauer für FAA auf 250 Tage bzw. auf die Spanne zwischen  $Q_{50}$  und  $Q_{300}$  begrenzt werden. Anders bei Gewässern mit sehr ausgeglichenem Abflussregime. Hier kann eine Funktionsdauer von > 300 bis 320 Tagen ( $Q_{20}$ - $Q_{340}$ ) im Einzelfall die „richtige“ Lösung sein. Eventuell müssen auch Hauptwanderzeiten besonders berücksichtigt werden.

## 5.2 Auffindbarkeit von FAA

Von essentieller Bedeutung für die Funktionsfähigkeit von FAA ist, dass ihr Einstieg (Mündung, Auslauf) im Unterwasser des Querbauwerkes von den im Fluss aufwandernden Fischen gut aufgefunden wird. Sowohl die Position des Einstiegs als auch die in seinem Umfeld herrschenden ökohydraulischen Verhältnisse (Leitströmung, konkurrierende Strömungen) sollten dazu geeignet sein, möglichst viele Fische auf ihren Wanderrouten möglichst effizient „abzuholen“ und in die FAA hinein zu führen. Insbesondere sollte vermieden werden, dass die aufwärts wandernden Fische durch konkurrierende Strömungen oder sonstige Einflüsse in „blind“ endende Sackgassen fehlgeleitet werden.

Im Zusammenhang mit der Auffindbarkeit spielt nicht nur der quantitative Aspekt eine Rolle (welchem Anteil der wandernden Fische gelingt der erfolgreiche Aufstieg ins Oberwasser), sondern auch der zeitliche Aspekt. Bei einigen Mittel- und Langdistanzwanderern, die auf dem Weg zu ihren Laichplätzen mehrere Querbauwerke überwinden müssen, gleicht die Wanderung oftmals einem Wettlauf gegen die Gonadenreife und gegen den zu raschen Abbau der Energiereserven der Laichfische. Insofern sind auch das rasche Auffinden der FAA und der möglichst ununterbrochene Aufstieg insbesondere in Gewässern mit diadromen Arten von besonderer Wichtigkeit.

Abb. 6 verdeutlicht, wie vergleichsweise winzig die Mündung und der Abstrombereich einer FAA (III in Abb. 6) an einem großen Querbauwerk mit Kraftwerksnutzung sind im Vergleich zu den konkurrierenden Strömungen aus den Turbinenauslässen (II) und über die Wehrfelder (I). Es liegt auf der Hand, dass dieser „Nadelöhr“-Korridor des FAA-Abstromes im Verhältnis zu den großen konkurrierenden Strömungskorridoren („Sackgassen“) des Turbinenabflusses und des Wehrüberlaufes nur dann von Fischen aufgefunden werden kann, wenn er sehr gut mit deren Hauptwanderkorridor „verlinkt“ ist oder zumindest innerhalb der Reichweite der normalen Suchbewegungen der Fische unterhalb des Wanderungshindernisses liegt. Gleichermassen ist hierbei auch ersichtlich, wie komplex und variabel die Strömungsverteilungen an einer großen Wehr-/Kraftwerksanlage in räumlicher und zeitlich-räumlicher Hinsicht sein können. Die Strömungsverteilung und die „Konkurrenzverhältnisse“ im Unterwasser verändern sich sowohl in Abhängigkeit vom Gesamtabfluss und den korrespondierenden Wasserspiegeländerungen (in diesem Beispiel: Wehrüberlauf ab ca. 200 m<sup>3</sup>/s an ca. 60–80 Tagen) als auch von der Steuerung der Turbinen und der Wehrfelder. Entsprechend kompliziert, aufwändig und anspruchsvoll sind die Grundlagenermittlungen und Planungen zur Positionierung des FAA-Einstieges an einer derartigen Anlage.



### 5.2.1 Auffindbarkeit im Nahbereich – FAA Einstieg im Unterwasser – Schlüsselposition

Die wichtigste Voraussetzung für die Auffindbarkeit einer FAA ist die richtige Lage der Einstiegsöffnung im Unterwasser. Vereinfacht dargestellt gibt es an jedem Querbauwerk mindestens eine optimale Position (**Schlüsselposition**) für den unterwasserseitigen Einstieg der Fischaufstiegsanlage. Sie ist die idealisierte, geographische **Schnittstelle** zwischen

- der flussabwärtigen Begrenzung des **Querbauwerks** und dort derjenigen Zone, die von den aufwandernden Fischen auf Grund von Turbulenzen oder zu großen Fließgeschwindigkeiten nicht mehr bewältigt werden können und
- dem in **Längsrichtung** des Flusses verlaufenden Wanderkorridor der Fische.

Bei mehreren Wanderkorridoren, wie sie beispielsweise an geradlinigen Flussstrecken und genau im 90°-Winkel zur Fließrichtung angelegten Querbauwerken (ohne Wasserkraftnutzung) bestehen können (zwei gleichgewichtige Wanderkorridore entlang der beiden Ufer), gibt es entsprechend mehrere Schlüsselpositionen bzw. geeignete geographische Standorte für FAA-Einstiege. In solchen Fällen ist zu entscheiden, ob zwei FAA zu planen sind oder ob durch verstärkte Leitströmung oder geeignete Leitstrukturen im Flussbett ein Wanderkorridor begünstigt und damit ein Mündungsort als **Schlüsselposition** festgelegt werden kann. Zur Bestimmung der Schlüsselposition gibt es eine Reihe von allgemeinen Kriterien, aus deren Kombination der geeignete Einstiegsbereich oder besser gesagt die günstigste „Punktwolke“, innerhalb derer die

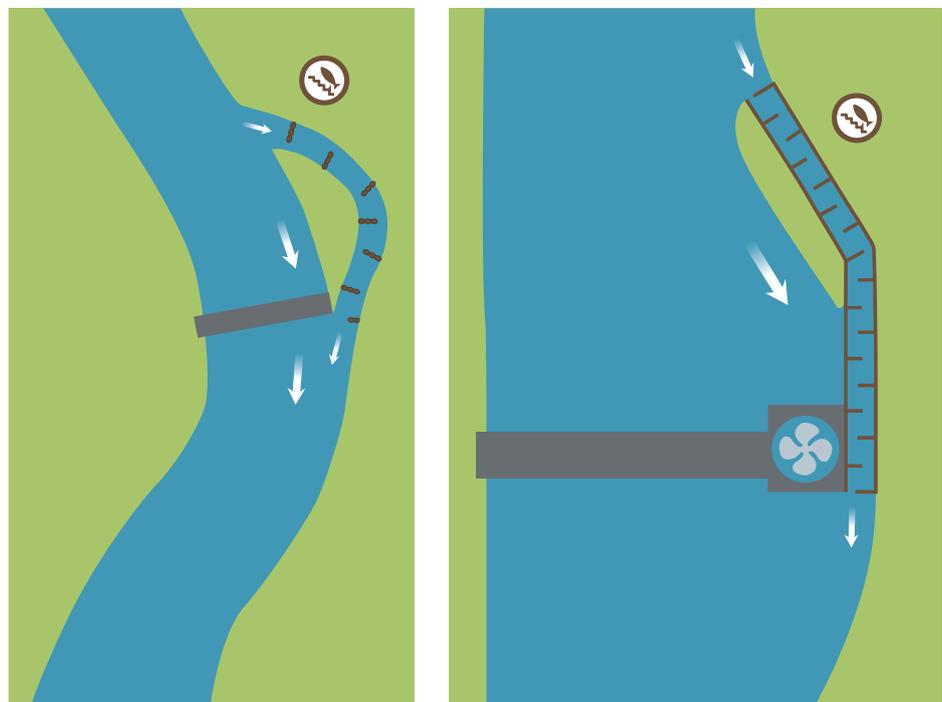
Abb. 6: FAA (Schlitzpass) an großer Wehr-/Kraftwerksanlage mit konkurrierenden Abstrombereichen (I-III): I = überströmte Wehrfelder ca. 80 m Abstrombreite, Q ca. 100–200 m<sup>3</sup>/s<sup>zeitweise</sup>, II = Turbinenabstrom (2 Maschinen) ca. 20 m Abstrombreite, Q ca. 100–200 m<sup>3</sup>/s<sup>permanent</sup>, III = FAA Mündung ca. 2 m Abstrombreite. Q ca. 0,5–1 m<sup>3</sup>/s<sup>permanent</sup>. Beachtenswert ist die geringe Abstrombreite der FAA gegenüber den konkurrierenden Strömungen.

optimale Einstiegsstelle bzw. die Austrittsöffnung der Leitströmung liegt, in einer ersten groben Annäherung abgeleitet werden kann:

- a direkt am Rande des Wanderkorridors oder innerhalb des Wanderkorridors,
- b möglichst nah bzw. direkt am Querbauwerk an der flussabwärtigen Grenze der Turbulenzzone (Weißwasserzone) bzw. der Deckwalze,
- c an den seitlichen Randbereichen und den unteren Abströmbereichen von Tosbecken,
- d an der Uferseite der Hauptströmung/des Wanderkorridors (Prallufer bei Flussbiegungen siehe Abb. 7, links),
- e auf der Kraftwerksseite bei kombinierten Wehr-/Wasserkraftanlagen (Abb. 7, rechts),
- f auf der Uferseite von Turbinenauslässen möglichst nahe am Ende des Saugschlauches und parallel zu oder in spitzem Winkel (maximal 45 Grad) zur Abströmrichtung des Triebwassers gerichtet (Abb. 7, rechts).

Abb. 7: Schlüsselposition des Einstiegs von FAA an Querbauwerk ohne (links) und mit Wasserkraftnutzung (rechts).

-  Fischeaufstiegsanlage
-  Wehr
-  Kraftwerk



In vertikaler Richtung sollte die Einstiegsöffnung bei allen relevanten Wasserspiegellagen von der Oberfläche bis zur Sohle (Sohlanschluss durch Sohlrampung) aufstiegswilligen Fischen das Einschwimmen ermöglichen. Bei flussmittigen Turbinenauslässen, oder wenn anhand der lokalen Strömungsverteilung, der Morphologie und der Gewässerdimension keine eindeutige zu bevorzugende Lage zu identifizieren ist, kann es notwendig sein, neben einem FAA-Einstieg am Ufer auch einen flussmittigen Einstieg bzw. mehrere Einstiege über eine sog. Sammelgalerie (Querkanal über dem Turbinenauslass, mit mehreren Einstiegsöffnungen von flussabwärts und Verbindung zur FAA) zu errichten (LARINIER et al. 2002). Allerdings ist dabei zu beachten, dass die Sammelgalerien nur Fische abgreift, welche nahe oder an der Wasseroberfläche aufwandern bzw. suchen.

Es sei an dieser Stelle betont, dass eine flussabwärts vom Querbauwerk weit Richtung Unterwasser vorgelagerte FAA-Mündung von den meisten stark strömungsdeterminierten Zielarten

schlecht oder nicht aufgefunden wird, es sei denn, sie liegt an einer Stelle unmittelbar neben oder im Wanderkorridor (z.B. Prallufer) und hat eine stark ausgebildete Leitströmung.

Für das „Feintuning“ bzw. die genaue Positionsbestimmung des Einstieges sind neben den o.g. Punkten noch weitergehende Informationen aus der hydrographischen, ökohydraulischen und ökomorphologischen Grundlagenerhebung (Kap. 7) mit einzubeziehen.



Abb. 8: Karolinenwehr, Landsberg am Lech; oben: Weißwasserzone (Turbulenzbereich), unten: Einstiege der FAA (blaue Pfeile) unmittelbar flussabwärts der Turbulenzzone (Bezugsabfluss MQ).



Im Hinblick auf Punkt a) ist es bei Wehren ohne Wasserkraftnutzung nicht gerade einfach, die „richtige“ Position direkt am oder möglichst nahe am Querbauwerk zu ermitteln, da sich diese in Abhängigkeit zum Abfluss deutlich verlagern kann. Die korrekte Position des FAA-Einstieges sollte nämlich in jedem Fall an der flussabwärtigen Grenze der meist hochturbulenten „Weißwasserzone“ unterhalb des Wehres liegen. Diese wiederum verlagert sich mit zunehmendem Abfluss nach flussabwärts und bei abnehmendem Abfluss wieder nach oben Richtung Wehr. In solchen Fällen empfiehlt es sich, den bestimmenden Abfluss während der Hauptwanderzeiten der Zielfischarten als Referenzabfluss für die Ermittlung der Ausdehnung der Turbulenzzone heranzuziehen und den FAA-Einstieg danach zu positionieren. Günstig ist auch, mehrere Einstiegsbereiche anzulegen, welche bei unterschiedlichen Abflusssituationen als Wanderkorridor in Betrieb gehen.

Fischpassierbare Querbauwerke, welche sich flächig über den gesamten Flussquerschnitt erstrecken (Sohlgleiten, Sohlrampen), werden unabhängig von der Lage der Wanderkorridore im Fluss von aufwandernden Fischen in jedem Falle gut aufgefunden. Hier treffen der oder die Wanderkorridore im Fluss und im Sohlbauwerk in Abhängigkeit vom Abfluss entweder auf ganzer Flussbreite oder im Bereich der Niedrigwasserrinne zusammen. Anders bei Teilrampen oder -gleiten, welche nur bestimmte Ausschnitte des Querschnittes abdecken. Bei solchen sollten Sackgasseneffekte vermieden und die gleichen Auffindbarkeitskriterien beachtet werden wie für kleinräumige FAA, die im Vergleich zum Gesamtquerschnitt nur kleine Bypassöffnungen darstellen.

Abb. 9: Sohlgleite (ehemaliges Goggeleswehr) an der Wertach: auf gesamter Flussbreite auffindbar.



## 5.2.2 Auffindbarkeit (Dotation) bei unterschiedlichen Unterwasser-/Oberwasser-Spiegeln

Grundsätzlich ist die Ermittlung der Schlüsselposition bei wechselnden Unterwasserspiegeln, wie sie in der Vielzahl der Situationen als Normalfall anzusehen sind, eine Aufgabe, die hohe planerische Sachkunde und Erfahrung erfordert. Die Anforderungen sind, dass der Einstieg innerhalb des gesamten Abfluss-/Wasserspiegelspektrums, für das die FAA bemessen ist ( $Q_{30}$ – $Q_{330}$  bzw. die zugehörigen Wasserstände), gut auffindbar sein muss. Das Problem stellt sich hierbei bei allen FAA-Bautypen, die nur Teile des Flussquerschnittes abdecken und somit bei allen Anlagen, ausgenommen Vollrampen. Nur bei den Vollrampen, welche über den Gesamtquerschnitt reichen und den Gesamtabfluss abführen, werden die Fische bei jeder Wasserspiegel-/Abflusssituation immer zur „richtigen“ Stelle (Niedrigwasserrinne oder gesamte Querschnittsbreite) geleitet. Auch schwankende Oberwasserspiegel erfordern in der Regel Sonderlösungen hinsichtlich der oberwasserseitigen Zuläufe bzw. der Dotation in die FAA.

Bei beckenartigen, gerinneartigen FAA oder bei Teilrampen-/gleiten verändert sich die Leitströmungssituation und damit die Auffindbarkeit mit wechselndem Unterwasserspiegel oft sehr stark. Beispiel: Eine Unterwasserspiegelanhebung von 1 m, wie sie zwischen den Bemessungsabflüssen  $Q_{30}$  und  $Q_{330}$  durchaus auftreten kann, hat bei einer Beispiels-FAA mit Höhensprüngen zwischen den Beckenwasserspiegeln von 0,14 m und einer Beckenlänge von ca. 3 m zur Folge, dass:

- die untersten sieben Becken der FAA eingestaut werden,
- die Unterwasser-Rückstaulinie dadurch rund 21 m von der Mündungsstelle bei Niedrigwasser in das FAA-Bauwerk hinein rückt,
- die Leitströmung bei  $Q_{300}$  innerhalb der FAA bereits in den obersten der eingestauten Becken verpufft und am eigentlichen Mündungsbereich am Bauwerksende für die Fische nicht mehr wahrnehmbar ist.

Eine wirklich einfache und alle Anlagentypen abdeckende konstruktive Lösung für diese Situation gibt es nicht. Grundsätzlich lässt sich die Problematik dadurch abschwächen, dass man die Mündungsposition bzw. den Ort des Leitströmungsaustrittes von vornherein so wählt, dass damit die bestimmenden Wasserspiegellagen während der Hauptwanderzeiten (Laichwanderungen) der Zielfischarten bestmöglich abgedeckt sind. An den großen Flüssen des alpinen und voralpinen Raumes mit meist nivalem Abflussregime sowie an den rechtsseitigen großen Donauzuflüssen, aber auch an sonstigen Flüssen des Potamals, sind dies vor allem die Frühjahrswanderperioden und die zu diesen Zeiten (März bis Juni) dominierenden Abflüsse und Wasserspiegel. Diese liegen dann meist im Bereich von MQ bzw. Mittelwasserstand und darüber. Bei FAA-Mündungen, die hinsichtlich der Leitströmung gut an das Mittelwasser angepasst sind, ist aber dennoch dafür Sorge zu tragen, dass die FAA-Gerinne vom (optimalen) Mittelwassereinstiegspunkt aus durch weitere Becken/Gerinneteile ins Unterwasser hinein soweit verlängert werden, dass auch bei Niedrigwasserständen noch der Einstieg und Aufstieg der Fische ermöglicht wird.

Bei FAA in der Forellenregion (ausgenommen Huchen-Laichgewässer) dagegen, ist der optimale Einstiegsbereich auf Höhe des mittleren Niedrigwasserspiegels (MNW) anzulegen, da sich die herbstlichen oder winterlichen Aufwanderungen der Leitarten in der Regel bei niedrigen Abflüssen vollziehen.

In Abhängigkeit vom Bautyp gibt es auch konstruktive Lösungen, um die Auffindbarkeit einer FAA bei schwankenden Unterwasserständen innerhalb gewisser Schwankungsbreiten zu optimieren:

- 1 Abflussanpassung in der FAA oder im Mündungsbereich bei beckenartigen Anlagen oder in Raugerinne-Beckenpässen: Ziel ist es, durch Abfluss- und Wasserspiegelerhöhung inner-

halb des FAA-Gerinnes die Verschneidungsstelle zwischen Unterwasserspiegel und dem letzten Höhengsprung in Richtung auf die optimale Stelle am FAA-Gerinneende zu verschieben. Damit soll dort wiederum eine geeignete Leitströmung erzeugt werden. Eine Abflusserhöhung innerhalb der FAA vom Oberwasser her (hierzu sind verstellbare Schlitzweiten wie in Abb. 10, oder zusätzliche, regulierbare Seiteneinläufe erforderlich) ist grundsätzlich nur möglich bei FAA mit Rechteckgerinne-Form und/oder ausreichend hohen Seitenwänden. Bei Schlitzpässen sind entsprechend hohe Trennwände zwischen den Becken vorzusehen. Zudem muss die unterste Austritts-/Einstiegsöffnung in Form eines Schlitzes und einer ausreichend hohen Trennwand ausgebildet sein, die bei den erhöhten Wasserspiegel-Lagen nicht vom Unterwasser her überstaut wird. Die Zusatzdotation kann auch über eine Bypass-Druckleitung in das entsprechend dimensionierte und hydraulisch optimierte unterste Becken (ggf. in ein Beruhigungsbecken) der FAA erfolgen. Sie erzeugt damit über eine entsprechende Wasserspiegelerhöhung in den letzten Becken der FAA bzw. über eine Höhendifferenz zum Unterwasser einen geeigneten Leitstrahl am FAA-Ende. Derartige Lösungen mit mehreren FAA-Einlaufbereichen im Oberwasser zur Dotation der FAA, die bedarfsweise in Betrieb genommen bzw. verschlossen werden, können auch in Fällen mit schwankenden Oberwasserständen verwendet werden (z.B. in Flusssystemen mit sog. Schwellbetrieb).

- 2 Anlage mehrerer Mündungen, die abwechselnd bei unterschiedlichen Unterwasserständen in Betrieb genommen werden. Hierzu sind entsprechende Verschluss-, bzw. Regulierungseinrichtungen erforderlich (Steuerungsaufwand).
- 3 Bei Teilrampen/-gleiten kann die Auffindbarkeit bzw. die Leitströmung bei steigendem Unterwasserspiegel erhalten bleiben, wenn
  - a sie nicht zu weit ins Oberwasser über die Querachse des Querbauwerkes hinaus entwickelt sind,
  - b die rückstaubeinflussten unteren Rampenbereiche ein ausreichendes Gefälle aufweisen, um leitströmungswirksame Geschwindigkeiten ausbilden zu können. Ferner dürfen keine seitlichen Begrenzungen zwischen Rampe und Absturzbauwerk (z.B. durch Wehrwangen oder -pfeiler) vorliegen, so dass auch der seitliche Einstieg der Fische in die teileingestaute Rampe möglich ist (Abb. 10).

Abb. 10: Schlitzpass (links) mit verstellbaren Trennwänden/Schlitzöffnungen in den oberen Beckenreihen zur Dotationsregulierung und Anpassung an schwankende Unterwasserstände. Teilrampe (rechts) mit guter seitlicher (blauer Pfeil) Einstiegsmöglichkeit für Fische – auch bei erhöhten Unterwasserständen gut auffindbar.

Hohe Anforderungen an fachliche Kompetenz und planerisches Geschick stellen Teilrampen/-Gleiten an großen Querbauwerken/Stützschnellen dar. Diese müssen oft weit ins Oberwasser der Schwelle hinauf abgewickelt werden und sind dann meist durch Trennpfeiler/Wangen im Unter- und Oberwasser vom Wehrüberlaufbereich (Hauptströmung) abgekoppelt. Sie sollten aber bei Abflüssen/Wasserständen zwischen Niedrigwasser und 2 MQ funktionsfähig sein. Hier sind zur Vermeidung von Sackgasseneffekten und Fehlleitungen bei bestimmten Abflussbedingungen Sonderkonstruktionen und Speziallösungen erforderlich.



## 5.2.3 Leitströmung und Leitkorridor

Die Leitströmung dient dazu, den Wanderkorridor der Fische im Unterwasser des Querbauwerkes mit dem Wanderkorridor in der FAA unterbrechungsfrei zu verbinden. Die Leitströmung kann grundsätzlich nur im unmittelbaren Nahbereich flussabwärts der Austritts- bzw. Einstiegsöffnung der FAA wirksam sein, d.h. von Fischen wahrgenommen werden. Dort, im „Leitkorridor“, muss sie in solchen Bereichen auftreten und wirksam sein, wo die Fische gemäß ihrer artspezifischen Orientierungen natürlicherweise auf das Querbauwerk treffen (Schlüsselposition siehe oben). Im Idealfall stellt die Leitströmung, welche aus der FAA austritt, mit ihrem Einwirkungsbereich (Leitkorridor) eine nahtlose Weiterführung des Strömungspfades im Fluss-Wanderkorridor dar, der von der Mehrzahl der aufwandernden Fische genutzt wird. Generelle Eigenschaften einer funktionstauglichen Leitströmung sind:

- Leitkorridor möglichst parallel oder mit kleinem Winkel (bis maximal 45 Grad) zur konkurrierenden Hauptströmung gerichtet,
- turbulenzarme Strömungsstruktur,
- keine Unterbrechung der Strömungsstruktur bis zur Einstiegsöffnung (zusammenhängender Leitkorridor),
- starke, für Fische wahrnehmbare Strömungsimpulse (Produkt aus Wasservolumen und Fließgeschwindigkeit) und Strömungspfade, welche jene von konkurrierenden Strömungen hinsichtlich der Geschwindigkeit übertreffen sollten (ohne dabei das Leistungsvermögen der Zielarten hinsichtlich maximaler Geschwindigkeiten zu übersteigen),
- Beachtung von Turbulenzentwicklungen aus dem Turbinenabstrom (Turbinendrehrichtung).<sup>9</sup>

Wesentliches Funktionskriterium einer Leitströmung bzw. des zugehörigen Leitkorridors ist naturgemäß das Ausmaß des dort vorherrschenden Strömungsimpulses der als das Produkt aus Strömungsgeschwindigkeit und Wasservolumen, in dem die relevante Geschwindigkeit vorliegt, definiert ist (nach LARINIER 2002). Die Leitströmung wird im günstigsten Fall durch den Betriebsabfluss  $Q_B$  (siehe Kap. 5.4) der FAA erzeugt. Ihre Richtung und Geschwindigkeit lassen sich dabei konstruktiv durch die Gestaltung des untersten Beckens, Schlitzes oder sonstiger Auslassbauwerke der FAA gezielt beeinflussen. Soweit die FAA so konstruiert und hydraulisch bemessen ist, dass, in Abhängigkeit vom Abfluss des Gewässers, unterschiedliche Betriebsabflüsse abgeführt werden können, ist innerhalb gewisser Grenzen auch eine Verstärkung oder Abschwächung der Leitströmung möglich.

Bei vielen Querbauwerken bzw. Fischaufstiegsanlagen insbesondere an großen Flüssen und entsprechend großräumigen Querbauwerken reicht der Betriebsabfluss allein oft nicht aus, um einen ausreichend großen Leitkorridor mit entsprechenden Strömungsimpulsen im Unterwasser zu erzeugen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn es nicht gelingt, die FAA-Mündung an der sog. Schlüsselposition anzuordnen. In derartigen Fällen muss die Leitströmung durch Zusatzdotationen verstärkt werden, die nicht über die FAA abfließen. Diese können günstigenfalls über Bypassleitungen<sup>10</sup> in das unterste Becken zugespeist werden. Bekanntestes Beispiel für derartige Zusatzdotationen sind die Fischpässe an den Rhein-Staustufen Iffezheim und Gamsheim. Dort werden Leitströmungsabflüsse von bis zu  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  den eigentlichen FAA-Betriebsabflüssen von ca.  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  nach Energieabbau im unteren Bereich der Anlage zugeschlagen und von dort an verschiedenen Stellen als Leitströmung in den Fluss abgegeben.

Grundsätzlich müssen Zusatzdotationen, energetisch soweit beruhigt, mit dem Wanderkorridor innerhalb der FAA oder an dessen unmittelbaren Mündung zusammengeführt werden, so dass keine Fehlleitung der Fische in die Richtung auf die Öffnung der Zusatzdotationsleitung erfolgt. Dies kann durch ausreichend groß dimensionierte Beruhigungsbecken, die dem untersten FAA-Becken vorgeschaltet sind, und zusätzlich durch strömungs-/turbulenzberuhigende Gleichrich-

<sup>9</sup> Die Rotationen und Turbulenzen im Wasserkörper des Turbinenabstroms können eine seitlich davon austretende Leitströmung beeinflussen (AG-FAH 2011).

<sup>10</sup> Solche Zusatzdotationsabflüsse können auch zur Wasserkraftnutzung verwendet werden.

tungs-Lamellen erfolgen. Zudem können an den Öffnungen zwischen Beruhigungsbecken und dem untersten FAA-Becken mechanische Einstiegsbarrieren wie Rechen (Verlegungsproblematik) das Einschwimmen von Fischen in diese Sackgassen verhindern. In den meisten Fällen ist es sinnvoll, die Zusatzdotationen im untersten Becken der FAA mit dem Betriebsabfluss der FAA zusammenzuführen. In solchen Fällen muss die Austrittsöffnung(-en) für die Gesamt-Leitströmung entsprechend hydraulisch angepasst werden. Getrennte Mündungen von Betriebsabfluss und Zusatzdotationen sind zwar grundsätzlich auch möglich, erfordern allerdings perfekte Einstellungen der resultierenden Gesamt-Strömungsstruktur, damit Fehlleitungen der Fische in die Zusatzdotationsöffnung vermieden werden.

Wesentliches Element für die Wirksamkeit der Leitströmung auf Fische sind die im Hauptleitstrahl herrschenden Fließgeschwindigkeiten. Diese sollen die Fische am unmittelbaren Austrittspunkt aus dem untersten Becken und im flussabwärts anschließenden Leitkorridor zum aktiven Aufschwimmen zur bzw. in die FAA-Mündung bewegen.

Die Bemessungsgeschwindigkeiten für die Leitströmung sind naturgemäß an die Leistungsfähigkeit der Zielfischarten und demnach an die Gewässer- bzw. Fischregion anzupassen, in der die FAA errichtet wird. Die Faustzahlen hierzu liefert Tabelle 5.

Tabelle 5: Minimale ( $v_{\min}$ ) und maximale ( $v_{\max}$ ) Fließgeschwindigkeiten der Leitströmung entsprechend der Gewässerregion in Anlehnung an AG-FAH 2011.

Gewässer-/Fischregion	Fließgeschwindigkeiten im Leit-Korridor unmittelbar am und unterhalb des FAA Einstieges	
	$v_{\min}$ (m/s)	$v_{\max}$ (m/s)
Epirhithral/obere Bachforellenregion	1,0	2,0
Metarhithral/untere Bachforellenregion	1,0	1,9
Hyporhithral/Äschenregion	1,0	1,7
Epipotamal/Barbenregion	1,0	1,5
Metapotamal/Brachsenregion	0,8	1,2
Lachs-/Huchengewässer*	2,0	2,4

\*Geschwindigkeiten gelten nur für eigene Einstiegsöffnungen für Großsalmoniden

Sonderlösungen hinsichtlich der Fließgeschwindigkeiten im Leitstrahl können in Gewässern der Barben- und Brachsenregion erforderlich sein, in welchen der Aufstieg von Großsalmoniden wie Lachs (Maingebiet) und anderen schwimmstarken anadromen Arten oder Huchen (Donau) zu berücksichtigen ist. Für diese sind nach LARINIER (2000) Leitströmungsgeschwindigkeiten zwischen 2,0 und 2,4 m/s besonders günstig – Geschwindigkeiten also, welche die Vielzahl der übrigen potamalen Fischarten nicht mehr bewältigen können. In solchen Fällen bieten sich Konstellationen mit zwei oder mehreren Einstiegsbereichen mit jeweils unterschiedlichem artangepassten Geschwindigkeitsspektrum an.

## 5.2.4 Positionierung der FAA und Auffindbarkeit – großräumige Betrachtung

Parameter und Faktoren, welche die großräumige Auffindbarkeit beeinflussen, sind in erster Linie die großräumige Laufentwicklung des Gewässers im Unterwasser (gewunden, geradlinig), die Ausbildung der Fließquerschnitte (trapezförmig, monoton, asymmetrisch, vielgestaltig) und der hierdurch determinierte Verlauf der Hauptströmung hinsichtlich der Strömungsverteilung und der großräumigen „Strömungsstruktur“. In Zusammenhang mit der korrekten Positionierung spielen auch Zweckbestimmung und Nutzung des Querbauwerkes eine entscheidende Rolle, da

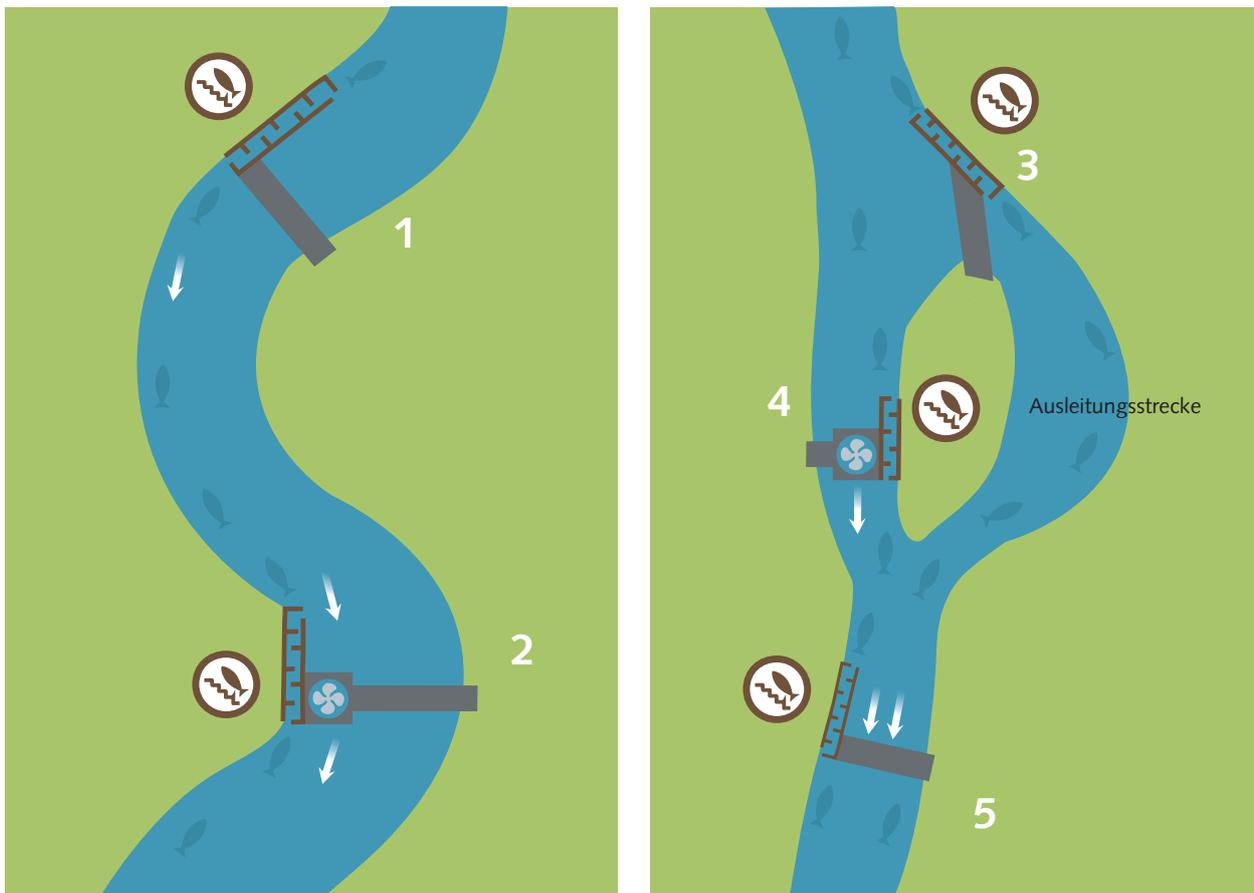
hierdurch die Strömungsbedingungen innerhalb der Aufwanderungsstrecke maßgeblich beeinflusst werden können. Nachfolgend werden drei Hauptsituationen betrachtet:

- 1 Querbauwerke ohne Wassernutzung
- 2 Querbauwerke mit Flusskraftwerk
- 3 Querbauwerke mit Wasserausleitung

Bei Querbauwerken ohne Wasserkraftnutzung wird die großräumige Auffindbarkeit meist nicht durch konkurrierende Strömungen erschwert. Ausnahmen sind Flussverzweigungen in mehrere Arme unterhalb des Querbauwerkes. In solchen Fällen sollte die FAA auf der Seite des Hauptarmes am Querbauwerk und dort möglichst an der Uferseite errichtet werden. Ansonsten gibt es bei geradliniger bzw. gestreckter Flusslaufentwicklung oft keine eindeutig bevorzugte Seite für die FAA-Positionierung am Querbauwerk (Pos. 5 in Abb. 11). Wenn beide Seiten „gleichberechtigt“ sind und keine Kostenzwänge bestehen, sollten zwei FAA an den Uferseiten errichtet werden. Ansonsten kann z.B. bei steuerbaren Wehren durch gezielte Wehrklappenöffnung eine der beiden Seiten strömungsmäßig bevorzugt und somit die Fische dorthin geführt werden. Ebenso können auch strömunglenkende Einbauten (Leitwerke, Buhnen) im Unterwasser die FAA-Seite des Querbauwerkes begünstigen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, durch Herstellung eines Orientierungspfades für Fische in Form von strömungsrelevanten und damit das Schwimmverhalten beeinflussenden Unterwasserstrukturen (Blockstein-Pfad), die Fische gezielt auf die FAA-Seite des Querbauwerkes zu lenken (vgl. Beispiel Pegnitz, Anhang). Bei Querbauwerken, die in bzw. knapp oberhalb von Flussbiegungen liegen, ist die Pralluferseite (Pos. 1 in Abb. 11) infolge des dort verlaufenden Wanderkorridors der Fische die richtige Position für die

Abb. 11: Großräumige Auffindbarkeit: Beispiele für die Positionierung der FAA am Querbauwerk mit verschiedenen Hauptströmungssituationen (Fließpfeile) und entsprechender Lage der Wanderkorridore im Fluss (Fischsymbole).

-  Fischaufstiegsanlage
-  Wehr
-  Kraftwerk



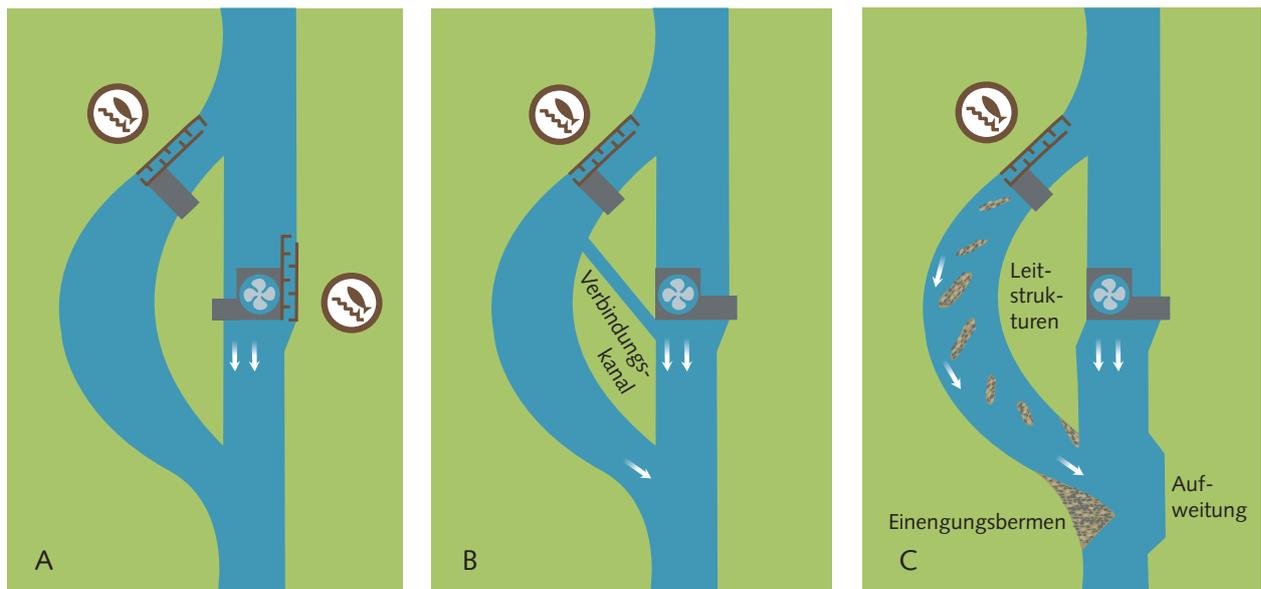
FAA. Bei schräg gestellten Querbauwerken ohne Wasserkraftnutzung ist in der Regel die Seite des spitzen Winkels der Ort, an dem die Fische von unten ankommen und sich konzentrieren. Dort liegt damit auch die geeignete Position für die FAA (Pos. 3 in Abb. 11).

Bei Standorten mit Flusskraftwerken wird die Hauptströmung in der Vielzahl der Fälle vom Turbinenabstrom ausgehen. Dort ist dann, zumindest bei seitlich angeordneten Triebwerken, die entsprechende Uferseite direkt neben dem Turbinenausguss die beste FAA-Mündungsposition (Pos. 2 u. 4 in Abb. 11). Bei Kraftwerken mit geringem Ausbaugrad und demzufolge häufiger Wehrüberströmung kann auch eine FAA-Position zwischen Krafthaus und dem ersten Wehrfeld zielführend sein. Wenn in solchen Konstellationen das Kraftwerk an einem schräg stehenden Wehr auf der Seite des stumpfen Winkels liegt, empfiehlt sich die Anlage von zwei FAA, eine mit Mündung zwischen Krafthaus und Ufer, die zweite auf der Uferseite mit dem spitzwinkigen Wehranschluss. Kompliziert sind auch Fälle mit flussmittig im Querbauwerk liegenden Triebwerken. Hier sollen die FAA im günstigsten Fall seitlich zwischen Triebwerksauslauf und anschließender Wehrwange platziert werden. Dies ist bei Altanlagen oft baulich und konstruktiv nicht möglich. Hier müssen dann Sonderlösungen hinsichtlich des FAA-Typs oder der Mündungslage gefunden werden. Zusätzliche strömunglenkende Einbauten im Unterwasser oder fischlenkende Strukturen bzw. Pfade wie unter Punkt (1) beschrieben können auch für die Triebwerks-Konstellationen zusätzliche Verbesserungen der Auffindbarkeit bewirken.

Eine besondere Herausforderung hinsichtlich der Auffindbarkeit stellen Querbauwerke mit Ausleitungssituationen dar. Da die aufwandernden Fische grundsätzlich der Hauptströmung folgen, führt sie diese in aller Regel in den Triebwerksunterwasserkanal hinein, wo sie am Triebwerksauslauf ankommen. Die meisten FAA werden in solchen Situationen jedoch traditionsgemäß am Querbauwerk im Mutterbett (Ausleitungswehr) errichtet. Dort fließt aber günstigstenfalls eine Mindestwassermenge ab, die um ein Vielfaches geringer ist als der Hauptabfluss im Triebwerkskanal. Da sich die Fische in der Regel entsprechend der Abflussverteilung auf den Hauptwanderkorridor (Triebwerksabfluss) und den Nebenwanderkorridor (Mindestwasserabfluss) verteilen, kann eine FAA am Ausleitungswehr selbst bei ökologisch günstiger Mindestwasserbemessung in quantitativer Hinsicht (Verhältnis aufsteigender Individuen zur Gesamtzahl der Wanderfische) nur eine stark eingeschränkte Funktionsfähigkeit aufweisen. In derartigen Fällen ist die beste Lösung die Errichtung von zwei FAA, eine am Ausleitungswehr und eine am Triebwerk (Abb. 11, Pos. 3 u. 4; Abb. 12A). Ist dies nicht realisierbar, kann zumindest die Auffindbarkeit der Ausleitungsstrecke durch geeignete Maßnahmen verbessert werden:

Abb. 12: Verschiedene Konstellationen zur Verbesserung der Auffindbarkeit im Bereich von Ausleitungsstrecken mit Wasserkraftnutzung. A: Zwei FAA am Ausleitungswehr und am Krafthaus. B: FAA am Ausleitungswehr und Verbindungskanal zur Weiterleitung der Fische aus dem Triebwerksunterwasser. C: Verbesserung der Leitströmung aus der Ausleitungsstrecke durch Querschnittseinerung, Aufweitung des KW-Unterwasserkanals (zusätzlich Verbesserung der Passierbarkeit in der Ausleitungsstrecke durch Leitstrukturen).

-  Fischaufstiegsanlage
-  Wehr
-  Kraftwerk



- Verbindungskanal zwischen Triebwerksunterwasser und Wehrunterwasser in der Ausleitungsstrecke zur Umleitung der Fische dorthin und in die FAA (Abb. 12B).
- Querschnittsaufweitung des Triebwerkkanals am Zusammenfluss zur Ausleitungsstrecke und gleichzeitig Verengung der Mündung der Ausleitungsstrecke. Hierdurch soll der Leitströmungsimpuls der Ausleitungsstrecke erhöht werden (Abb. 12C).
- Strömunglenkende Einbauten oder Überlaufschwelle (Höhensprung) zur Bündelung und Verstärkung des Leitströmungsimpulses der Ausleitungsstrecke (Abb. 12C).
- Einbau fischlenkender Strukturen bzw. Pfade wie unter Punkt (1) beschrieben, welche vom Hauptflusslauf zur Mündung der Ausleitungsstrecke führen.
- Erhöhung der Mindestwasserdotation der Ausleitungsstrecke.

Bei der Nutzung von Ausleitungsstrecken als Fischwanderpfad ist besonders zu beachten, dass nicht nur die Mündung derselben gut auffindbar sein muss, sondern auch, dass innerhalb des Mutterbettes ein durchgängiger Wanderkorridor (ausreichende Wassertiefen in der Hauptrinne und Strömungsgeschwindigkeiten  $\geq v_{rheoaktiv}$  im Hauptstromstrich) für die Passage der Fische in der Ausleitungsstrecke bis zur FAA am Wehr zur Verfügung steht.

## 5.3 Passierbarkeit

### 5.3.1 Allgemeine Anforderungen

Eine FAA ist dann für alle Zielfischarten gut passierbar, wenn im Wasserkörper der Anlage ein für alle Arten und Größenklassen geeigneter Wanderkorridor vorliegt. Ein geeigneter Wanderkorridor ist dann gegeben, wenn

- a die hydraulischen (Fließgeschwindigkeiten, Leistungsdichten) Bedingungen einerseits so moderat bemessen sind, dass auch in Engstellen und Zwangspunkten der Anlage die Schwimmleistung der in dieser Hinsicht schwächsten Arten noch ausreicht, um sowohl



Abb. 13: Ausleitungsstrecke mit zu wenig Mindestwasser und zu geringen Wassertiefen: für größere Fische unpassierbar.

einzelne Becken/Schwellen/Höhensprünge als auch – nacheinander – alle Bereiche/ Zwangspunkte der Anlage passieren zu können,

- b** andererseits in der Anlage jedoch mindestens ein durchgehender „Strömungspfad“ besteht, der die rheoaktive Mindestgeschwindigkeit von 0,3 m/s für Gewässer mit Großsalmoniden (Huchen, Seeforelle, Lachs, Meerforelle) und von 0,2 m/s für alle übrigen Gewässer bzw. Fischarten erreicht oder überschreitet,
- c** die räumliche Dimensionierung bzw. die Geometrie (Wassertiefe, Gerinnebreite, Beckenlänge) der Anlage so bemessen ist, dass auch die adulten (Laichfische) Exemplare der größtenbestimmenden Zielfischarten alle Bereiche der Anlage – insbesondere die Engstellen und Zwangspunkte – gut durchschwimmen können.

Abb. 14: Raugerinne (oben) unpassierbar, da hydraulisch überlastet und zu großes Gefälle (Bauj.2010); Raugerinne-Beckenpass (unten) gut passierbar, sehr gute Energieumwandlung, geringe Höhensprünge (Baujahr 2007).



Begrenzende Faktoren für den Fischeaufstieg **innerhalb einer FAA** und somit für die **Passierbarkeit** sind in der Regel

- die maximalen Höhengsprünge und Fließgeschwindigkeiten im Wanderkorridor, welche dort meist im Bereich von Überlaufschwellen, Schlupflöchern, Schlitz- oder Durchgangsöffnungen zwischen Blocksteinen/Störsteinen auftreten.
- der Turbulenzgrad im Wanderkorridor, ausgedrückt durch die spezifische Leistungsdichte in  $\text{Watt/m}^3$  in den Becken der FAA. Turbulenzen erschweren die Orientierung der Fische und werfen insbesondere Klein- und Jungfische „aus der Bahn“.
- die Wassertiefe an den Engstellen und Durchlässen/Überläufen, welche so bemessen sein muss, dass für alle Fischgrößen ein ausreichend mächtiges „Wasserpulster“ vorliegt, in dem sie aufschwimmen können.



Abb. 15: Unpassierbarer Tümpelpass: Becken zu klein, Höhengsprünge zu groß, teilweise abgelöster Strahl, zu hohe Geschwindigkeiten, hydraulisch überlastet (Baujahr 1993).



Abb. 16: Tümpelpass mit gut passierbarer Schwelle (1) und eingeschränkt passierbarer Schwelle (2), da abgelöster Strahl am Überlauf auf gesamter Breite, großvolumige Becken mit sehr guter Energiedissipation (Baujahr 2005).

Abb. 17: Schlitzpass, eingeschränkt passierbarer Bereich: Schlitz zwischen zwei Becken mit sehr starker Turbulenz, sehr hoher Fließgeschwindigkeit und Beschleunigung sowie starke Walzenbildung im und nach dem Schlitz, ausgelöst insbesondere durch seitliche An- bzw. Unterströmung (roter Pfeil). Ursache: zu kurze Leitwand an der Trennwand-Oberwasserseite.



Abb. 18: Schlitzpass als eingeschränkt passierbarer Bereich: Hydraulischer Kurzschluss und Strömungsbeschleunigung durch falschen Strahlaustrittswinkel (rote Pfeile) im Schlitz (Wandkrümmung nicht ausreichend beachtet). Die weißen Pfeile zeigen die erwünschte „korrekte“ Strömungsrichtung an.





Fließgeschwindigkeiten, Höhengsprünge und die Energiedichten in den Becken – letztlich die hydraulischen Verhältnisse – wirken in erster Linie für die wenig schwimmstarken Jung- und Kleinfische limitierend. Für große, schwimmstarke Fischarten und deren Laichfische sind dagegen eher die räumliche Dimension, insbesondere die Beckenlänge, die Breite und Wassertiefe des Aufstiegserinnes und die Breiten der Durchlassöffnungen limitierend.

**Abb. 19: Schlitzpass mit sehr günstigen hydraulischen und geometrischen Eigenschaften, gute Strahlumlenkung ausreichende Energiedissipation in den Becken.**

### 5.3.2 Geometrische Grenzwerte und Bemessungswerte für FAA

Die geometrischen Grenz- und Richtwerte, die prinzipiell für FAA aller Konstruktionstypen gelten, orientieren sich an den Körpermaßen (Gesamtlänge  $L_{\text{Fisch}}$ , maximale Höhe  $H_{\text{Fisch}}$ , maximale Dicke des Fischkörpers  $D_{\text{Fisch}}$ ) der größtenbestimmenden Fischarten des jeweiligen Gewässertyps bzw. der Fischregion.

Wesentliche Grundvoraussetzung für das „reibunglose“ Durchschwimmen einer FAA ist, dass im gesamten Wanderkorridor eine ausreichende Wassertiefe für die größtenbestimmenden Fischarten gegeben ist. Die Mindestwassertiefe  $h_{\text{min}}$  im Wanderkorridor sollte daher nach DWA-M 509 (2014)  $2,5 \times H_{\text{Fisch}}$  betragen, wobei die Wassertiefe dabei zwischen den Steinspitzen der Sohlrauigkeit und der Oberfläche gemessen wird (hydraulische Wassertiefe). An Engstellen (Schlitzen, Beckenüberläufen etc.) sollte die hydraulische Mindesttiefe bei  $2 H_{\text{Fisch}}$  in keinem Fall aber bei weniger als **0,2 m** liegen.

Die Mindestbreite ( $s_{\text{min}}$  = lichte Weite) von Engstellen im Wanderkorridor (Schlitze, Durchlässe, Überläufe etc.) muss so beschaffen sein, dass sie von den größtenbestimmenden Arten mit ausreichendem Seitenabstand (berührungsfrei) durchschwommen werden können. Hier gilt die Beziehung  $s_{\text{min}} = 3 D_{\text{Fisch}}$ . Um der Verklausung von Schlitzen vorzubeugen wird zusätzlich empfohlen,

eine **Mindestschlitzweite** von **0,2 m** nicht zu unterschreiten. Für naturnahe Konstruktionstypen (Tümpelpässe, Umgehungsbäche) sollten die Schwellenöffnungen (Schlitze oder Ausschnitte/Lücken zwischen Schwellensteinen) bzw. die Übergänge zwischen den Becken grundsätzlich um ca. ein Drittel größere Breiten aufweisen als in technischen Konstruktionen.

Die Beckenlängen und Beckenbreiten von FAA werden von den Körpermaßen und dem Verhalten (z.B. Wanderung in Gruppen oder Schwärmen) der größtenbestimmenden Fischart der jeweiligen Gewässer-/Fischregion bestimmt. Es gilt dabei für die **Mindestlänge** der Becken bei **technischen, beckenartigen FAA inkl. Raugerinne mit Beckenstruktur** folgende Beziehung:

$$\text{lichte Beckenlänge } (l_b) = 3 \times L_{\text{Fisch}} \text{ (größtenbestimmende Art)}$$

Die minimale **Beckenbreite** bei beckenartiger FAA bemisst sich wie folgt:

$$\text{lichte Beckenbreite } (b) = 2 \times L_{\text{Fisch}} \text{ (größtenbestimmende Art)}$$

Bei **Schlitzpässen** wird in Abweichung von obiger Beziehung auch folgendes Längen-Breiten-Verhältnis empfohlen (DWA 2014):

$$\text{lichte Beckenbreite } (b) = l_b \times 3/4$$

Bei naturnahen Konstruktionen (naturnahe Umgehungsgewässer und Tümpelpässe) ist die lichte Beckenlänge nicht exakt festlegbar. Wesentlich ist aber, dass das Beckenvolumen ausreichend groß ist, um die Werte für die gewässerregionspezifischen Leistungsdichten einzuhalten (siehe Tabelle 6).

Abgesehen von den o.g. Grenzwerten, welche als Mindestanforderungen gelten, ergeben sich die tatsächlichen geometrischen Bemessungswerte aus:

- gewässerregionspezifischen Wachstums- und Größenunterschieden gleicher größtenbestimmender Fischarten,
- Raum- und Tiefenansprüchen und -präferenzen der Zielarten,
- den regionspezifischen Leistungsdichten (Werte für die Energiedissipation).

Beispielsweise werden für FAA in kleineren Rhithralgewässern nach LARINIER et al. (2002) Mindesttiefen von Becken von 0,6 m empfohlen, da sich dies aus den Präferenzen der Bachforellen für tiefere Stellen ableiten ließe. Für größere Rhithral- und Potamalgewässer werden mittlere Beckentiefen von 0,8 bis 1,5 m bzw. 1,0 bis 2,0 m gefordert (JUNGWIRTH & PELIKAN 1989). In Anlehnung an die österreichischen Kriterien (AG-FAH 2011: **Grundlagen für einen österreichischen Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen (FAHs)**), die auf die bayerischen Gewässer wegen vergleichbarer naturräumlicher Verhältnisse gut anwendbar sind, wird als minimale hydraulische Wassertiefe (nach der Trennwand bzw. nach dem Schlitz/Überfall zwischen Oberfläche Sohlauflage und Wasserspiegel) in Becken technischer FAA in kleinen Rhithralgewässern 0,6 m gefordert – in größeren Gewässern des Rhithrals und des Potamals 0,8–1,5 m. In naturnahen Umgehungsgewässern und Tümpelpässen sollten die (minimalen) hydraulischen Maximaltiefen nach den Schwellenübergängen bei 0,7–1,5 m liegen.

Eine zielartenbezogene Kurz-Zusammenfassung geometrischer Bemessungswerte liefert nachfolgende Tabelle. Einen ausführlichen Überblick über die geometrischen Bemessungswerte unter Bezug auf die Fischregion, die Gewässergröße und die jeweiligen größtenbestimmenden Zielarten liefert Tabelle 13 im Anhang (AG-FAH 2011). Die österreichischen (JÄGER et al. 2010, AG-FAH 2011) und die deutschen (DWA-M 509 2014) Größenangaben zu den Fischarten und damit auch die entsprechenden Bemessungswerte für die FAAs differieren bei manchen Arten. Dies liegt u.a. an der stärkeren Differenzierung der Fischgrößen entsprechend der Gewässerregion/Gewässergröße in den österreichischen Arbeiten. Gleichmaßen gibt es auch hinsichtlich der hydraulischen Bemessung gewisse Unterschiede (siehe Tab. 7 und Tab. 8). Durch die Berücksichtigung der deutschen und der österreichischen Erfahrungswerte ergeben sich somit für einige Arten Entscheidungs-Spielräume. Diese Spielräume gestatten es den Fachplanern und Planungsbüros die Fischaufstiegsanlagen an die Erfordernisse des entsprechenden Gewässers und an die örtlichen Gegebenheiten insbesondere an das Wachstum und an die realistischen Größen der Zielarten sowie an deren Leistungsvermögen individuell und somit optimal anzupassen.

Beckenbauweise					
Maß	lichte Beckenlänge ( $l_b$ )	lichte Beckenbreite	hydr. Mindestdiefe uh. Trennwand	Wassertiefe an Übergängen (Schwellen/Schlitz)	lichte Weite Schlitze
Multiplikations- faktor	Körperlänge $L_{\text{Fisch}} \times 3$ oder anders abgeleitete Mindestmaße*	Körperlänge $L_{\text{Fisch}} \times 2$ bei Schlitzpässen auch $l_b \times 0,75$ (hier nicht berechnet)*	Körperhöhe $H_{\text{Fisch}} \times 5$ oder anders abgeleitete Mindestmaße*	Körperhöhe $H_{\text{Fisch}} \times 2$ oder anders abgeleitete Mindestmaße*	Fischdicke $D_{\text{Fisch}} \times 3$ oder anders abgeleitete Mindestmaße*
Art	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
Bachforelle	180	120	50	20	20
Äsche	180	120	70	25	30
Aitel, Döbel	180	120	70	25	20
Rutte, Quappe	180	120	60	20	25
Seeforelle	300	200	105	45	36
Nase	270	180	70	30	30
Rapfen, Schied	240	160	90	35	30
Lachs	300	200	80 - 100	50	35
Huchen	300	200	80 - 100	50	35
Barbe	270	180	70	30	30
Maifisch	240	200	90	45	45
Brachse, Blei	240	200	90	45	30
Zander	300	200	80 - 100	50	35
Hecht	300	200	80 - 100	30	35
Aal	200	100	-	-	20
Sterlet	300	200	70	50	30
Wels	450	300	120	60	60

\* Andere Dimensionierungen als über die angegebene Formel berechnet, ergeben sich beispielsweise bei speziellen Körperformen und Fortbewegungsweisen (Aal) oder bei schwarmweise wandernden Fischen (Barbe, Nase, Maifisch u.a. in größeren Fließgewässern), bei denen Becken oder Engstellen von mehreren Exemplaren gleichzeitig durchschwommen werden und daher größer dimensioniert werden müssen.

Tabelle 6: Beckenbauweise; Geometrische Dimensionierung von FAA gemäß Körperdimensionen größenbestimmender Zielarten (nach DWA 2014 und Jäger et al. 2010, geändert).

### 5.3.3 Hydraulische Grenz- und Bemessungswerte für FAA

Die hydraulischen Grenzwerte bzw. die zugehörigen Bemessungswerte von FAA sind aus den naturräumlichen hydraulischen Bedingungen (Gefälle, Rauigkeit, Beziehung Abfluss-Flussbettgröße) der jeweiligen Fließgewässerregion abgeleitet, in der sie errichtet werden. Sie entsprechen damit auch dem Schwimmleistungsvermögen der zugehörigen charakteristischen Zielfischarten. Die typischen Geschwindigkeiten und spezifischen Leistungsdichten der Energiedissipation (in  $W/m^3$ ) und die Sohlrauigkeit nehmen naturgemäß mit sinkendem Sohlgefälle von der Quelle zur Mündung ab. Das ist bei den hydraulischen Grenzwerten zu berücksichtigen, wenn eine Selektivität der FAA vermieden werden soll. Die Angaben in Tabelle 7 (unten) versuchen, diesen notwendigen Anpassungen der hydraulischen Grenzwerte an die Fließgewässerregion gerecht zu werden.

#### Überfallhöhe und maximale Fließgeschwindigkeit an Engstellen

Die maximalen Fließgeschwindigkeiten, die im Bereich von Engstellen, Schlitzten und Überläufen einer becken- oder gerinneartigen FAA, aber auch an Überläufen/Schlitzten von beckenförmigen Sohlrampen beim Bemessungsniedrigwasserabfluss auftreten, sind von der Überfallhöhe  $h$  abhängig und können nach folgender Formel berechnet werden:

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$V = \text{Fließgeschwindigkeit} \left[ \frac{m}{s} \right]; g = \text{Erdbeschleunigung} = 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]; h = \text{Fallhöhe} [m]$$

Dabei ist zu beachten, dass diese Maximalgeschwindigkeiten nicht direkt in der Engstelle (Schlitz) oder an der Überlaufkante, sondern weiter unterhalb davon im Bereich der Eintauchstelle des Strahls im Unterbecken auftreten (siehe Längsschnitt Abb. 42). Die Geschwindigkeiten direkt im Schlitz/Überfall liegen nach GEBLER (2009) und LARINIER (2006) beim etwa 0,7-fachen der nach obiger Formel ermittelten Maximalgeschwindigkeit.

Bei Schlitzpässen mit durchgehend rauer Sohle treten die rechnerischen höchsten Geschwindigkeiten nur im oberflächennahen Bereich des Strahls im Schlitz auf. Mit Annäherung an die raue Sohle nehmen die Geschwindigkeiten sukzessive ab und können innerhalb der Sohlrauigkeit sehr niedrige Werte erreichen und somit dort auch die Passage von schwimmschwachen Arten sowie von Jungfischen ermöglichen (Abb. 18).

#### Turbulenzgrad

In den Wasserkörper von FAA wird in Abhängigkeit vom Abfluss und vom Gefälle bzw. von den Höhensprüngen zwischen den Wasserspiegeln einzelner Becken kinetische Energie eingetragen. Als Maß für die Turbulenz hat sich die Leistungsdichte bei der Energieumwandlung (angegeben in  $W/m^3$ ) eingebürgert. Diese beschreibt den Abbau der in ein Becken eingetragenen Energie in Bezug zum Beckenvolumen, die sog. Energiedissipation. Dividiert man die Leistung (Maßeinheit: Watt) durch das spezifische Wasservolumen, so ergibt sich die spezifische Leistungsdichte  $P_D$ , die für beckenartige FAA nach der „Leistungsformel“ berechnet wird:

$$P_D = \rho_w \cdot g \cdot Q \cdot \frac{\Delta h}{V}$$

mit  $P_D$  = spezifische Leistungsdichte ( $W/m^3$ ),  $\rho_w$  = Dichte des Wassers ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  = Erdbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $Q$  = Abfluss ( $m^3/s$ ),  $\Delta h$  = Absturzhöhe von Becken zu Becken,  $V$  = Wasservolumen des Beckens (Länge  $\times$  Breite  $\times$  mittlere Tiefe). Die in Tabelle 7 angegebenen Grenzwerte für Absturzhöhen, maximale Fließgeschwindigkeiten und Leistungsdichten

stellen Maximalwerte dar, die nicht überschritten werden und hinsichtlich der Fließgeschwindigkeiten nur in sehr kurzen Abschnitten der Anlage (in Überläufen, Schlitzen, Durchlässen, sonstigen Engstellen) erreicht werden dürfen. In den übrigen Hauptbereichen des Wanderkorridors innerhalb der FAA sollten dagegen moderate Fließgeschwindigkeiten (0,4–0,8 m/s) vorherrschen. Die Grenzwerte sind in der praktischen Planung einerseits als Ausgangsbasis für die Ermittlung der tatsächlichen Bemessungswerte anzusehen, andererseits als jene Werte, die nur kurzzeitig in den Extrembereichen des zeitlichen Abflussspektrums erreicht werden ( $Q_{30}$  und  $Q_{330}$ ), innerhalb dessen in der FAA passierbare Bedingungen vorliegen sollten.

Bei den Grenzwerten für die Maximalgeschwindigkeiten ist zudem eine Abstufung hinsichtlich der mit der FAA zu überwindenden Gesamthöhe und damit auch der Abwicklungslänge bzw. der Schwimmstrecke vorzunehmen, welche von den aufsteigenden Fischen bei der Passage durch die FAA zu bewältigen ist. Je größer die Gesamthöhendifferenz und je länger die Strecke bzw. je größer die Anzahl der Becken und Engstellen, umso öfter nacheinander müssen die Fische die Engstellen mit den jeweiligen Maximalgeschwindigkeiten überwinden. Um die Tiere nicht zu stark zu erschöpfen, sollten daher entweder nach Überwindung von jeweils ca. 3 m Höhendifferenz sog. Ruhebecken vorgesehen werden oder aber mit zunehmender Gesamthöhendifferenz die Höhengsprünge zwischen den Becken und damit das Gefälle – und entsprechend die Maximalgeschwindigkeiten – sukzessive reduziert und die Abwicklungslänge vergrößert werden ( $V_{max1}$  und  $V_{max2/3}$  in Tabelle 7).

Abstand von fester Sohle [cm]

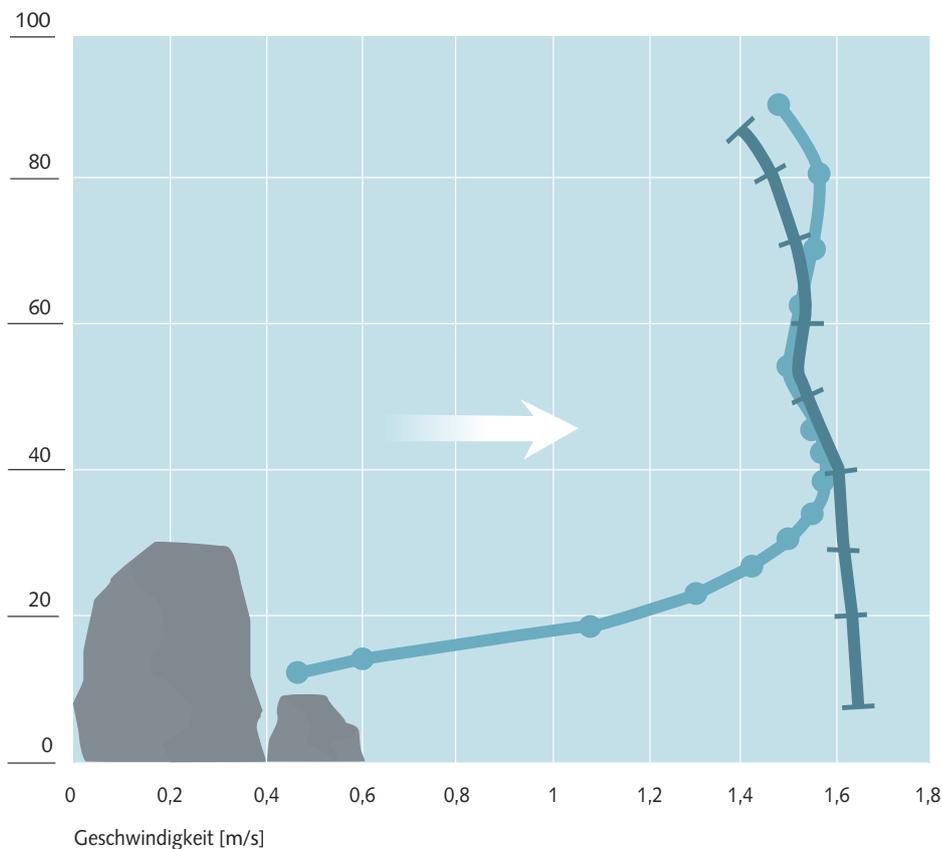


Abb. 20: Abnahme der Fließgeschwindigkeit im Schlitz eines Schlitzpasses im Bereich der rauhen Sohle (nach GEBLER 1991, verändert).

- raue Sohle; Sohlsubstrat, 10-30 cm stark (Steinköpfe bis 30 cm)
- +— glatte Sohle; ohne Sohlsubstrat, Holzboden

Gewässerregion	$\Delta h$	GRENZWERTE		spez. Leistungsdichte $P_D$	
		Max. Fließgeschw. ( $V_{max}$ ) am Übergang von beckenartigen FAAs		Grenzwerte für Becken- und Gerinne bzw. Störsteinbauweise	
		Mittl. Fließgeschw. ( $V_m$ ) im Wanderkorridor von gerinneartigen FAAs			
		$V_{max} 1/2_{Becken}$	$V_m 1/2/3_{GerStör}$	$P_{DBecken}$	$P_{DStörstein}$
	[m]	[m/s]	[m/s]	[W/m <sup>3</sup> ]	[W/m <sup>3</sup> ]
Epirhithral (obere Forellenregion)	0,20	2,2/1,9	2,0/1,5(1,7)	250	300
Metarhithral (untere Forellenregion)	0,18	2,1/1,8	1,9/1,4(1,6)	225	275
Hyporhithral (Äschenregion)	0,15	2,0/1,7	1,8/1,3(1,5)	200	250
Epipotamal (Barbenregion)	0,13 - 0,10	1,8/1,6	1,6/1,2(1,4)	150/100*	200
Metapotamal (Brachsenregion)	0,10 - 0,08	1,7/1,5	1,5/1,1(1,3)	125/100*	175

\* mit Hecht, Zander, Karpfen

**Tabelle 7: Hydraulische Grenzwerte für beckenartige Fischaufstiegsanlagen und gerinneartige Bautypen bzw. Störsteinbauweisen in Abhängigkeit von den Gesamthöhendifferenzen bzw. Abwicklungslängen (nach DWA 2014, abgeändert).**

#### Erläuterungen:

**Beckenartige FAA:**  $V_{max} 1$  Gesamthöhenunterschied  $\leq 3$  m;  $V_{max} 2$ : Gesamthöhenunterschied  $\geq 9$  m

**Gerinneartige FAA u. Störsteinbauweisen:**  $V_m 1$  mit Gesamtlänge  $< 5$  m;  $V_m 2$  mit Gesamtlänge  $> 10$  m;  $V_m 3$  für Raugerinne in Störsteinbauweise mit Gesamtlänge  $> 10$  m ( $V_m$  in den Engstellen im Wanderkorridor)

Die Geschwindigkeiten für andere Gesamthöhenunterschiede oder andere Gerinnelängen sind abschätzungsweise zu interpolieren oder aus DWA-M 509 (2014) zu übernehmen.

Um sicherzustellen, dass auch für die schwimmschwächsten Zielarten bzw. für die juvenilen Stadien und die Kleinfische eine erschöpfungs- und verletzungsfreie Passierbarkeit gegeben ist und um potenzielle Abweichungen und Toleranzen bei der baulichen Ausführung zu berücksichtigen, können, mit entsprechender fachlicher Begründung, von den hydraulischen Grenzwerten bzw. von den maximalen Absturzhöhen noch Abschlüsse in Form sog. Sicherheitsbeiwerte (empfohlene Gesamt-Faktoren von 0,75–0,95) vorgenommen werden. Die tatsächlichen Bemessungswerte sind dann die o.g. Grenzwerte abzüglich der Sicherheits-Abschlüsse. Ausgewiesene Bemessungswerte liefern die „Grundlagen für einen Österreichischen Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen“ (AG-FAH 2011, Tabelle 8). Diese sind allerdings niedriger als die aus den Grenzwerten gemäß Tabelle 7 abzuleitenden Bemessungswerte. Sie sind nicht als Standard-Bemessungswerte für die Leistungsdichte zu betrachten, können aber im Einzelfall als Orientierungswerte dienen, insbesondere wenn der Aufstieg von juvenilen Fischen und von schwimmschwachen Kleinfischarten besonders im Fokus stehen soll.

**Tabelle 8: Bemessungswerte für die Höhendifferenzen zwischen Becken u. an Schwellen sowie für spezifische Leistungsdichte (Energiedissipation) in Becken von Schlitzpässen, naturnahen Beckenpässen und Sohlrampen (bei MNQ bzw.  $Q_{30}$ ) je Fischregion nach AG-FAH 2011 (abgeändert).**

Gewässerregion	$\Delta h$	spez. Leistungsdichte $P_D$
	[m]	[W/m <sup>3</sup> ]
Epirhithral	0,20	140
Metarhithral	0,18	120
Hyporhithral	0,15	120
Epipotamal	0,13–0,10	100
Metapotamal	0,10–0,08	80

### 5.3.4 Engstellen und Zwangspunkte

Die Passierbarkeit von FAA wird maßgeblich von der fischgerechten Ausbildung und der korrekten Bauform der Engstellen und Zwangspunkte beeinflusst. Wesentlich ist, dass die Schwellenübergänge oder Schlitze zwischen den Becken ebenso wie Furten und Schnellen und damit die Strecken mit maximalen Fließgeschwindigkeiten und zu überwindenden Höhensprüngen möglichst schmal bzw. kurz gehalten werden. Eine aufgelöste Schwelle mit einem sehr langen Übergangskorridor von mehr als 1 m Längsausdehnung wie im Tümpelpass in Abb. 21 muss in diesem Zusammenhang als schwer passierbar und selektiv angesehen werden, zumal die Wassertiefe unterhalb der Schwelle sehr gering ist.

Kurze Beckenübergänge bzw. Steinlücken von ca. 0,3–0,4 m Längsausdehnung wie in Abb. 22 sind dagegen günstig und können von allen Fischarten und -größen problemlos durchschwommen werden.



Abb. 21: Eingeschränkte Passierbarkeit durch zu langen und zu flachen Schwellenübergang.

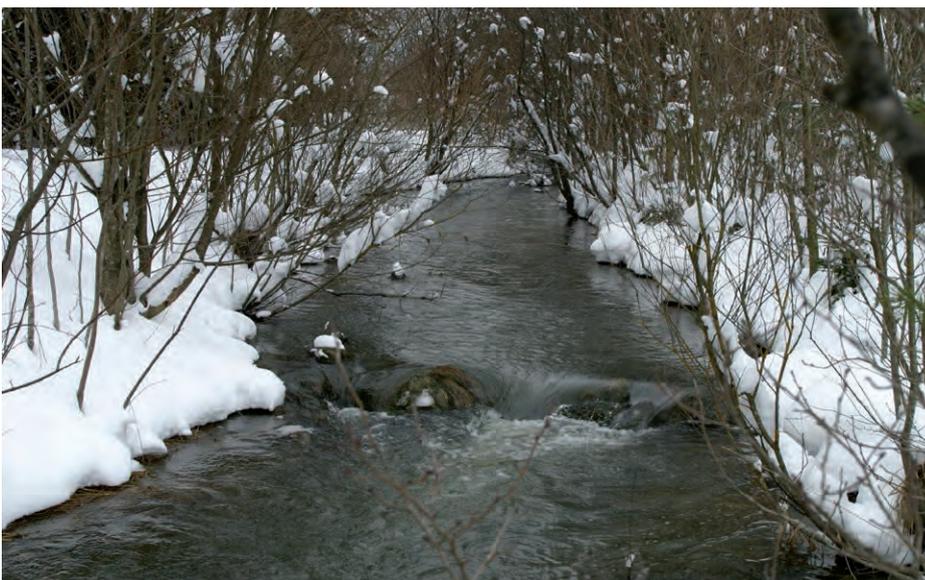


Abb. 22: Gut passierbare Schwelle mit kurzem Übergang, kompaktem Strahl und ausreichendem Wasserpolster.

### 5.3.5 Durchgängige raue Sohle, Anbindung im Unter- und Oberwasser

#### Sohlrauigkeit

Die Sohle von FAA sollte aus einer durchgehenden, mindestens 0,2 m mächtigen Schicht aus lückenreichem Grobsubstrat aufgebaut sein. Durch die Sohlrauigkeit werden die bodennahen Fließgeschwindigkeiten deutlich reduziert und somit schwimmschwachen Fischarten und -größen und sohlgebundenen Wirbellosen der Aufstieg ermöglicht. Neuere Untersuchungen haben ergeben, dass zu hohe Rauigkeiten an der Sohle infolge Wirbelbildung die Bedingungen für schwimmschwächere Arten auch verschlechtern können; diese präferieren Bereiche mittlerer Rauigkeit mit wenigen ca. 15 cm aus der Sohle ragenden Stützsteinen (ADAM et al. 2009). Nach DWA-M 509 (2014) wird die Sohle zweckmäßigerweise wie folgt aufgebaut:

- Stützmaterial: Wasserbausteine, Steingröße: 30 cm bis 45 cm; Belegdichte ca. 4 bis 5 pro Quadratmeter, z. B. Wasserbausteine LMB<sub>60/300</sub> nach TLW (2003).
- Füllmaterial: Wasserbausteine, Steingröße: 5 cm bis 15 cm, z. B. Wasserbausteine CP<sub>45/125</sub> nach TLW (2003).

Die Sohlbedeckung mit Raumaterial muss flächendeckend sein und sollte möglichst nahtlos in die Anrampungen bzw. Sohlanschlussbauwerke an die Flusssohle im Unterwasser bzw. im Oberwasser der FAA übergehen.

#### Anbindung an die Gewässersohle

Der Anschluss zwischen FAA-Sohle und Unterwassersohle und ggf. auch dem Böschungsfuß ist durch Anrampungen aus Blocksteinwurf oder Steinpackungen (Neigungen 1:2–1:4) möglichst nahtlos herzustellen. Auch zwischen der oberwasserseitigen Ausstiegsöffnung und der Sohle des Oberwassers empfiehlt sich eine Anrampung in ähnlicher Weise.

Abb. 23: Bauliche Umsetzung der durchgehend rauhen Sohl-schicht in einem Schlitzpass.



### 5.3.6 Lichtverhältnisse in Fischaufstiegsanlagen

Bis in jüngste Zeit herrschte in Teilen der Fachwelt die Meinung vor, Fische würden in dunkle Räume nicht einschwimmen und nicht belichtete Gerinne/Verrohrungen etc. mit Längen > 10–20 m nicht passieren können. Diese Ansicht kann als obsolet betrachtet werden. Fischwanderungen und Bewegungen finden natürlicherweise zu allen Tages- und Nachtzeiten und somit bei höchst unterschiedlichen Licht-/Dunkelbedingungen statt. Die Passage von Bachforellen und Aiteln (Döbeln) durch mehrere hundert Meter lange unbelichtete Rohrleitungen (Eigenbeobachtung) und von Lachsen durch Verrohrungen von mehr als 2 km Länge ist belegt. Im Umgehungssystem an der Donaustufe Vohburg passieren regelmäßig mehr als 30 verschiedene Donaufischarten in großer Zahl und in allen Alters- und Größenklassen (Salmoniden, Cypriniden, Perciden, Hechte u.a.) eine ca. 60 m lange Rohrdurchlasstrecke unter einem Straßendamm.

Nach DWA-M 509 (2014) kann allerdings ein abrupter Helligkeitswechsel bei manchen Fischarten zu Vermeidungsverhalten führen, so dass sie bei hellem Tageslicht nicht in völlig dunkle FAA einschwimmen. Daher sollten FAA im Normalfall natürlichen Belichtungsbedingungen mit normalem Tag-Nachtwechsel ausgesetzt sein. Bei sehr langen Abdeckungen, Durchlässen und Verrohrungen, die nicht von den Endpunkten her belichtet sind, empfehlen sich daher Lichteinlassschächte z.B. mit Gitterrost-Abdeckungen. Künstliche Beleuchtung (nur tagsüber) sollte nur in Sonderfällen notwendig sein.

### 5.3.7 Ausstieg/Einlauf im Oberwasser, Kontrolleinrichtungen, Treibgutschutz

Bei der Positionierung des FAA-Ausstieges (Zulauf) im Oberwasser ist darauf zu achten, dass dieser ausreichenden Abstand zum Turbineneinlauf und den dort herrschenden Sogströmungen hat. Bei einer Turbinenanströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s sollte der Mindestabstand 5 m, bei höheren Anströmgeschwindigkeiten 10 m und mehr betragen.

Bei konstantem Stauziel im Oberwasser ist die Einlaufgestaltung als Überlaufschwelle, (mit oder ohne Kronenausschnitt und Schlupfloch) oder Schlitzöffnung meist unproblematisch. Grundsätzlich sind Einlauföffnungen zu empfehlen, die zur exakten Abflusseinstellung angepasst werden können (Abb. 24, links). Schwankende Oberwasserspiegel können innerhalb gewisser Grenzen (0,5–0,8 m) durch senkrechte Einlaufschlitze abgedeckt werden. Bei größeren Spiegelschwankungen sind mehrere Einlauföffnungen in unterschiedlichen Höhenlagen vorzusehen, falls erforderlich mit automatisch geregelteten Verschlüssen.

Im Bereich des Ausstiegs von FAA sollten die Gerinnequerschnitte so gestaltet bzw. vorbereitet werden, dass dort Fischfang/-zähl/-beobachtungs- oder sonstige Detektionseinrichtungen zur Funktionskontrolle installiert werden können (z.B. Kontrollreusen, siehe Abb. 24, rechts).

Der Einlaufbereich von FAA ist durch geeignete bauliche Maßnahmen vor Verklausung und Verlegung zu schützen. Bewährt haben sich hier vor allem sog. Tauchwände (Abb. 24, Abb. 26). Ansonsten werden auch Schwimmbalken oder Grobrechen bzw. „Pfahlrechen“ (Abb. 26, links) verwendet, letztere aber mit geringem Erfolg, wie das Eintreiben von Wasserpflanzen und Treibholz in die anschließende FAA belegen (Abb. 25, rechts). Zur Sicherstellung der Funktionalität der FAA muss eine geeignete Funktionskontrolle und regelmäßige Wartung stattfinden (siehe Kap. 8).



Abb. 24: Regulierbarer Einlauf-/Ausstiegsschlitz mit vorgelagerter Tauchwand (links), rechts: Kontrollreue für Aufstiegs- und Abstiegskontrollen.

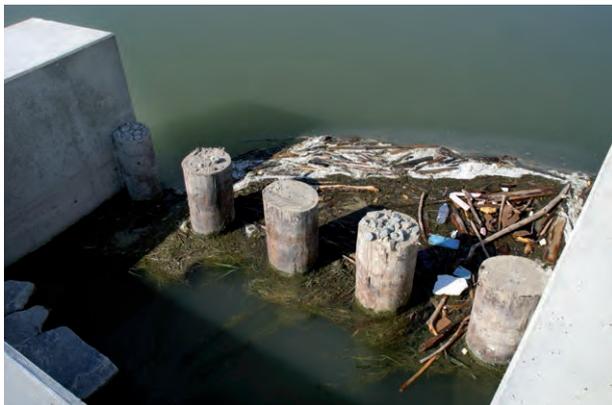


Abb. 25: Pfahlrechen (links) mit unzureichender Schutzwirkung, rechts: Folgewirkung.



Abb. 26: Einlauf-/Ausstiegsbauwerk mit Tauchwand.

## 5.4 Dotation von Fischaufstiegsanlagen

Es gibt wohl kaum ein Thema, das so kontrovers diskutiert wird wie die Frage nach der „richtigen“ Dotationswassermenge von FAA. Dabei ist von vornherein festzustellen, dass es hierzu keine allgemeingültige Antwort gibt. Es existiert weder ein standardisiertes Verfahren noch eine Formel oder Gleichung, die es ermöglichen würde,

- a den notwendigen **Betriebsabfluss** einer FAA ( $Q_B$ )
  - b und den benötigten Abfluss für die **Leitströmung** im Unterwasser der FAA ( $Q_L$ )
- in Form einer geeigneten **Gesamtdotationsmenge** ( $Q_G = Q_B + Q_L$ ) methodisch abzuleiten oder zu errechnen.

Im Wesentlichen beschränkt sich die Diskussion um die Dotationsmengen auf Querbauwerke mit Wasserkraftnutzung, da hier der für die FAA benötigte Abfluss zwangsläufig für die energetische Nutzung verloren geht. Bei Querbauwerken ohne konkurrierende Abfluss-Nutzung wird man von vornherein versuchen, den Gesamtabfluss oder große Anteile davon für den Fischaufstieg zur Verfügung zu stellen (Umbau in Sohlgleiten, Rampen). Wo dies bautechnisch oder aus anderen Gründen nicht möglich ist, stehen dennoch beliebige Anteile des Gesamtabflusses für die Beschickung von Teilrampen oder anderen FAA zur Verfügung. In Fällen ohne konkurrierende Nutzung geht es in der Regel darum, den Betriebsabfluss  $Q_B$  korrekt nach den räumlichen Dimensionen der FAA und den Gefälleverhältnissen zu bemessen und hydraulisch zu berechnen (siehe unten). Nicht berechenbar im eigentlichen Sinn des Wortes ist jedoch ein zusätzlicher Leitströmungsabfluss  $Q_L$  wie er im Falle konkurrierender Nutzungen am Querbauwerk und damit auch konkurrierender Strömungen im Unterwasser desselben in aller Regel erforderlich wird. Die benötigte Leitströmung im Unterwasser einer FAA in ihrer räumlichen Ausdehnung (Volumen), Geschwindigkeit, Lage und Richtung ist von so vielen Variablen und Parametern sowie von deren räumlich-zeitlichen Wechselbeziehungen abhängig, dass sie sich einem standardisierten, allgemein anwendbaren Berechnungsverfahren entzieht.

In der Fachliteratur existieren einige Kennzahlen, welche die für FAA erforderliche Abflussmenge in Relation zur Abflusssituation des Hauptgewässers beschreiben. Nach JUNGWIRTH et al. (1994) wird aus fischökologischer Sicht in Gewässern der Rhithalregion eine Dotation der FAA zur Hauptlaichzeit von 10 % des Abflusses im Gewässer vorgeschlagen. Nach KATOPODIS (1985) sind 3 % des Abflusses des Hauptgewässers als geeignete Dotation für Fischaufstiege anzusehen. LARINIER (2002) gibt als allgemeine Faustzahl für die Größe des FAA-Abflusses 1–5 % des konkurrierenden Abflusses während der Fisch-Wanderperiode an. Dieser Ansatz sei jedoch nur für korrekt positionierte Aufstiegsanlagen gültig. Bei ungünstiger Anordnung des Einstieges im Unterwasser erachtet der Autor weitaus größere Abflussanteile als erforderlich. Als weiteren Orientierungswert für die Gesamtdotation von FAA an großen französischen Flüssen (mittlerer Abfluss mehrere 100 m<sup>3</sup>/s) mit Wasserkraftnutzung benennt LARINIER 10 % des Niedrigwasserabflusses (NQ) als untere Grenze für FAA-Leitströmungsabflüsse. Als weiteren Bezugswert nennt er 1–1,5 % des höchsten Bemessungsabflusses (gemeint ist wohl  $Q_{330}$ ), welcher an den großen französischen Flüssen etwa beim Zweifachen des Mittelwasserabflusses (2 MQ) liegt. Eine Übertragung dieser Faustzahlen auf große bayerische Flüsse (Donau, Inn, Isar, Iller, Lech, Main, Naab, Regen) sei am Beispiel der Donau auf Höhe Ingolstadt dargestellt:

- Der Abfluss während der Hauptwanderperioden im Frühjahr liegt in der Regel bei MQ oder darüber (MQ ca. 300 m<sup>3</sup>/s). 1–5 % des konkurrierenden Abflusses (Bezug MQ) ergäben einen FAA-Bemessungsabfluss von 3–15 m<sup>3</sup>/s. Zieht man den Ausbauabfluss des Donaukraftwerkes Ingolstadt als konkurrierenden Abfluss heran (ca. 500 m<sup>3</sup>/s) so ergäben sich nach diesem Ansatz noch höhere FAA-Abflüsse von 5–25 m<sup>3</sup>/s. Beide Ansätze sind an bestehenden Kraftwerksanlagen praktisch nicht umsetzbar.
- Der Niedrigwasserabfluss der Donau liegt bei ca. 62 m<sup>3</sup>/s, der zugehörige niedrigste FAA-Abfluss (Bemessungsbezug 10 % NQ) nach LARINIER läge somit bei ca. 6,2 m<sup>3</sup>/s.
- Der höchste Bemessungsabfluss ( $Q_{330}$ ) beträgt an der Donau bei Ingolstadt ca. 500 m<sup>3</sup>/s (= ca. 1,6 MQ). Ein FAA-Abfluss von 1–1,5 % dieses höchsten Bemessungsabflusses läge somit bei 5 bis 7,5 m<sup>3</sup> (6,25 m<sup>3</sup>/s).

Alleine die unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen (Beziehungen und Verhältnisse der Abflusshauptwerte zueinander) zwischen den französischen Flüssen und der Donau bei Ingolstadt führen dazu, dass man bei Verwendung der von LARINIER genannten Bemessungsvorgaben (die oft zitiert und vielfältig interpretiert werden, WEICHERT et al. 2013) meist zu ungeeigneten FAA-Dotationsabflüssen kommt. Bei Anwendung von 10 % des Niedrigwasserabflusses der Donau ( $NQ = \text{ca. } 62 \text{ m}^3/\text{s}$ ) als niedrigsten Bemessungsfall, wäre der daraus gewonnene geringste FAA-Abfluss mit  $6,2 \text{ m}^3/\text{s}$  praktisch genauso groß wie der FAA-Abfluss beim höchsten Bemessungsabfluss  $Q_{330}$  (ca.  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ) bei welchem sich ein FAA-Abfluss von ca.  $6,25 \text{ m}^3/\text{s}$  (1,5 %) ergäbe. Bei Verwendung von 2 MQ (ca.  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ) als höchsten Donau-Bemessungsabfluss läge der daraus resultierende höchste FAA-Abfluss mit ca.  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (1–1,5 %) auch nur unwesentlich höher als der geringste FAA-Abfluss. Derartige Dotationsmengen würden gewaltige geometrische Dimensionierungen der FAA und entsprechend hohe Baukosten nach sich ziehen ebenso wie hohe Erzeugungsverluste.

Diese Beispiele zeigen, dass die gängigen Faustzahlen und prozentualen Verhältnissen aus der „Literatur“, die an anderen Flüssen mit ganz spezifischen und in der Regel anderen hydrologischen Verhältnissen und an Kraftwerksanlagen mit anderem Ausbaugrad abgeleitet bzw. abgeschätzt wurden, keine geeignete Bemessungs- bzw. Planungsgrundlage für die Dotationsabflüsse von Fischaufstiegsanlagen sind. Grundsätzlich ist hinsichtlich der Dotationsmenge eine standortbezogene Einzelfallbetrachtung erforderlich. Prozentuale Faustzahlen aus der Literatur oder aus hydraulischen Untersuchungen an anderen FAA-Standorten auf ein konkretes FAA-Planungsvorhaben eins zu eins zu übertragen, ist meist nicht zielführend.

**Tabelle 9: Beispielsammlung von Wehr-/Kraftwerksanlagen mit FAA mit dazugehörigen Abflusswerten bzw. Dotationsmengen/-verhältnissen.**

Projekt	MQ/MNQ-Hauptfluss ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Dotation FAA ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Dotation FAA (% MQ <sub>Hauptfluss</sub> )	Dotation FAA (% MNQ <sub>Hauptfluss</sub> )	Gewässerregion Inbetriebnahme Bemerkung
Donaustufe Vohburg	300/113	3	1	2,6	Barbenregion 1992: Umgehungssystem mit integriertem Zubringer (Paar). Gesamtdotation bei Mündung $3 + 9 \text{ m}^3/\text{s}$
Lechstufe Kinsau	78/26	0,7	1	2,7	Äschen-/Barbenregion 1992: Umgehungsbach
Isarstufe Gottfrieding	168/88	0,55/1,5	0,3/0,9	0,6/1,7	Barbenregion 2009: Schlitzpass ( $Q=0,55\text{m}^3/\text{s}$ ) mit Dotationsleitung ( $Q$ bis $1,5\text{m}^3/\text{s}$ )
Isarstufe Bad Tölz	28/11	0,53	1,9	4,5	Äschenregion 2006: Tümpelpass
Mainstufe Randersacker	110/34	1,0	0,9	2,9	Brachsenregion 2007: Umgehungsbach
Illerwehr Altenstadt	54,8/7,68	0,3/0,5	0,6/0,9	3,9/6,5	Äschenregion 2009: Tümpelpass
Illerwehr Martinszell	46,9/9,36	0,2 bzw. 1,8	0,4 bzw. 3,8	2,1 bzw. 19	Äschenregion Tümpelpass u. Raugerinne 2010
Pegnitzwehr Wolfsgrubermühle	11,5/6,8	0,35	3	5	Barbenregion 2006: Umgehungsbach
Alzwehr Trostberg	66/7,5 <sub>(Mindestwasserabfluss)</sub>	0,35	0,5	4,6	Äschen-/Barbenregion 2009: Raugerinne-Beckenpass an Restwasserkraftwerk

In Tabelle 9 sind beispielhaft die Relationen zwischen Abfluss im Hauptgewässer und in der FAA (Gesamtdotation) bei einigen neueren Anlagen in Bayern bzw. im angrenzenden voralpinen Raum dargestellt:

Aus dieser Beispielsammlung geht hervor, dass bei größeren Fließgewässern ( $MQ > 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) bzw. Wehr-/Kraftwerksanlagen die FAA-Gesamtdotation bei neueren Anlagen im Bereich von ca. 1–1,5 % der MQ-Abflüsse lagen, bezogen auf den MNQ bei ca. 2–5 %.

## Hinweise zur Abschätzung der Gesamtdotationsmenge $Q_G$

Grundsätzlich gilt: Einfache Standard-Lösungen zur Dotationsermittlung gibt es nicht. Vielmehr muss sich der (fachkundige) Planer in jedem Einzelfall in einem iterativen Planungs- und Abwägungsprozess immer wieder aufs Neue an die geeignete Dotation herantasten.

Einige Leitsätze für die Ermittlung der Gesamtdotationsmenge gibt es dennoch:

- Je näher der unterwasserseitige Einstieg der FAA an der Idealposition/Schlüsselposition (vgl. Kap. 5.2.1) liegt, umso geringer kann  $Q_G$  sein.

Wenn es bei Planung und Bau gelingt, die FAA Mündung direkt am Fuße des Querbauwerkes und im Bereich des Hauptwanderkorridors zu platzieren, dann kann der Betriebsabfluss der FAA im Einzelfall ausreichen, um sowohl die Auffindbarkeit als auch die Passierbarkeit der FAA zu gewährleisten. Voraussetzung ist weiter, dass keine störenden Kehrströmungen etc. im Einstiegsbereich der FAA vorliegen oder Störungen des Wander-/Leitströmungskorridors konstruktiv beseitigt werden können. In diesen Fällen ergibt sich die Gesamtdotationsmenge zu

$$Q_G = Q_B$$

- Je weiter hingegen der FAA-Einstieg von der Ideal-Position abrückt, umso stärker muss in der Regel die Leitströmungs-Komponente in ihrer räumlichen und vektoriellen (Reichweite) Dimension ausgeprägt sein, um die Funktionsfähigkeit der Anlage zu gewährleisten.

Diese Beziehung zwischen nicht optimaler Mündungslage und Leitströmungs-Ausprägung ist durch Berechnungen/Formeln nicht zu erfassen, so dass in solchen Fällen nur Erfahrungswerte gewisse Anhaltspunkte für die Bemessung von  $Q_G$  liefern können. Als grobe Orientierungswerte für Leitströmungsdotationsmengen bei **suboptimalen** Einstiegslösungen können 1–3 % des konkurrierenden Abflusses – bei sehr ungünstigen Einstiegspositionen – noch höhere Anteile desselben herangezogen werden.

- Wenn die FAA an Schlüsselstellen für Großsalmoniden oder anadrome Arten (Verbindung zu Huchen-Laichgewässer, Hauptbindungsgewässer oder Laichgewässer für Lachs und sonstige anadrome Arten) geplant ist, sind gesonderte, ggf. abweichende Bemessungssätze und Leitströmungslösungen erforderlich.

Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass größere Dotationswassermengen zur Steigerung der Leitströmung ( $Q_L$ ), die über den Betriebsabfluss der FAA ( $Q_B$ ) hinausgehen und beispielsweise über Dotationsleitungen zusätzlich eingespeist werden, nicht ganzjährig zur Verfügung gestellt werden müssen. Die Zusatzdotation<sup>11</sup> kann vielmehr auf die Hauptwanderperioden der Zielfischarten begrenzt werden.

<sup>11</sup> Die Zusatzdotationsmengen zur Leitströmungsverstärkung können grundsätzlich auch energetisch genutzt werden.

## Hinweise zur Abschätzung des Betriebsabflusses $Q_B$

Eine größenordnungsweise Vorabschätzung der erforderlichen Mindest-Dotation einer FAA an einem Planungsstandort kann über Abschätzung des notwendigen Betriebsabflusses  $Q_B$  zumindest für gerinneförmige FAA (Rechteckgerinne) mit Beckenstrukturen erfolgen.

Für die Ermittlung von  $Q_B$  sind dabei folgende Grundlagen bzw. Eingangsdaten erforderlich:

- die Bestimmung der Fließgewässerregion (Fischregion),

- die Bestimmung der planerischen Absturzhöhen (Wasserspiegeldifferenzen) zwischen den einzelnen Becken der FAA und der zugehörigen Bemessungswerte der spezifischen Leistungsdichte gemäß den Vorgaben für die Fließgewässerregion (siehe Kap. 5.3.3),
- die Festlegung der größenbestimmenden Zielfischarten und die Ableitung der räumlichen Dimension, letztlich des Wasservolumens der Becken der FAA hieraus.

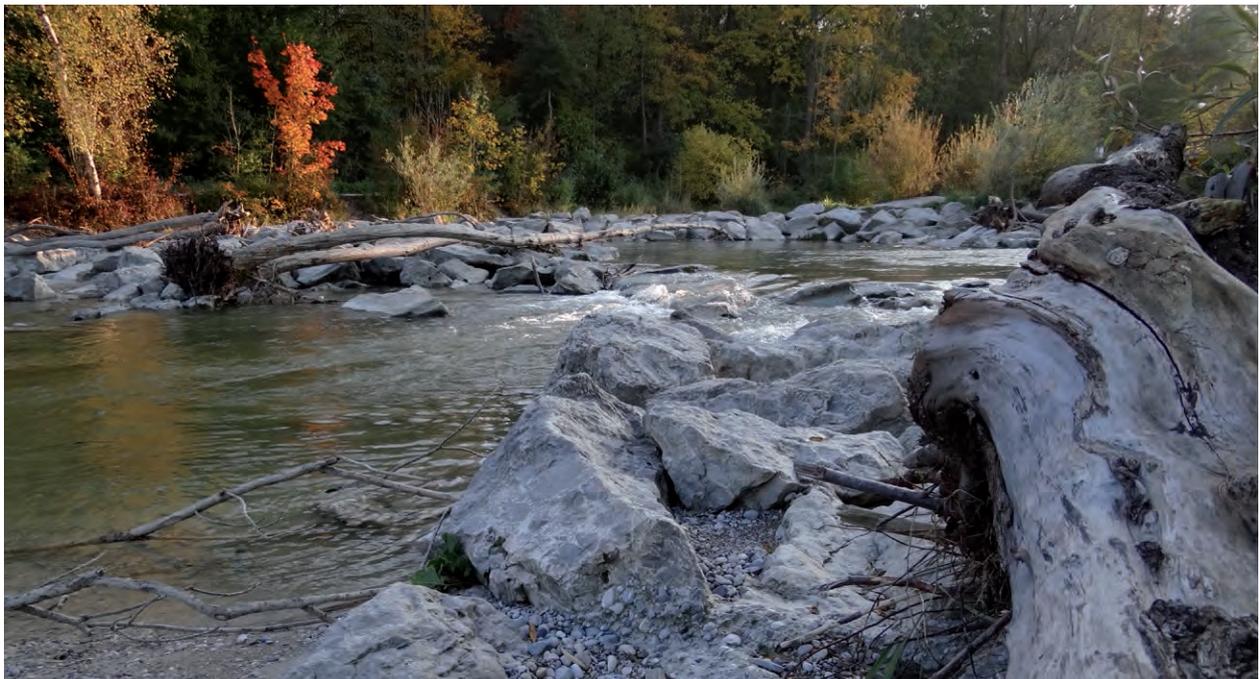
$Q_B$  kann damit näherungsweise über die „Leistungsformel“ abgeschätzt werden:

$$Q_B = P_D \cdot l_w \cdot h_m \cdot b_m / \rho_w \cdot g \cdot \Delta h$$

Mit  $P_D$  = spezifische Leistungsdichte,  $l_w$  = lichte Beckenlänge,  $h_m$  = mittlere Wassertiefe,  $b_m$  = mittlere Becken-Breite,  $\rho_w$  = Dichte des Wassers,  $g$  = Erdbeschleunigung,  $\Delta h$  = Absturzhöhe von Becken zu Becken.

Berechnungsbeispiel: An einer bestehenden Wehr-Kraftwerksanlage in der Barbenregion soll eine FAA mit Beckenstrukturen errichtet werden. Der Grenzwert für die spezifische Leistungsdichte liegt bei  $150 \text{ W/m}^3$ . Der Bemessungswert wird auf  $130 \text{ W/m}^3$  angesetzt. Größte Zielfischart, nach der die räumliche Beckendimension auszurichten ist, ist der Huchen. Die Beckenlänge wird daher auf 3 m, die Breite auf 2,25 m und die mittlere Wassertiefe auf 1,07 m angesetzt. Für die Absturzhöhe zwischen den Becken wird ein Bemessungswert von 0,13 m angesetzt: Hieraus errechnet sich  $Q_B$  näherungsweise zu ca. **0,74 m<sup>3</sup>/s**.

Es wird betont, dass die über obige Beziehung ermittelten Abflüsse nur ungefähre Größenordnungen des (minimalen) Betriebsabflusses von FAA im Sinne einer Vorabschätzung darstellen, die in der praktischen Umsetzung abweichen können. Sie ersetzen also keineswegs die genaue Abflussermittlung im Planungsprozess anhand exakter geometrischer und hydraulischer Bemessungswerte der einzelnen Konstruktionstypen. Grund dafür ist, dass die Leistungsformel die Schlitzweite der FAA nicht berücksichtigt. Dadurch sind die ermittelten Näherungswerte oft nicht realisierbar, da bei den gegebenen Schlitzweiten die erforderliche Mindesttiefe nicht eingehalten werden kann. Zur genaueren Berechnung von  $Q_B$  für einen Schlitzpass sei an dieser Stelle auf den Anhang II, Anlage 2 verwiesen. Anhaltspunkte für die Dotation von FAA liefert auch Tabelle 10.



## 6 Typen von Fischaufstiegsanlagen

### 6.1 Definition und Konstruktionstypen

Fischaufstiegsanlagen sind „bauliche Einrichtungen, die dem vorhandenen Fischbestand und/oder anderen aquatischen Lebewesen (Benthosorganismen) die Überwindung eines künstlich geschaffenen Hindernisses in Richtung flussaufwärts ermöglichen“ (JUNGWIRTH & PELIKAN 1989). Dieser allgemeinen und umfassenden Definition schließt sich das Praxishandbuch an und greift damit die in neueren Publikationen vorgenommene generelle Trennung in fischpassierbare Quer- und Kreuzungsbauwerke und Fischaufstiegsanlagen DWA-M 509 (2014) bewusst nicht auf. Vielmehr werden alle unten aufgeführten Anlagen- und Konstruktionstypen dem Sammelbegriff **Fischaufstiegsanlagen (FAA)** zugeordnet.

Die Maßnahmen zur Herstellung der stromaufgerichteten Fischpassage bzw. die hierzu geeigneten Anlagentypen werden folgendermaßen klassifiziert:

- 1 **Rückbau** des Wanderhindernisses
- 2 **Raue Rampen, Sohlgleiten**, die ganz oder weitgehend aus natürlichen Materialien gebaut werden und entweder die gesamte Breite der Gewässersohle und entsprechend den gesamten Abfluss (Vollrampen/-gleiten) oder Teile (Teilrampen/-gleiten) davon ein- bzw. aufnehmen können.
- 3 **Gewässertypische Umgebungsgewässer und Tümpelpässe**, die in mehr oder auch weniger naturnaher Bauweise im Nebenschluss z.T. auf kurzem Wege (Tümpelpass) z.T. großräumig (Umgebungsgewässer) um das Wanderhindernis herumführen.
- 4 **Technische, beckenartige und gerinneartige Fischpässe**, mit überwiegend geometrischer Gerinne-Grundform, die ganz oder größtenteils aus künstlichen oder stark bearbeiteten Materialien (Beton, Holzbretter, Kunststoff) durch oder über das Wanderhindernis hinweg führen (Beckenpass, Schlitzpass, Raugerinne-Beckenpass, Denilpass, Aalleiter, Mäanderfischpass, Borstenpass etc.).
- 5 **Sonderkonstruktionen** (Fischschleusen, Fischaufzüge)

Aus der Vielzahl von Konstruktionstypen werden im Rahmen dieser Broschüre nur die 5 folgenden behandelt:

- a Rampen/Sohlgleiten
- b Umgebungsgewässer
- c Tümpelpass
- d Schlitzpass
- e Raugerinne-Beckenpass

Sie werden als erprobte und für die bayerischen Fließgewässer allgemein gut geeignete Bautypen empfohlen. In Einzelfällen sind durchaus auch andere Bautypen oder Sonderkonstruktionen heranzuziehen. Hier wird auf die einschlägigen Publikationen insbesondere DWA-M 509 (2014) verwiesen. Als Sonderform einer FAA, die eine Kombinationsnutzung als Kanu-/Bootsrutsche und als Fischaufstiegsanlage ermöglicht, wird ergänzend der **Borstenfischpass** betrachtet.

Die FAA-Typen a) bis c) sind **naturnahe** Bauweisen aus überwiegend natürlichen Baumaterialien mit unregelmäßigen Konturen, Strukturen und Formen hergestellt, während d) und e) zu den **technischen** FAA zählen.

An dieser Stelle sei hervorgehoben, dass die Unterscheidung in „naturnahe“ und „technische“ Bauweisen, wie sie hier rein deskriptiv verwendet wird, **keinerlei Qualifizierung beinhaltet in „gute“ naturnahe und „schlechtere“ technische Lösungen**. Vielmehr muss betont werden, dass **sämtliche** Bauweisen technisch genauestens geplant und hydraulisch berechnet werden müssen

und gerade die optisch gefälligeren, naturnahen Bauweisen in ihrer Umsetzung eines noch weit- aus größeren Maßes an Erfahrung und an Baukunst bedürfen, wenn sie denn funktionstauglich sein sollen, als die besser berechenbaren und exakter umsetzbaren technischen Anlagen.

Weiterhin wird darauf verwiesen, dass die notwendigerweise sehr umfangreiche **hydraulische Bemessung und Berechnung** für die o.g. FAA-Typen (Ausnahme: Berechnungsbeispiel für einen Schlitzpass) **nicht Gegenstand dieser Broschüre** sind. Auch hierfür bieten das Merkblatt DWA-M 509 (2014), GEBLER (2009) „Fischwege und Sohlgleiten Band I“ und DWA (2009) „Natur- nahe Sohlgleiten“ umfassende, fachlich fundierte Grundlagen.

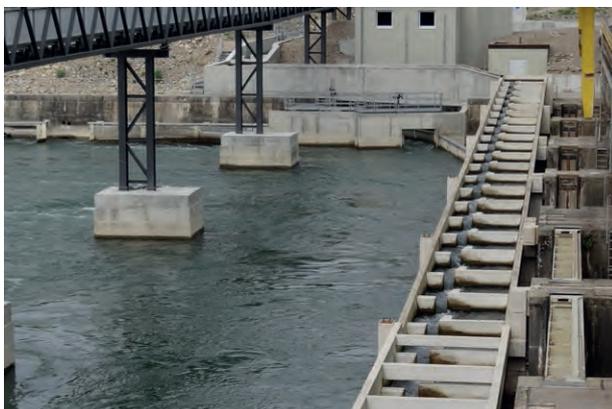
## Neue Entwicklungen und Sonderlösungen

Die Zeit bleibt nicht stehen, auch nicht bei der Entwicklung von Fischaufstiegssystemen. In den letzten Jahren wurden im bayerischen Raum und in Österreich neue Ansätze für den Fischaufstieg nach dem Prinzip der Wasserkraftschnecke entworfen. Es handelt sich um Fischaufstiegsschnecken oder um sog. Dreh-Rohr-Wasserkraftschnecken mit integrierter FAA, die in Pilotanlagen realisiert wurden (SVK 2015). Ausreichend belastbare Untersuchungen hinsichtlich Bemessung, Auffindbarkeit und Passierbarkeit der Anlagen liegen noch nicht vor, so dass sie in diesem Praxishandbuch nicht detailliert behandelt oder empfohlen werden können.

Im Bereich der Sonderlösungen sind Fischschleusen anzusiedeln, welche beispielweise in beste- hende aber nicht mehr genutzte Grundablässe von Talsperren eingebaut werden können. Gerade für Talsperren und Staustufen mit teils sehr hohen Staumauern und beengten Verhältnissen scheiden herkömmliche FAA-Systeme (becken- oder gerinneartige Anlagen) meist aus. An einer Pilotanlage am Schwarzen Regen (Kraftwerk Höllenstein) konnte die Funktionsfähigkeit einer derartigen Fischschleuse nachgewiesen werden (FISCHER et al. 2015, FISCHER & SCHMALZ 2015, SCHMALZ & THÜRMER 2015).

Als Sonderlösungen können auch FAA mit komplexen Einstiegsituationen bezeichnet werden, wie sie an einigen großen Wasserkraftanlagen und an großen Flüssen in jüngster Zeit realisiert wurden und wie sie an großen Bestandsanlagen oder an Neubauanlagen künftig zum Einsatz kommen sollten. Dabei werden herkömmliche FAA-Bauweisen, wie nachfolgend beschrieben (Schlitzpass, Raugerinne-Beckenpass, Umgehungsäbäche, etc.), hinsichtlich ihrer unterwassersei- tigen Einstiegsituationen in vielfältiger Art und Weise miteinander kombiniert. Solch komplexe Mündungs-/Einstiegsituationen zu planen ist gerade bei Großanlagen der Wasserkraft mit star- ken konkurrierenden Strömungen (Turbinenabfluss, Wehrabfluss) und großen räumlichen Di- mensionen (große Gewässerbreite, große Breite Turbinenabflussbereich) unabdingbar, um eine gute Durchgängigkeit am jeweiligen Standort herzustellen. Als Beispiel sei das Hochrhein-Kraft-

Abb. 27 links: Überleitungs- Schlitzpass vom Trennpfeiler (FAA Mündungen 3 u. 4) zum rechten Ufer. Im Hinter- grund FAA Mündung 2 über dem Saugschlauch, Rechts: FAA-Mündung 1 mit Überleitungs-Schlitzpass und Beginn des Umgehungs- bachs (Raugerinne-Beckenpass)



werk Ryburg-Schwörstadt genannt. Dort wurden insgesamt 4 unterwasserseitige Einstiegsstellen errichtet (siehe Abb. 27). Die am Trennpfeiler befindlichen Einstiege werden über einen Schlitzpass quer über den Turbinenauslass des Kraftwerks zum rechten Ufer geführt und dort mit den anderen Ausstiegssträngen (Schlitzpass und naturnaher Umgebungsbach) zusammengeführt.

## 6.2 Rückbau

Ehe an einem Wanderhindernis über konstruktive Möglichkeiten für eine FAA nachgedacht wird, sollte zuerst (wo immer möglich) der Rückbau oder Teilrückbau der Wanderbarriere erwogen werden. Nicht wenige alte Sohl- oder Regelbauwerke haben heute ihre einstige Funktion eingebüßt. Der Rückbau ist die nachhaltigste Lösung, die allen Gewässerorganismen sowie dem Geschiebe die ungehinderte Passage ermöglicht und es kann dem Gewässer auf diese Weise ein Stück seines ursprünglichen Charakters zurückgegeben werden. Allerdings müssen die Konsequenzen eines Rückbaus vorher eingehend von wasserwirtschaftlicher Seite geprüft werden, um keine Nutzungen oder Schutzmaßnahmen zu gefährden.

Abb. 28: Rückgebautes Wehr, Partnach, Garmisch-Partenkirchen.



## 6.3 Sohlrampen, Sohlgleiten

Sohlenstufen werden gemäß wasserbaulicher Definition nach dem Gefälle in

- Sohlenrampen mit Neigungen zwischen 1:3 bis 1:10 und
- Sohlgleiten mit Neigungen zwischen 1:10 bis 1:30 und flacher

unterschieden (DIN 4047 Teil 5). Hinsichtlich der Fischpassierbarkeit wirken größere Gefälle als 1:15 sehr selektiv und können nur von schwimmstarken Individuen überwunden werden. Daher sind nach obiger Definition nur Sohl(en)gleiten geeignete Fischaufstiegsanlagen. Dennoch wird im Folgenden der eingebürgerte Begriff „Rampe“ synonym zur „Gleite“ verwendet, wohl wissend, dass im Hinblick auf FAA nur Anlagen mit Neigungen bis maximal 1:15 und flacher gemeint sind.

Bei Rampenbauwerken ist grundsätzlich zwischen solchen zu unterscheiden, die sich über die gesamte Flussbreite erstrecken (Voll-Rampe/-Gleite) und den gesamten Abfluss von Nieder- bis zum Hochwasser sowie den gesamten Geschiebetrieb abführen (Abb. 29, links) und Teilrampen/-gleiten, die nicht über das gesamte Abflussprofil reichen und dementsprechend nur mit einem Teil des Abflusses dotiert werden (Abb. 29, rechts).

Abb. 29: links: Sohlgleite (Voll-Gleite) mit Beckenstruktur, rechts: Teil-Gleite als umgebauete Sohlschwelle (Äschenregion): vorbildliche Lösung: Lage der FAA auf der Pralluferseite, seitlicher Zugang aus dem Schwellenbereich in die Gleite möglich, zusätzlich Kanurutsche.

Der Aufbau des hydraulisch wirksamen Rampenkörpers erfolgt in der Regel aus Wasserbausteinen (möglichst ortstypische, in jedem Falle frostsichere Steinart verwenden) geeigneter Größenklassen und Blocksteinen (Übergrößen, schlanke Einzelsteine) als Schwellen-Baumaterial oder als Störsteine.

Eine wesentliches Qualitätsmerkmal naturnaher Rampen/Sohlgleiten ist, dass sie, im Gegensatz zu technischen FAA (mit meist nur einem Wanderkorridor), je nach Abflussbedingungen vertikal und in der Fläche ein Mosaik aus unterschiedlichen hydraulischen und morphologischen Rahmenbedingungen und damit unterschiedliche Wanderkorridore zur Verfügung stellen. Nach DWA (2009) werden folgende Kategorien von Wanderkorridoren unterschieden mit zugehörigen Grenzwerten (nach Fließgewässerregion) für die Fließgeschwindigkeiten im jeweiligen Wanderkorridor:



**A:** Grenzbereich der Sohle und Lückensystem – bodengebundene Kleinfischarten und Jungfische (Fließgeschwindigkeitsgrenzwerte  $\geq 0,2$  m/s)

**B:** innerhalb Rauigkeitshöhe ( $\geq 15$  cm) und strömungsreduzierter Grenzschicht direkt darüber – Fische mit einer Körperlänge unter 30 cm (Grenzwerte je nach Gewässerregion: 0,2–0,5 m/s)

**C1:** oberhalb Rauigkeitshöhe, Freiwasser, fließende Welle (ohne Schlitze, Überläufe, Engstellen) – Fische mit einer Körperlänge über 30 cm (Grenzwerte 0,6–1,5 m/s)

**C2:** bei gleichmäßigen Sohlgleiten ohne Schutzstrukturen (oberhalb der Rauigkeit) unterteilt nach Bau werkslänge a) bis 5 m (Grenzwerte wie C1) und b) bis 10 m (Grenzwerte 0,5–1,2 m/s)

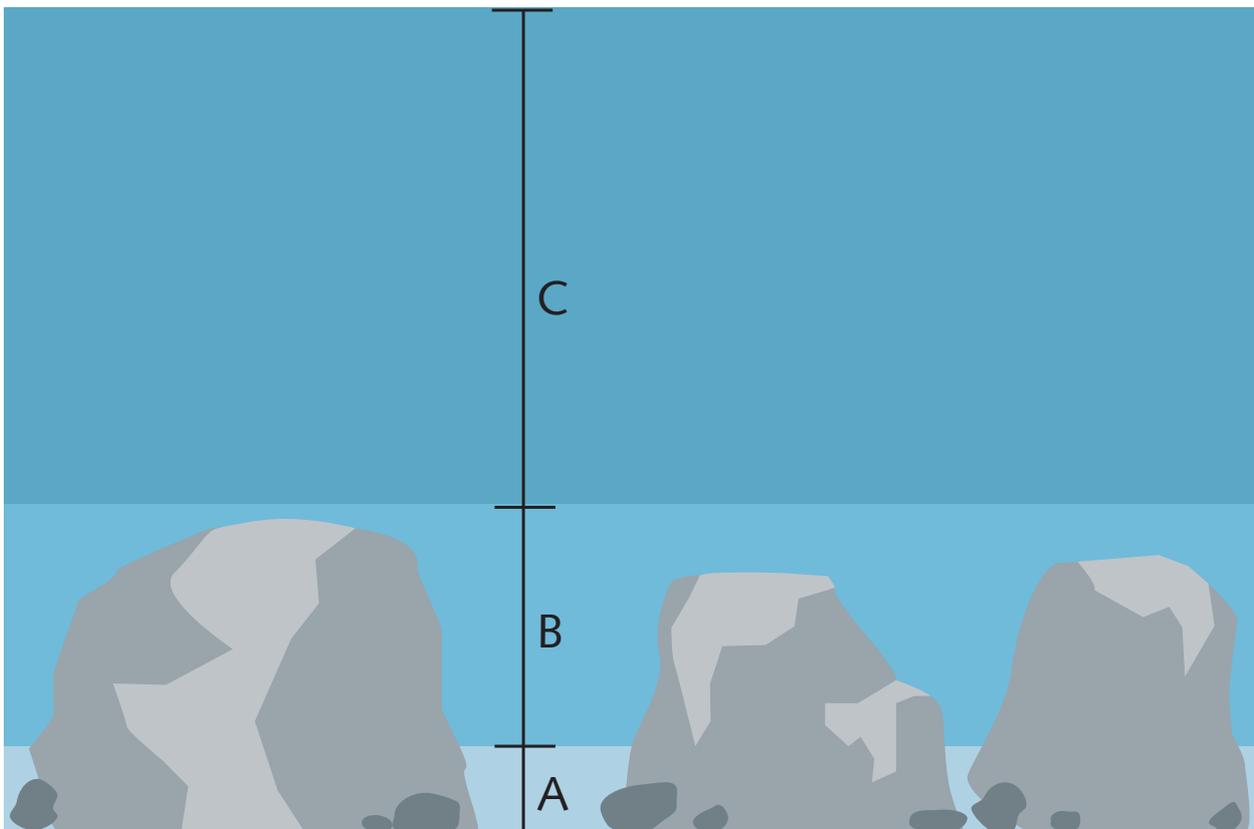


Abb. 30: Schematische Darstellung der Wanderkorridore A bis C innerhalb einer Rampe/Sohlgleite (nach DWA 2009 geändert).

**D1:** Durchlässe bei Beckenstrukturen (oberhalb Rauigkeit) mit Grenzwerten für die maximale Geschwindigkeit je nach Region von 1,4–2,2 m/s

**D2:** Jets in Niedrigwasserrinnen bei Störsteinbauweisen mit Grenzwerten von 1,0–2,0 m/s.

Fischpassierbare Gleiten oder Fischrampen können in strukturell unterschiedlichen Bautypen erstellt werden, entweder als

- **flächenhafte Raugerinne** mit gleichmäßiger, weitgehend homogener Rauigkeit (Oberfläche aus gesetzter oder geschütteter Stein-/Grobkornlage). Um auch bei niedrigen Abflüssen einen ausreichend tiefen Wanderkorridor zu erhalten sind asymmetrische Querprofile oder abgestufte Profile mit Berme (horizontaler Böschungsabsatz) und Aufstiegsrinne zu empfehlen.
- **flächige Raugerinne mit Störsteinen** (nach bestimmtem Raster gesetzte Störsteine) zur Erhöhung des Fließwiderstandes und der Wassertiefen im Wanderkorridor. Auch hier sollten asymmetrische oder v-förmige Profile mit einem Niedrigabflusskorridor vorgesehen werden.
- **Raugerinne mit Beckenstruktur**, wobei durch linienförmige, mehr oder weniger aufgelöste oder in bestimmten Mustern (Rauten-Gitterstruktur) angeordnete Steinriegel, die primär quer zur Fließrichtung über die Rampe geführt werden, eine Abfolge von Schwellen (mit Übergängen/Schlitzten) und Becken entsteht.

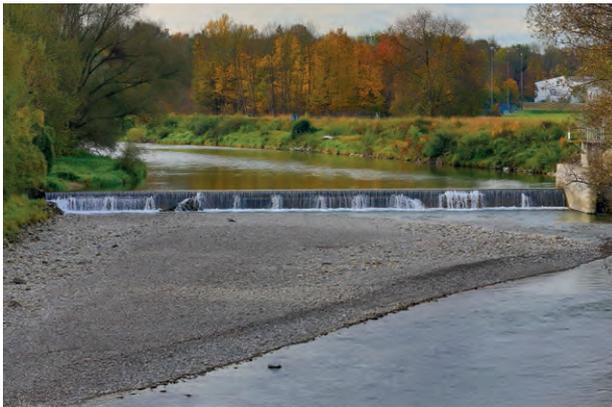


Abb. 31: Umbau eines Wehrs (Bild links) an der Alz bei Burgkirchen in eine zweigeteilte Sohlgleite (Bild rechts) mit Beckenstruktur und Blocksteinstruktur; dazwischen verläuft eine „Kanugasse“, Inbetriebnahme Juni 2015

## Sohlgleiten mit Beckenstruktur:

Die erforderliche Zahl der Becken ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$n = \frac{h_{ges}}{\Delta h} - 1$$

mit  $h_{ges}$  = gesamte zu überwindende Höhendifferenz zwischen Unter- und Oberwasserspiegel und  $\Delta h$  = Wasserspiegeldifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Becken gemäß den fischregions-spezifischen Grenz- bzw. Bemessungswerten (0,1-0,2 m gemäß Tabelle 7).

Die zur Riegelbildung verwendeten Blocksteine werden so gesetzt, dass in den Riegeln eine oder mehrere definierte Schlitzöffnungen/Strahlübergänge entstehen, durch die der Bemessungsabfluss abgeführt wird und die zum Wanderkorridor gehören (Engstellen mit Maximalgeschwindigkeiten). Beckenförmige Sohlgleiten sind besonders gut geeignet, definierte hydraulische Bedingungen (Höhensprünge, Fließgeschwindigkeiten, Leistungsdichten) herzustellen und dabei auch die notwendigen Wassertiefen für die Fischpassage einzuhalten. Diese sind daher grundsätzlich bei größeren Höhendifferenzen und Abwicklungslängen zu bevorzugen. Durch asymmetrische oder muldenförmige Ausbildung der Fischrampen im Querprofil und durch das Hochziehen der Querriegel an den Uferböschungen steht einerseits bei niedrigen Abflüssen eine Niedrigwasser-rinne als Wanderkorridor zu Verfügung, andererseits eröffnen sich bei Abflüssen, die über den Bemessungsabfluss ansteigenden, in den jeweiligen Ufer-Randbereichen der Sohlgleite immer wieder neue Wanderkorridore mit geeigneten moderaten Fließgeschwindigkeiten für die Fischpassage.

- $h_0$  Wassertiefe oberhalb des Riegels
- $h_U$  Wassertiefe unterhalb des Riegels
- $h_{\bar{u}}$  Überfallhöhe über Stein
- $L_R$  Riegelabstand
- $L_B$  Beckenlänge
- $L_S$  Steinlänge
- $W_{min}$  Wasserspiegel bei MNQ oder Q30
- $W$  Wasserspiegel bei MQ
- $\Delta h$  WSP – Unterschied zwischen zwei Becken

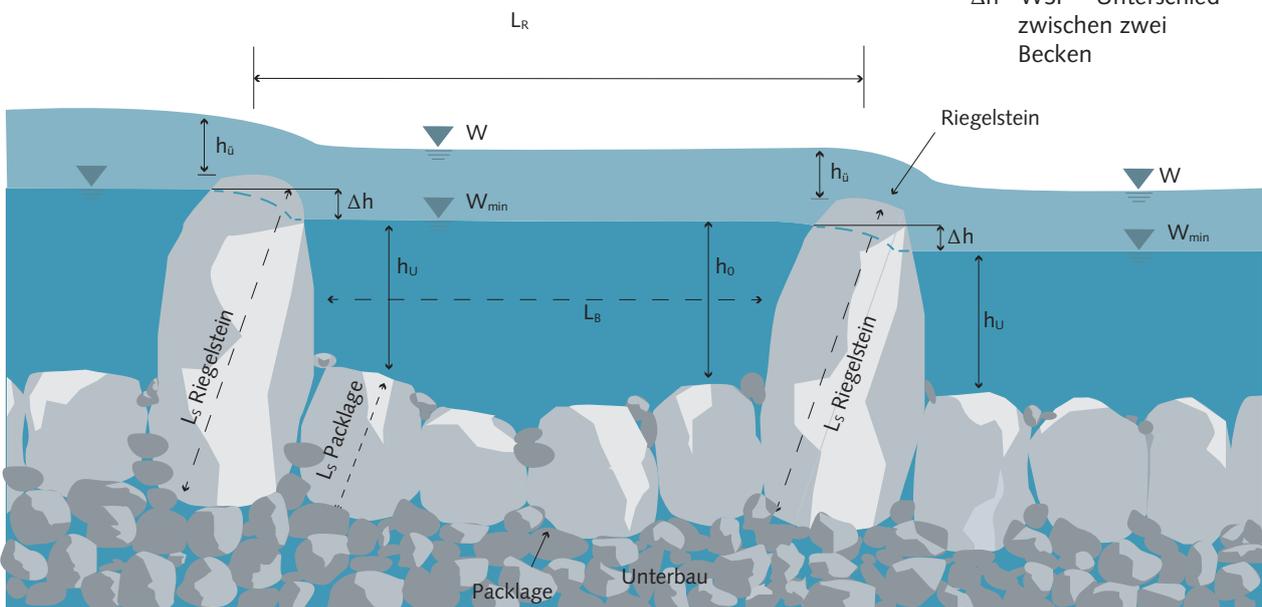
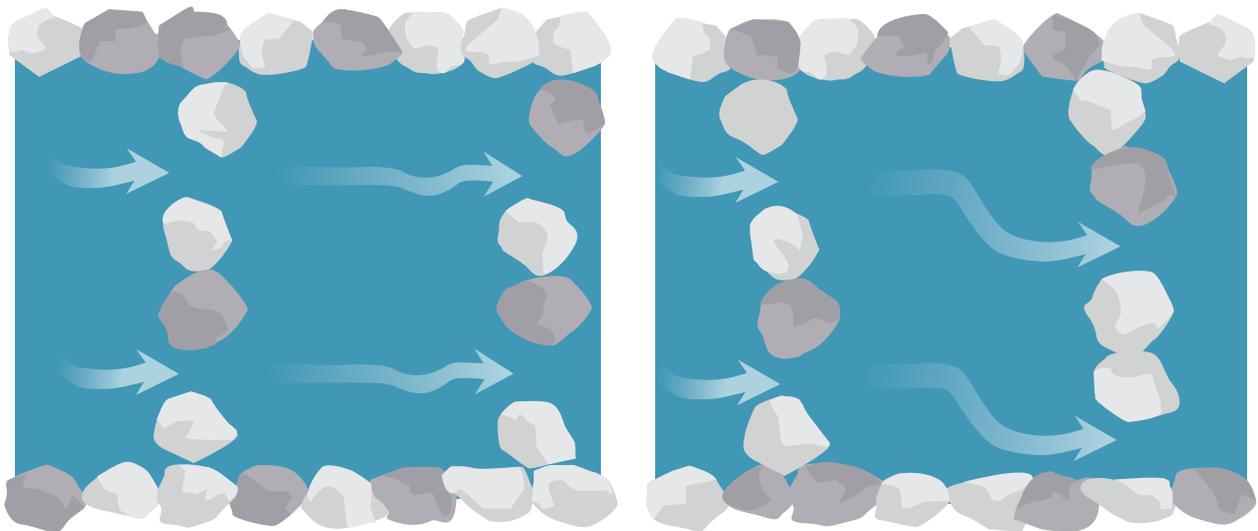


Abb. 32: Beispiellängsschnitt durch beckenförmige Sohlgleite mit  $\Delta h=0,1$  m (Metapotamal), lichten Beckenlängen von 10 m und Wassertiefen von 1 m (nach GEBLER 2009 verändert).

Von Becken zu Becken können je nach verfügbarer Wassermenge ein oder mehrere Beckenübergänge unterschiedlicher Breite versetzt angeordnet werden. Die Mindestschlitzweiten richten sich nach den größtenbestimmenden Fischarten (Mindestbreite Einzelschlitz: 20 cm). Wesentlich beim Bau der Übergänge/Schlitzte zwischen den Becken ist,

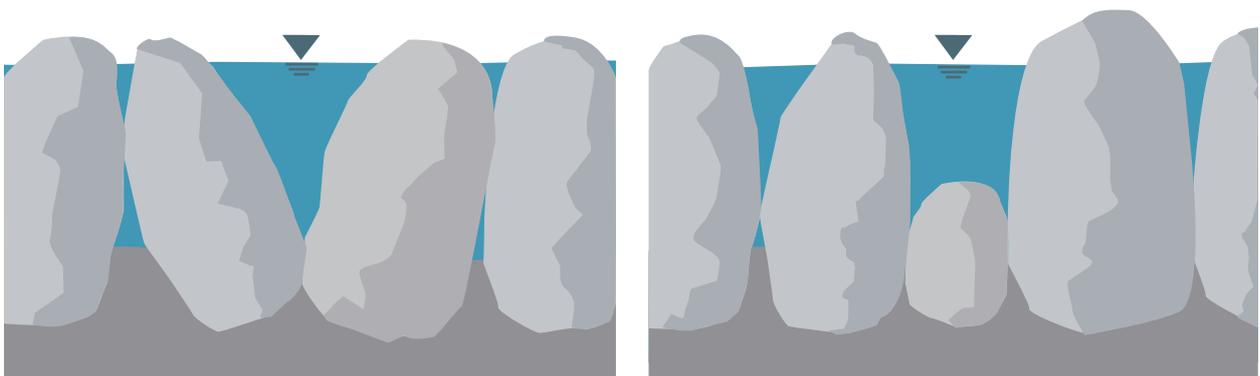
- dass die Schlitzte in aufeinanderfolgenden Schwellen seitlich versetzt angeordnet sind, so dass keine Strömungsbeschleunigung (hydraulischer Kurzschluss) zwischen den Becken entstehen kann (Abb. 33),
- dass rechteckige oder trapezförmige Schlitzte/Ausschnitte gebildet werden und keine V-förmigen Öffnungen entstehen (Abb. 34).



Falsch!

Richtig!

Abb. 33: Kurzschlussströmung (links) und korrekte (rechts) Strömunglenkung (nach GEBLER 2009 geändert).



Falsch!

Richtig!

Abb. 34: Falsche und korrekte Ausbildung von Schlitzten (nach DWA 2009 verändert).

## 6.4 Umgebungsgewässer (Umgebungsbach)

Als Umgebungsgewässer werden in dieser Broschüre naturnah gestaltete FAA definiert, welche das Querbauwerk großräumig umgehen, dabei den Hauptrückstaubereich im Oberwasser im günstigsten Fall soweit überbrücken, dass die aufsteigenden Fische in einen Fließgewässerlebensraum im Hauptgewässer zurückgeführt werden. Mit der Anlage von Umgebungsbächen können nicht nur der Fischaufstieg gewährleistet, sondern ökologische Mehrfachfunktionen erfüllt werden:

- Herstellung der Durchgängigkeit flussaufwärts und lateral
- Schaffung von Fließgewässerlebensraum mit funktionsfähigen fischökologischen Teilhabitaten insbesondere von
- Laichgebieten (Kieslaichplätze) und Jungfischhabitaten für fließwassertypische Fischarten.

Abb. 35: Umgebungsbach an der Lechstufe Kinsau (Baujahr 1992) mit laichenden Huchen (März 2005); gewässerregionstypische Gefälle- und Substratverhältnisse (Äschenregion).



Umgebungsgewässer können gerade in mehrfach gestauten und dadurch in ihrer Gesamtfunktion erheblich denaturierten Gewässerabschnitten (Stauhaltungsketten) zu einer bedeutenden gesamtökologischen Zustandsverbesserung führen (Herstellung des guten Zustandes oder des guten Potenzials), da in solchen Fällen die genannten Mehrfachfunktionen in vollem Umfang zum Tragen kommen. Weniger sinnvoll ist es, ein Umgebungsgewässer an einem solitären Querbauwerk zu errichten, an das sich im Oberwasser eine weitgehend intakte Fließstrecke mit guter Lebensraumausstattung und -funktion anschließt. In derartigen Fällen ist das bestehende Defizit mit der Herstellung der Durchgängigkeit über eine „kurze“ FAA (Rampe/Schlitzpass/Tümpelpass) bestmöglich ausgeglichen und dies auf ökologisch und ökonomisch wesentlich effizientere Art und Weise.

Wesentlich bei Planung und Bau von Umgebungsbächen ist, dass diese hinsichtlich der Gefälleverhältnisse, der Gerinnegeometrie und -morphologie, der Strukturen, Substrate und der Baumaterialien an die gebietstypische Charakteristik (Fischregion) des Hauptgewässers bestmöglich angepasst werden.

Gute Orientierungswerte für die gewässerregionsspezifischen Gefällewerte und die Mindestdotierungen von FAA in Abhängigkeit vom MQ-Abfluss des Hauptgewässers gibt der „Österreichische Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen“ (AG-FAH 2011).



Abb. 36: links: Umgehungsgewässer an der Donaustufe Vohburg mit gebietstypischer (Epipotamal, Barbenregion) Ausprägung des Flusslaufes in Form des FFH-Lebensraumtyps 3260 (u.a. flutender Hahnenfuß, Wasserstern), rechts: Beispielbild für LRT 3260 aus LfU-Bayern (2010b): Schwarzer Regen/Lkr. Regen

Tabelle 10: Orientierungswerte für (maximales) mittleres Gefälle und Mindestdotation von Umgehungsgewässern in Abhängigkeit vom Mittelwasserabfluss des Hauptgewässers in der jeweiligen Gewässerregion (nach AG-FAH 2011 abgeändert).

MQ Gewässer [m³/s]	5	10	20	50	100	200	> 200
MQ FAA [m³/s]	0,25	0,5	0,8	1	1,5	2	> 2
Epirhithral Gefälle [%]	2,0–3,0	1,5–2,5	1,2–2,0	1,0–1,5	0,9–1,4		
Metarhithral Gefälle [%]	1,5–2,0	1,0–1,5	0,9–1,2	0,8–1,0	0,7–0,9		
Hyporhithral-Gefälle [%]	1,0–1,5	0,8–1,0	0,7–0,9	0,6–0,8	0,5–0,7	0,4–0,6	
Epipotamal Gefälle [%]	0,7–1,0	0,6–0,8	0,5–0,8	0,5–0,7	0,4–0,7	0,3–0,6	0,3–0,5

### Gestaltungshinweise und Hydraulik:

Ebenso wie im Falle der technischen FAA ist auch beim Umgehungsgewässer die exakte Anpassung der hydraulischen und morphologischen Eigenschaften an die fischbiologischen Anforderungen von zentraler Bedeutung. Mit anderen Worten: Gewässerquerschnitt, Abfluss, Laufentwicklung, Gefälle, Absturzhöhen und Fließgeschwindigkeiten müssen so zueinander passen, dass alle Abschnitte des Umgehungsgewässers in beiden Richtungen von allen für das Gewässer relevanten Fischarten und Kleinorganismen passiert werden können und Entwicklungsmöglichkeiten für fischökologische Teilhabitate entstehen. Insbesondere sollen die Substrate zumindest in Teilabschnitten des Baches als Laichplätze (Kieslaichplätze) funktionstauglich sein. Bei Einhaltung dieser Prämissen ist, unter Berücksichtigung von Hochwasser- und Standsicherheit sowie naturräumlicher und landschaftsästhetischer Gesichtspunkte, planerisch und gestalterisch alles erlaubt, was die natürlichen Fließgewässer an Konstruktionsprinzipien und -beispielen vorexerzieren. Ökologisch besonders wertvoll sind Gerinne-Teilabschnitte, welche unbefestigt bleiben können und in denen zumindest in beschränktem Umfang eine dynamische Flussentwicklung (Seitenerosion, Umlagerungen, kleinere Laufverlagerungen) ermöglicht wird. Um derartige Vorgänge auszulösen, ist in aller Regel eine teil-dynamische (Begrenzung zwischen MNQ und 2 MQ), an den Abflussgang des Hauptgewässers angepasste Dotation erforderlich. Detaillierte Planungsvorgaben oder Regelquerschnitte, wie im Falle von technischen FAA, sollen und können von daher nicht angeboten werden. Orientierung für die Gestaltung der Gerinnegeometrie und Morphologie für unbefestigte oder nur gering gesicherte „Entwicklungsstrecken“ und für befestigte Gerinnebereiche liefern die Systemskizzen in Abb. 37, Abb. 38 und Abb. 39.

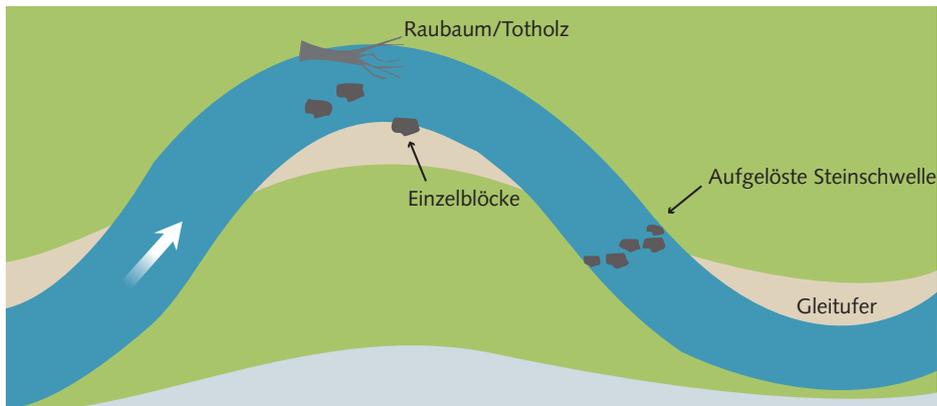


Abb. 37: Systemplan Umgehungsbach: Gewundene Laufgeometrie, Strukturierungselemente: Blocksteine, Steinnesster, Gefälleabbau durch aufgelöste Steinschwellen (ein- oder mehrreihig) oder Gleiten mit  $\Delta h$  Wasserspiegel zwischen 0,1 m (Potamalgewässer) und 0,2 m (Rhithralgewässer)

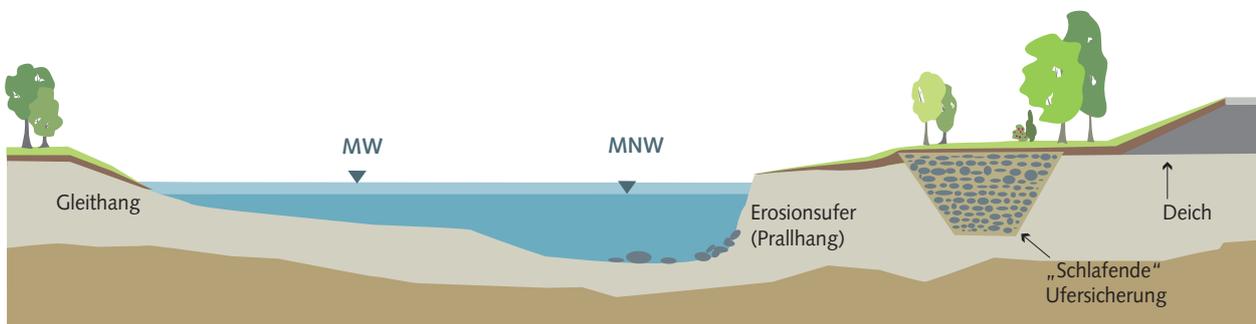
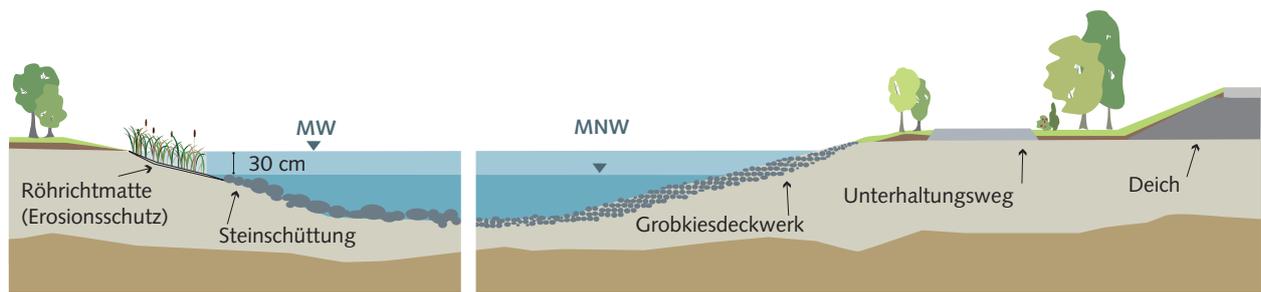


Abb. 38: Systemschnitt Umgehungsbach: Bereich mit flussdynamischen Entwicklungsmöglichkeiten ohne direkte Gerinnebefestigung. Die Seitenerosion und Prallhangverlagerung wird durch eine „schlafende“ Ufersicherung (versenkte Steinschüttung oder -Packlage) begrenzt.

Für Umgehungsbäche gibt es einige grundlegende Planungs- und Konstruktionsempfehlungen:

- Mittlere Fließgeschwindigkeiten im Haupt-Stromstrich des Gerinnes; ca. 0,5–1,0 m/s;
- Maximale Fließgeschwindigkeiten im Bereich von Schwellen, Gleiten: 1,4–2,0 m/s im Rhithral, ca. 1–1,2 m/s in Potamalgewässern;
- Gerinnequerschnitt im Bereich der freien Fließstrecken (ohne Schwellen, Rampen) asymmetrisch oder muldenförmig; leichte Querneigung der Sohle auch in geraden Strecken zur Ausbildung einer Tiefenrinne;
- maximale Absturzhöhen an Schwellen ca. 0,15–0,2 m bei Gewässern der Rhithralregion, ca. 0,10–0,15 m bei Potamalgewässern; an Überfällen, Sohlschwellen, Gleiten sollte der Strahl gebündelt und so gelenkt werden, dass Fische die Engstellen mit einem Schwimmstoß überwinden können (Strahlmächtigkeit > 0,20 m);
- die Sohle der Umgebungsgewässer sollte bei Gewässern der Rhithral- und Epipotamalregion zumindest in größeren Teilstrecken aus kiesigen Substraten gebildet werden (Sohlmächtigkeit mindestens 0,2 m). Dabei sind unter Berücksichtigung der herrschenden Schleppkräfte solche Korngrößen, zu bevorzugen, die als Laichsubstrate für die kieslaichenden Arten des Hauptgewässers optimal sind.
- Um die Laichplatzfunktion längerfristig zu erhalten, sind – soweit keine Seitenerosion und damit natürlicher Kiesnachschub stattfinden kann – zusätzliche, periodische Unterhaltungs- bzw. Pflegemaßnahmen vonnöten. Hierzu zählen beispielsweise Spülstöße mit einem Mehrfachen des normalen Abflusses des Umgebungsgewässers (zur Umlagerung und zum Abtransport von Feinsedimenten) und Kiesdotationen in regelmäßigen Abständen bzw. nach Ausräumung der laichplatztauglichen Kiessohle.
- Bei durchlässigem Untergrund (ohne Grundwasseranschluss) muss das Gerinnebett abgedichtet werden (Tondichtung, Geotextil u.a.).



**Abb. 39: Systemschnitt Umgehungsbach: Befestigter Bereich ohne Laufentwicklung.** Die Seitenerosion wird durch Blocksteinschüttung oder durch Kombination aus Blocksteinlagen und ingenieurbiologischen Sicherungselementen (Röhricht-Erosionsmatten, Weidenspreitlagen, Steckholzbesatz etc.) begrenzt. Sohlsicherung, falls erforderlich, über ein offenes Deckwerk.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass der Unterhaltungs- und Pflegeaufwand für Umgehungsbäche ähnlich hoch sein kann wie für technische Fischpässe, vor allem dann, wenn die Laichplatzfunktion des Umgehungsgewässers dauerhaft erhalten bleiben soll. Zu beachten ist auch, dass die angestrebte, ökologisch sinnvolle Dynamik unter Umständen zu Lasten der Gesamtfunktionsfähigkeit des Gerinnes gehen kann, wenn etwa Substrate überlagert oder Rampen und Schwellen ihre Form verändern und dabei unter Umständen unpassierbar werden. Regelmäßige Kontrolle der Funktionstüchtigkeit und bei Bedarf Freilegung oder Nachbau sind daher von vornherein bei der Planung mit einzukalkulieren.

Die hydraulische Berechnung eines Umgehungsbaches im Bereich von freien Fließstrecken kann mit Hilfe der sog. Stricklerformel erfolgen. Dabei kann ein asymmetrisches Trapezprofil, mit gerinntypischen Böschungsneigungen und mittleren Wassertiefen zur Ermittlung des hydraulischen Radius ( $r_{hy}$ ) angenommen werden. Weiterhin wird das mittlere Sohlgefälle ( $I$ ) ohne Schwellen und Gleiten berücksichtigt und Rauigkeitsbeiwerte nach STRICKLER ( $k_{ST}$ ) für natürliche Wasserläufe verwendet, die den charakteristischen (geplanten bzw. natürlich anstehenden) Substraten der Gewässerregion entsprechen ( $k_{ST}$ -Werte: 25–30 für Rhithalgewässer und 30–35 für Potamalgewässer).

$$V = k_{ST} r_{hy}^{2/3} I^{1/2}$$

mit  $V$  = Fließgeschwindigkeit;  $k_{ST}$  = STRICKLER-Rauigkeitsbeiwert;  $r_{hy}$  = hydraulischer Radius =  $(A/U)$  mit  $A$  = Fließquerschnitt;  $U$  = benetzter Umfang;  $I$  = Gefälle

## 6.5 Tümpelpass (naturnaher Beckenpass)

Ähnlich wie Sohlgleiten mit Beckenstruktur sind auch naturnahe Beckenpässe aus mehreren Einzelschwellen/-Riegeln mit dazwischen liegenden Becken bzw. Kolken aufgebaut, so dass sich im Längsschnitt beckenartige Formationen ergeben. Wesentliche Bedeutung kommt der rauen, ungleichmäßigen Ausbildung der Beckenwände und der asymmetrischen z.T. aufgelösten Schwellen-/Beckenübergänge mit rauem Sohlanschluss zu, um die Passierbarkeit bei allen relevanten Abflusssituationen sicherzustellen. Glatte bzw. scharfkantige Beckenabstürze sowie kleine V-förmige Durchlässe/Schlitze ohne Sohlanschluss sind auch bei diesem Bautyp aufgrund ihrer schlechten Passierbarkeit für Fische zu vermeiden (Abb. 34). Die Beckenübergänge können als Überläufe (Ausschnitte) ausgebildet sein oder als schlitzzartige, rechteckige oder trapezförmige Lücken (bis zur Sohle reichend) zwischen Blocksteinen. Weiterhin kann durch die versetzte Anordnung großer Blocksteine ein weitgehendes Auflösen der Quer-Riegelstruktur und ein pendelnder Verlauf des Wanderkorridors innerhalb einer Art Raugerinne erreicht werden, wobei die typischen Beckenübergänge in Gleiten oder schnellenartige Elemente (unter Einhaltung aller anderen Grenzwerte) übergehen können. Wichtig ist die korrekte, asymmetrische Tiefenverteilung im Längsprofil der Becken (maximale Wassertiefe direkt unterhalb der Schwellen).



Abb. 40: Schwellen (Tümpelpass mit gut passierbaren Hauptübergängen, gute Energieumwandlung.)

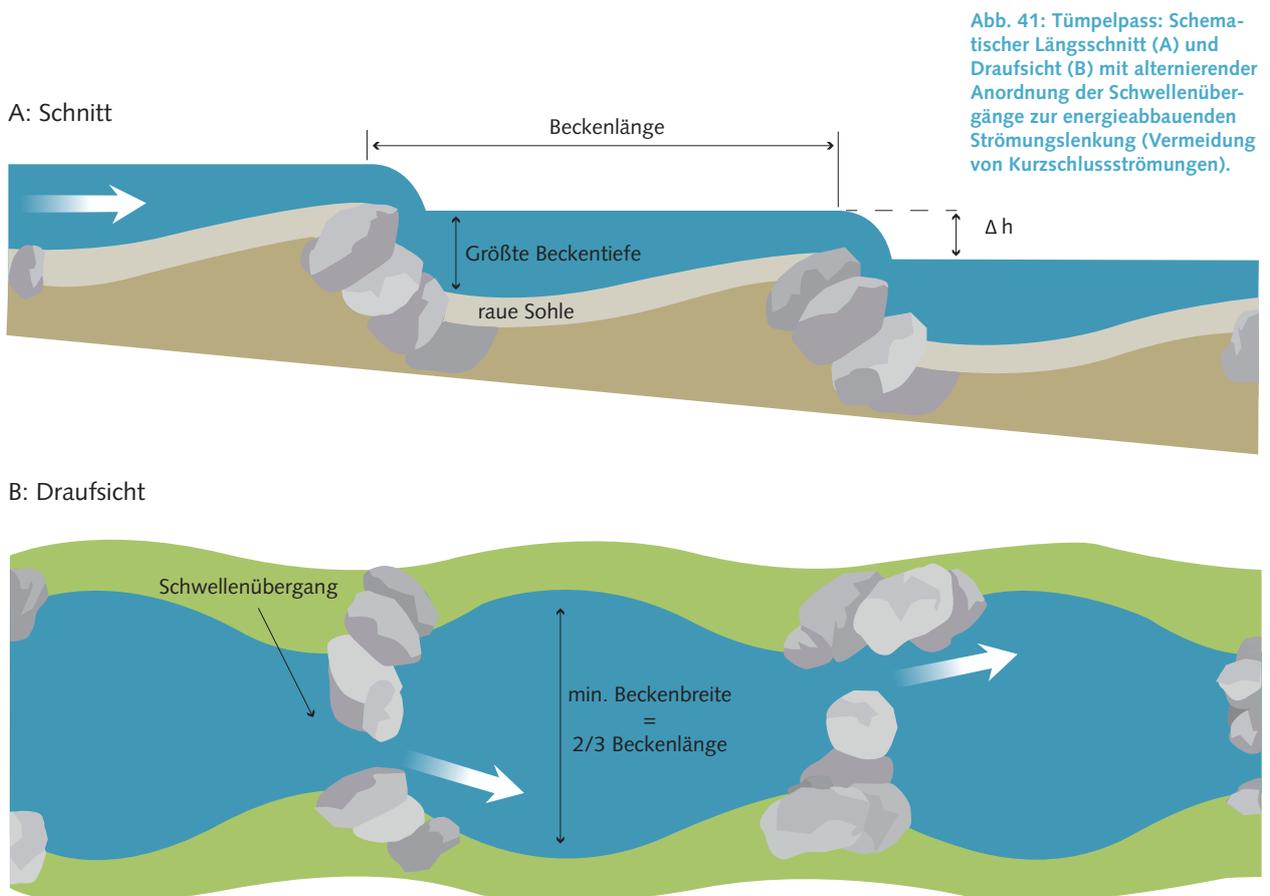


Abb. 41: Tümpelpass: Schematischer Längsschnitt (A) und Draufsicht (B) mit alternierender Anordnung der Schwellenübergänge zur energieabbauenden Strömunglenkung (Vermeidung von Kurzschlussströmungen).



Abb. 42a) 42b): Tümpelpass am Alz-Wehr Tacherting mit großzügiger geometrischer Dimensionierung und sehr moderaten hydraulischen Bedingungen, größenbestimmende Zielart: Huchen (Inbetriebnahme 2014).

le), welche den Energieabbau des eintauchenden Strahls im Becken begünstigt und gleichzeitig dass Durchschwimmen der Beckenübergänge für die Fische erleichtern soll (Abb. 40, Abb. 41). Insbesondere große Individuen benötigen ausreichenden Tiefenraum, um für den Schwimmstoß über die Schwelle „Schwung zu holen“.

Beim Tümpelpass können die geometrischen Dimensionen der Becken aus denen von technischen Beckenpässen abgeleitet werden. Es sind jedoch hinsichtlich der Minimalwerte sinnvoller Weise Zuschläge vorzunehmen. Bei den Mindest-Beckenlängen und -breiten wird, bezogen auf die Dimensionierung von Schlitzpässen, eine Erhöhung um ca. 25–40 %, und bei den Tiefen um 20–30 % empfohlen.

Die Dotation von Tümpelpässen kann vereinfacht unter Annahme eines Rechteckschlitzes mit der 1,5 fachen Schlitzweite bezogen auf die Dimensionierung eines Schlitzpässes (siehe unten) und  $\frac{2}{3}$  der maximalen Beckentiefe gerechnet werden. Für die Berechnung des Beckenvolumens wird das 0,5 fache der maximalen Tiefe angesetzt. Die Länge wird aus dem erforderlichen Beckenvolumen berechnet; die minimale Beckenbreite beträgt  $\frac{2}{3}$  der Länge.

## 6.6 Schlitzpass

### Allgemeine Beschreibung für Schlitzpass und Raugerinne Beckenpass:

Bei den in technischer Bauweise ausgeführten Beckenpässen erfolgt die Gefälleabwicklung über definierte, konstante Höhengsprünge von Becken zu Becken. Dabei wird die potenzielle und kinetische Energie des Wassers sukzessive in den einzelnen Becken abgebaut. Während beim konventionellen Beckenpass der Abfluss und der Fischaufstieg über Kronenausschnitte und Boden-Schlupflöcher in den Trennwänden zwischen den Becken erfolgt, sind diese beim **Schlitzpass** (engl. Vertical Slot Pass) und beim **Raugerinne-Beckenpass** (Kap. 6.7) durch vertikale Schlitzes ersetzt, die sich über die gesamte Höhe der Trennwand bzw. der Steinriegel erstrecken und bis zum Boden durchgehen. Sie werden i.d.R. nur auf ein und derselben Seite angelegt, doch gibt es auch Bauweisen mit Schlitzes auf alternierenden oder auf beiden Seiten der Trennwände. Die Böden und Außenwandungen der hier angesprochenen Rechteckgerinne werden i.d.R. aus Beton hergestellt, die Zwischenwände können aus Betonfertigteilen bestehen oder auch aus Holzbohlen, beim Raugerinne-Beckenpass aus Steinriegeln gefertigt sein. Die Becken können linear hintereinander gestaffelt sein, sie können aber auch in versetzter Bauweise oder in geometrischen Serpentinaen abgewickelt werden, um in möglichst verträglichen Wasserspiegelsprüngen (ca. 10 bis max. 20 cm) das Hindernis zu überwinden. Mit Schlitzpässen und Raugerinne-Beckenpässen lassen sich im Extremfall mittlere Gefälle bis ca. 1:8 realisieren<sup>12</sup>,

<sup>12</sup> Derartig steile Anlagen wirken aber selektiv und sind in der Regel nur für Einzelarten und besonders leistungsfähige adulte Exemplare (z.B. Salmoniden-Laichfische) gut passierbar.

was bei beschränktem Platzangebot einen großen Vorteil bedeutet. Auch bei den technischen Beckenpässen muss die Funktion für alle relevanten Abflusssituationen in der Regel zwischen  $Q_{30}$  und  $Q_{330}$  sichergestellt sein. Die geometrischen Beckenabmessungen ergeben sich aus dem Gewässertyp bzw. den Fischzönosen und ihren größenbestimmenden Fischarten. Die Beckendimensionierung muss zudem ausreichend sein, um den Energieabbau des Wasserspiegelgefälles zwischen den Becken beim jeweiligen Betriebsabfluss zu gewährleisten und wird über die maximal zulässige Leistungsdichte in den jeweiligen Gewässerzonen bestimmt.

### Schlitzpass:

Der maßgebliche Parameter für die hydraulische Verhältnisse in Schlitzpässen ist die Schlitzweite ( $s$ ), welche letztlich den minimalen Durchflussquerschnitt und damit den Abfluss und die Fließgeschwindigkeiten bestimmt. Die minimale Schlitzweite wird aus der Körperdicke ( $D_{\text{Fisch}}$ ) der größenbestimmenden Fischarten abgeleitet ( $s_{\text{min}} = 3D_{\text{Fisch}}$ ). Die minimale lichte Beckenlänge ( $l_b$ ) ergibt sich aus deren Körperlänge ( $l_b = 3D_{\text{Fisch}}$ ). Die **lichte Beckenbreite ( $b$ ) wird von der Beckenlänge nach folgender Beziehung abgeleitet:  $l_b \times \frac{3}{4}$** . Die geometrischen Mindestmaße für Becken sowie Schlitzweiten liefert Tabelle 11. Zur optimalen Strömunglenkung in den Becken, um Kurzschlussströmungen zu verhindern und um eine geschwungene Hauptströmung zu erzeugen, die das gesamte Beckenvolumen zur turbulenzarmen Energieumwandlung ausnutzt (HEIMERL und HAGMEYER 2005, HEIMERL et al. 2008), sind beim Schlitzpass hydraulische Einbauten bzw. Lenkvorrichtungen vorzusehen (Abb. 42):

- Eine stromaufgerichtete hakenförmige **Leitwand** oder ein **Leitwandvorsatz** soll eine vergleichmäßigte Anströmung des Schlitzes von oberstrom gewährleisten und Querströmungen verhindern, die Strömungswalzen im Schlitz erzeugen können (siehe Abb. 40) und leitet zudem die Hauptströmung entgegen dem Strahl der vorigen Schlitzöffnung zurück, was entscheidend zur Energiedissipation beiträgt
- Der **Umlenkblock** verhindert einen geradlinigen, sich beschleunigten Abfluss durch hintereinander liegende Schlitz hindurch (hydraulischer Kurzschluss), indem er den Wasserstrom jeweils in die Ecke des Beckens zwischen Seitenwand und Trennwand umlenkt. Der Ablenkwinkel sollte je nach Anlage 20–45° betragen.

Die Abmessungen und Dimensionen dieser Einbauten sollten zur Gewährleistung der angestrebten hydraulischen Bedingungen in einem bestimmten Größenverhältnis zur Schlitzweite stehen (LARINIER et al. 2002, KATAPODIS 1992). Diese Beziehungen und damit die Abmessungen der Einbauten sind in Tabelle 11 angegeben.

	Faktor x
Schlitzweite $s = x \cdot s$	1,00
Beckenlänge $l_b = x \cdot s$ <sup>1)</sup>	8,10 bis 8,35
Freier Überstand der Leitwand $c - d = x \cdot s$	1,0 bis 1,5
Versatzmaß $a = x \cdot s$	0,4 bis 0,8
Breite des Umlenkblockes $b_U = x \cdot s$	1,0 bis 1,5
Abstand Leitwand – Schlitz $g = x \cdot s$	0,35 bis 0,60
<sup>1)</sup> sofern nicht die Fischlänge oder die Energiedissipation größere Werte erfordern.	

Tabelle 11: Abmessungen für die Einbauten in Schlitzpässen in Abhängigkeit der Schlitzweite  $s$  (nach LARINIER et al. 2002, KATAPODIS 1992 aus DWA 2014 geändert).

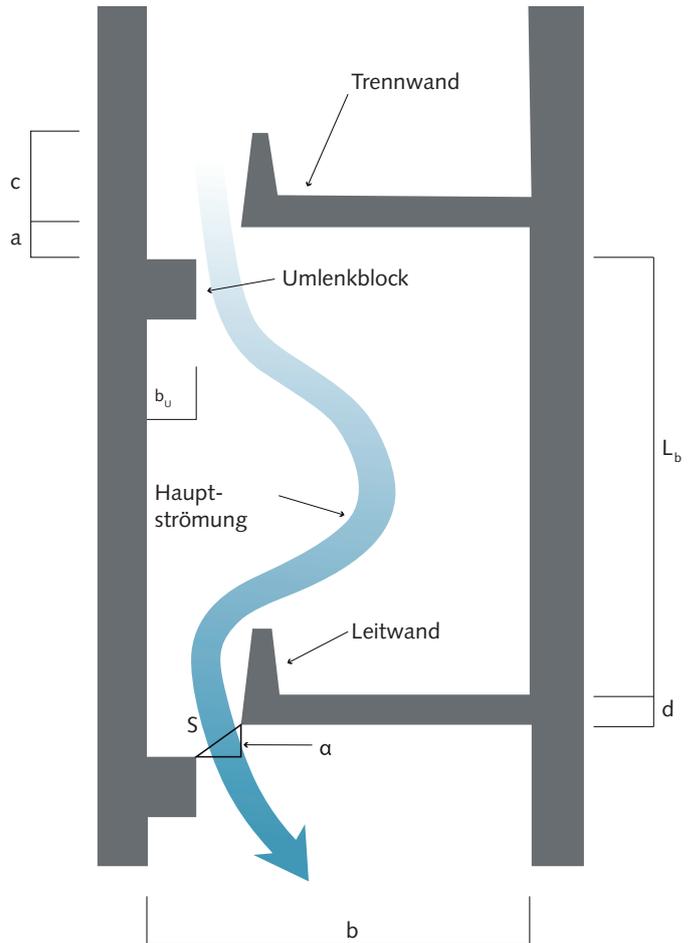
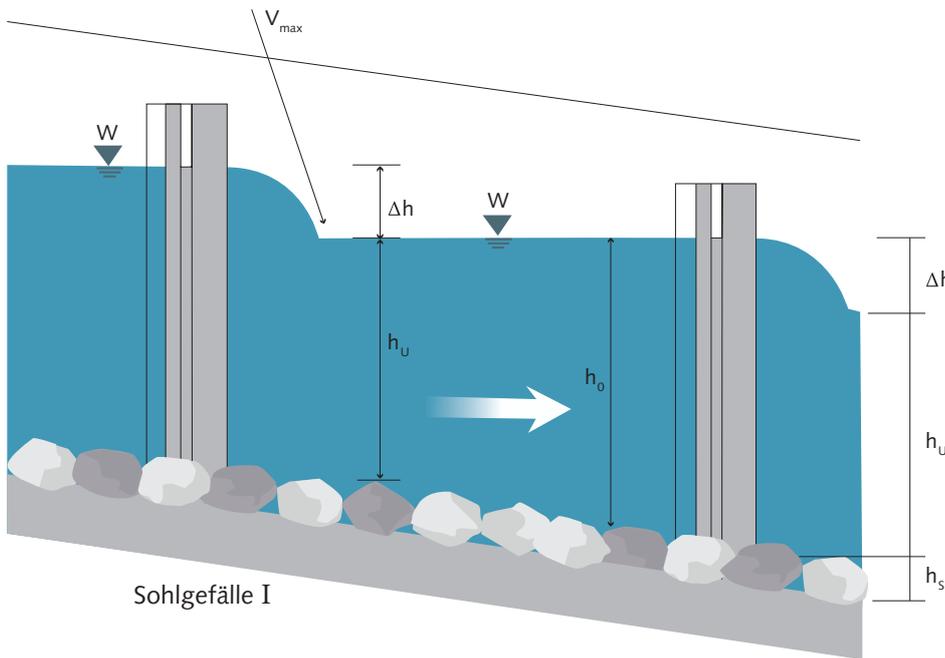


Abb. 43: Schema (rechts) Schlitzpass-Becken mit hydraulischen Einbauten und Verlauf der Hauptströmung und Bild (links) Leitwandvorsatz wird von U-Profil (Bohlenhalterung) gebildet (rechtes Bild: nach DWA 2014, geändert).

Schlitzpässe sollen eine durchgehende raue Sohle aufweisen, welche am Schlitz in Bodennähe relativ kleine Strömungsgeschwindigkeiten begünstigt (vgl. Kap. 5.3.5).

Schlitzpässe werden allgemein als vergleichsweise tolerant gegenüber schwankenden Oberwasserständen bezeichnet (DWA 2014). Dies heißt aber nur, dass innerhalb gewisser Schwankungsbreiten eine entsprechend veränderte Wasserdotation erhalten bleibt. Die Dotationsmenge und damit die hydraulischen Verhältnisse ändern sich jedoch mit jeder Schwankung sowohl des Oberwasser- als auch des Unterwasserspiegels. Dies muss bei der Planung in jedem Falle berücksichtigt werden, um die Funktionsfähigkeit der Anlage innerhalb des Bemessungszeitraums ( $Q_{30}$ - $Q_{330}$  oder andere) zu gewährleisten (vgl. auch Kap. 5.1). Die Verklausungsgefahr ist wegen der Größe der Öffnungen etwas geringer als bei konventionellen Beckenpässen, doch ist auch hier bei der Planung auf Zugänglichkeit für Reinigungsarbeiten zu achten.

Schlitzpässe zählen zu den hydraulisch am genauesten berechenbaren und entsprechend exakt technisch herstellbaren Bautypen mit fixen Relationen zwischen den einzelnen Bauelementen und der Berechnungsdotation. Dies und die Tatsache, dass der Wanderkorridor in den Schlitzübergängen den Präferenzen unterschiedlichster Fischarten hinsichtlich Wanderhöhe und Fließgeschwindigkeiten gerecht wird, machen sie zu den derzeit geeignetsten technischen FAA-Bautypen.



- $h_0$  Wassertiefe oberhalb des Riegels
- $h_u$  Wassertiefe unterhalb des Riegels
- $h_s$  Höhe des Sohlsubstrats
- $\Delta h$  WSP - Unterschied zwischen zwei Becken
- $V_{max}$  Maximale Fließgeschwindigkeit
- $W$  Wasserspiegel bei MQ

Abb. 44: Schematischer Längsschnitt-Schlitzpass (nach DWA 2014, geändert).

Fischarten	Beckenabmessungen [m]		Schlitz [m]	
	Länge $l_b$	Breite $b$	Schlitzweite $s$	Wassertiefe $h_{min,Eng} = h_u$
Bachforelle	1,95 <sup>1)</sup>	1,50	0,20	0,50 <sup>3)</sup>
Äsche, Aitel (Döbel)	2,45 <sup>3)</sup>	1,85	0,30	0,70 <sup>3)</sup>
Barbe, Zander, Meerforelle	2,45 <sup>3)</sup>	1,85	0,30	0,70 <sup>3)</sup>
Huchen, Lachs, Hecht	3,00 <sup>2)</sup>	2,25	0,35	0,80 <sup>3) 4)</sup>
Brachse, Karpfen	3,25 <sup>3)</sup>	2,45	0,40	0,90 <sup>3) 4)</sup>
Stör	9,00 <sup>2)</sup>	6,75	1,10	2,20 <sup>3) 4)</sup>
Maifisch	EF <sup>5)</sup>	EF <sup>5)</sup>	0,45	EF <sup>5)</sup>

- Maßgebliche Faktoren:
- 1) Energiedissipation
  - 2) Fischlänge ( $L_{Fisch}$ )
  - 3) hydraulische Verhältnisse (Strahlausbreitung)
  - 4) Fischkörperhöhe ( $H_{Fisch}$ )
  - 5) Einzelfallentscheidung

**Hinweis:**

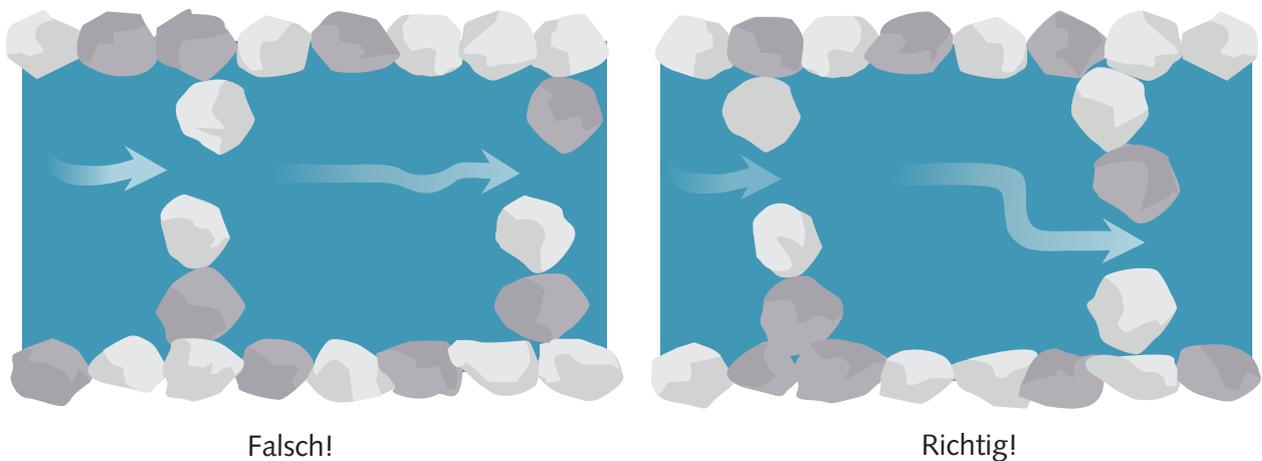
Die angegebenen Standardbemessungswerte sollten, soweit im Einzelfall zur Herstellung der guten, unselektiven Durchgängigkeit erforderlich, an die gewässerspezifischen Größen- und Wachstumsverhältnisse der Zielarten angepasst werden (siehe hierzu Tab. 3 u. 4 sowie Tab. 13 Anhang).

Tabelle 12: Geometrische Bemessungswerte für die Becken sowie die Schlitzweite bei Schlitzpässen (nach DWA 2014, geändert). Weitere Beispiele geeigneter Dimensionierungen können Tabelle 6 entnommen werden.

## 6.7 Raugerinne-Beckenpass

Raugerinne-Beckenpässe sind Kombinationen aus einer beckenartigen Rampenstruktur und einer gerinneartigen Fischaufstiegsanlage mit rechteckigem Grundprofil. Die Trennwände bzw. Beckenübergänge werden dabei durch hochkant gesetzte, mehr oder weniger stark aufgelöste Steinriegel gebildet. Die Übergänge zwischen den Becken an den Steinriegeln werden von den Lücken/Schlitz zwischen den Riegelblöcken gebildet (minimale Gesamtschlitzweiten 0,25 m) und werden entsprechend dimensioniert und berechnet (siehe Schlitzpass). Wesentlich ist, dass die Absturzhöhen zwischen den Becken (0,1–0,2 m), die Fließgeschwindigkeiten an den Übergängen (1,4–2,1 m/s) und die spezifischen Leistungsdichten bei der Energieumwandlung in den Becken (100–200 W/m<sup>3</sup>) den Bemessungswerten der jeweiligen Gewässer-/Fischregion und den Ansprüchen der schwimmschwachen Zielarten entsprechen (Tabelle 7).

Abb. 45: Falsche (links) und korrekte (rechts) Anordnung der Riegelübergänge/Schlitz im Raugerinne-Beckenpass.



Gleichermaßen ist zu beachten, dass die Schlitz/Lücken in den Riegeln aufeinanderfolgender Becken versetzt zueinander angeordnet sind und den Überlaufstrahl nicht direkt in den nächsten Schlitz lenken (hydraulischer Kurzschluss Abb. 45, links), sondern in Richtung auf die Trennblöcke des nachfolgenden Riegels (Abb. 45, rechts). Bei der hydraulischen Bemessung und Berechnung müssen wegen konstruktiver Unschärfen bei Verwendung von gebrochenen Steinblöcken größere Sicherheitsabschläge von den Grenzwerten vorgenommen werden als bei Beckenpässen mit „technischen“ Trennwänden. Dem optisch gefälligeren, tendenziell naturnäheren Erscheinungsbild stehen eine weitaus diffizilere Umsetzung und eine meist notwendige nachträgliche Optimierung gegenüber.

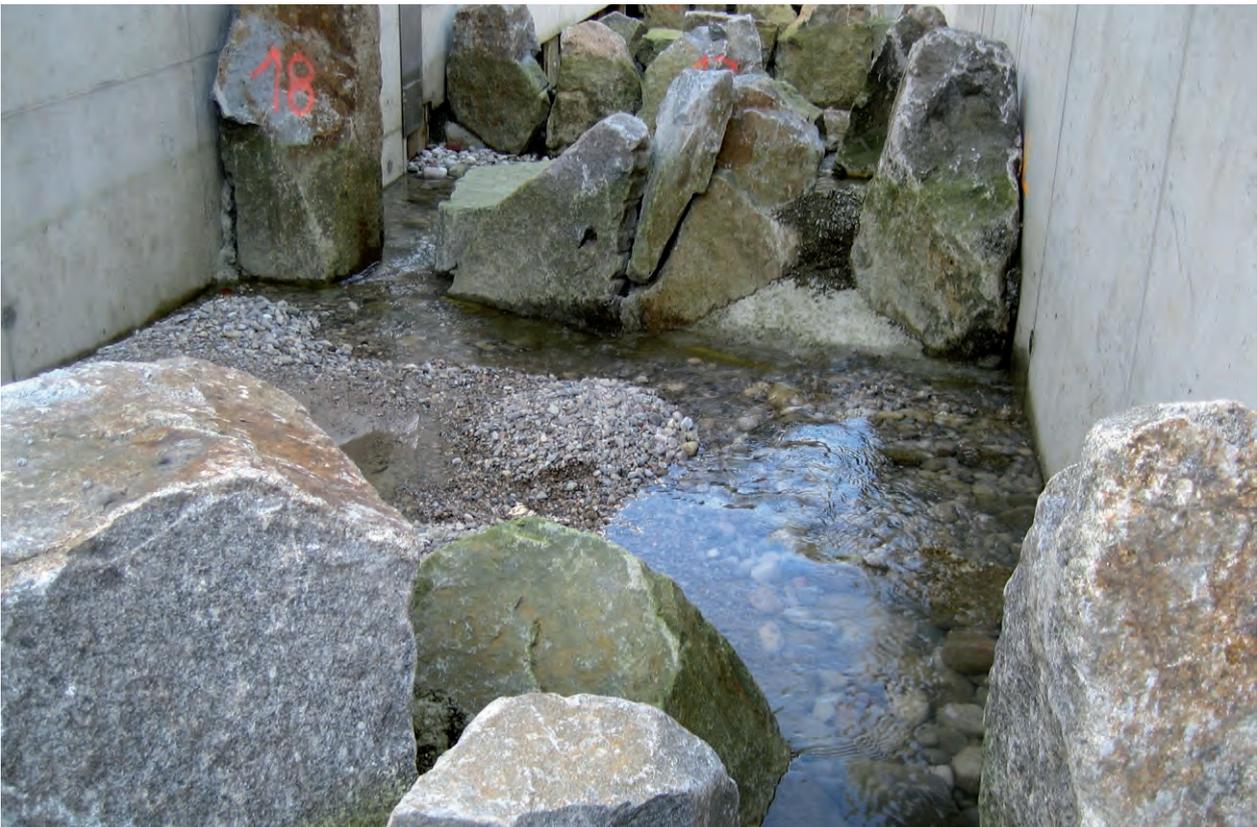
**13** Anlagen mit Gefällen von 1:8 bis 1:10 wirken aber meist selektiv und sind in der Regel nur für Einzelarten und besonders leistungsfähige adulte Exemplare (z.B. Salmoniden-Laichfische) gut passierbar.

Mit dem Raugerinne-Beckenpass lassen sich relativ steile Gefälle bis 1:8 fischpassierbar abwickeln<sup>13</sup>. Es sind vergleichsweise platzsparende Anlagen, so dass sie insbesondere in den oft beengten Verhältnissen an Querbauwerken der Rhithralregion gute Einsatzmöglichkeiten finden.

Die Gerinnebreite dieses FAA-Typs sollte nicht weniger als 1,5 m und der lichte Abstand der Steinriegel mindestens 1,5 m (Bachforelle) bis 3,0 m (Huchen) betragen. Als minimale Wassertiefe sind  $h = 0,6$  m (Huchen 0,8 m) einzuhalten. Der Gerinneboden wird in der Regel in Betonbauweise erstellt. Ansonsten ist eine sorgfältige Abdichtung gegenüber dem anstehenden Untergrund erforderlich. Auf dem Gerinneboden wird eine raue Sohlschicht gemäß Kap. 5.3.5 aufgebaut. Die Sohlmächtigkeit (Höhe der Rauigkeitsschicht) sollte minimal 0,20 m betragen und steigt zweckmäßiger Weise im Bereich der Querriegel bis auf ca. 0,4 m an, um eine bessere Einbettung und Stützung der Riegelsteine zu ermöglichen. Grundsätzlich ist es möglich die Blocksteine der Querriegel in den noch weichen Beton des Gerinnebodens einzudrücken, sie in eigene Betonbetten zu setzen oder mit Schüttnbeton zu verklammern.



Abb. 46: Raugrinne-Beckenpass nach erstem Probebetrieb (unten) und im Normalbetrieb (oben).



## 6.8 Borstenfischpass

Borstenfischpässe sind in der Regel Rechteckgerinne, deren Sohle nach bestimmten Mustern z.B. nach Art von Störsteinen oder Riegeln mit Borstenfeldern aus meist 50 cm langen Kunststoff-Borstenbündeln bestückt wird. Der Abfluss kann durch die Borsten selbst, aber auch durch die Durchlässe zwischen den Borstenelementen erfolgen. Borstenpässe wurden primär als **Kombinationsanlage** zur Nutzung als **Bootsgleite/-Rutsche** für Sportboote (Kanu, Kajak etc.) und als **Fischaufstiegsanlage** entwickelt und können nach HASSINGER (2008) beide Zielsetzungen zufriedenstellend erfüllen. Da die Borsten nur knapp überströmt werden, liegt der Wanderkorridor für Fische in der Regel in den Aussparungen und Lücken zwischen den Borstenfeldern. Grundsätzlich kann mit Borstenpässen bei geeigneter Dimensionierung und Auslegung eine sehr gute Passierbarkeit für Fische hergestellt werden. Die Verlegungsanfälligkeit der dichten Borstenbündel durch Geschwemmsel oder Veralgung ist jedoch auf Dauer groß, wodurch sich die hydraulischen Eigenschaften verändern können. Auch ist über die Dauereigenschaften der Borsten (Elastizität, Formstabilität) noch wenig bekannt. Im Zusammenhang mit der Doppelnutzung als Kanurutsche und FAA kann es zu Interessenskonflikten hinsichtlich der Lage der Einstiege kommen. Bootsruutschen werden in der Regel bewusst in strömungsberuhigten Bereichen angelegt, die meist außerhalb des Wanderkorridors der Fische im Unterwasser von Querbauwerken liegen. Somit hängt die Auffindbarkeit der kombinierten Anlagen meist davon ab, welche Ansprüche bei der Planung höher gewichtet werden, die Sicherheitsaspekte der Sportbootnutzung oder die Wanderbedingungen für Fische.

Abb. 47: „Two in one“: Zwei miteinander kombinierte Fischaufstiegsanlagen: Technischer Borstenpass (rechts) und parallel verlaufendes Raugerinne (links, noch im Bau befindlich)



## 7 Grundlagenermittlung und -analyse

Nur bei exakten Kenntnissen zum Planungsraum, insbesondere aber zur Lage und Ausdehnung des Wanderkorridors, der spezifischen Anforderungen der Zielarten an die hydraulischen und räumlichen Bedingungen auf dem Weg zur bzw. durch die FAA und der örtlichen Gesamtsituation am Querbauwerk (Höhendifferenzen, Flächenverfügbarkeit, Zwangspunkte, etc.) lassen sich

- die korrekte Lage des FAA-Einstiegsbereichs definieren und damit die **Auffindbarkeit** gewährleisten,
- die geeigneten hydraulischen und räumlichen Bemessungsparameter innerhalb der FAA ermitteln und damit deren **Passierbarkeit** sicherstellen

und eine an die örtlichen Verhältnisse und Besonderheiten angepasste Planungslösung erarbeiten.

Hauptgegenstände der Grundlagenermittlung sind daher:

- Erkundung der Anlagen (Querbauwerk, Wehr, Wasserkraftanlage), der Geographie und Topographie des Planungsraums, verfügbarer Planungs-/Bauflächen sowie planungsbezogener Nutzungen und sonstiger Hindernisse bzw. Einschränkungen.
- Ermittlung der Gesamthöhendifferenz zwischen Unterwasser- und Oberwasserspiegel und deren Schwankungsbreite (natürliche hydrologisch bedingte Schwankungen und künstliche nutzungsbedingte Schwankungen des Wasserspiegels).
- Ermittlung von Basisdaten zur Fischfauna und zur Fisch-/Gewässerregion des betreffenden Oberflächenwasserkörpers/Flussgebietes und Ableitung der Zielfischarten und Bemessungswerte für die FAA-Planung.
- Ermittlung und Darstellung der Wanderkorridore flussaufwärts ziehender Fische im stromabwärtigen Umfeld des Querbauwerkes.

### 7.1 Allgemeine Grundlagenerhebungen zum Querbauwerk und Umgebungsgelände/Planungsraum, Nutzungen

Wesentlich für jede FAA-Planung ist in jedem Falle die genaue Kenntnis des Querbauwerkes (Wehr-/Kraftwerksanlage) sowie des Umgebungsgeländes sowohl hinsichtlich der Topographie als auch der Flächen-Nutzungen und der Biotop-/Lebensraumtypen.

Neben den Ergebnissen der Ortsbesichtigung können hier Baupläne, Gewässerentwicklungspläne und -Konzepte, Landschaftspläne oder auch die Auswertung von Luftbildern wichtige planungsrelevante Informationen liefern. Falls keine Planungsunterlagen oder keine ausreichenden Daten zur Topographie vorliegen, sind eigene Vermessungen erforderlich. Zentrale Fragen für den Planer im Sinne der allgemeinen Grundlagenerhebung sind:

- Kann das Querbauwerk insgesamt oder zu großen Teilen fischpassierbar gemacht werden oder ist der Bau einer FAA geboten?
- Wo und wie lässt sich welcher Typ einer FAA in das Querbauwerk integrieren?
- Welche Flächen des Umgebungsgeländes sind als Baufeld für eine FAA grundsätzlich geeignet und verfügbar?
- Wo gibt es bauerschwerende Hindernisse, Zwangspunkte, konkurrierende Nutzungen, Interessenskonflikte?

Bei der Planung von FAA, die das Querbauwerk weiträumig umgehen (Umgehungsäbäche), ist der Untersuchungs-/Planungsraum entsprechend auszuweiten. Hier sind dann oftmals komplexe

14 Fließgewässer mit Umgebungsgelände (Flussaue) sind häufig als Natura 2000 Schutzgebiete (FFH/SPA-Gebiete) oder Naturschutzgebiete ausgewiesen.

und aufwändige Untersuchungen zur Flächennutzung und -Verfügbarkeit anzustellen. Besonders zu beachten sind dabei naturschutzfachliche/rechtliche Fragestellungen. Konfliktpotenziale können entstehen, wenn beispielsweise der Umgebungsbach ökologisch/naturschutzfachlich wertvolle flussnahe Auelebensräume tangiert oder wenn Auegewässer angebunden und für den Fischaufstieg genutzt werden sollen<sup>14</sup>. Dabei kann es durch den Bau eines Umgebungsgewässers zu erheblichen Veränderungen der beanspruchten wertvollen Lebensräume/Flächen (Lebensraumtypen nach FFH-Anhang I, geschützte Biotope) und zugehöriger geschützter Arten (FFH-Anhang II/IV, Rote Liste) kommen. In solchen Fällen verkompliziert sich die FAA-Planung und Realisierung erfahrungsgemäß erheblich. Es sind ggf. FFH-Verträglichkeitsstudien/Abschätzungen und spezielle artenschutzrechtliche Fachbeiträge (saP) inklusive die Planung geeigneter Kompensationsmaßnahmen in die FAA-Planung zu integrieren.

## 7.2 Ermittlung der Zielarten

Die Festlegung der Zielarten erfolgt grundsätzlich nach Kap. 3. Die erforderlichen Kenntnisse über die für eine konkrete FAA-Planung relevante Fischfauna lassen sich entweder durch Recherchen oder durch Untersuchungen erlangen:

- Geeignete Datengrundlagen sind z.B. amtliche Untersuchungsergebnisse aus dem Fischmonitoring zur Wasserrahmenrichtlinie. Voraussetzung für die Verwendung faunistischer Daten ist, dass die Untersuchungsstelle repräsentativ für die Fischfauna des **Bezugsraumes** der FAA-Planung ist (vgl. Kap 3). Gleichermaßen können auch andere Untersuchungsdaten von amtlichen und privaten Sachverständigen und Gutachtern verwendet werden, wenn sie nach anerkannten Methodenstandards (z.B. VDFF 2000, 2009, Handbuch zu fiBS), Handbuch tGewA) in repräsentativen (s.o.) Untersuchungsbereichen und einigermaßen zeitnah zur FAA-Planung (nicht älter als 5 Jahre) gewonnen wurden. Als alleinige Datengrundlage wenig geeignet für eine FAA-Planung sind Fang- und Besatzstatistiken der Angel- oder Berufsfischerei, da diese in der Regel selektiv die fischereilich attraktiven Arten enthalten, während fischfaunistisch und fischökologisch wichtige Zielarten (Kleinfischarten, seltene Arten) vielfach nicht vertreten sind. Die Statistiken können jedoch wichtige Zusatzinformationen liefern. Ergänzende Hinweise und Informationen zu Zielarten können auch aus der Befragung von fachkundigen Spezialisten (Angel-Berufsfischerei, Sachverständige) und soweit FFH-Schutzgebiete mit Bezug zum Gewässerlebensraum im Planungsgebiet vorliegen, aus den zugehörigen Standarddatenbögen und den gebietsbezogenen Erhaltungszielen bezogen werden. Wichtig bei der Verwendung von „externen“ Daten und Informationen für konkrete Planungen ist die Überprüfung und Plausibilitätskontrolle derselben durch planungsbeteiligte Fachleute (Fischökologen, Fischereisachverständige).
- Reichen die recherchierten Daten für eine sichere Feststellung des Ist-Zustandes der Fischfauna nicht aus, so sind ergänzende fischfaunistische **Untersuchungen** in repräsentativen Bereichen des Planungs-Bezugsraumes gemäß gültiger Methodenstandards (VDFF 2000) geboten.

Wenn gemäß Zielartenkonzept (Kap. 3) das **fischfaunistische Leitbild** Grundlage für die Zielartenauswahl ist, so sind diese aus der sog. **Referenzzönose** zu ermitteln. Die Listen der für den Bezugsraum geltenden Referenzzönosen in fischfaunistischen Vorranggewässern können beim Institut für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Starnberg, bezogen werden. Für FAA-Planungen außerhalb von fischfaunistischen Vorranggewässern lassen sich die Zielfischarten, soweit vorhanden, direkt aus den Referenzzönosen oder aus denen der angebundenen oder nahegelegenen Vorranggewässer der gleichen Fließgewässerregion ableiten. Für diese Ableitung ist spezifische Sachkunde (Fischökologie) erforderlich. Eine Abstimmung der Zielarten mit den zuständigen Fachbehörden, insbesondere mit der Fachberatung für Fischerei der Bezirke, ist zu empfehlen.

## 7.3 Ermittlung hydrologischer, hydrographischer und ökomorphologischer Grundlagen

Die Hydrologie des Einzugsgebietes oberhalb des Querbauwerkes ist eine entscheidende Einflussgröße jedweder FAA-Planung. Angefangen mit den Abflusshauptwerten, über die Abflussganglinien sind die für die **Betriebs-/Funktionszeiträume** der FAA relevanten **Überschreitungs- bzw. Unterschreitungsabflüsse** ( $Q_{30^{\circ}}-Q_{330}$ ) sowie die zugehörigen **Wasserspiegellagen** im Oberwasser- und Unterwasser des Querbauwerkes zu ermitteln. Auch sind künstliche Wasserspiegel- und Abflussschwankungen z. B. durch sog. Schwellbetrieb bzw. durch Speicherbetrieb oder Wasserausleitung festzustellen und bei der Planung zu berücksichtigen.

Anhand der für die FAA-Bemessung relevanten Wasserspiegellagen im Ober- und Unterwasser lässt sich die **Gesamt-Wasserspiegeldifferenz** ( $h_{ges}$ ) ermitteln, welche durch die FAA fischpassierbar überwunden werden muss. Hieraus und aus der Kenntnis der fischregionenspezifischen maximalen Höhensprünge der Wasserspiegel (siehe Bemessungswerte Tabelle 8) zwischen einzelnen Becken der FAA ( $\Delta h$ ) lässt sich für beckenförmige Anlagentypen vorab die Anzahl ( $n$ ) der benötigten Becken der FAA nach folgender Formel ermitteln:

$$n = \frac{h_{ges}}{\Delta h} - 1$$

Bei Kenntnis der Beckenlänge, die von der größtenbestimmenden Fischart bestimmt wird, kann die vorläufige Gesamtabwicklungslänge ( $L_{gesamt}$ ) der FAA wie folgt berechnet werden:

$$L_{gesamt} = n (l_b + d) + d$$

( $l_b$  = lichte Beckenlänge,  $d$  = Schwellen-/Trennwanddicke).

Die Kenntnis der „**Unterwasserlandschaft**“ im Unterwasser des Querbauwerkes ist eine wesentliche Voraussetzung für die Planung einer für alle Zielfischarten gut **auffindbaren** Mündung der FAA. Besonders genaue Daten werden für den **Nahbereich** des Unterwassers benötigt. Dieser Nahbereich kann in Abhängigkeit von der Größe (Breite) des Fließgewässers bzw. der Wehranlage mit 100–500 m (Entfernung zum Querbauwerk) angegeben werden. Zur Erfassung des Flussbettreliefs inkl. Uferböschungen im Nahbereich sind folgende Untersuchungen geeignet:

- Flächige Vermessung des Nahbereiches durch Peilungen. Bei kleineren, flachen Gewässern bzw. in Wassertiefen kleiner 1 m ist die herkömmliche Stangenpeilung das Mittel der Wahl.
- Bei Wassertiefen größer 1 m sind Echolot-/Sonarpeilungen vom Boot aus die zielführende Methode. In der Regel wird man bei größeren, tiefen Gewässern beide Aufnahme-Methoden miteinander kombinieren, da Echolote/Sonare im Flachwasser der Uferbereiche keine geeigneten Ergebnisse liefern.

Beide Peilungsmethoden, ob mit der Hand oder mittels Echolot, verbindet man bestenfalls mit einer automatisch gekoppelten GPS-Einmessung der Peilpunkte/-Linien. Ansonsten können natürlich auch normale Punkt-Vermessungsgeräte (Tachymeter) Verwendung finden.

Ziel der Unterwasseraufnahme muss sein, ein so dichtes Tiefen-Punkte-Raster bzw. ein so enges Netz aus Quer- und Längsprofilen zu erzeugen, dass daraus – zumindest bei großen Wehr- / Kraftwerksanlagen – ein zutreffendes (digitales) **Unterwassergeländemodell** des Nahbereiches erstellt werden kann. Bei der Aufnahme sind auch Sonderstrukturen, z.B. die Mündungen von Nebengewässern/Entwässerungsgräben, Buhnen und Leitwerke, besondere Uferformationen

oder Befestigungselemente ebenso wie Unterwasserstrukturen des Querbauwerkes (Wehrkolk, Wehrboden, Pfeiler, sonstige Strukturen) zu erfassen.

Wenn Planunterlagen zum Bau des Querbauwerkes und Quer- oder Längsschnitte aus amtlichen oder sonstigen Flusspeilungen vorliegen und diese zeitnah zur FAA-Planung erstellt wurden, können solche Daten als ergänzende oder zusätzliche Information genutzt werden. In der Regel reichen die üblichen Querprofilaufnahmen im Abstand von 50–200 m als alleinige Datengrundlage für eine FAA-Planung im Nahbereich aber nicht aus.

Querprofile im Abstand von 100–200 m sind jedoch geeignete Datengrundlagen zur großräumigen Erfassung der hydrographischen Verhältnisse bzw. des Wanderkorridor-Verlaufes des **erweiterten Planungsbereiches** im Unterwasser. Dieser kann je nach Anlagen-/Gewässergröße und nach der speziellen Situation des Flusslaufs auf Entfernungen zum Querbauwerk zwischen 100–2000 m eingegrenzt werden. Bei Ausleitungskraftwerken mit langen Unterwasserkanälen sind die Wanderkorridore in Einzelfällen noch mehrere km weit flussabwärts der Querbauwerke zu betrachten (bis ca. 1 km flussabwärts des Zusammenflusses von Unterwasserkanal und Mutterbett). Neben den Querprofilen bzw. dem Flussbettrelief sind im erweiterten Planungsbereich auch die sonstigen ökomorphologischen Verhältnisse (Ufer-, Böschungs- und Flussbettstrukturen, Böschungsneigungen, Verlauf des Talweges, etc.) übersichtsweise zu kartieren.

## 7.4 Ermittlung ökohydraulischer Grundlagen

Durch hydraulische Untersuchungen im **Nahbereich** des Querbauwerkes werden die Fließgeschwindigkeiten und -richtungen ebenso wie die Strömungsverteilung im Unterwasser möglichst genau abgebildet. Auch die Ermittlung der Wasserspiegellagen im Unter- und Oberwasser des Querbauwerkes bzw. der entsprechenden Höhendifferenzen bei unterschiedlichen Abfluss-Situationen (Abflusshauptwerte) zählt zu diesem Untersuchungskomplex. Kombiniert mit den Ergebnissen der hydrographischen Untersuchungen und unter Berücksichtigung der Zielarten lassen sich daraus in einer ökotechnischen Gesamtanalyse (siehe unten) die Wanderkorridore und die bestmöglichen Positionen für die Lage der unterwasserseitigen Mündungen der FAA sowie ein geeigneter Konstruktionstyp für die FAA ermitteln.

Die Untersuchungen zu den Fließgeschwindigkeiten und Strömungsverhältnissen im Unterwasser sollten bei unterschiedlichen Abflusssituationen (unter Berücksichtigung der Bemessungsabflüsse der FAA) und ggf. bei unterschiedlichen Wehr-Kraftwerksbetriebsszenarien durchgeführt werden. Nur so lassen sich konkurrierende Strömungsbereiche, Kehrströmungen oder sonstige unerwünschte „Strömungsereignisse“ (zu hohe, zu niedrige Geschwindigkeiten, zu turbulente Strömung etc.), welche eine Fehlleitung der Fische oder eine Störung der Aufwanderung zur Folge haben können ermitteln bzw. zuverlässig abschätzen. Beispielsweise verändert sich die Strömungsverteilung im Unterwasser bei einem Querbauwerk mit Wehr und Wasserkraftanlage entscheidend, wenn der Ausbaudurchfluss des Kraftwerkes überschritten wird und der Abfluss in zunehmendem Maße über das Wehr erfolgt. Gleiches gilt für Kraftwerkanlagen mit mehreren Turbinen, die unterschiedlich beaufschlagt werden sowie für Wehre mit mehreren Feldern und getrennter Steuerung der Wehrklappen.

Die wesentliche Untersuchungsmethode in diesem Kontext ist die Messung der Fließgeschwindigkeiten an möglichst vielen „Raumpunkten“ des Wasserkörpers im Nahbereich des Querbauwerkunterwassers. Die klassische Methode mit mechanischen Messflügeln und sog. Vielpunktmessungen an definierten Quer-/Tiefenprofilen ist bei kleineren Gewässern und entsprechend geringen Abflüssen meist gut geeignet. Wesentlich ist, dass man ein dichtes Netz von Messpunkten anlegt und so alle relevanten Strömungssituationen sowohl im Querprofil als auch in den relevanten Wasserbereichen zwischen Oberfläche und Sohle erfasst. Bei großen Wassertiefen und in starker, turbulenter Strömung stößt man mit der Messung mit mechanischen Flügeln oft

an Grenzen. Hier liefern Messungen mit Induktions-Messflügeln (Flowmate) oftmals bessere Ergebnisse. Bei großen Gewässern/Anlagen und aufwändigen FAA-Planungen lohnt sich in jedem Falle der Einsatz sog. ADCP-Geräte (acoustic doppler current profiler). Diese Ultraschall-Doppler-Geräte liefern, wenn sie am Boot oder mittels Schwimmern über den Flussquerschnitt bewegt werden, 3D-„Strömungsbilder“ über die Tiefe. Gleichzeitig wird auch die Sohlhöhe aufgezeichnet, so dass die ADCP-Messung, gekoppelt mit einem GPS auch für Sohlvermessungen geeignet ist. Durch mehrere Profilaufnahmen mittels ADCP kann **ein kombiniertes 3D-Strömungs-/Geländemodell** erstellt werden, welches eine ideale Grundlage für jedwede FAA-Planung darstellt soweit es um die Ermittlung und Planung der bestmöglichen Mündungssituationen im Unterwasser geht (gute Auffindbarkeit). Vorteil dieser Methode ist, dass die Messung eines Fließgeschwindigkeit-/Sohlprofils, welche bei der herkömmlichen Flügel-Messmethode bei großen Fluss-Querschnitten mehrere Stunden beanspruchen kann, innerhalb weniger Minuten erledigt ist. Als Nachteil kann die Messungenaugigkeit bei sehr geringen Wassertiefen (> 30–50 cm) und in sehr klarem, schwebstoffarmem/-freiem Wasser (Messprinzip: Dopplerfrequenzverschiebung von Ultraschallsignalen bewegter Streukörper wie z.B. Schwebstoffe, Plankton im Wasser) angesehen werden.

## 7.5 Auswahl des FAA-Typs

Die Auswahl des am besten geeigneten FAA-Typs bzw. der besten Maßnahme zur Herstellung der Durchgängigkeit an einem Standort ist mit die wichtigste Aufgabe des Planers und erfordert in der Regel ein hohes Maß an fischökologischen Kenntnissen und hydraulisch-technischer Kompetenz und Erfahrung. Bei der Bestimmung des „richtigen“ Anlagentyps orientiert man sich am besten an folgenden Hauptkriterien:

- Art des Querbauwerkes und Nutzung desselben (Sohlstützung, Wasserkraft, Ausleitung, Schwellbetrieb, Schifffahrt etc.)
- Höhendifferenz zwischen Ober- und Unterwasser
- Flächen- und Raumverfügbarkeit
- Gewässer-/Fischregion
- schwimmschwächste und größenbestimmende Zielfischarten
- Hydrologie und Abflusscharakteristik
- natürliche und künstliche Wasserspiegelschwankungen
- sonstige ggf. konkurrierende Nutzungen im und am Gewässer (Fischerei, Erholungs-Freizeitnutzung inkl. Freizeitschifffahrt) und daraus abzuleitende Vorteile/Risiken bestimmter Bautypen
- Bautypbedingte ökologische/naturschutzfachliche Synergieeffekte (z.B. ökologische Mehrfachfunktion von Umgebungsgewässern)
- Landschaftbild
- sonstige fachliche, fach-/planungsrechtliche Einschränkungen, Besonderheiten oder Möglichkeiten.

Weitergehende Ausführungen, wie die einzelnen Kriterien in den unzähligen möglichen Fallkonstellationen zu gewichten, miteinander zu verknüpfen und zu bewerten sind, übersteigen den Rahmen dieser Broschüre erheblich. Ein grobes „Abschichtungsmuster“ für die bei der Auswahl des Anlagentyps anzustellenden Überlegungen liefert nachfolgende Liste:

- a Primär entscheidet die **Art des Querbauwerkes und dessen Nutzung**, ob beispielsweise ein Rückbau möglich ist (keine oder marginale Nutzung, kleinere Höhendifferenzen). Bei Bauwerken mit bedeutender Sohlstützfunktion, aber ohne Wasserkraftnutzung, bietet sich zunächst die Möglichkeit des Umbaus in eine fischpassierbare Sohlgleite/-Rampe über die gesamte Gewässerbreite an. Sind steuerbare Wehrelemente zur Hochwasserabfuhr erforderlich oder besteht eine Wasserkraft- oder sonstige Nutzung (Schifffahrt etc.), wird man eher Teilrampen oder beckenartige, gerinneartige FAA sowie Tümpelpässe bzw. Umgehungsgewässer als Konstruktionstypen heranziehen.
- b Die **Verfügbarkeit von Flächen** und die räumliche Situation bestimmen maßgeblich den Anlagentyp. Bei beengten räumlichen Verhältnissen und großen Höhendifferenzen sind technische, becken- oder gerinneartige FAA (Schlitzpass, Raugerinne-Beckenpass etc.) das Mittel der Wahl. Stehen dagegen ausreichende Abwicklungsflächen zur Verfügung und sind geringe Höhendifferenzen abzubauen, bieten sich naturnahe Bautypen (Tümpelpass, Umgehungsgewässer) an. Diese können bei ausreichender Flächenverfügbarkeit auch bei großen zu überwindenden Höhendifferenzen verwendet werden. Oft ist es in solchen Konstellationen sinnvoll, insbesondere bei komplizierten Einstiegssituation (steile Ufermauern, hohe Böschungen etc.) naturnahe Bautypen mit technischen FAA zu kombinieren. Hierdurch können komplizierte Einstiegssituationen besser gelöst und kürzere Abwicklungslängen für den Haupt-Höhensprung im Unterwasser (Ufermauern, Uferböschungen) oder im Oberwasser (Überbrückung von Hochwasserdeichen etc.) erreicht werden.
- c Bei stärkeren **Oberwasserspiegelschwankungen** sind FAA mit horizontal breiten und starren Einlaufquerschnitten/Bauwerken (Rampen, Gleiten etc.) ungeeignet. FAA mit senkrechten Einlaufschlitzen können dagegen eine begrenzte Schwankungsamplitude abdecken.
- d Von durchaus erheblicher Bedeutung bei der Wahl des Bautyps sind auch die im Umfeld der Anlage stattfindenden **Nutzungen und Freizeit-/Erholungsaktivitäten**. Hierbei spielen sowohl Überlegungen hinsichtlich kombinationsfähiger Bautypen (Fisch- und Kanupassierbarkeit) als auch hinsichtlich der Anfälligkeit der Bautypen gegenüber Zweckentfremdung und Fremdnutzung eine Rolle. Bei starker Freizeitnutzung werden beispielsweise die meist leicht zugänglichen naturnahen FAA gerne als Abenteuer-Spielplatz und als „Naturbaukasten“ benutzt. Darunter, aber evtl. auch unter einer Nutzung als Bootsgasse, leidet die Funktionsfähigkeit erheblich.
- e Wichtig ist auch die Beachtung der **Funktionsicherheit** bestimmter Anlagentypen bzw. die Anfälligkeit gegenüber Verlegung und Verkläusung. Die entsprechende Charakteristik des Einzugsgebietes (starker Treibholzanfall, hoher Sedimenttransport, starke Frosteinflüsse bzw. Eisbildung etc.) spielt hier bei der Typenwahl ebenso eine Rolle wie die vor Ort zu erwartenden Unterhaltungsmöglichkeiten und -intensitäten (Zuordnung der Unterhaltungslast).
- f Sollen mit der FAA nicht nur ökologische Ansprüche hinsichtlich der Durchgängigkeit abgedeckt, sondern **weitergehende ökologische Ausgleichsfunktionen** (Ersatz für Fließgewässerlebensraum) erfüllt werden, bietet sich das Umgehungsgewässer als Bautyp an.

Grundsätzlich ist jedes der Auswahlkriterien a) bis f) jeweils im Hinblick auf die gewässerregionstypischen Zielfischarten und deren räumliche Ansprüche hinsichtlich der Dimensionierung der FAA (größenbestimmende Arten) und der hydraulischen Bemessung (geeignete Gefälle, Höhensprünge, Fließgeschwindigkeiten etc. für schwimmschwache Arten) eingehend abzuprüfen, um daraus letztlich die Eignung der Anlage hinsichtlich guter Auffindbarkeit und Passierbarkeit sicherzustellen.

## 7.6 Ökotechnische Gesamtanalyse

Am Ende der Grundlagenermittlung steht eine **ökotechnische Gesamtanalyse**. Diese soll durch Verschneidung der einzelnen Erhebungsmodule folgende planungsrelevanten Hauptergebnisse liefern und zusammenstellen:

- Nutzungsverhältnisse am Querbauwerk ermittelt
- Gesamthöhenunterschied festgestellt
- Flächenverfügbarkeit geklärt
- größenbestimmende und schwimmschwächste Zielfischarten definiert
- Funktionszeitraum festgelegt ( $Q_{30}$ - $Q_{330}$  oder andere Konstellationen)
- Wanderkorridor ermittelt
- optimale Position (Schlüsselposition) des Einstieges der FAA im Unterwasser festgestellt
- minimale Abwicklungslänge der FAA abgeschätzt und Möglichkeiten der Linienführung geklärt
- Risiken und Vorteile einzelner Konstruktionstypen geprüft
- geeigneter FAA-Typ und minimaler Flächen-/Raumbedarf (Beckengröße, Beckenzahl etc.) definiert
- Hochwassersicherheit abgeklärt
- Planungs-/Bauerschwernisse und besondere Zwangspunkte ermittelt.

Die Ergebnisse der ökotechnischen Gesamtanalyse werden sinnvollerweise in einem Übersichts-lageplan (M: 1:1000 bis 1: 5000 je nach Größe des Nahbereiches) mit zugehöriger Erläuterung zusammengestellt.

## 7.7 Fehlervermeidung bei der Planung und Möglichkeiten der Optimierung bestehender Anlagen

### 7.7.1 Auffindbarkeit

#### Probleme bei der Herstellung einer guten Auffindbarkeit/Mündungspositionierung

Auf die Frage nach der korrekten Mündung für eine FAA gibt es keine Standardantwort. Vielmehr muss hierzu bei jedem Projekt aufs Neue der beschriebene iterative Analyse- und Planungsprozess sorgfältig und mit der notwendigen Fach- und Sachkunde durchexerziert werden. Gerade beim Thema Mündungsposition werden immer wieder Kompromisse eingegangen und Mündungsvarianten realisiert, welche einfacher zu planen und zu bauen, zudem kostengünstiger und möglicherweise auch optisch ansprechender sind als die optimale Mündungslösung. Die Erfahrung, dass einige Fischarten oder Individuen auch in „falsch“ positionierte Mündungen von FAA doch irgendwie und irgendwann einschwimmen und dort aufsteigen, wird dabei gerne als Beleg herangezogen, dass diese Anlagen funktionsfähig seien. Wenn man solche Anlagen näher

untersucht, stellt sich in den meisten Fällen heraus, dass es überwiegend nicht die meist rheophilen Ziel-Fischarten sind, die schlecht positionierte Mündungen und FAA nutzen, sondern indifferente Arten (Ubiquisten), für die die Herstellung der guten Durchgängigkeit bei weitem nicht so überlebenswichtig ist, wie für die rheophilen Flussfische oder sogar die fernwandernden Arten. Insofern müssen „falsche“ Mündungspositionen, die aus Gründen der leichten und kostengünstigeren Realisierbarkeit oder der besseren Optik wegen bevorzugt wurden, primär als gravierende Planungsfehler und Verstoß gegen den Stand der Wissenschaft und Technik angesehen werden.

Der häufigste Fall für Planungsfehler auch bei jüngsten FAA-Planungen ist der Rückgriff auf bereits vorhandene Mündungen von Entwässerungsgräben, von ehemaligen Nebenarmen/Altarmen oder von Zubringern, welche häufig im Abstand von 50 bis mehreren 100 m unterhalb von Querbauwerken/Stauanlagen einmünden bzw. beim Bau der Stauanlage dorthin verlegt wurden. Diese Mündungen werden dann mittels einfacher und kostengünstiger Anpassungsmaßnahmen „passierbar“ gemacht, die Gerinne zusätzlich im Oberwasser angebunden und fertig ist der (weitgehend funktionsuntaugliche) Umgehungsbach.

Es soll damit keineswegs ausgeschlossen werden, dass bereits bestehende künstliche Gerinne oder natürliche Auegewässer in neue Fischaufstiegsanlagen zur Bildung eines funktionsfähigen Umgehungsbaches integriert werden können. Wesentlich ist aber, dass die Mündungsbereiche entweder von vornherein richtig positioniert sind, d.h. direkt an der **Schlüsselposition** im Bereich des Zusammentreffens von Wanderkorridor und Querbauwerk liegen oder, wenn an anderer Stelle angelegt, mit sehr guter Leitströmungswirkung in den Hauptwanderkorridor der Zielfischarten hineinwirken. Bei Verwendung von bestehenden Gerinnen mit ungünstiger Mündungslage muss dann ein zusätzlicher Aufstiegsweg mit einer zweiten Mündung direkt am Querbauwerk/Wanderkorridor eröffnet werden.

Die räumlich beengte Situation an Altanlagen oder massive Verbauungen und Befestigungen der Uferböschungen unterhalb von Wehr/Kraftwerksanlagen sind ebenfalls häufig Anlass dafür, dass auf suboptimale oder unzureichende FAA-Einstiegslösungen ausgewichen wird. Die Mündungen werden dann einfach flussabwärts der Ufermauern oder sonstiger harter Befestigungen positioniert, oft 30–100 m von der Wanderungsbarriere entfernt. Hiermit umgeht man zwar die erhöhten baulichen/planerischen Schwierigkeiten und Kosten einer korrekten Positionierung, die einen aufwändigen baulichen Eingriff in die Uferbefestigung, den Wehrkörper oder die Kraftwerksanlage erfordern kann, aber weicht gleichzeitig auch den aufwandernden Zielfischarten aus. Solche Mündungen kommen dann oft im Bereich ufernaher Kehrströmungen oder im Strömungsschatten zu liegen, keinesfalls aber an der Schlüsselposition direkt am Querbauwerk, wo sich die Fische konzentriert einstellen. Die Auffindbarkeit für die Zielfischarten ist stark eingeschränkt oder nicht gegeben.

Wenn also die optimale Positionierung des FAA-Einstieges im Unterwasser wegen Raum Mangels, aus bautechnischen Gründen, wegen Gefährdung der Standsicherheit von Anlagen oder unverhältnismäßiger Kostensteigerungen tatsächlich nicht realisierbar ist, muss entweder auf FAA-Sonderlösungen direkt am Querbauwerk (z.B. Fischaufzüge, Schleusen) ausgewichen werden, oder eine, bei Bedarf auch mehrere „zweitbeste“ Mündungslösungen im Bereich des Hauptwanderkorridors der Fische gesucht werden.

Ein geeignetes Fallbeispiel (Anhangbeispiel UGS Donaustufe Vohburg) dafür, in welchen Fällen Kompromisse bei der Einstiegspositionierung unumgänglich sind und wie diese dennoch zu einer funktionstauglichen Lösung führen können, ist das Umgehungssystem (UGS) an der Donaustufe Vohburg. Zielsetzung bei der Planung war ein großräumiges, weit ins Oberwasser reichendes UGS zu realisieren, dass folgende Funktionen vereinen sollte:

- Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Durchgängigkeit
- Schaffung von Ersatz-Fließgewässerlebensraum

- Schaffung von Laichplätzen und Jungfischhabitaten für die rheophile Donau-Fischfauna.

Auf der linken Flussseite, wo das Kraftwerk liegt und damit die ideale Mündungsposition am Zusammentreffen von Hauptwanderkorridor (uferseitiger Turbinenabstrom) auf das Querbauwerk gegeben wäre, gab es kein Durchkommen für das geplante, ca. 8 km ins Oberwasser reichende Umgehungsgewässer. Straßen, Verkehrsflächen, Siedlungen und Industrie-/Kraftwerksanlagen sowie ungeeignete und zum Teil beengte Geländebeziehungen verhinderten eine zufriedenstellende Lösung auf der „richtigen“ Seite. Gestützt auf aufwändige hydrographische und hydraulische Grundlagenuntersuchungen und Analysen wurde daher eine geeignete Mündungslösung auf der anderen Flussseite realisiert (Beispiel). Der kleine Nebenfluss Paar wurde in das Umgehungssystem integriert. Bei der Verlegung von dessen Mündung in das Unterwasser des Querbauwerkes wurde darauf geachtet, dass ein optimales Zusammentreffen zwischen Mündungsposition, Leitströmungsrichtung und dem Hauptwanderkorridor der Donaufische (entlang des Prallufers) gewährleistet ist. Zur Optimierung der Auffindbarkeit wurden zwei Mündungen im Abstand von etwa 1,5 km angelegt, die beide mit ihrer Leitströmung weit in den Hauptabflussstrang der Donau und damit in den Wanderkorridor der Fische hinein wirksam sind. Das Zusammenwirken zwischen günstig positionierter Mündung, hoher Leitströmungsabflüsse an den beiden Mündungen (bei MQ ca. 12,5 m<sup>3</sup>/s Leitströmungsabfluss<sup>15</sup> bei ca. 330 m<sup>3</sup>/s MQ Donau) führt zu einer durch Untersuchungen nachgewiesenen sehr guten Auffindbarkeit und guten Funktionsfähigkeit des Umgehungssystems.

Fazit ist, dass bei allen von der Idealposition des Einstieges abweichenden Lösungen ganz besonders sorgfältige Grundlagenuntersuchungen und ökotechnische Analysen durchzuführen sind, um die Nachteile einer suboptimalen Mündungsposition weitestgehend zu kompensieren. Besonders zu beachten ist in diesem Kontext, dass die Leitströmung und damit der für den Fischaufstieg benötigte Gesamtabfluss umso stärker/größer sein muss, je weiter der Einstieg von der Optimalposition entfernt ist. Im Falle von Querbauwerken mit Wasserkraftnutzung können somit anfänglich eingesparte Baukosten für eine preiswerte, aber ökologisch suboptimale Einstiegspositionierung für den Bauherrn oder Betreiber der Anlage infolge der erhöhten Abflussabgabe bzw. der entsprechend verminderten Erzeugungsleistung mittel- bis langfristig recht teuer werden.

*15 Dotation des Umgehungssystems bei MQ Donau = 3 m<sup>3</sup>/s zuzüglich MQ Abfluss Paar = ca. 9,5 m<sup>3</sup>/s*

## Verbesserungsmöglichkeiten bei bestehenden Anlagen:

Wenn die FAA-Einstiege bestehender Anlagen nicht aufgefunden werden, liegt dies in den meisten Fällen entweder

- an der ungünstigen Lage (horizontale oder vertikale Falschpositionierung) der Mündung im Verhältnis zum Querbauwerk bzw. zum Wanderkorridor im Unterwasser oder
- an einem unzureichenden Leitströmungsimpuls oder einem unterbrochenen/unvollständigen Leitkorridor.

Zu a) Eine FAA-Mündung, die zu weit vom Querbauwerk im Unterwasser und dort nicht unmittelbar in Nähe des Wanderkorridors liegt, ist bei großen Fließquerschnitten schwer zu verbessern. In solchen Fällen hilft nur die Anlage einer zweiten, gut positionierten Mündung am Querbauwerk oder gar der bei einer weiteren FAA. Bei kleineren Gewässern und Fließquerschnitten lässt sich unter Umständen der Wanderkorridor durch Anlage eines „künstlichen Leitpfades“ soweit verlagern, dass die aufwandernden Fische in Richtung auf die FAA-Mündung abgelenkt werden. Dies kann beispielsweise durch aufgelöste Blocksteinleitwerke (es können auch gemischte Blockstein-Totholzelemente verwendet werden) erfolgen, welche, bei geeigneter Anordnung sowohl ein fischattraktives und -lenkendes Strömungsmuster erzeugen, als auch strukturelle Leitwirkungen (optische Orientierung, zeitweise Rast- und Schutzräume) auf Fische haben. Wesentlich ist, dass die Leitpfade schräg zur Fließrichtung über den gesamten potenziellen Wanderkorridor zur FAA-Mündung hin gerichtet sind (siehe Planungsbeispiel Pegnitz).

Eine vertikale Falschpositionierung kann ggf. durch eine geeignete Anrampung und Verbindung zwischen Gewässersohle und der FAA-Sohle geheilt werden. Wenn durch ungünstige Unterwasserbettgestaltung (betonierte Tosbecken) kein geeigneter Sohlanschluss zwischen Gewässer- und FAA-Sohle besteht, kann dieses Defizit durch Herstellung eines gewässertypischen Substratbandes im Wanderkorridor (Bruchsteineinbau) abgebaut werden.

Zu b) Ein unzureichender Leitströmungsimpuls/Leitkorridor kann durch unterschiedliche Maßnahmen verbessert werden wie beispielsweise durch:

- Verengung des Austrittsstrahls der FAA-Mündung oder Vergrößerung des letzten Höhengsprunges zum Unterwasserspiegel und dadurch Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten (Abb. Planungsbeispiel Pegnitz) unter Beachtung der Grenz- und Bemessungswerte gemäß Kap.5.
- Erhöhung der Dotation der FAA (nur bei Einhaltung der hydraulischen Grenzwerte) oder Anlage einer Zusatzdotation (siehe Kap. 5.4).
- Verbesserung des Abströmungswinkels/-korridors durch Leitbermen, Buhnen (Abb. 12 C) oder durch konstruktive Vermeidung/Verhinderung von störenden Still- und Kehrwasserbereichen (Verfüllung von Uferausbuchtungen, strömungslenkende Strukturen).
- Veränderung der Abflussverteilung am Querbauwerk- bzw. FAA Standort z. B. durch gezielten Beaufschlagung der FAA-seitigen Turbine bzw. des FAA-seitigen Wehrfeldes während der Hauptwanderzeiten.

## 7.7.2 Passierbarkeit

Korrekte, fachlich fundierte Planung vorausgesetzt, liegt eine der Hauptursachen für unzureichende Passierbarkeit in Unzulänglichkeiten bei der Bauausführung. Bei rein technisch gestalteten FAA wie Schlitzpässen steckt der Teufel meist im Detail, das heißt in der korrekten Herstellung und dem richtigen Einbau der strömungslenkenden Beckeneinbauten und der Sohlrauigkeitsschicht. Wenn man Kosten einsparen will und die Leitwandfortsätze durch U-Profile ersetzt, welche die Holzbohlen der Trennwände halten, dann müssen diese Profile eine ausreichende Profildicke haben, um als Leitwand zu wirken. Bei den zu kurzen Profilen, wie z.B. in Abb. 15, ist dies nicht der Fall, so dass Querströmungen den Schlitzabfluss stören. Auch kommt der Seite, auf der die Schlitzlöcher liegen, bei abknickender oder gebogener Linienführung des Schlitzpässes große Bedeutung zu. Wenn sie auf der falschen Seite liegen, kann ein hydraulischer Kurzschluss entstehen, es sei denn, die Umlenkblöcke oder die Trennwandwinkel werden entsprechend angepasst. In diesem Zusammenhang ist die praktische Erfahrung der Bauausführenden oder der bauleitenden Ingenieure/Ökologen die beste Gewährleistung für eine funktionsfähige, weil gut passierbare FAA.

Erfahrung und ökotechnische Kompetenz ist in noch stärkerem Maße gefordert beim Bau von Raugerinne-Beckenpässen und naturnahen Bautypen – seien es Sohlrampen/-Gleiten, Umgehungsgewässer oder Tümpelpässe. Beginnend bei der Auswahl der geeigneten Steinformen über das Setzen von Einzelblöcken bis zum Einbau der Steine als Deckwerke, Störsteine, Steinschwellen oder Steinriegel, können bei jedem einzelnen dieser Schritte entscheidende Fortschritte oder Fehler gemacht werden. Hervorragende Anleitungen hierzu können aus GEBLER (2009) und dem Baden-Württembergischen Durchgängigkeitsleitfaden: „Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern Leitfaden Teil 2 – Umgehungsgewässer und fischpassierbare Querbauwerke“ (BULW 2006) entnommen werden. Wesentlich für das Gelingen gerade der unregelmäßigen, naturnahen Strukturen und Bauformen ist, dass besondere Sorgfalt auf den Einbau und die Einstellung der Becken-/Schwellenübergänge oder der Lücken/Schlitzlöcher zwischen Steinriegeln verwendet wird. Abgesehen davon, dass in jedem Falle die planerischen Vorgaben hinsichtlich der Überfallhöhen und Gesamt-Schlitzweiten bzw. Durchfluss-Querschnitte strikt zu befolgen sind, ist hier

das ökohydraulische „Gespür“ des Bauleiters und die entsprechend orientierte Kunstfertigkeit und Erfahrung des Maschinenführers die beste Gewähr für einen gelungenen „Rohbau“.

Von einer zu frühen endgültigen Fixierung der oft mehrere 100 kg schweren Einzelblöcke in komplexen Rampen oder Raugerinnen ist dringend abzuraten. Eine von vornherein voll funktionstaugliche Herstellung eines Sohlgleite- oder eines Raugerinne-Beckenpasses dürfte nämlich auch bei sehr großer planerischer Erfahrung und entsprechender Kunstfertigkeit bei der Ausführung nur in den seltensten Fällen gelingen. Vielmehr ist es in der Regel unerlässlich nach dem ersten Probelauf einzelne Steine, ganze Riegel oder Beckenübergänge „händisch“ nachjustieren. In der Praxis führt dann die Korrektur einer Problemstelle z.B. eines zu großen Höhensprunges zu deutlichen hydraulischen Veränderungen auch in den anschließenden Schwellen und Becken, so dass, wie bei einer Kettenreaktion, weitere Korrekturen erforderlich werden. Grundsätzlich ist es empfehlenswert, solche Anpassungsarbeiten insbesondere bei Anlagen mit schlitzförmigen Übergängen von unten nach oben auszuführen.

### Maßnahmen und Möglichkeiten zur nachträglichen Verbesserung der Passierbarkeit:

Wenn die Gesamtanlage geometrisch zu knapp bemessen oder das Gesamtgefälle zu groß angelegt wurde, ist die FAA in der Regel hydraulisch überlastet (zu große Fließgeschwindigkeiten, zu große Turbulenz). Bei becken- oder gerinneförmigen Anlagen, welche nur Anteile des Gesamtabflusses aufnehmen, kann über die Reduzierung des Betriebsabflusses hier eine gewisse Entlastung bzw. Verbesserung erzielt werden. Gleichzeitig müssen aber insbesondere bei technischen Anlagen die Beckenübergänge/Schlitz etc. entsprechend angepasst und verkleinert werden. Weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Passierbarkeit sind:

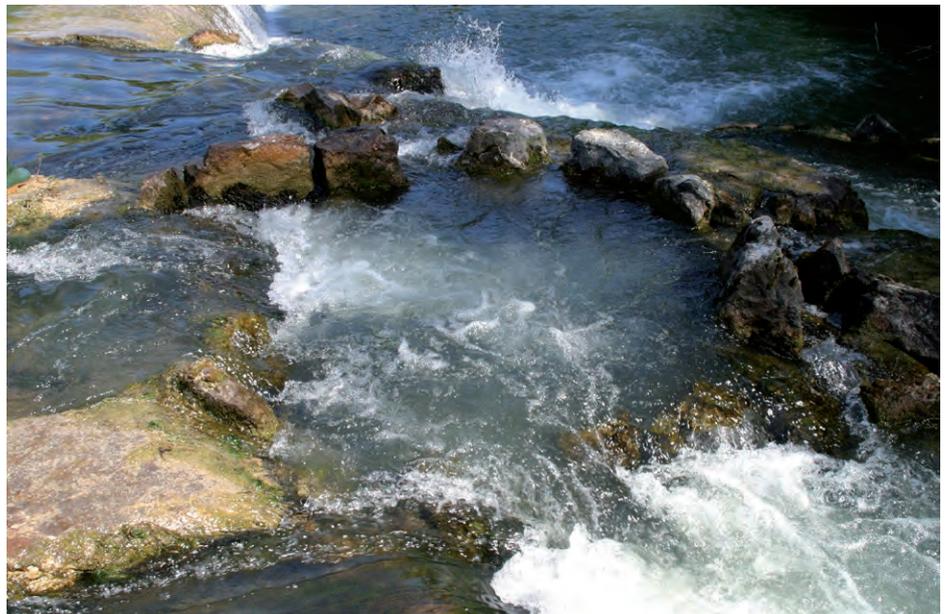
- systematische Anpassung der strömunglenkenden Einbauten in Schlitzpässen (Leitwand, Ablenkblock), sowie der Schwellen-/Trennwandhöhe und Schlitzweite/Lückenbreite und der Höhendifferenzen in beckenförmigen FAA an die Dotationswassermenge,



Abb. 48: Raugerinne-Beckenpass im Rohbau. In einem anschließenden Probelauf können Schwachstellen erkannt und nachgebessert werden.

- Umsetzen bzw. Umbau von Störsteinen oder Riegeln in naturnahen FAA zur Verbesserung einzelner Schwellen-/Beckenübergänge bzw. zur gezielten Strömunglenkung,
- Erhöhung der Sohlrauigkeit zur Verminderung der Fließgeschwindigkeiten und zur Anhebung des Wasserspiegels in Engstellen oder großflächig.

Abb. 49: Hydraulisch überlastete Tümpelpässe mit schießendem Abfluss, extremen Turbulenzen und hydraulischem Kurzschluss; eine Abflussreduzierung kann hier die Passierbarkeit verbessern.



## 8 Wartung, Qualitätssicherung und Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen

### 8.1 Wartung, Qualitätssicherung und Betriebssicherheit

Jede FAA, ob naturnaher Tümpelpass oder technisches Aufstiegsgerinne, bedarf der regelmäßigen Kontrolle und Wartung um die Passierbarkeit und damit eine nachhaltige Funktionsfähigkeit zu gewährleisten. Insbesondere müssen die Anlagen routinemäßig auf Verklausungen und Verlegungen sowohl der Einlaufbereiche als auch der Schwellen und Durchlassöffnungen kontrolliert und solche entfernt werden. Am wenigsten anfällig für Verlegungen sind rampenförmige FAA, aber auch hier kann es durch eingetragenes Schwemmholz oder durch Sediment- und Geschiebeintrag zur Verlegung der Wanderkorridore kommen. Rampen und Sohlgleiten sind daher keinesfalls als wartungsfreie FAA anzusehen, sondern müssen ggf. nach Hochwasserereignissen wieder passierbar gemacht werden (Räumung). Bei der Planung sollte daher auf eine möglichst gute Zugänglichkeit der FAA in allen Abschnitten geachtet werden.



Im alpinen Raum kann es während des Winters durch Vereisungen zu Betriebseinschränkungen oder Störungen der FAA kommen. Insbesondere an den Einlaufbauwerken und Engstellen sind daher besondere Vorkehrungen und Kontrollen zu empfehlen.

Um die Funktionsfähigkeit einer FAA zu gewährleisten und nachhaltig zu sichern, sollte schon bei Planung und Bau ein **Konzept zur Qualitätssicherung** entwickelt werden, welches dann in entsprechenden Teilen zusätzlich zum Erhalt der **Betriebssicherheit und Störfallvorsorge** ggf. im Bescheid verankert werden sollte. Wesentliche Eckpunkte dabei sind:

- Qualitätssicherung der Planung durch sachgemäße Grundlagenermittlung (siehe Kap. 7).
- Sicherung der biologischen Funktionsfähigkeit (Auffindbarkeit u. Passierbarkeit) der FAA durch Einhaltung der maßgeblichen geometrischen und hydraulischen Grenz- bzw. Bemessungswerte sowie durch Berücksichtigung sonstiger relevanter Kriterien und Parameter (Fischverhalten, Wanderrouen, Wanderkorridore) bei der Planung und während des Baus.
- Sicherstellung der biologischen Funktionsfähigkeit im regulären Betrieb durch Messeinrichtungen für die Dotationsabflüsse der FAA. Am sinnvollsten sind automatische, dauerregistrierende Messeinrichtungen. Als Minimalanforderung sind gut zugängliche und geeichte Lattenpegel anzusehen. Darüber hinaus sollte in größeren zeitlichen Abständen auch die Einhaltung der geometrischen und hydraulischen Grenz- und Bemessungswerte kontrolliert werden.
- Sicherung der Anlage vor Beschädigung (Gemeingebrauch) und falls notwendig Fernhaltung bzw. Einschränkung von Freizeitnutzungen (Bade-, Bootsbetrieb etc.).
- Kontroll- und Wartungsanleitung.

Abb. 50: Die Holz- und Treibgutverklausung führte im Schlitzpass (links), da nur an der Oberfläche wirksam, zu einer geringen Behinderung, während im Tümpelpass (rechts) der Fischaufstieg stark behindert ist.

- Spül-/Räumungsordnung bei Versandung/Verklauserung etc.
- Verfahrensregelung bei Staulegung inkl. Notdotation und Fischbergungsmaßnahmen.
- Sicherungskonzept für Hochwasser und sonstige Katastrophenereignisse (Wehrklappenbruch etc.).

## 8.2 Funktionskontrollen

Für die Funktionskontrolle von FAA gibt es einen definierten und umfassenden Methodenstandard, auf den hier zur Vermeidung von Wiederholungen vollinhaltlich verwiesen wird: „Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen“ (EBEL et al.: BWK Fachinformationen 1/2006). Die Funktionskontrolle, insbesondere bei komplexen Gesamtanlagen an größeren Gewässern, sollte grundsätzlich auf zwei unterschiedlichen methodischen Ebenen ablaufen:

- A Technisch-hydraulische Standortcharakterisierung und Funktionsvorprüfung
- B Biologische Funktionskontrolle

An kleinen Anlagen mit einer geringen Anzahl an Variablen, welche die Passierbarkeit und Auffindbarkeit beeinflussen, kann auf Punkt B) u.U. verzichtet werden.

- A Die wesentlichen Erfassungsparameter und Hauptmessungen-/Berechnungen sind:

- I. Überprüfung der Passierbarkeit

- Beckengeometrie
- Wassertiefen
- Sohlsubstrat (Aufbau, Rauigkeit, Unterbrechungen)
- Wasserspiegeldifferenzen
- Fließgeschwindigkeiten im Tiefen- und Querprofil in Becken und in Durchlässen
- Leistungsdichten
- mögliche Kurzschlussströmungen
- Vermessung Unterwasserspiegel bei den verschiedenen Bemessungs-Wasserführungen

- II. Überprüfung der Auffindbarkeit

- Leitströmung: Fließgeschwindigkeit in Leitströmung und Hauptströmung und Bestimmung der Größe und Richtung des Leitimpulses sowie des Winkels zwischen Leitströmung und Hauptströmung
- Leitströmungsqualität bei unterschiedlichen Betriebssituationen von Wehr und Kraftwerk
- Lage der Leitströmung in Verhältnis zum Wanderkorridor (Unterwasserkomponente)
- Entfernung FAA-Einstieg – Querbauwerk
- Anbindung zwischen Gewässersohle und FAA (senkrechter Abstand)

- B Die wesentlichen Methoden zur Durchführung biologischer Funktionskontrollen sind:

- **Reusenkontrolluntersuchungen** zur Ermittlung der Arten und Zahlen der die FAA passierenden Fische: Einsatz von unterschiedlichen Reusentypen (Netzreusen, Kastenreusen mit Drahtgitter oder Lochblechwandungen) – am besten in hierfür baulich angepassten Querschnittsbereichen am oberwasserseitigen Ausstieg der FAA (Abb. 50, rechts). Bei Rampen

oder Gleitenbauwerken und größeren Umgebungsächen müssen die aufsteigenden Fische im Oberwasser über geeignete Sammel- bzw. Leiteinrichtungen (Leitnetze, -gitter) in die Fangreusen gelenkt werden. Die Reusenuntersuchungen sollten über repräsentative Zeitabschnitte (möglichst mit täglichen Leerungen), während der Hauptwanderphasen der relevanten Arten über einen oder mehrere Jahreszyklen (5–9 Monate pro Jahr je nach Gewässertyp und Fischfauna) durchgeführt werden. Ergänzend zu den Aufstiegsuntersuchungen sind sonstige abiotische Parameter wie Wassertemperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration und der Abfluss an repräsentativen Pegeln aufzuzeichnen.

- **Elektrobefischungen im Unterwasser** des Querbauwerkes (Nah- und Fernbereich) ggf. in Kombination mit anderen Erfassungsmethoden (Hydroakustik, Akustische Kameras) zur Ermittlung des Fischbestandes (Arten, Abundanzen, Dominanzverhältnisse, Biomassen).
- **Elektrobefischungen in naturnahen FAA:** zur Bestandsermittlung. Bei größeren Umgebungs-systemen kann die regelmäßige Untersuchung ausgewählter Probestrecken im Längsverlauf in Kombination mit Bestandserhebungen und **Fischmarkierungen** im Unterwasser des Querbauwerkes wesentliche Erkenntnisse zur Besiedlungsdynamik und zur Funktionsfähigkeit (longitudinale und laterale Durchgängigkeit) der FAA liefern.

Aus dem Vergleich der Untersuchungsergebnisse von Aufstiegszählungen (Reusenkontrollen oder sonstigen Zählmethoden, siehe unten) und der Fischbestandserfassungen im Unterwasser der Anlage kann, ggf. unter Einsatz statistischer Methoden, eine Bewertung der Funktionsfähigkeit nach folgenden Kriterien erfolgen:

- a Gesamtaufstiegszahlen nach Arten und Größen, Aufstiegszahlen pro Zeiteinheit
- b Fischbestände (im Unterwasser): nach Arteninventar, Abundanzen, Biomassen, Dominanzverhältnisse (Bezug Fangergebnisse). Absolute Bestandsgrößen nach Individuenzahlen können nur durch Markierungs-Wiederfangversuche, bei kleineren Gewässern auch über quantitative Befischungen (Methode nach de LURY) abgeschätzt werden oder mit Hilfe von hydroakustischen Methoden (DIDSON etc. siehe unten) ermittelt werden.
- c Effektivität der FAA durch quantitativen Vergleich der Präsenz im Unterwasser und im Aufstieg (nur möglich bei Einzelarten, die quantitativ im Unterwasser erfasst werden können, Methoden siehe b).
- d Artenselektivität (Präsenzvergleich zwischen Artenanteilen im Unterwasser und in der Kontrolleinrichtung).
- e Größenselektivität (Präsenzvergleich der Größenklassen im Unterwasser und Kontrollreuse).

Weitere Methoden der biologischen Aufstiegskontrolle sind:

- Sichtbeobachtung/Videoaufzeichnung
- Hydroakustische Methoden durch Echolot oder Sonargeräte (z.B. Akustische Kamera: Methode DIDSON<sup>16</sup>)
- Telemetrie und Transpondereinsatz.

<sup>16</sup> DIDSON = Zweifrequenz-Identifizierungssonar zur quantitativen Erfassung mit Artidentifizierung von Fischen in definierten Fließquerschnitten/-Volumen; Informationen: Landesfischereiverband Westfalen und Lippe e.V.; Dr. Marc Schmidt; schmidt@lfv-westfalen.de

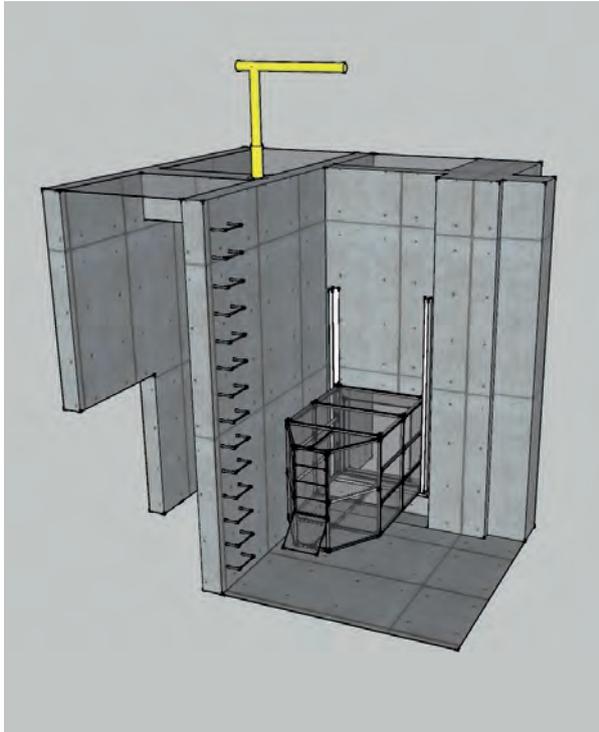


Abb. 51: Planung einer Kontrollreuse am Einlauf zu einem Schlitzpass (Einlaufsituation links) und 3D-Plan der Lochblech-Reuse (rechts), Reuse im Fangeinsatz (unten).

## 9 Literatur

- ADAM, B., BOSSE, R., DUMONT, U., HADDERINGH, R., JÖRGENSEN, L., KALUSA, B., LEHMANN, G., PISCHEL, R. und SCHWEVERS, U. (2005): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. ATV-DVWK-Themen WW-8.1, Hennef, 256 S.
- ADAM, B., KAMPKE, W., ENGLER, O. und LINDEMANN, C. (2009): Ethohydraulische Tests zur Rauigkeitspräferenz kleiner Fischarten und Individuen. Sonderbericht für das DBU-Projekt „Ethohydraulik – eine Grundlage für naturschutzverträglichen Wasserbau“ (Projektnummer 25429-33/2), 32 S.
- ADAM, B. und SCHWEVERS, U. (1998): Zur Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen – Verhaltensbeobachtungen an Fischen in einem Modellgerinne. Wasser und Boden 50. Jahrgang(4): S. 55–58.
- ADAM, B. und SCHWEVERS, U. (2001): Planungshilfen für den Bau funktionsfähiger Fischaufstiegsanlagen. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen, Bibliothek Natur und Wissenschaft 17, 65 S.
- ATV-DVWK (2004): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen: Bemessung, Gestaltung-Funktionskontrolle. ATV-DVWK Themen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Hennef-Deutschland, M-501, 256 S.
- BELL, M. (1990): Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria (Third Edition). Fish Passage and Development and Evaluation Program, Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon, 307 S.
- AG-FAH (2011): Grundlagen für einen Österreichischen Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen, (FAHs). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 86 S.
- BOHL, E. und VORDERMEIER, T. (1999): Untersuchungen zur Durchgängigkeit von Fließgewässern für Fische. In: Materialien. WASSERWIRTSCHAFT, B.L.F. (Hrsg). Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München: 222 S.
- BORN, O. (1995): Untersuchungen zur Wirksamkeit von Fischaufstiegshilfen am unterfränkischen Main. Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau, Institut für Tierwissenschaften. München, Technische Universität: 235 S.
- BOVEE, K. D. (1978): Probability-of-use criteria for the family Salmonidae. Instream Flow Information Paper. Cooperative Instream Flow Service Group. Water Energy and Land Use Team. Fish and Wildlife Service U.S.D.I., Fort Collins, CO, 04, 80 S.
- CLAY, C. H. (1995): Design of Fishways and Other Fish Facilities. Lewis Publishers, 248 S.
- COLGAN, P. (1993): The motivational basis of fish behaviour. In: Behaviour of Teleost Fishes. PITCHER, T. J. (Hrsg). Chapman and Hall, London u. a. 7: S. 31–65.
- COLLINS, G. B. und ELLING, C. H. (1960): Fischway research at the fisheries-engineering research laboratory. US Fish and Wildlife Service, Washington, D. C., Circular 98 S.
- DEGEL, D. (2007): Die Rheinstaustufe mit Fischpass in Iffezheim (aktualisierte Ausgabe vom 31.12.07). Rheinpachtgemeinschaft 1 e.V., Fischpass-Team Iffezheim. Im Auftrag des Landesfischereiverbandes Baden e.V. unter der fachlichen Betreuung der Fischereibehörde beim RP-Karlsruhe, 52 S.
- DINGLE, H. (1996): Migration – The Biology of Life on the Move. Oxford University Press, New York – Oxford, 474 S.
- DUMONT, U. (2008): Zur technischen Machbarkeit ökologisch angepasster Wasserkraftnutzung. ANL 12.11.2008 Laufen, Vortrag bei der Fachtagung Wasserkraft, Strom ist nicht gleich Strom – Rückbau oder Ausbau?
- DUMONT, U., ANDERER, P. und SCHWEVERS, U. (2005): Handbuch Querbauwerke. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 212 S.
- DUMONT, U. und REDEKER, M. (1997): Fischabstieg – Literaturdokumentation. DVWK, Bonn, 230 S.
- DVWK (1996): Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bonn, 232, 110 S.
- DWA (2009): Naturnahe Sohlengleiten. DWA-Themen. DWA, Hennef, 142 S.
- DWA-M 509 (2014) – Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Querbauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. 285 S.
- EBEL, G. (2006): Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. BWK-Fachinformationen 1/2006, 115 S.
- EBERSTALLER, J., PINKA, P. und HONSOWITZ, H. (2001): Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Fischaufstiegsanlage am Donaukraftwerk Freudenu. Österreichische Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, Wien
- FISCHER, S. und KUMMER, H. (2000): Effects of residual flow and habitat fragmentation on distribution and movement of bullhead (*Cottus gobio* L.) in an alpine stream. Hydrobiologia 422-423(0): S. 305–317.
- FISCHER, J., METZKA, R., KRUCZEK, H. (2015): Innovative Druckkammerfischschleuse mit energetischer Nutzung an der Talsperre Höllenstein: WasserWirtschaft 7/8: S. 80-85.

- FISCHER, J., SCHMALZ, M. (2015): Optimierung der Druckkammerfischschleuse mit energetischer Nutzung an der Talsperre Höllenstein: *WasserWirtschaft* 10: S. 36-39.
- FRIES, G. und TESCH, W. (1965): Aufenthalt der Fische im Bereich von Stauwehren. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 27: S. 257-272.
- GEBLER, R. J. (1991): *Sohlrampen und Fischaufstiege*. Eigenverlag, Walzbach, Deutschland, 145 S.
- GEBLER, R. J. (2009): *Fischwege und Sohlengleiten, Band 1: Sohlengleiten*. Verlag Wasser u. Umwelt, Walzbachtal, D.
- HARTMANN, F. (2004): Der Fischpass am Rheinkraftwerk Iffezheim – eine Entschuppungsmaschine für Fische, Vortrag bei der 16. SVK Fischereitagung in Künzel bei Fulda am 02.03.2004. Seiten??
- HASSINGER, R. (2009): Borsten-Fischpässe und Fisch-Kanu-Pässe – Beschreibung des Standes der Technik. Bericht der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau Universität Kassel.
- HEIMERL, S. und HAGMEYER, M. (2005): Optimierte Auslegung von beckenartigen Fischaufstiegsanlagen – Strömungssimulation als Hilfsmittel. 5. Seminar Kleinwasserkraft – Praxis und aktuelle Entwicklung, IHS, Universität Stuttgart, 14.10.2005, pp. 18.
- HEIMERL, S., HAGMEYER, M. und ECHELER, C. (2008): „Numerical flow simulation of pool-type fishways: new ways with well known tools.“ *Hydrobiologia* 609: S. 196–198.
- HVIDSTEN, N. A., JENSEN, A. J., VIVAS, H., BAKKE, O. und HEGGBERGET, T. G. (1995): „Downstream migration of Atlantic salmon smolts in relation to water flow, water temperature, moon phase and social interaction.“ *Nordic Journal of Freshwater Research* (70): S. 38–48.
- JÄGER, P. (1986): Kleinwasserkraftwerke und Fischerei. *Österreichs Fischerei* 39: S. 246–255.
- JÄGER, P. (1994): Zum Stand der Technik von Fischaufstiegshilfen. *Österreichs Fischerei* 47(Heft 2/3): S. 50–61.
- JÄGER, P., (Hrsg.) (2002a). *Salzburger Fischpass-Fibel*. Reihe Gewässerschutz. Amt der Salzburger Landesregierung, Salzburg, S. 75–88.
- JÄGER, P. (2002b). Stand der Technik bei Fischpässen an großen Flüssen. In: *Salzburger Fischpassfibel*. JÄGER, P. (Hrsg.). Amt der Salzburger Landesregierung. Reihe Gewässerschutz, 1, 2. Auflage: S. 75–88.
- JÄGER, P. (2007). Downstream fish migration in the rhithral zone of alpine rivers. In: *Fish Passage best practices*. EIFAC working party – 2nd meeting 8.–10.10.2007, Salzburg.
- JÄGER, P. (2009). Mindestanforderungen an die Überprüfung von Fischwanderhilfen im Kollaudierungsverfahren (<http://www.salzburg.gv.at/downloads>). *Gewässerschutz*, Land Salzburg, Salzburg, Fassung vom 30.10.2009, 7 S.
- JÄGER, P., GFRERER, V. und BAYRHAMMER, N. (2010): Morphometrische Vermessung von Fischen zur Ermittlung des Phänotyps. *Österreichs Fischerei* 63 (Heft 1): S. 14–28.
- JÄGER, P. und ZITEK, A. (2009): *Fischwanderhilfen – Kriterien und Standards. Durchgängigkeit an Fließgewässern: Anforderungen aus Sicht der EU-WRRL – Erkenntnisse aus der Praxis*, Ybbs, 07.05.2009, ÖWAV.
- JANSEN, W., KAPPUS, B., BÖHMER, J. und BEITER, T. (1999): Fish communities and migrations in the vicinity of a fishway in regulated rivers (Enz, Baden-Württemberg, Germany). *Limnologia*: S. 425–435.
- JENS, G. (1982): *Der Bau von Fischwegen: Fischtreppe, Aaleitern und Fischschleusen*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 93 S.
- JENS, G., BORN, O. HOHLSTEIN, R., KÄMMEREIT, M., KLUPP, R., LABATZKI, P., MAU, G., SEIFERT, K. und WONDRAK, P. (1997): *Fischwanderhilfen – Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrundlagen*, 1997, Heft 11, 112 Seiten
- JONSSON, N. (1991): Influence of Water Flow, Water Temperature and Light on Fish Migration in Rivers. *Nordic Journal of Freshwater Research* 66(1991): S. 20–35.
- JUNGWIRTH, M., HAIDVOGL, G., MOOG, O., MUHAR, S. und SCHMUTZ, S. (2003): *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern*. Facultas Verlag, Wien, 547 S.
- JUNGWIRTH, M. und PARASIEWICZ, P. (1994): *Fischaufstiegshilfen an Gebirgsflüssen*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 248 S.
- JUNGWIRTH, M. und PELIKAN, B. (1989): Zur Problematik von Fischaufstiegshilfen. *Österreichische Wasserwirtschaft* 41(3/4): S. 81–89.
- KATAPODIS, C. (1992): *Introduction to fishway design*. Freshwater Institute, Central and Arctic Region, Department of Fisheries and Oceans, University Crescent, Winnipeg, Manitoba, Canada, 68 S.
- KOTTELAT, M. und FREYHOF, J. (2007): *Handbook of European Freshwater Fishes*. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany, 646 S.
- KRÜGER, F., HEIMERL, S., SEIDEL, F., LEHMANN, B., (2010): Ein Diskussionsbeitrag zur hydraulischen Berechnung von Schlitzpässen. *Wasserwirtschaft* 3/2010: S. 30–36

- LARINIER, M. (2002a): Biological factors to be taken in account in the design of fishways, the concept of obstruction to upstream migration. Bull. Fr. Peche Piscic. 364 (Supplement) S. 28–38.
- LARINIER, M. (2002b): Location of fishways. Bull. Fr. Peche Piscic. 364 (Supplement) S. 39–53.
- LARINIER, M. (2006): Erfahrungen mit Fischaufstiegsanlagen aus Frankreich. In DWA Themen: Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna, S. 50–60
- LARINIER, M. (2007): Nature-like fish passes. 2nd meeting of the EIFAC Working Party on Fish passage best practices, Salzburg, Land Salzburg, Abteilung 13 Naturschutz, Referat 13/04 Gewässerschutz; in der Reihe Datensammlung Gewässerschutz, Thema Fischpässe, Komponente 13/3.
- LARINIER, M. (2008): Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. Hydrobiologia 609: S. 97–108.
- LARINIER, M., TRAVADE, F. und PORCHER, J. P. (2002): Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. Bull. Fr. Peche Piscic. 364 (Supplement).
- LfU-Bayern (2010): Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in Bayern.  
<http://www.wasserrahmenrichtlinie.bayern.de/>
- LfU-Bayern (2010b): Handbuch der Lebensraumtypen nach Anhang I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie in Bayern. – 165 S. + Anhang, Augsburg & Freising-Weißenstephan.
- LFV Bayern e.V. (2010): Eingriffe in Fließgewässer: Möglichkeiten der Kompensation. Schriftenreihe des Landesfischereiverbands Bayern e.V.
- LFV Bayern e.V. (2011): Ökologische Verbesserungsmaßnahmen an Wasserkraftanlagen gemäß EEG: Leitfaden für Umweltgutachter und Wasserrechtsbehörden. Schriftenreihe des Landesfischereiverbands Bayern e.V.
- LUBW (2006): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern. Leitfaden Teil 2 – Umgehungsgewässer und fischpassierbare Querbauwerke. 247 S.
- LUCAS, M. und BARAS, E. (2001): Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, Oxford, 420 S.
- LUCAS, M. C. und BATLEY, E. (1996): Seasonal movements and behaviour of adult barbell *Barbus barbus*, a riverine cyprinid fish: implications for river management. Journal of Applied Ecology 33(6): S. 1345–1358.
- LUCAS, M. C., MERCER, T., PEIRSON, G. und FREAR, P. A. (2000): Seasonal movements of coarse fish in lowland rivers and their relevance to fisheries management. In: Management and ecology of river fisheries. COWX, I. G. (Hrsg). Blackwell Science, Oxford: S. 87–100.
- LUCAS, M. C., THOM, T. J., DUNCAN, A. und SLAVIK, O. (1998): Coarse fish migration – occurrence, causes and implications. Environment agency, Bristol, 160 S.
- MAYR, D. (2007): Hydraulik von Fischaufstiegsanlagen bei schwankenden Ober- und Unterwasserspiegellagen. In: Salzburger Fischpassekursion 2007 – Vorträge von Gebler, Unterweger, Jäger, Schrempf, Ulmer, Lehmann, Mayr, Travade & Larinier.
- MCKEOWN, B. A. (1984): Fish Migration. Croom Helm Ltd., London & Sydney.
- MELCHER, A. (1999): Biotische Habitatmodellierung im Rahmen eines Gewässerbetreuungskonzeptes anhand der Lebensraumansprüche der Nase (*Chondrostoma nasus*). Abteilung für Hydrobiologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur, Universität für Bodenkultur Wien. 125 S.
- NESTMANN, F. und LEHMANN, B. (2000): Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässer -Rau Rampen und Verbindungsgewässer. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 63. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Baden-Württemberg, Karlsruhe, 189 S.
- NORTHCOTE, T. G. (1978): Migratory strategies and production in freshwater fishes. In: Ecology of Freshwater Fish Production. GERKING, S. D. (Hrsg). Blackwell Scientific Publications, Oxford-London-Edinburgh-Melbourne: S. 326–359.
- NORTHCOTE, T. G. (1984): Mechanisms of fish migration in rivers. In: Mechanisms of migration in fishes. MCCLEAVE, J. D., ARNOLD, G. P., DODSON, J. J. und NEIL, W. H. (Hrsg). Plenum Press, New York – London: S. 317–355.
- OVIDIO, M., BARAS, E., GOFFAUX, D., BIRTLES, C. und PHILIPPART, J. C. (1998): Environmental unpredictability rules the autumn migration of brown trout (*Salmo trutta* L.) in the Belgian Ardennes. Hydrobiologia 371–372(0): S. 263–274.
- OVIDIO, M. und PHILIPPART, J.-C. (2002): The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. Hydrobiologia 483(1–3): S. 55–69.
- PARKINSON, D., PHILIPPART, J. C. und BARAS, E. (1999): A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. Journal of Fish Biology 55(1): S. 172–182.
- PAVLOV, D. S. (1989): Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. FAO, Rome, 97 S.
- PAVLOV, D. S., LUPANDIN, A. I. und KOSTIN, V. V. (2002): Downstream migration of fish through dams of hydroelectric power plants. ALBERT, T. T. und CADA, T. E. G. F. (Hrsg). Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. ORNL/TR-02/02.

- PAVLOV, D. S., MIKHEEV, V. N., LUPANDIN, A. I. und SKOROBOGATOV, M. A. (2008): Ecological and behavioural influences on juvenile fish migrations in regulated rivers: a review of experimental and field studies. *Hydrobiologia* 609: S. 125–138.
- REINARTZ, R. (1997): Untersuchungen zur Gefährdungssituation der Fischart Nase (*Chondrostoma nasus* L.) in bayrischen Gewässern. Institut für Tierwissenschaften. München, TU München: 379 S.
- RODRIGUEZ, T. T., AGUDO, J. P., MOSQUERA, L. P. und GONZALEZ, E. P. (2006): Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capabilities. *Ecological Engineering* 27: S. 37–48.
- SCHMALZ, W. und SCHMALZ, M. (2007): Durchführung systematischer Untersuchungen zur Konzeption funktionsgerechter Wanderhilfen im Bereich von Wasserkraftanlagen am Beispiel der Wasserkraftanlage Camburg/Döbritschen (Thüringen). Bauhaus Universität Weimar, Schleusingen, 184 S.
- SCHMALZ, M. und Thürmer, K. (2015): Monitoring des Fischaufstieges an der Fischschleuse Höllenstein: *WasserWirtschaft* 7/8: S. 87-90.
- SCHMUTZ, S., KAUFMANN, M., VOGEL, B. und JUNGWIRTH, M. (2000): Grundlagen zur Bewertung der fischökologischen Funktionsfähigkeit von Fließgewässern. Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 210 S.
- SCHWEVERS, U. und ADAM, B. (2006): Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. DWA, Hennef, 123 S.
- SEIFERT, K. (2010): Umgehungssystem (UGS) an der Donaustufe Vohburg – Dokumentation der ökologischen Funktionsfähigkeit. Gutachten, unveröffentlicht 34 S.
- TLW (2003) Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn
- TLW (2003): Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine. EG-Notifizierung Nr. 2003/0362/D vom 29.12.2003
- TURNPENNY, A. W. H., BLAY, S. R., CARRONAND, J. J. und CLOUGH, S. C. (2001): Literature Review Swimming Speeds in Fish. Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd, Marine & Freshwater Biology Unit, Southampton, R&D Technical ReportW 2-026/TR2, 45 S.
- VDF (2000): Fischereiliche Untersuchungsmethoden in Fließgewässern, 2000, Heft 13, 52 S.
- VDF (2009): Handbuch zu fiBS, Hilfestellung und Hinweise zur sachgerechten Anwendung des fischbasierten Bewertungsverfahrens fiBS, Heft 15, 62 S.
- VORDERMEIER, T. und BOHL, E. (2000): Fischgerechte Ausgestaltung von Quer- und Längsbauwerken in kleinen Fließgewässern – Bedeutung und Wiederherstellung der Fließgewässervernetzung. Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Bayern e.V. S.: S. 53–61.
- WAIDBACHER, H. und HAIDVOGL, G. (1998): Fish Migration and Fish Passage Facilities in the Danube: Past and Present. In: Fish Migration and Fish Bypasses. JUNGWIRTH, M., SCHMUTZ, S. und WEISS, S. (Hrsg). Blackwell Sciences Ltd., Oxford – London – Berlin: S. 85–98.
- WARD, J. V. (1989): The 4-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8(1): S. 2–8.
- WATKINS, A. (2007): Swimming Speeds in Fish: Phase 3 – Common bream (*Abramis brama*). Jacobs UK Limited, Southampton, 42 S.
- WEICHERT, R., KAMPKE, W., DEUTSCH, L., SCHOLTEN, M. (2013): Zur Frage der Dotationswassermenge von Fischaufstiegsanlagen an großen Fließgewässern; *WasserWirtschaft* 1/2: 33-38"
- WIESNER, C., UNFER, G., TATZBER, C., MÜLLER, B. und JUNGWIRTH, M. (2007): Inneralpinen Flussraummanagement Obere Mur, Arbeitspaket F.2.3: Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Fischwanderhilfe beim Kraftwerk Murau. Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur, Wien.
- WIESNER, C., UNFER, G., ZITEK, A. und SCHMUTZ, S. (2004): Drift of juvenile freshwater fish in late autumn in a Danube tributary. Proceedings of the Fifth International Conference on Ecohydraulics – Aquatic Habitats: Analysis and Restoration, 12.–17.09.2004, Madrid.
- WINTER, H. V. und VAN DENSEN, W. L. T. (2001): Assessing the opportunities for upstream migration of non-salmonid fishes in the weir-regulated River Vecht. *Fisheries Management and Ecology* 8(6): S. 513–532.
- WOSCHITZ, G., EBERSTALLER, J. und SCHMUTZ, S. (2003): Mindestanforderungen bei der Überprüfung von Fischmigrationshilfen (FMH) und Bewertung der Funktionsfähigkeit. Österreichischer Fischereiverband, Richtlinie 1/2000, 16 S.
- ZITEK, A., HAIDVOGL, G., JUNGWIRTH, M., PAVLAS, P. und SCHMUTZ, S. (2007): Ein ökologisch-strategischer Leitfaden zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern für die Fischfauna in Österreich. Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, BOKU, Wien, 139 S.

# Anhang I

## Planungsrelevante Kriterien zur Herstellung der Durchgängigkeit

Grundsätzlich besteht kein Zweifel, dass die Herstellung der **umfassenden Durchgängigkeit** flussauf- wie flussabwärts und lateral für aquatische Organismen insbesondere für Fische die beste und vollständigste Annäherung an die natürlichen Vernetzungsverhältnisse und Habitatsprüche der Arten ist. Damit kann wesentlich zum Schutz und zur Wiederherstellung intakter Artengemeinschaften und zur Erhaltung der Biodiversität beigetragen werden. Da aber die Durchgängigkeit nicht überall in Bayern gleichzeitig und umfassend hergestellt werden kann und dies in manchen Bereichen auch nicht immer machbar und vorrangig notwendig ist, wird im Rahmen des „Priorisierungskonzeptes Fischbiologische Durchgängigkeit in Bayern (LfU)“ eine fachliche Priorisierung der zeitlich vorrangig notwendigen Maßnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit entwickelt. In Abhängigkeit von den Ansprüchen der Zielfischarten und von den beplanten Gewässersystemen sind differenzierte Ansätze und Zielvorgaben für die Planung von Fischaufstiegsanlagen erforderlich. Hierzu wurden folgende grundsätzliche Kriterien erarbeitet:

- a Grundlegende Zielsetzung der Kontinuum-Sanierung ist die Wiederherstellung/Gewährleistung der guten (fisch-)ökologischen Funktionsfähigkeit von Gewässersystemen durch Verbindung/Erschließung von Mesohabitaten (Verbesserung der Habitatverfügbarkeit) bzw. die Erhaltung/Verbesserung des ökologischen Zustandes des Oberflächenwasserkörpers.
- b Auch Gewässerabschnitte, innerhalb derer kein guter Zustand oder keine geeigneten Lebensbedingungen für Fische hergestellt werden können, sind dann durchgängig zu machen, wenn dadurch ein Lückenschluss im Sinne eines großräumigen Biotopverbundes erfolgen kann.
- c Wenn ökologische Defizite nicht ursächlich mit Kontinuumsunterbrechungen zusammenhängen (z.B. in einer Abfolge von seenartigen Stauhaltungsketten ohne nennenswerte Seitenzubringer) und die Herstellung der Durchgängigkeit keinen „ökologischen Nutzeffekt“ hat, kann auf den Bau von Fischaufstiegsanlagen im Einzelfall verzichtet werden (Erreichen des guten Potenzials durch Strukturverbesserungsmaßnahmen).
- d Zielgruppe für die Herstellung der Durchgängigkeit mittels Fischaufstiegsanlagen ist in erster Linie die Fischfauna. Die ökologischen Ansprüche der jeweils flusssystemtypischen Fischarten (Zielarten) in Zusammenwirken mit den Kriterien a)–c) sind die prioritäre Bewertungsgrundlage für die Notwendigkeit sowie für Art und Umfang der Durchgängigkeit.
- e Relevant als Zielarten bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen (FAA) sind alle Fischarten der potenziell natürlichen Fischfauna (Referenz-Zönosen des Oberflächenwasserkörpers), bei erheblich veränderten Gewässern sind jene Arten mit zu betrachten, die unter Berücksichtigung des Sanierungspotenzials wieder geeignete Lebensbedingungen vorfinden können. Die geeigneten Lebensbedingungen sind als Funktionstauglichkeit und Verfügbarkeit wesentlicher fischökologischer Mesohabitate (Laichplätze, Jungfischhabitate, Schutz- und Nahrungsräume etc.) definiert.
- f Neben fischökologischen und wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten sind bei der Herstellung der Durchgängigkeit bzw. bei der Planung von FAA auch naturschutzfachliche und -rechtliche Kriterien zu berücksichtigen (Arten mit Schutzstatus nach FFH-Richtlinie, Rote Liste, streng geschützte Arten, Erhaltungsziele von FFH-Gebieten, Vernetzung von Schutzgebieten).

## Art und Umfang der Durchgängigkeit nach Wandertypen/Gewässersystemen:

### I. Gewässersysteme mit diadromen, fernwandernden Fischarten (Main, Elbe):

Diadrome Arten wie Lachs und Aal sind zwingend auf den Wechsel zwischen den Lebensräumen in den Binnengewässern und dem Meer angewiesen. Für diadrome Fernwanderer ist daher sowohl eine **Aufwärtswanderung** als auch die weitgehend ungestörte **Abwärtswanderung** von zentraler Bedeutung für das Überleben der Populationen. Fischaufstiegsanlagen sind unter Berücksichtigung der speziellen Bedürfnisse und Anforderungen der Fernwanderer zu planen und gestalten.

#### Spezielle Leitlinien für die Kontinuumherstellung sind:

- **flussaufwärts und lateral:** sehr gute Durchgängigkeit für fernwandernde Arten (Lachs, Maifisch, Aal):
  - Fischaufstiegsanlagen und Verbindungsbauwerke nach dem Stand der Technik.
  - Um keine Zeitverzögerung beim Aufstieg über meist zahlreiche Querbarrieren zu erleiden, ist bei den besonders stark strömungsorientierten Arten (Lachs, Maifisch) auf hohe Leitströmungsanteile und perfekte Anordnung des Einstieges der FAA am Wanderkorridor zu achten.
  - Falls erforderlich, sind getrennte FAA für diadrome und rheophile (Lachs, Maifisch, Barbe, Nase) sowie für potamodrome und indifferente Arten (Aal, Brachsen, Barsch etc.) vorzusehen.
  - Bei Querbauwerken ohne konkurrierende Wassernutzung sind FAA-Konstruktionen vorzuziehen, die gleichzeitig auch geeignet für den Fischabstieg sind (Sohlgleiten, Rampen).
- **flussabwärts:** gute Durchgängigkeit für fernwandernde Arten:
  - Bei Querbauwerken mit Wasserkraftnutzung sind bei Neubauten Fischschutz- und -ableitanlagen/Methoden bzw. der Einbau von fischverträglicheren Turbinentypen nach dem Stand der Technik vorzusehen.
  - Bei Altanlagen, die derzeit nicht oder nur unter weitreichender Einschränkung der Nutzung für den Fischabstieg umrüstbar wären, können nach dem Prinzip der „best practice“ **kurz- bis mittelfristig** auch andere Lösungen eingesetzt werden: 1. zielartenorientiertes Turbinenmanagement (Lachs, Aal), gesteuert über moderne Migrationsdetektionssysteme (DIDSON, MIGROMAT etc.); 2. Fang- und Transport von Fischen (catch and carry). Die technische Entwicklung der Fischschutz- und Abstiegsanlagen bzw. von fischverträglicheren Turbinen ist zu berücksichtigen (ggf. Nachrüstung).

### II. Gewässersysteme mit potamodromen Fischarten (bayerisches Donaeinzugsgebiet):

Grundsätzlich ist für die meisten potamodromen Arten, insbesondere für die flusstypischen rheophilen und rhithralen Fischarten (Barbe, Nase, Huchen, Rutte, Zährte u.a.) die Durchgängigkeit in Richtung flussaufwärts als zwingende biologische Notwendigkeit anzusehen. Für viele eurytope Fischarten wie Brachse, Rotaugen, Barsch, Hecht und Zander u.a. sind neben aufwärtsgerichteten Kompensationsbewegungen laterale Wanderungen in Auegewässer und Altarme hinein, die als Nahrungsräume, Laich- und Bruthabitate sowie als Schutzräume für Hochwässern dienen, von höchster Bedeutung.

Differenzierter ist die biologische Notwendigkeit von Abwärtswanderungen in Gewässern mit potamodromen Arten zu betrachten und die Frage, ob Störungen derselben zu erheblichen Beeinträchtigungen der Fischpopulationen führen können:

Abwärtsbewegungen heimischer potamodromer Fischarten finden grundsätzlich statt. Einen hohen Individuen-Zahlenanteil nimmt dabei die passive Verfrachtung (sog. organismische Drift) insbesondere von Fischlarven und -brut, aber ggf. auch von Jungfischen oder schwimmschwachen Arten ein, meist in Zusammenhang mit erhöhten Abflüssen. Daneben sind bei verschiedenen Arten auch gerichtete, aktive Abwärtswanderungen adulter Fische von den Laichplätzen, meist aus rhithralen Nebengewässern, in den Hauptstrom bekannt (ZITEK et al. 2007). Weiterhin können Fische auch bspw. zum Aufsuchen eines Winterzustandes oder aus weiteren Motiven, letztlich auch aus ungeklärter Motivation heraus flussabwärts wandern.

Grundsätzlich wird zum langfristigen Populationserhalt der heimischen potamodromen Fischarten die flussaufwärts gerichtete Durchwanderbarkeit als wichtiger angesehen als eine völlig ungestörte Abwärtswanderung. Anders ausgedrückt: Durch bestehende Beeinträchtigungen der Abwärtswanderungen bzw. die bekannten Schädigungen in Kraftwerksturbinen, sind potamodrome Fischpopulationen, nach heutigem Wissensstand, nicht zwingend in gleichem Maße in ihrem Bestand gefährdet wie die diadromen Arten. Hierzu sollte jeweils eine standortbezogene Prüfung erfolgen.

Fischaufstiegsanlagen sind unter Berücksichtigung der speziellen Bedürfnisse und Anforderungen der Mitteldistanzwanderer zu planen und gestalten.

#### Spezielle Leitlinien für die Kontinuumherstellung sind:

- **flussaufwärts und lateral:** gute Durchgängigkeit für die Artengemeinschaften der Kurz- und Mitteldistanzwanderer
  - Fischaufstiegsanlagen und Verbindungsbauwerke nach dem Stand der Technik.
  - Bei Querbauwerken ohne konkurrierende Wassernutzung sind FAA-Konstruktionen vorzuziehen, die gleichzeitig auch geeignet für den Fischabstieg sind (Sohlgleiten, Rampen).
- **flussabwärts:** gute Durchgängigkeit durch abwärts passierbare FAA (Sohlgleiten, Rampen) bei Anlagen ohne sonstige Wassernutzung
- **flussabwärts:** gute Durchgängigkeit bei **Neubau** von kleinen bis mittleren Wasserkraftanlagen:
  - Fischschutz- und -ableitanlagen, fischverträglicheren Turbinentypen nach dem momentanen Stand der Technik
- **flussabwärts:** eingeschränkte Durchgängigkeit bei bestehenden großen Wasserkraftanlagen:
  - bei großen WK-Anlagen (Bestand) ist derzeit keine gute Durchgängigkeit flussabwärts realisierbar (ohne weit reichende Beeinträchtigung der Nutzung).
  - Im Einzelfall können als Übergangslösungen geprüft werden: 1. zielartenorientiertes Turbinenmanagement (für Einzel-Arten mit besonderem Schutzstatus), 2. Fang- und Transport von Fischen mit besonderem Schutzstatus.

Die technische Entwicklung der Fischschutz- und -abstiegsanlagen bzw. von fischverträglicheren Turbinen ist zu berücksichtigen.

# Anhang II

## Anlage 1

Aus: AG-FAH (2011), Grundlagen für einen Österreichischen Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen, **abgeändert**:

Tabelle 13: Körpermaße (gerundet) der größtenbestimmenden Zielarten entsprechend der Gewässerregion (JÄGER et al. 2010) und die sich daran orientierenden Bemessungswerte für Schlitzweiten, Beckentiefen und

Tiefen an Beckenüberläufen sowie die maximalen Wasserspiegeldifferenzen je Gewässer-/Fischregion für Schlitzpässe, naturnahe Umgehungsgewässer und naturnahe Tümpelpässe

Gewässerregion	Maßgebende Fischart	Fischlänge	Fischhöhe	Fischdicke*	Maximale Spiegeldifferenzen zw. Becken	Schlitzpass		Naturnahe Tümpelpässe und Umgehungsgewässer			
						Schlitzweite	Hydraulische Mindesttiefe unterhalb Trennwand	mittl. Breite Beckenübergang	Hydraulische Mindesttiefe an Beckenübergängen/Furten aufgrund Fischhöhe	Hydraulische Mindesttiefe an Beckenübergängen aufgr. Sohlschluss	min. Max. Tiefe Becken/Kolk
	[für Länge]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
Epirhithral, MQ < 2 m³/s	Bachforelle (BF)	30	6	3	20	20	60	25	20	40	70
Epirhithral, MQ > 2 m³/s	BF	40	8	4	20	20	70	30	20	40	80
Metarhithral, MQ < 2 m³/s	BF	40	8	4	18	20	60	25	20	40	70
Metarhithral, MQ > 2 m³/s	Äsche, BF	50	11	6	18	20	70	30	25	53	80
Hyporhithral, MQ < 2 m³/s	BF, Aitel, Äsche, Rutte	50	11	8	15	20	60	30	25	50	80
Hyporhithral, MQ > 2 m³/s	Rutte, Barbe	70	13	8	15	25	75	38	30	56	85
Hyporhithral, 2 < MQ < 20 m³/s	Huchen	80	13	10	15	30	85	45	35	66	100
Hyporhithral, MQ > 20 m³/s	Huchen	100	16	12	15	35	100	53	40	73	110
Epipotamal, klein	Aitel, Äsche, Barbe	60	11	7	13	20	60	30	25	46	70
Epipotamal, mittel	Barbe	60	11	7	13	25	75	38	30	56	85
Epipotamal, mittel	Hecht	90	12	8	13	30	75	45	35	56	85
Epipotamal, mittel	Huchen	90	14	12	13	32	90	48	37	66	100
Epipotamal, groß und Lachsgewässer	Huchen, Lachs	100	17	12	13	35	105	53	40	73	110
Epipotamal, groß	Wels	120	23	22	13	50	120	75	45	79	120
Seezubringer, -Auslauf	Seeforelle	100	21	12	13	35	105	53	45	73	110
Metapotamal und untere bayer. Donau	Wels	150	31	30	10	60	160	90	60	112	170

\* Da die meisten Fische außerhalb der Laichzeit vermessen wurden, sind die Fischdicken ja nach Art zur Laichzeit zumindest ein bis mehrere cm größer anzunehmen. Weitere Maße für andere Fischarten und -größen können Tabelle 3 (S.23) entnommen werden.

## Anlage 2

### Hydraulische Beispielsberechnung für einen Schlitzpass

Die erforderliche Zahl der Becken ergibt sich aus folgender Gleichung

$$n = \frac{h_{ges}}{\Delta h} - 1$$

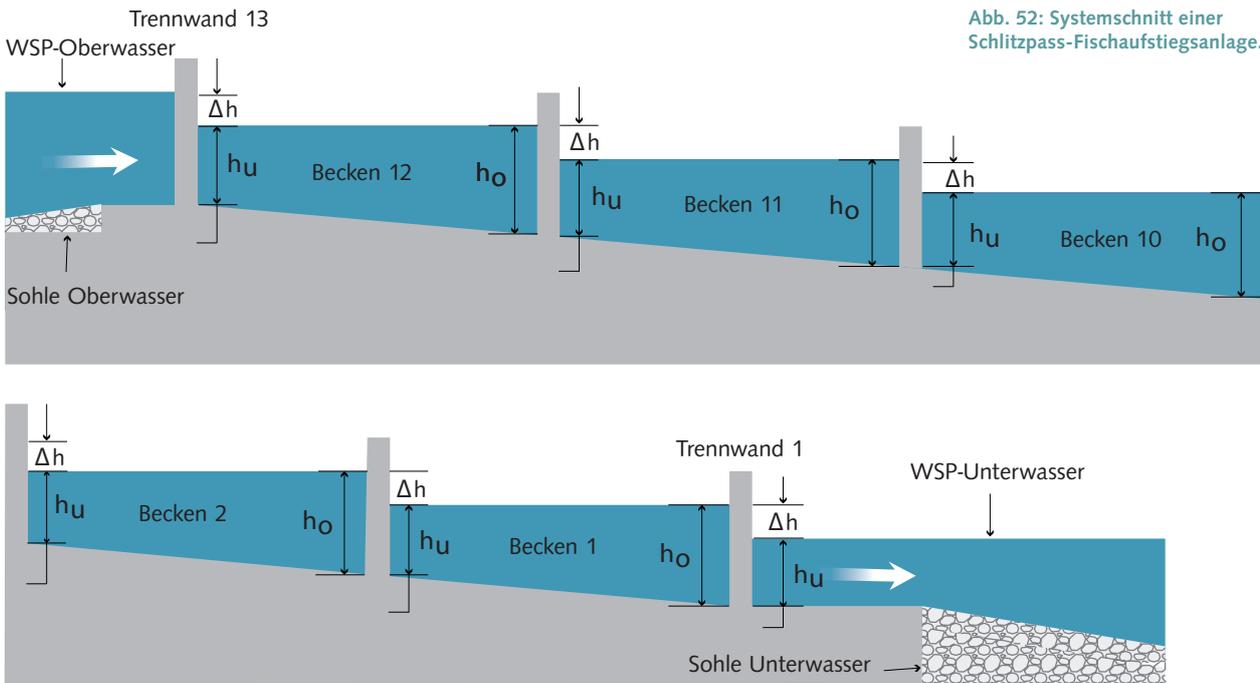


Abb. 52: Systemschnitt einer Schlitzpass-Fischaufstiegsanlage.

1.	<p>Abflussbeiwert* <math>\mu_v</math>:</p> $\mu_v = 0,59 \cdot \left[ 1 - \left[ \frac{h_u}{h_o} \right]^{4,5} \right]^{0,48}$ [Dimensionslos] mit $h_o$ = oberwasserseitige Wassertiefe [m], $h_u$ = unterwasserseitige Wassertiefe [m] Die empirisch ermittelte Formel gilt für folgende Randbedingungen: $\frac{h_u}{h_o} = 0,5 \text{ bis } 0,99$ , $h_u > 2 \cdot s$ , $s$ = Schlitzweite [m]
2.	<p>Abfluss durch einen Schlitzpass <math>Q</math>:</p> $Q = \mu_v \cdot s \cdot \sqrt{g} \cdot h_o^{\frac{3}{2}}$ [ $m^3/s$ ] mit $g = 9,81$ [ $m/s^2$ ]
3.	<p>Leistungsdichte <math>P_D</math>:</p> $P_D = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h}{l_b \cdot h_m \cdot b}$ [ $\frac{W}{m^3}$ ] mit $\rho_{Wasser} = 1000 \frac{kg}{m^3}$ , $l_b$ = Innenlänge der Becken [m] $h_m$ = mittlere Wassertiefe der Becken [m], $b$ = Breite der Becken [m]
4.	<p>Maximale Strömungsgeschwindigkeit im Schlitz <math>v_{max}</math>:</p> $v_{max} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$ [ $\frac{m}{s}$ ]
5.	<p>Grenztiefe <math>h_{gr}</math>: <math>h_{gr} = \left[ \frac{Q^2}{g \cdot s^2} \right]^{\frac{1}{3}}</math> [m]</p>

Tabelle 14: Hydraulische Formeln zur Berechnung einer Schlitzpass-Fischaufstiegsanlage.

$h_u$  = unterwasserseitige Wassertiefe

$h_o$  = oberwasserseitige Wassertiefe

$\Delta h$  = Wasserspiegeldifferenz zwischen Becken

\* rückstaubeinflusster Abflussbeiwert in Schlitzpässen

### Annahmen und Berechnungsgrundlagen:

An einem Querbauwerk in der Äschenregion (Hyporhithral) soll ein Schlitzpass errichtet werden. Der mittlere Abfluss am Standort beträgt rund  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ , bei einer Wasserspiegeldifferenz  $< 3 \text{ m}$ . Aus Anlage 1 kann als maßgebende Fischart der Huchen, die maximale Spiegeldifferenz  $\Delta h = 0,15 \text{ m}$  sowie für einen Schlitzpass die erforderliche Schlitzweite  $s = 0,3 \text{ m}$  und die hydraulische Mindesttiefe unterhalb der Trennwand mit  $h_{\min} = 0,85 \text{ m}$  abgelesen werden. Für die Äschenregion werden in Tabelle 7 noch folgende Grenzwerte angegeben: maximale Fließgeschwindigkeit im Schlitz  $v_{\max} = 1,8 \text{ m/s}$  sowie die spezifische Leistungsdichte  $P_D \leq 200 \text{ W/m}^3$ .

Folgende Eingabewerte werden zur Durchführung der hydraulischen Berechnungen benötigt:

Länge der Becken [m]	3,00
Sohle Oberwasser [m. NN]	499,98
Sohle Unterwasser [m. NN]	498,15
Wasserspiegel Oberwasser [m. NN]	500,84
Wasserspiegel Unterwasser [m. NN]	499,00
Schlitzweite [m]	0,30
Dicke der Trennwände [m]	0,10
Breite der Becken [m]	2,25

Tabelle 15: Eingabewerte werden zur Durchführung der hydraulischen Berechnung

### Hydraulische Berechnung:

Die hydraulischen Berechnungen werden für die Lastfälle  $Q_{30}$  und  $Q_{330}$  durchgeführt. Beim **Lastfall  $Q_{30}$**  ergibt sich aufgrund des niedrigeren Unterwasserspiegels die maximale Spiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser zu  $h_{\text{ges,max}} = 500,84 - 499,0 = 1,84 \text{ m}$

Die erforderliche Anzahl der Becken errechnet sich aus der Gleichung:

$$n = (h_{\text{ges,max}} / \Delta h) - 1 \text{ mit } n = (1,84/0,15) - 1 = 11,3$$

Gewählt werden 12 Becken, damit die tatsächliche Wasserspiegeldifferenz

$$\Delta h \text{ bei } n + 1 = 13 \text{ Trennwänden mit } \Delta h = 1,84/13 = 0,14 \text{ m}$$

die zulässige Spiegeldifferenz von  $\Delta h \leq 0,15 \text{ m}$  nicht überschreitet.

Mit den Beckenabmessungen aus Tabelle 12: Länge  $l_b = 3,00 \text{ m}$  und Breite  $b = 2,25 \text{ m}$  sowie einer gewählten Trennwanddicke von  $0,1 \text{ m}$  lässt sich die Gesamtlänge des Schlitzpasses zu

$$L_{\text{ges}} = 12 * (3,0 + 0,1) + 0,1 = 37,3 \text{ m}$$

bestimmen. Dieser Wert erhöht sich um die Längen der betrieblich zweckmäßigen Vor- und Nachkammern, die z.B. für das Einbringen von Dammbalken erforderlich sind. Die maximale Fließgeschwindigkeit im Bereich der Schlitzweite beträgt nun

$$v_{\max} = (2 * g * \Delta h)^{0,5} = (2 * 9,81 * 0,14)^{0,5} = 1,66 \text{ m/s} < v_{\text{zul}} = 1,8 \text{ m/s}$$

Für die Berechnung des Durchflusses im Schlitzpass werden die ober- und unterwasserseitige Wassertiefe an der Trennwand benötigt. Unterwasserseitig wird die Mindesttiefe  $h_{\min}$  gewählt, so dass sich

$$h_o = h_u + \Delta h = 0,85 + 0,14 = 0,99 \text{ m ergibt.}$$

Der Abfluss  $Q$  kann mit dem Ansatz  $Q = \mu_v \cdot s \cdot g^{0,5} \cdot h_o^{3/2}$  ermittelt werden. Für den Abflussbeiwert  $\mu_v$  wird die Formel 8.15a aus DWA M-509 (2014) zugrunde gelegt:

$$\mu_v = 0,59 \cdot (1 - [h_u/h_o]^{4,5})^{0,48} = 0,42$$

$$Q = 0,42 \cdot 0,3 \cdot 9,81^{0,5} \cdot 0,99^{1,5} = 0,389 \text{ m}^3/\text{s}$$

Die Grenztiefe  $h_{gr}$ , oberhalb derer der Abfluss strömend und nicht schießend erfolgt, errechnet sich wie folgt:

$$h_{gr} = (Q^2 / (g \cdot s^2))^{1/3}$$

$$h_{gr} = (0,389^2 / (9,81 \cdot 0,30^2))^{1/3} = 0,56 \text{ m} \ll 0,85 \text{ m}$$

Mit der gewählten unterwasserseitigen Wassertiefe von 0,85 m stellt sich ein strömender Abfluss ein.

Die Energiedissipation in den Becken ergibt sich mit

$$h_m = (h_o + h_u) / 2 \text{ zu:}$$

$$P_D = (\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h) / (l_b \cdot b \cdot h_m) =$$

$$= (1000 \cdot 9,81 \cdot 0,389 \cdot 0,14) / (3,0 \cdot 2,25 \cdot 0,92) = 86 \text{ W/m}^3 \ll 200 \text{ W/m}^3$$

Die geringe Leistungsdichte genügt auch den Anforderungen schwimmschwächerer Fischarten nach AG-FAH 2011.

Bei Abflüssen  $> Q_{30}$  wird sich bei Querbauwerken ohne Regelung des Oberwasserstandes ein rückgestauter, verzögerter Abfluss einstellen, da normalerweise im Unterwasser der Wasserspiegel stärker ansteigt als im Oberwasser.

Im **Lastfall**  $Q_{330}$  steigt im Berechnungsbeispiel das Oberwasser um 0,2 m auf Kote 501,04 mNN an, während im Unterwasser der Wasserspiegel um 0,6 m anwächst. Der Abfluss im Schlitzpass steigt infolge der größeren Wassertiefe an der obersten Trennwand auf 0,480 m<sup>3</sup>/s:

$$h_{o,330} = h_{o,30} + 0,2 = 0,99 + 0,20 = 1,19 \text{ m}$$

$$h_{u,330} = h_{u,330} - \Delta h = 1,19 - 0,14 = 1,05 \text{ m}$$

$$\mu_v = 0,59 \cdot (1 - (1,05/1,19)^{4,5})^{0,48} = 0,394$$

$$Q_{330} = 0,394 \cdot 0,3 \cdot 9,81^{0,5} \cdot 1,19^{1,5} = 0,480 \text{ m}^3/\text{s}$$

Für den Betriebszustand  $Q_{330}$  wurde die Berechnung der hydraulischen Verhältnisse bei ungleichförmigem, da verzögertem Abfluss iterativ durchgeführt. Die Iteration erfolgte in Anlehnung an KRÜGER et al. (2010). Dabei muss mit dem untersten Becken begonnen werden. Die Ergebnisse der Iteration zeigt Tabelle 16:

Trennwand Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sohle Trennwand [mNN]	498,15	498,29	498,43	498,57	498,71	498,85	498,99	499,13	499,27	499,41	499,55	499,69	499,83
$h_u$ [m]	1,45	1,383	1,324	1,272	1,228	1,191	1,151	1,128	1,110	1,096	1,085	1,076	1,069
$h_o$ [m]	1,523	1,464	1,412	1,368	1,331	1,30	1,268	1,25	1,236	1,225	1,216	1,209	1,204
$\Delta h$ [m]	0,073	0,081	0,088	0,096	0,103	0,109	0,117	0,122	0,126	0,129	0,131	0,133	0,135
$V_{max}$ [m/s]	1,20	1,26	1,31	1,37	1,42	1,46	1,52	1,55	1,57	1,59	1,6	1,62	1,63
WSP Becken [mNN]	499,67	499,75	499,84	499,94	500,04	500,15	500,26	500,38	500,51	500,64	500,77	500,90	501,03

Tabelle 16: Ergebnisse der Iteration für den Betriebszustand  $Q_{330}$

Um zu gewährleisten, dass auch im Lastfall  $Q_{330}$  die Trennwände nicht überströmt werden, müssen diese mindestens so hoch wie die oberwasserseitige Wassertiefe  $h_0$  an der entsprechenden Stelle gewählt werden. Zur Vereinfachung wählt man in der Praxis zwei bis drei unterschiedliche Trennwandhöhen.

Bei einem Querbauwerk mit Regelung des Oberwasserstandes kann der Oberwasserstand auch im **Lastfall  $Q_{330}$**  konstant gehalten werden. Wenn der Rückstau infolge des höheren Unterwasserspiegels sich nicht auf das oberste Becken auswirkt, bleibt der Abfluss durch den Schlitzpass gegenüber dem Lastfall  $Q_{30}$  zwar unverändert bei  $Q = 0,389 \text{ m}^3/\text{s}$ , aber infolge des Rückstaus stellt sich ein verzögerter Abfluss ein. Die Berechnung der hydraulischen Verhältnisse müsste wiederum iterativ vorgenommen werden.

# Anhang III

## Beispielsammlung

### 1 Auerbach – Umgebaute Sohlschwellen

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Abflusshauptwerte Auerbach (Pegel Bad Trißl) [m³/s]:	MNQ = 0,195	Betrachtete Gesamtließstrecke [m]:	600	
	MQ = 1,29	mittlere Breite [m]:	15	
	MHQ = 37,7			
Fallhöhe <u>ehemalige</u> Querbauwerke [m]:	0,4–1,0	mittleres Gefälle:	1: 60 (1,5%)	
Wasserkraftnutzung:	nein	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos	
Besonderheiten:	Mehrere umgebaute Sohlschwellen	Sohlbeschaffenheit:	rauh (kiesig bis steinig)	
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		max. Höhensprünge [m]:	> 0,30	≤ 0,2 m
Fließgewässerzone:	Epirhithral	max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:		
Größte Zielfischart(en):	Bachforelle	Besonderheiten:		
Kleinste Zielfischart(en):	Groppe, Elritze, Schmerle			
Hauptwanderkorridor:	Wechselnd (je nach Schwelle)			

#### Beurteilung FAA:

##### Auffindbarkeit:

keine Einschränkung, da Querbauwerk über gesamte Flussbreite auffindbar

##### Passierbarkeit:

Einige Schwellen weisen eine Höhendifferenz > 0,30 m auf und liegen damit über der Maximalhöhe der von schwimmschwachen Fischen zu bewältigenden Höhe. An einigen Überfällen ist die spezifische Leistung (Turbulenz) so groß, dass sie von kleinen, schwimmschwachen Fischen nicht bewältigt werden kann.

##### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Je nach Stand der oben beschriebenen Defizite sind einzelne Schwellen als gut passierbar und andere auf Grund der zu großen Höhensprünge als eingeschränkt passierbar zu bewerten.

Übersicht Lage:



Unpassierbare Sohlschwelle: Altbestand



Übersicht mit mehreren umgebauten Sohlschwellen:



Übersicht umgebaute Schwellen im oberen Bereich:



Detail Rampenförmig umgebaute Sohlschwelle:



Detail Teilschwelle, gut passierbar:



Detail Sohlschwelle (große Höhengsprünge, abgelöster Strahl, zu große Überfallhöhe):



Detail Sohlschwelle (hohe Turbulenz, abgelöster Strahl):



## 2 Wertach – Sohlgleite am ehemaligen Goggeleswehr in Augsburg

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Abflusshauptwerte Wertach (Pegel Oberhausen [m³/s]):	MNQ = 3,89	Gesamtlänge [m]:	330 (inkl. Tosbecken)	
	MQ = 16,6	Breite [m]:	40	
	MHQ = 171			
Fallhöhe ehemaliges Querbauwerk [m]:	4,8	mittleres Gefälle:	1:50 (2 %)	
Wasserkraftnutzung:	nein	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos über Rampe mit Tosbecken	
Besonderheiten:	Rückbau des Wehrs im Rahmen des Renaturierungsprogrammes „Wertach vital“	Sohlbeschaffenheit:	Rauh (Kiesig bis steinig)	
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		max. Höhensprünge [m]:	0,3	
Fließgewässerzone:	Hyporhithral - Epipotamial	max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	1,2	
Größte Zielfischart(en):	Huchen, Barbe, Nase, Aitel	min. Wassertiefe [m]:	0,4	
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Gründling, Schmerle, Groppe	Besonderheiten:	-	
Hauptwanderkorridor:	beidufbrig			

### Beurteilung FAA:

#### Auffindbarkeit:

Auf Grund fehlender Konkurrenzströmungen (z.B. Turbinenabstrom, Mindestwasser) erreichen die aufwandernden Fische zwangsläufig die von der Niedrigwasserrinne ausgehende Hauptströmung am untersten Querriegel der Sohlgleite.

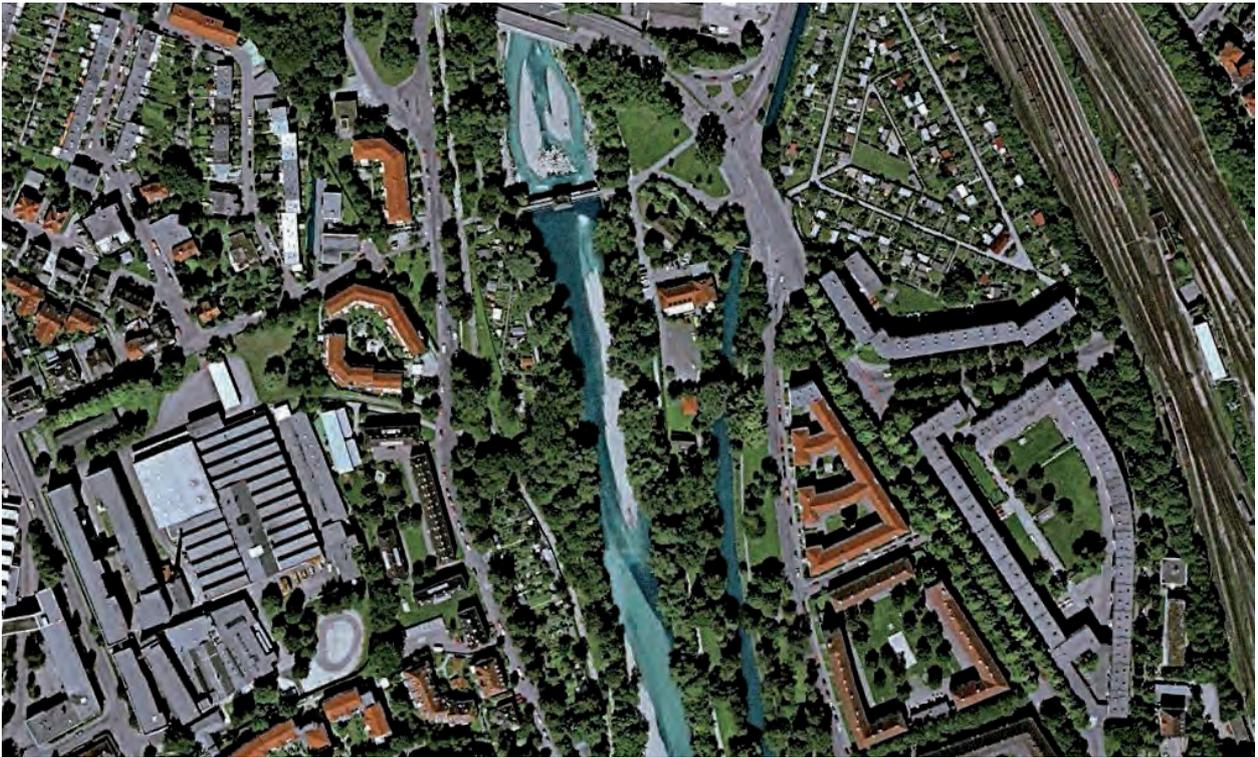
#### Passierbarkeit:

In Bezug auf die hydraulischen und geometrischen Bemessungsgrundlagen ist die Sohlgleite so dimensioniert, dass sowohl die tatsächlich vorkommenden rheophilen Arten als auch die Arten der potenziell natürlichen Fischfauna geeignete Aufstiegsbedingungen vorfinden. Der Aufbau aus teilweise überströmten Querriegeln und einer Niedrigwasserrinne gibt bei nahezu allen Abflussbedingungen sowohl Klein- und Jungfischen als auch größeren Individuen der Zielfischarten an mehreren Stellen die Möglichkeit aufzuwandern. Des Weiteren finden sich zwischen der Niedrigwasserrinne und dem Ufer immer wieder strömungsberuhigte Bereiche als Ruhezone.

#### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Zusammenfassend dargestellt, ist die FAA am ehemaligen Goggeleswehr als sehr gut funktionsfähig zu bewerten.

Übersicht Lage vor Rückbau des Wehrs:



Übersicht Lage nach Rückbau des Wehrs:



Übersicht Sohlgleite von unterstrom:



Übersicht Querriegel mit Niedrigwasserrinne und „Becken“:



Einstieg Sohlgleite (~3/4 MQ):



Detail Querriegel mit Übergang der Niedrigwasserrinne:



Anbindung Sohlgleite ans Oberwasser:



Übersicht Einstieg Sohlgleite und unterste Querriegel:



### 3 Pegnitz – Umgehungsbach an der Wolfsgruber Mühle

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Abflusshauptwerte Pegnitz (Pegel Nürnberg Ledersteg) [m³/s]:	MNQ = 6,17	Gesamtlänge [m]:	310	
	MQ = 10,8	mittlere Breite [m]:	3,5	
Fallhöhe Querbauwerk [m]:	3,55	mittleres Gefälle:	1:90 (1,1 %)	
Wasserkraftnutzung:	ja	Lage der Mündung:	rechtsufrig	Verschwenkung des Wanderkorridors durch Vorgabe eines „Leitpfades“ in der Pegnitz durch aufgelöstes Blocksteinleitwerk (2010)
Art des Kraftwerks:	Flusskraftwerk			
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk			
Turbinentyp:		Entfernung der Mündung zu den Turbinenauslässen [m]:	170	
Turbinenzahl:				
Ausbaudurchfluss [m³/s]:	21	Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	0,30	
Lage der Turbinenauslässe:	linksufrig	Zusatzdotation:	-	
Besonderheiten:	-	Art der Anbindung an Gewässersohle:	Ungenügend, da steil abfallend	Anrampung (2010)
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		Sohlbeschaffenheit:	Verschlammt (kiesig-sandig)	
Fließgewässerzone:	Epipotamal			
Größte Zielfischart(en):	Barbe, Nase, Aitel	min. Schlitz-/Durchlassbreite [m]:	0,25	0,3
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Gründling, Groppe, Schmerle, Bachneunauge	max. Höhengsprünge [m]:	0,21	0,13
Hauptwanderkorridor:	linksufrig (unterhalb der Mündung der FAA), rechtsufrig (zwischen FAA und Wehr)	max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	1,3	
		min. Wassertiefe [m]:	0,2	0,8
		Besonderheiten:	Anlage befindet sich derzeit im Umbau (s.unten)	
		Funktionskontrolle:	laufend (2009–2011)	

## Beurteilung FAA:

### Auffindbarkeit:

Die Mündung des Umgehungsbaes weist keine erkennbare und von Fischen rezipierbare Leitströmung in die Pegnitz hinein auf. Die Mündung ist spiegelgleich zum Pegnitzwasserstand und ist zudem stark aufgetrichert, so dass die Strömungsimpulse aus dem Bach weitgehend „verpuffen“ und in den Wanderkorridoren der Flussfische in der Pegnitz nicht mehr wahrzunehmen sind.

### Passierbarkeit:

Die Wassertiefen im Bereich einiger Becken sind sehr gering (0,2 m), auch sind Durchgangsöffnungen einiger Schwellen und Überläufe so klein oder durch vorgelagerte Steine eingeengt, so dass hierdurch für größere Fische möglicherweise „Verhaltensbarrieren“ bestehen, welche zum Abbrechen der Aufwanderung führen können.

### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Fazit ist, dass der Umgehungsbach zwar für kleine Fischarten und -größen passierbar ist und für diese auch einen geeigneten Lebensraum bietet. Der Hauptfischbestand der Pegnitz, insbesondere die Populationen der systemtypischen Flussfischarten scheinen den Fischpass jedoch nicht aufzufinden bzw. anzunehmen. Die gute biologische Durchgängigkeit ist damit gegenwärtig nicht gegeben. Die derzeitige Funktionsfähigkeit des Umgehungsbaes muss vielmehr als stark eingeschränkt bewertet werden.

### Verbesserungsmöglichkeiten:

Auf Grund der beschriebenen Defizite wurde die Mündung des UGS im Frühjahr 2010 umgebaut (Bilder der Planung und Umsetzung siehe unten). Wesentliche Planungsziele und -maßnahmen waren dabei:

- 1 die Bündelung und Beschleunigung der Leitströmung durch Verengung des Ausströmöffnung (Ausströmschlitz), sowie die Verstärkung der Leitströmung durch Abflusserhöhung auf bis zu  $0,350 \text{ m}^3/\text{s}$  (vorbehaltlich, dass keine hydraulische Überlastung des Fischpasses an anderer Stelle erfolgt),
- 2 ökohydraulische Optimierung der Mündungssituation durch Einbau eines Ufervorsprunges (Zusammenführung Hauptströmung Pegnitz mit Leitströmung FAA),
- 3 fischgerechte Sohlanpassung zwischen dem Talweg der Pegnitz und der FAA-Mündung durch Anrampung sowie die
- 4 Vorgabe eines Wanderkorridors (Leitpfades) in der Pegnitz durch Blockstein-Leitstrukturen.

Ein Erfolg der Nachbesserungsmaßnahmen bzw. eine deutliche Verbesserung der Funktionsfähigkeit konnte bislang noch nicht festgestellt werden.

Übersicht Lage:



Blick von der Mündung der FAA zum Wehr/Kraftwerk:



Übersicht oberer Abschnitt FAA:



Einstieg FAA von oberstrom:



Einstieg FAA vom gegenüberliegenden Ufer:



Anbindung FAA ans Oberwasser:



Detail FAA:



Detail FAA:



Detail FAA:



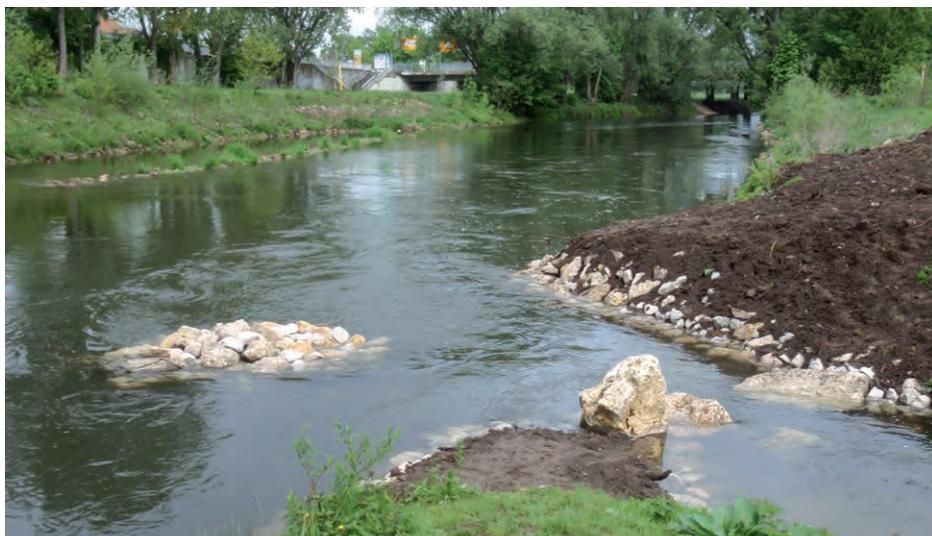
Übersicht Mündungsbereich 2009 (vor Umbau):



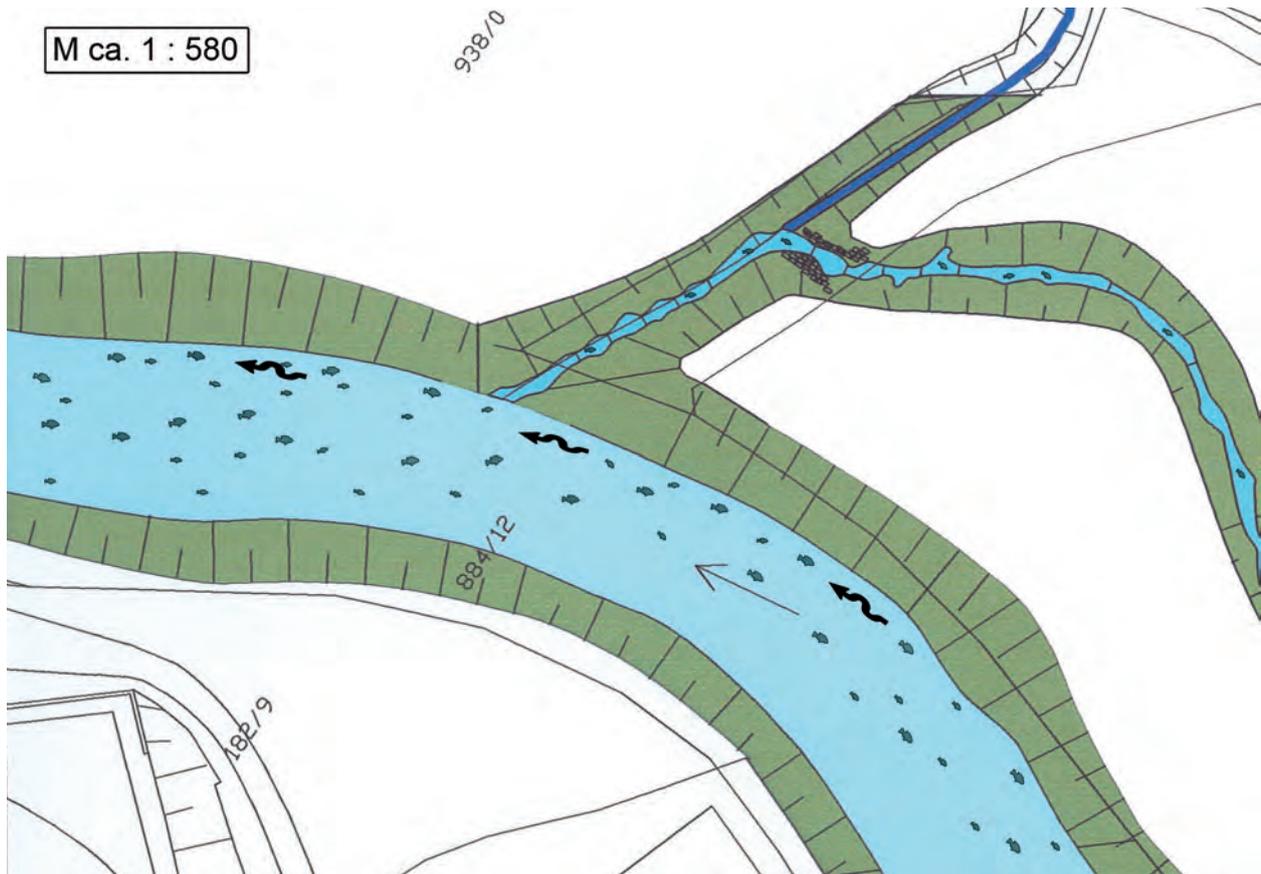
Übersicht Mündungsbereich Planung (Fotomontage):



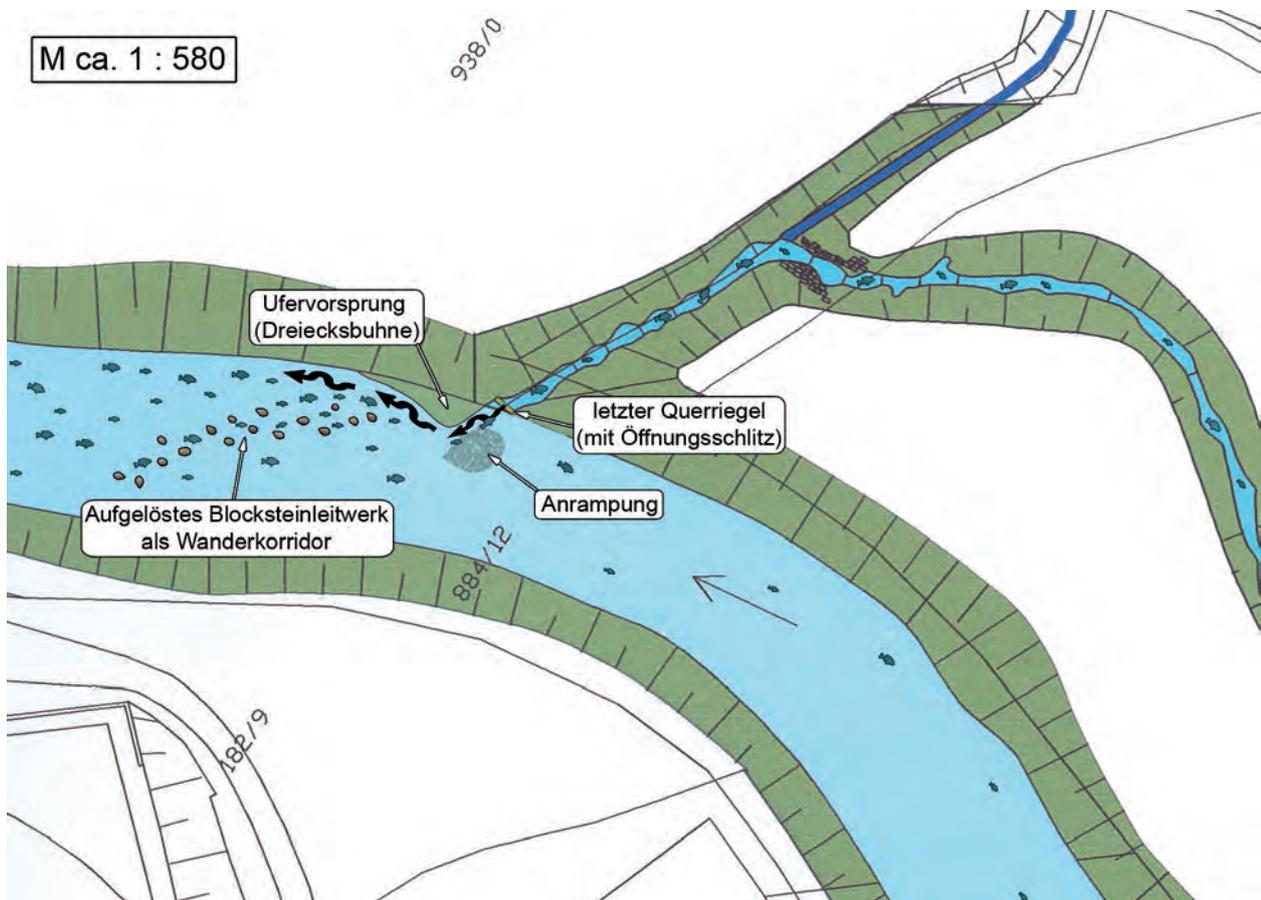
Übersicht Mündungsbereich 2010 (nach Umbau):



Übersicht Ist-Zustand: Wanderkorridor und Wanderrouten im Mündungsbereich des UG vor Umbau:



Übersicht Sollzustand: Wanderkorridor und Wanderrouten im Mündungsbereich des UG nach Umbau:



## 4 Donau – Umgehungssystem an der Donaustufe Vohburg

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Abflusshauptwerte Donau (Pegel Ingolstadt) [m³/s]:	MNQ = 130 MQ = 285 MHQ = 920	Gesamtlänge [m]:	12000	
		mittlere Breite [m]:	15	
Fallhöhe Querbauwerk [m]:	6,1	mittleres Gefälle:	1:3000 (0,03 %)	
Wasserkraftnutzung:	ja	Lage der Mündungen:	rechtsufrig	Begrenzung der Eintiefung der Donau im Unterwasser der Stufenstelle und Anpassung der Mündungen an die abgesunkenen Niedrigwasserspiegel
Art des Kraftwerks:	Flusskraftwerk	Entfernung der Mündung zu den Turbinenauslässen [m]:	270 bzw. 1100	
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk	Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	An der Dotation im OW: 3 (MNQ und MQ) 9 (HQ1) An der Mündung im UW: 8 (MNQ) 12,5 (MQ)	
Turbinentyp:	Kaplan			
Turbinenzahl:	3			
Ausbaudurchfluss [m³/s]:	480			
Lage der Turbinenauslässe:	linksufrig	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos	
Besonderheiten:	-	Sohlbeschaffenheit:	rauh (kiesig bis sandig)	
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	1,4	
Fließgewässerzone:	Epipotamal	min. Wassertiefe [m]:	0,5	
Größte Zielfischart(en):	Barbe, Nase Aitel, Huchen	Besonderheiten:	Zwei Mündungen, Kombination des UGS aus dem Zubringer Paar bzw. rechtem Vorlandgraben, neben Fischaufstieg auch Ersatz als Fließgewässerlebensraum und Laichhabitat	
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Schmerle Gründling			
Hauptwanderkorridor:	rechtsufrig (im Bereich der Mündungen des UGS)	Funktionskontrolle:	abgeschlossen (1992–2010)	

### Beurteilung FAA:

#### Auffindbarkeit:

Regelmäßig während der Hauptwanderperiode im Frühjahr durchgeführte Untersuchungen (1993 bis 2010) in der Donau, im Unterlauf der Paar bzw. im UGS-Mündungsbereich ergaben sehr hohe Individuendichten und Biomassen an Laichfischen rheophiler Arten sowie gleichzeitig sehr große Fluktuationen der Individuendichten der Laichfische innerhalb kurzer Zeiträume im gleichen Mündungsabschnitt des UGS. Diese Ergebnisse sind ein sicherer Nachweis dafür, dass der Einstieg in das UGS von wandernden Fischen in hohem Maße gefunden und das UGS für den weiteren Aufstieg als Wanderweg auch genutzt wird.

### Passierbarkeit:

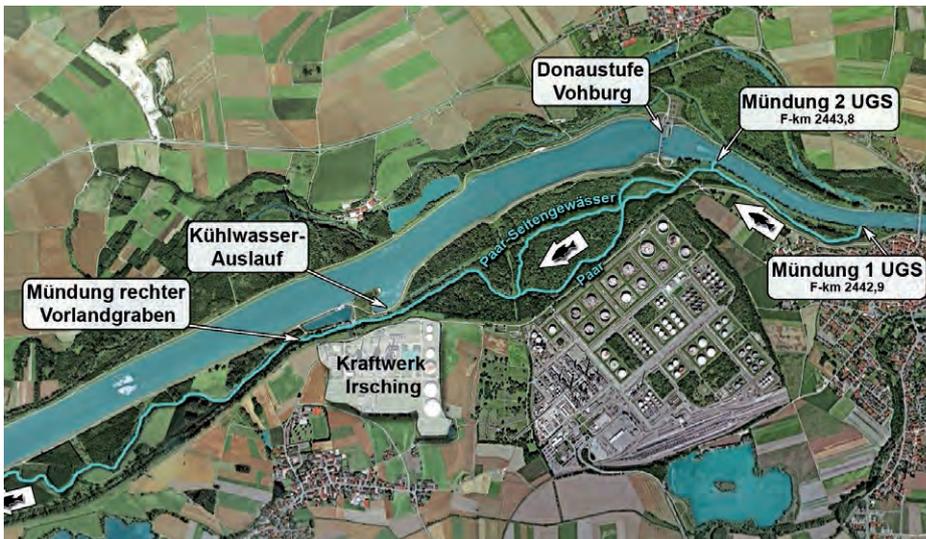
Die Passierbarkeit der FAA zwischen Unterwasser und Oberwasser wurde durch Markierungs-Wiederfangversuche nachgewiesen. In jedem Falle ist ein gezielter, nicht arten- bzw. gröÙenselektiver Aufstieg aus dem Unterwasser der Stufe Vohburg über das UGS in das Oberwasser möglich und findet regelmäßig statt, dabei gelangen aber mit Sicherheit nicht mehr die gleichen Fischmengen pro Zeiteinheit ins heutige Oberwasser, wie seinerzeit in der ungestauten und barrierefreien Donau. Die aktuell bestehende longitudinale Durchgängigkeit am Standort ist aber ausreichend, um eine Isolierung der Fischpopulationen im Oberwasser zuverlässig zu verhindern bzw. dort vitale Populationen aller systemtypischen Arten gemäß den Standortbedingungen in der Restfließstrecke zu erhalten und ist geeignet eine Verschlechterung der fischfaunistischen Situation gegenüber dem Vorzustand zu vermeiden.

### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

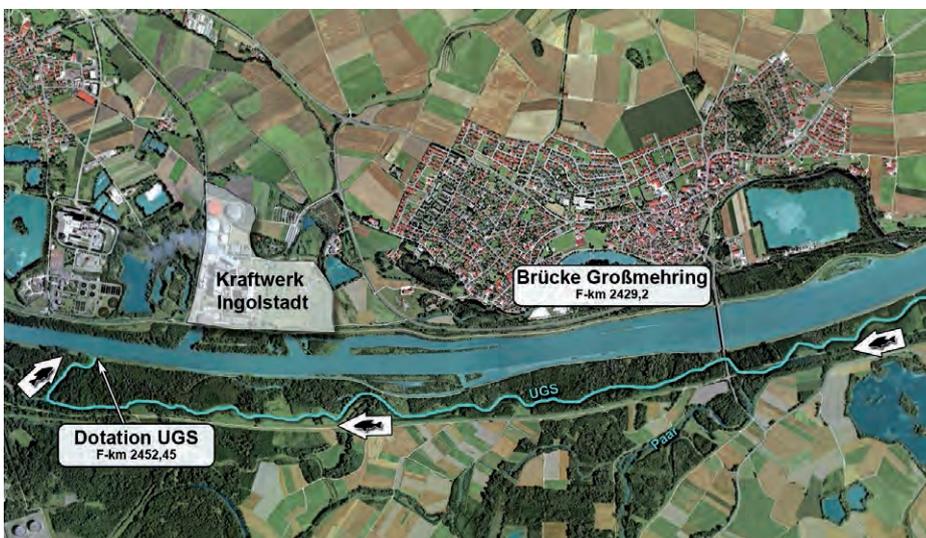
Das Umgehungs-system stellt eine funktionsfähige Vernetzungsader für Flussfische bei ihren Aufwärtswanderungen dar, verbindet die gebietstypischen Fischpopulationen im Unterwasser und Oberwasser der Stufenstelle und begünstigt deren stete Regeneration und Entwicklung. GleichermäÙen blieb durch das UGS die Quervernetzung zwischen der Donau und ihren rechtsseitigen Auebereichen erhalten bzw. wurde dort in Teilbereichen verbessert. Das UGS stellt zudem einen qualitativ hochwertigen Fließgewässerlebensraum dar, der dem FFH-Lebensraumtyp 3260 entspricht und somit der Charakteristik der am gleichen Ort historisch vorhandenen Donaunebenarme und Auebäche. Es handelt sich um einen komplexen, qualitativ hochwertigen Lebensraum für alle heimischen Flussfischarten der Donau, der von diesen dauerhaft besiedelt bzw. immer wieder aufs Neue aufgesucht wird, sei es als Laichplatz, als Nahrungsraum oder als Wanderweg Richtung flussaufwärts.

Ein Problem für die nähere Zukunft stellt die fortschreitende Unterwassereintiefung der Fließstrecke flussabwärts der Stufenstelle dar. Durch die insbesondere bei Niedrigwasser stark absinkenden Wasserspiegel werden die Mündungen bzw. die Einstiege in das UGS bei Niedrigwasser zunehmend schlechter passierbar. Gegenmaßnahmen sind die Begrenzung weiterer Unterwassereintiefungen, Geschiebedotation und Anpassung der Mündungen an die gesunkenen Niedrigwasserstände.

Übersicht Lage: Oben: Dotationsstelle im Oberwasser und obere Hälfte des UGS



Unten: Untere Hälfte des UGS, Zusammenfluss zwischen Umgehungs-bach und Paar (Mündung Rechter Vorlandgraben), Mündungen 1 u. 2 des UGS im Unterwasser



Übersicht Donaustufe Vohburg (Wehr, Kraftwerk und obere UGS-Mündung) von unterstrom:



Übersicht UGS unterer Abschnitt: Befestigter Bereich mit Verzweigung (Inseln)



Hauptmündung des UGS (von Donau aus):



Obere 2. Mündung des UGS (von Donau aus):



Kieslaichplatz im UGS: Entwicklungsbereich mit Seitenerosion



Lebensraumtyp 3260 (FFH-RL) innerhalb des UGS, Entwicklungsbereich:



Detail UGS: gewundener Entwicklungsbereich



Detail UGS: Verzweigung



## 5 Iller – Umgehungssystem mit Tümpelpass und Fischbach am Ausleitungswehr Altenstadt/Filzinger Wehr

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Abflusshauptwerte Iller (Pegel Wiblingen [m³/s]):	MNQ = 7,68 MQ = 54,8 MHQ = 429	Gesamtlänge [m]:	315	
		mittlere Breite [m]:	3	
Fallhöhe Querbauwerk [m]:	6,3	mittleres Gefälle:	1:50 (2 %)	
Wasserkraftnutzung:	ja	Lage der Mündung:	linksufrig	
Art des Kraftwerks:	Ausleitungskraftwerk	Entfernung der Mündung zu den Turbinenauslässen [m]:	90	
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk			
Turbinentyp:	Kaplan	Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	0,3 (Aug.-Feb.) 0,5 (März-Juli)	
Turbinenzahl:	2			
Ausbaudurchfluss [m³/s]:	9	Zusatzdotation:	-	
Mindestwassermenge [m³/s]:	3 (Nov.-Feb.) 6 (März) 9 (Apr.-Juni) 8 (Juli-Sep.) 5 (Okt.)	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos	
		Sohlbeschaffenheit:	Rauh (Kiesig bis steinig)	
Lage der Turbinenauslässe:	linksufrig	Beckenanzahl:	35	
Besonderheiten:	FAA liegt am Beginn der Ausleitungsstrecke	min. Beckendimension, Länge x Breite [m]:	2 x 2	Optimierung von Becken und Überläufen
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		min. Schlitz-/Durchlassbreite [m]:	0,15 0,63 (Mittelwert)	0,4
Fließgewässerzone:	Hyporhithral - Epipotamal	max. Höhengsprünge [m]:	0,15	
Größte Zielfischart(en):	Huchen, Barbe, Nase, Aitel	max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	1,3	
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Gründling, Schmerle, Elritze, Groppe	min. Wassertiefe [m]:	0,20 (unterhalb Schwellenübergang) 0,53 bzw. 0,62 (Mittelwert bei 0,3 bzw. 0,5 m³/s)	0,8; regelmäßige Beckenräumung nach Kieseintrag
Hauptwanderkorridor:	linksufrig	Besonderheiten:	Beobachtungsschacht mit Sichtscheibe im Einlaufbauwerk, Bühne zur Induzierung einer Leitströmung	
		Funktionskontrolle:		

## Beurteilung FAA:

### Auffindbarkeit:

Die Mündung der FAA im Unterwasser des Wehres wurde sowohl im Bezug auf den Hauptwanderkorridor der Fische als auch auf die Lage der Turbinenauslässe auf der „richtigen Seite“ (linkes Illerufer) platziert. Durch die direkt unterhalb der Mündung des Fischaufstieges errichtete Leitbühne, die die von den Turbinenauslässen kommende Hauptströmung mit der Strömung der FAA bündelt, können sich die aufwandernden Fische orientieren und werden in die Mündung des Fischaufstieges geführt. Dadurch scheint die FAA, trotz der relativ weiten Entfernung der Mündung von den Turbinenauslässen, gut auffindbar. Kies, der sich gegebenenfalls zukünftig im Bereich der Mündung anlagern und damit die günstige Mündungssituation verschlechtern könnte, wird im Rahmen der Unterhaltungsmaßnahmen vom Betreiber abgetragen.

### Passierbarkeit:

Durch den Einbau von Störsteinen unterhalb bzw. innerhalb der Öffnungen zwischen den Becken sind einzelne Durchlässe zu eng und flach in Bezug auf die größeren Zielfischarten (z.B. Huchen, Barbe). Die Übergänge zwischen den Becken sind z.T. zu lang und es steht keine ausreichende Beckentiefe nach der Schwelle zur Verfügung. Diese engen Bereiche stellen zudem potentielle Verklausungsbereiche dar (s. Bilder). Ein Teil der Durchlässe in aufeinanderfolgenden Becken ist so ausgerichtet, dass es zu einer Strömungsbeschleunigung kommen kann (s. Bilder). Einzelne Becken der Anlage sind außerdem in Bezug auf die größeren Zielfischarten etwas kurz dimensioniert und weisen, wohl infolge Kieseinschwemmungen zu geringe Wassertiefen auf. Obwohl alle hydraulischen und geometrischen Bemessungsgrößen der Anlage im Mittel innerhalb der geltenden Grenzwerte liegen, schränken die einzelnen Über- bzw. Unterschreitungen derselben dennoch die Passierbarkeit der FAA vor allem für die großen Zielfischarten etwas ein.

### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Zusammenfassend dargestellt, ist die FAA am Filzinger Wehr im momentanen (noch nicht endgültigen) Zustand nur als eingeschränkt funktionsfähig zu bewerten. Nach Umsetzung der geplanten Verbesserungsmaßnahmen (s.unten) ist von einer funktionsfähigen Anlage auszugehen.

Verbesserungsmöglichkeiten: Durch eine geplante Nachjustierung der Störsteine und die ständige Kontrolle der Anlage (z. B. nach Hochwasser) sollte ein Großteil der bestehenden Defizite relativ einfach zu beseitigen sein. Im Rahmen eines vom Betreiber bereits geplanten und seitens der Fachberatung für Fischerei und des LFV-Bayern fachlich begleiteten Untersuchungsprogrammes zur Funktionsfähigkeit der Anlage (inkl. Reusenkontrollen, Videoüberwachung) sollen bestehende Schwachstellen ermittelt werden. Gleichermäßen werden Erkenntnisse zur optimalen Steuerung der dynamischen Dotation sowie ggf. zur weiteren Optimierung der Becken-/Schwellenstrukturen erwartet. Entsprechende Anpassungen und Verbesserungsmaßnahmen sollen im Rahmen des Untersuchungsprogrammes festgelegt und umgesetzt werden.

### Übersicht Lage:



Übersicht Wehr, Kraftwerk und FAA von unterstrom (~ MQ):



Übersicht unterer Abschnitt der FAA (Beckenpass):



Einstieg FAA mit Leitbühne von oberstrom (~ MQ):



Einstieg FAA von unterstrom (~ MQ):



Anbindung (Metallkasten) der FAA ans Oberwasser:



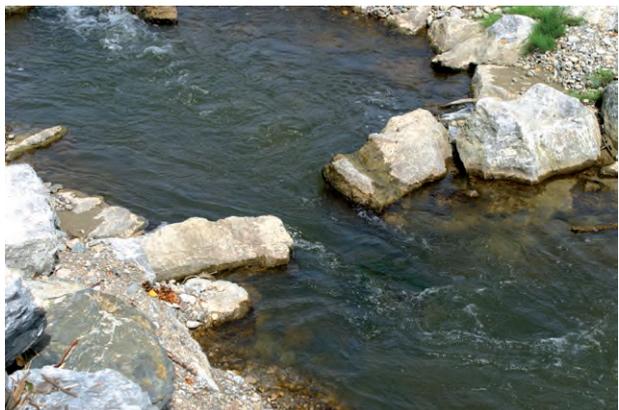
Detail FAA (potentieller Verkläusungsbereich):



Detail FAA (zu geringe Durchlassbreite):



Detail FAA (Strömungsbeschleunigung):



## 6 Iller – Ausleitungskraftwerk Martinszell mit zwei FAA: Tümpelpass (FAA 1) am Triebwerk und Raugerinne mit Beckenstruktur (FAA 2) am Ausleitungswehr Martinszell

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		FAA 1: Angaben zum Tümpelpass	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Abflusshauptwerte Iller (Pegel Kempten [m³/s]:	MNQ = 9,36 MQ = 46,9 MHQ = 380	Gesamtlänge [m]:	ca. 95	
		mittlere Breite [m]:	2	
Fallhöhe Querbauwerk [m]:	2,15	mittleres Gefälle:	1:45 (2%)	
Wasserkraftnutzung:	ja	Lage der Mündung:	rechtsufrig (Kanal)	
Art des Kraftwerks:	Ausleitungskraftwerk	Entfernung der Mündung zu den Turbinenauslässen [m]:	10	
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk			
Turbinentyp:	Kaplan	Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	0,2	
Turbinenzahl:	1			
Ausbaudurchfluss [m³/s]:	36	Zusatzdotation:	-	
Mindestwassermenge [m³/s]:	2	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos	
Lage der Turbinenauslässe:	rechtsufrig (Kanal)	Sohlbeschaffenheit Becken:	verschlammt (sandig bis kiesig)	Entsandung und Füllung mit lückenreichem Grobsubstrat
Besonderheiten:	Zwei FAA (Raugerinne mit Beckenstruktur und Tümpelpass)	Beckenanzahl:	10	
		min. Beckendimension, Länge x Breite [m]:	2 x 1	Becken vergrößern
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		min. Schlitz-/Durchlassbreite [m]:	0,2	0,3
Fließgewässerzone:	Hyporhithral	max. Höhengsprünge [m]:	0,3	0,18
Größte Zielfischart(en):	Huchen, Barbe, Nase, Aitel	max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	1,2	
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Gründling, Schmerle, Groppe	min. Wassertiefe [m]:	0,2	0,8
Hauptwanderkorridor:	linksufrig (unterhalb Einmündung Kanal), rechtsufrig (Kanal)	Besonderheiten:	-	

FAA 2: Angaben zum Raugerinne mit Beckenstruktur	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Gesamtlänge [m]:	ca. 54	
mittlere Breite:	2,3	
mittleres Gefälle:	1:25 (4%)	
Lage der Mündung:	rechtsufrig	
Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	1,8	
Zusatzdotation:	ja	
Art der Anbindung an Gewässersohle:	direkt	
Sohlbeschaffenheit:	rauh (kiesig bis steinig)	
max. Höhengsprünge [m]:	0,2	
max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	1,6	
min. Wassertiefe [m]:	0,6	
Besonderheiten:	-	

#### Beurteilung FAA:

##### Auffindbarkeit:

Auf Grund der Ausleitungssituation mit Kraftwerksbetrieb und der damit verbundenen Abflussverteilung stellt die Herstellung der Durchgängigkeit und speziell die Auffindbarkeit einer FAA am Wehr Martinszell eine besondere Herausforderung dar. Da sich die Fische in der Regel entsprechend der Abflussverteilung auf den Hauptwanderkorridor (Triebwerksabfluss) und den Nebenwanderkorridor (Mindestwasserabfluss) verteilen, kann eine FAA am Ausleitungswehr selbst bei ökologisch günstiger Restwasserbemessung in quantitativer Hinsicht (Verhältnis aufsteigender Individuen zur Gesamtzahl der Wanderfische) nur eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit aufweisen. Insofern ist die Lösung mit zwei FAA, eine am Ausleitungswehr und eine am Triebwerk, generell als sehr positiv zu bewerten. Der Einstiegsbereich des Tümpelpasses (am Triebwerk) ist dabei optimal im Bereich des Hauptwanderkorridors der Fische am rechten Ufer des Triebwasserkanals platziert (siehe Bilder) und sollte so von den Fischen gut aufgefunden werden. Das Raugerinne (am Ausleitungswehr) befindet sich im Bereich des Wehres auf der orografisch rechten Seite. Bei Abflüssen  $< 38 \text{ m}^3/\text{s}$  (ca. 200 Tage/Jahr) wird das komplette Mindestwasser (abzgl. Dotation Tümpelpass) über das Raugerinne und dessen Zusatzdotation (siehe Bilder) geleitet, wodurch der einzige Strömungsimpuls unterhalb des Wehres vom Raugerinne ausgeht. In dieser Situation sollte die FAA von den Fischen gut aufgefunden werden, wobei hier der Betrieb der Dotationsleitung eine erhebliche Rolle spielt. Bei Abflüssen  $> 38 \text{ m}^3/\text{s}$  (ca. 165 Tage/Jahr) dagegen wird das Wehr auf gesamter Breite überströmt und der Strömungsimpuls geht nicht mehr alleine von der FAA aus. Auch in diesem Fall wird trotz eines gewissen Suchaufwandes (am Wehr entlang) von einer insgesamt guten Auffindbarkeit der FAA Mündung ausgegangen.

##### Passierbarkeit:

Die Wassertiefen und die Dimensionierung der Becken des Tümpelpasses (FAA 1) sind im momentanen Zustand zum Teil zu gering für große Individuen der Zielarten (z.B. Huchen) und stellen für diese eine definitive Wanderungsbarriere dar. Mehrere Schwellen zwischen den Becken weisen zudem eine Höhendifferenz  $> 0,20 \text{ m}$  auf und liegen damit über der Maximalhöhe der von schwimmschwachen Fischen zu bewältigenden Höhe. Außerdem sind einzelne Durchlässe zwischen den Becken zu schmal und flach in Bezug auf die größeren Zielfischarten (z.B. Huchen, Barbe). Dadurch wirkt die FAA selektierend auf die Größe der aufsteigenden Fischfauna. In einigen „Becken“ der FAA 2 ist die spezifische Leistung (Turbulenzen) selbst bei Abflüssen im Bereich von  $2/3 \text{ MQ}$  so groß (siehe Bilder), dass sie von kleinen, schwimmschwachen Fischen wahrscheinlich nicht oder nur schwer bewältigt werden können.

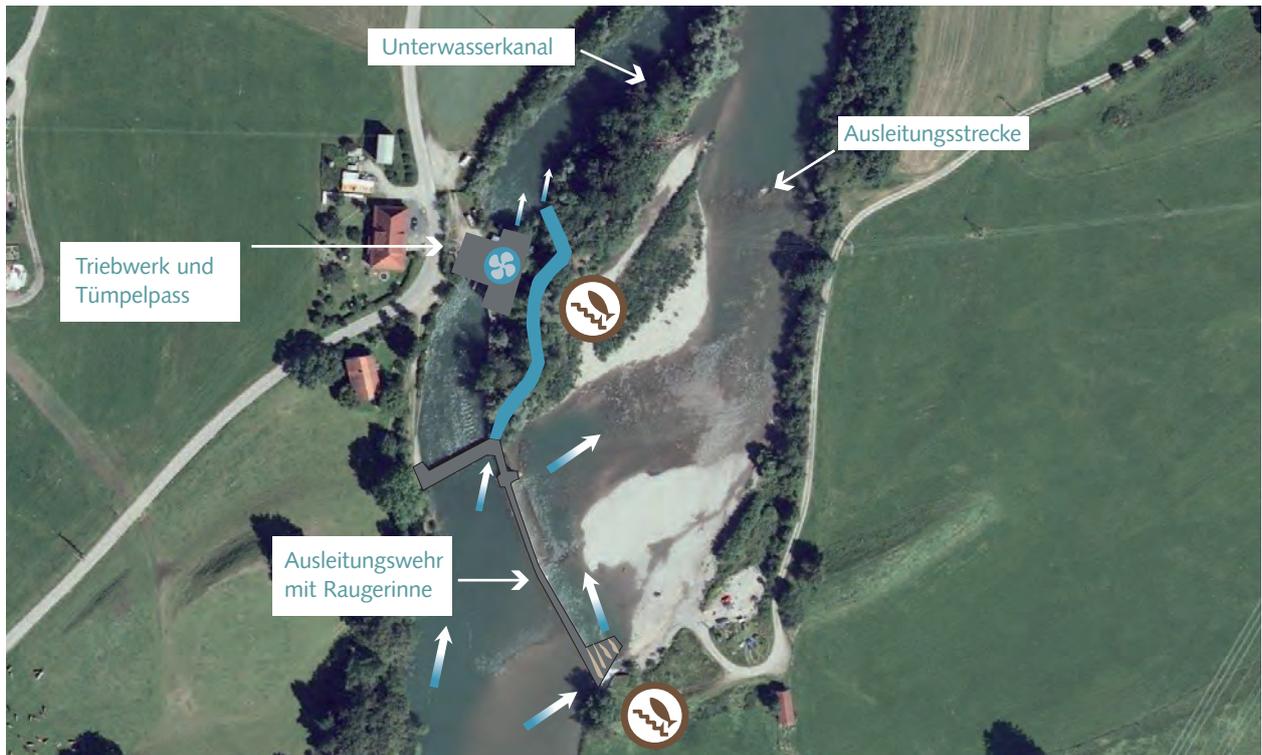
### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Zusammenfassend dargestellt, ist die Funktionsfähigkeit der FAA 1 am Kraftwerk Martinszell sehr stark eingeschränkt. Die FAA 2 am Ausleitungswehr Martinszell weist eine leichte Einschränkung der Passierbarkeit auf.

### Verbesserungsmöglichkeiten:

Gesamtsituation: Eine Verengung des Auslaufes der Ausleitungsstrecke zur Leitstrahlbündelung durch Leitbermen wäre zwar für die Auffindbarkeit zielführend, ist aber bedingt durch die starke Umlagerungsdynamik der Iller bei Hochwassern wahrscheinlich nur schwer dauerhaft zu erhalten. Tümpelpass (FAA 1): Beckenräumung, Anpassung der Schwellenübergänge, Vergrößerung/Vertiefung der Becken; FAA 2: Hydraulische Entlastung, Anpassung der Beckenübergänge

Übersicht Lage:



Übersicht FAA 2, Wehr von unterstrom (~ 2/3 MQ):



Einstieg FAA 2 mit Zusatzdotation (~ 2/3 MQ):



Übersicht FAA 2 von oberstrom (~ 2/3 MQ):



Übersicht FAA 2 von oberstrom (~ 2 MQ):



Detail FAA 2 (~ 2/3 MQ; große Höhengsprünge):



Detail FAA 2 (~ 2/3 MQ; hohe Turbulenzen):



Detail FAA 1 (große Höhengsprünge, versandete Becken zu geringe Wassertiefen):



Einstieg FAA 1 (~ 2/3 MQ):



## 7 Loisach – Tümpelpass am Wehr Schönmühl

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungs- vorschläge
Abflusshauptwerte Loisach (Pegel Kochel [m³/s]):	MNQ = 18,8 MQ = 43,1 MHQ = 139	Gesamtlänge [m]:	19	
		mittlere Breite [m]:	2	
Fallhöhe Querbauwerk (Wehr) [m]:	1,5	mittleres Gefälle:	1:13,5 (7,5 %)	
Wasserkraftnutzung:	ja, in Kanalstrecke flussabwärts	Lage der Mündung:	rechtsufrig	Zweite FAA am linken Ufer
Art des Kraftwerks:	Ausleitungskraftwerk	Entfernung der Mündung zum Hauptwanderkorridor der Fische (Prallufer) [m]:	80	Neuverteilung des Abflusses am Wehr
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk	Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	ca. 0,5 m³/s	
Turbinentyp:	Kaplan	Zusatzdotation:	parallel über Kronenausschnitt am Wehr, ca. 1,75 m³/s	1,5 (Nov.-April) 3,5 (Mai-Okt.)
Turbinenzahl:	1	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos	
Ausbaudurchfluss [m³/s]:	60	Sohlbeschaffenheit:	verbacken (kiesig)	Füllung mit lückenreichem Grobsubstrat
Mindestwassermenge [m³/s]:	2 (Nov.-April) 4 (Mai-Okt.)	Beckenanzahl:	7	
Lage der Mindestwasserabgabe:	linksufrig	min. Beckendimension, Länge x Breite [m]:	2,0 x 1,9	2,8 x 1,8
Besonderheiten:	Teil des Mindestwassers wird linksufrig über Grundschleuse abgegeben, Ausleitungsstrecke schlecht auffindbar und nur eingeschränkt durchgängig	max. Höhensprünge [m]:	0,26	0,10–0,13 (0,15)
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	2,19	1,7 (1,9)
Fließgewässerzone:	Hyporhithral - Epipotamal	min. Wassertiefe [m]:	0,5	1,0
Größte Zielfischart(en):	Barbe, Huchen, Nase, Aitel	Besonderheiten:	Neubau FAA geplant	
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Groppe, Elritze	Funktionskontrolle (hydraulisch):	abgeschlossen (2008-2009)	
Hauptwanderkorridor:	linksufrig			

## Beurteilung FAA:

### Auffindbarkeit:

Der Einstiegsbereich des Fischpasses liegt fernab des Wanderkorridors der Fische (linkes Loissachufer zur linken Wehrseite hin). Zwischen dem Hauptwanderkorridor am linksseitigen Prallufer und der Mündung der FAA im Unterwasser besteht keinerlei messbare Leitströmung, da der Abfluss aus der FAA hier auf sehr breitem Querschnitt auffächert und von Fischen nicht mehr wahrgenommen werden kann.

### Passierbarkeit:

Die Fließgeschwindigkeiten im Bereich einzelner Schwellen sind gerade für leistungsschwächere Jung- und Kleinfische zu hoch. Dadurch wirkt die FAA selektierend auf die aufsteigende Fischfauna. Die Wassertiefen und die Dimensionierung der Becken sind zum Teil zu gering für große Individuen der Zielarten (z.B. Huchen) und stellen für diese eine definitive Wanderungsbarriere dar. In einigen Becken sind die Volumina so gering und die spezifische Leistung (Turbulenzen) so groß, dass sie weder von großen, schwimmstarken noch von kleinen, schwimmschwachen Fischen bewältigt werden können. Mehrere Schwellen zwischen den Becken weisen eine Höhendifferenz  $> 0,20$  m auf und liegen damit über der Maximalhöhe der von schwimmschwachen Fischen zu bewältigenden Höhe.

### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Die FAA am Wehr Schönmühl ist wegen unzureichender Passierbarkeit und da sie von aufwandernden Fischen nicht oder nur zufallsbedingt aufgefunden werden kann, als stark eingeschränkt funktionsfähig zu bewerten.

### Neuplanung/Neubau:

Zur Herstellung einer wesentlichen ökologischen Verbesserung wurde 2010/2011 eine neue FAA am Wehr Schönmühl geplant und gebaut (siehe S. 127 f).

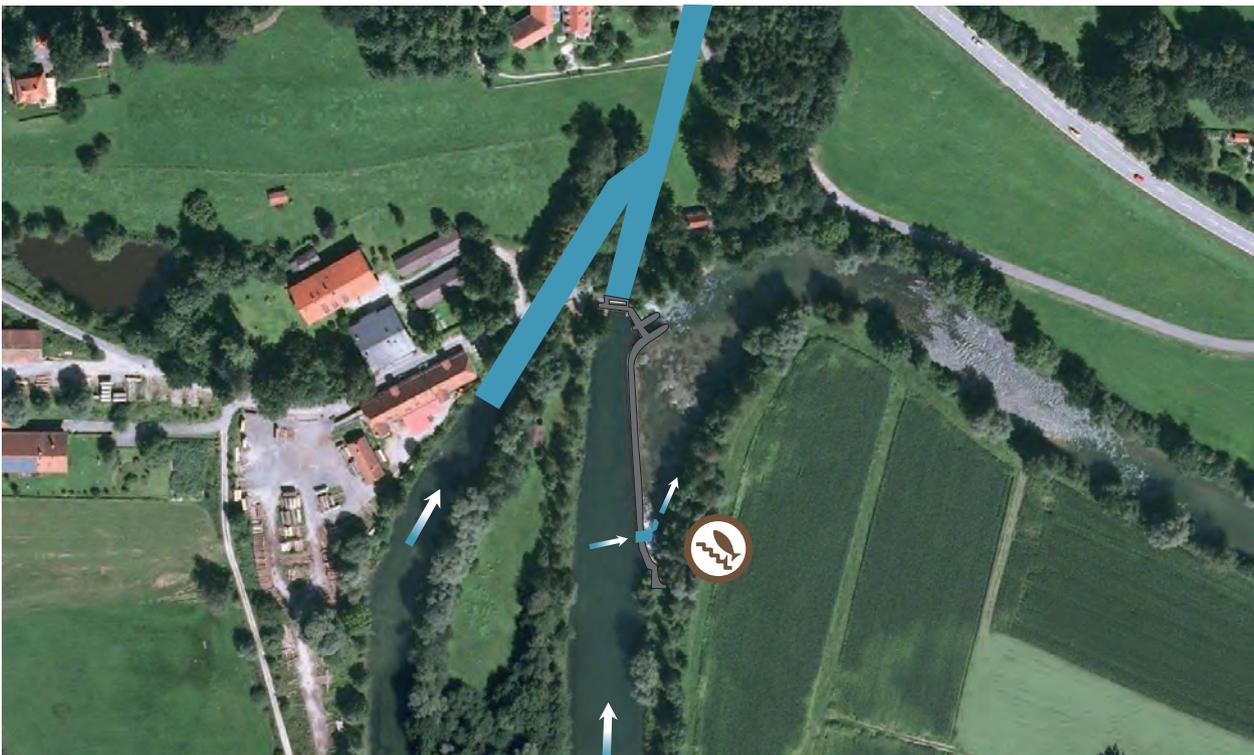
### Beurteilung Ausleitungsstrecke:

Auf Höhe des Flusskilometers 31,048 befindet sich in der Ausleitungsstrecke, ca. 300 m oberhalb des Zusammenflusses der Ausleitungsstrecke und des Kraftwerkskanals, eine Sohlrampe. Die Durchgängigkeit für die Fische ist an dieser Stelle stark eingeschränkt, da die Absturzbereiche zum Unterwasserkolk hin für die meisten Fischarten und -größen der Loissach nicht zu überwinden sind. Gleichermäßen ist die Auffindbarkeit der Ausleitungsstrecke derzeit als schlecht zu bewerten. Die Hauptströmung kommt aus dem Kraftwerkkanal. Damit führt auch der Haupt-Wanderkorridor für Fische dorthin. Die Strömungswirkung des Mindestwasserabflusses aus der Ausleitungsstrecke ist im Vergleich dazu zu gering, um Fische bei Normalabflüssen in nennenswertem Umfang in die Ausleitungsstrecke zu leiten. Es ist daher davon auszugehen, dass im derzeitigen Zustand ein wesentlicher Anteil der aufwandernden Loissachfische in den Kraftwerks-Unterwasserkanal hinein fehlgeleitet wird und somit nicht in die Ausleitungsstrecke bzw. zur FAA am Wehr gelangen kann.

### Verbesserungsmöglichkeiten:

Mindestwassererhöhung, Bündelung und Lenkung des Abflusses an der Mündung der Ausleitungsstrecke, aufgelöstes Blocksteinleitwerk, das die Fische aus der Loissach in die Mündung der Ausleitungsstrecke führt.

Übersicht Lage:



Übersicht FAA und Wehr von unterstrom:



Übersicht FAA und Zusatzdotation von unterstrom:



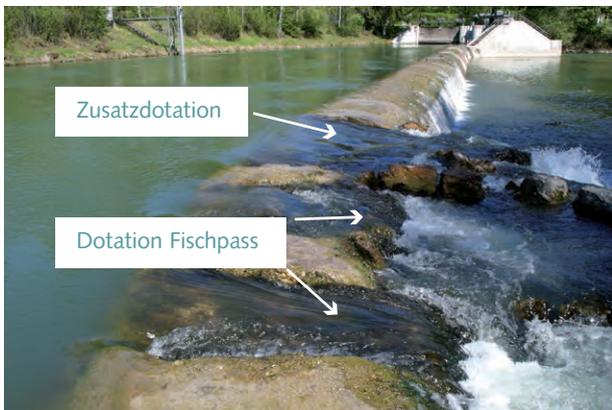
Übersicht FAA, Wehr von oberstrom:



Strömungssituation unterhalb des Wehrs:



Anbindung FAA ans Oberwasser:



Detail FAA:



Detail FAA (große Höhengsprünge, abgelöster Strahl):



Detail FAA (hohe Turbulenz, geringe Beckendimension):



## Loisach – Tümpelpass am Wehr Schönmühl – Neuplanung/-bau 2010/2011

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA-neu		Ist-Zustand Neu 2011
Abflusshauptwerte Loisach (Pegel Kochel [m <sup>3</sup> /s]:	MNQ = 18,8 MQ = 43,1 MHQ = 139	Gesamtlänge [m]:	90	
		mittlere Breite [m]:	4	
Fallhöhe Querbauwerk (Wehr) [m]:	1,7	mittleres Gefälle:	1:55 (1,8 %)	
Wasserkraftnutzung:	ja, in Kanalstrecke flussabwärts	Lage der Mündung:	rechtsufrig	
Art des Kraftwerks:	Ausleitungskraftwerk	Entfernung der Mündung zum Hauptwanderkorridor der Fische (Prallufer) [m]:	30	
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk	Bemessungsdurchfluss [m <sup>3</sup> /s]:	ca. 1,0 m <sup>3</sup> /s	
Turbinentyp:	Kaplan	Zusatzdotation:	parallel über Kronen- ausschnitt am Wehr, ca. 0,25 m <sup>3</sup> /s	
Turbinenzahl:	1	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos	
Ausbaudurchfluss [m <sup>3</sup> /s]:	65	Sohlbeschaffenheit:	Grobsubstrat	
Mindestwassermenge [m <sup>3</sup> /s]:	2 (Nov.-April) 4 (Mai-Okt.)	Beckenanzahl:	13	
Lage der Mindestwasserabgabe:	linksufrig	min. Beckendimension, Länge x Breite [m]:	6,6 × 3,5	
Besonderheiten:	Teil des Mindestwassers wird linksufrig über Grund- schleuse abgegeben, Ausleitungsstrecke schlecht auffindbar und nur einge- schränkt durchgängig	max. Höhengsprünge [m]:	0,13	
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		max. gemessene Fließ- geschwindigkeit [m/s]:	-	
Fließgewässerzone:	Hyporhithral - Epipotamal	min. Wassertiefe [m]:	1,0	
Größte Zielfischart(en):	Barbe, Huchen, Nase, Aitel	Besonderheiten:		
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Groppe, Elritze	Funktionskontrolle (hydrau- lisch):		
Hauptwanderkorridor:	linksufrig			



**Beschreibung der Neuplanung:**

Der Neubau wurde als naturnaher Beckenpass (Tümpelpass) mit gemäß Planung ca. 6–7 m langen und ca. 3–4 m breiten Becken mit aufgelösten Steinschwellen und Steinwänden entlang der rechten Uferböschung errichtet.

**Auffindbarkeit:**

Der Einstiegsbereich des Fischpasses ist von ehemals 90 m Abstand auf nun ca. 30 m Entfernung deutlich näher an den Hauptwanderkorridor der Fische herangerückt. In welchem Umfang der neue Einstieg von den aufwandernden Zielarten aufgefunden wird, kann gegenwärtig nicht beurteilt werden.

**Passierbarkeit:**

Bei plangemäßer Herstellung ist auf Grund der großen Beckenvolumina (ca. 25 m<sup>3</sup>/s) und der geringen Höhendifferenzen zwischen den Becken (0,13 m) von einer günstigen Energieumwandlung und von sehr guter Passierbarkeit der Anlage für alle Zielarten- und Größen auszugehen.

FAA-Neubau am Wehr Schönmühl, Übersicht



FAA-Neubau am Wehr Schönmühl, Becken mit Sohlswellen



## 8 Isar – Tümpelpass am KW Bad Tölz

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungs- vorschläge
Abflusshauptwerte Isar (Pegel Bad Tölz KW) [m³/s]:	MNQ = 10,9 MQ = 27,7 MHQ = 245	Gesamtlänge [m]:	ca. 250	
		mittlere Breite [m]:	4	
Fallhöhe Querbauwerk [m]:	8	mittleres Gefälle:	1:30 (3%)	
Wasserkraftnutzung:	ja	Lage der Mündung:	linksufrig	Einbau einer Leitbühne inkl. Verengung der FAA-Mündung zur Erzeugung einer Leit- strömung. Zusätzlicher Leitpfad (aufgelöstes Blocksteinleitwerk) in der Isar unterhalb FAA- Mündung
Art des Kraftwerks:	Flusskraftwerk	Entfernung der Mündung zu den Turbinenauslässen [m]:	100	
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk			
Turbinentyp:	Kaplan			
Turbinenzahl:	2	Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	0,53	
Ausbaudurchfluss [m³/s]:	31,25	Zusatzdotation:	-	
Lage der Turbinenaus- lässe:	rechtsufrig	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos	
Besonderheiten:	-	Sohlbeschaffenheit:	Rauh (Kiesig bis steinig)	
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		Beckenanzahl:	45	
Fließgewässerzone:	Hyporhithral	min. Beckendimension, Länge × Breite [m]:	3 × 4	
Größte Zielfischart(en):	Barbe, Nase, Huchen Aitel	min. Schlitz-/Durchlassbrei- te [m]:	0,15	0,4
Kleinste Zielfischart(en):	Groppe, Elritze, Schmerle, Schneider	max. Höhensprünge [m]:	0,2	0,15
Hauptwanderkorridor:	rechtsufrig	max. gemessene Fließ- geschwindigkeit [m/s]:		
		min. Wassertiefe [m]:		
		Besonderheiten:	-	

## Beurteilung FAA:

### Auffindbarkeit:

Der Einstiegsbereich des Fischpasses liegt abseits des Wanderkorridors der Fische (Flussmitte bis rechtes Isarufer zum Kraftwerk hin). Zwischen dem Hauptwanderkorridor und der Mündung der FAA im Unterwasser besteht keine für Fische wahrnehmbare Leitströmungsverbindung, da die Mündung spiegelgleich zum Isarwasserstand ist und zudem stark auftrichert, so dass die Strömungsimpulse aus der FAA weitgehend „verpuffen“ und in den Wanderkorridoren der Flussfische in der Isar nicht wahrzunehmen sind. Zur Verbesserung der Auffindbarkeit sollte versucht werden, die Hauptströmung der Isar mit der Leitströmung der FAA zusammenzuführen. Geeignete Maßnahmen wären: Bündelung und Beschleunigung der Leitströmung durch Verengung der Ausströmöffnung, Umbau in einen Ausströmschlitz, ökohydraulische Optimierung der Mündungssituation durch Einbau eines Ufervorsprunges und Bau eines aufgelösten Blocksteinleitwerkes (Leitpfad) in der Isar unterhalb der FAA-Mündung mit Leitwirkung in Richtung FAA-Mündung.

### Passierbarkeit:

Mehrere Schwellen zwischen den Becken (vor allem im technischen Teil der FAA) weisen eine Höhendifferenz  $> 0,20$  m auf und liegen damit über der Maximalhöhe der von schwimmschwachen Fischen zu bewältigenden Höhe. Zudem sind die Durchgangsöffnungen einiger Schwellen und Überläufe so klein oder durch vorgelagerte Steine eingeengt, so dass hierdurch für größere Fische möglicherweise „Verhaltensbarrieren“ bestehen, welche zum Abbrechen der Aufwanderung führen können. Eine Optimierung der Passierbarkeit wäre durch geeignete Anpassungsmaßnahmen gut zu erreichen.

### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Wegen der unzureichenden Auffindbarkeit und der leicht eingeschränkten Passierbarkeit liegt derzeit eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit vor.

### Anmerkungen:

Aus Platzgründen und den speziellen Eigentumsverhältnissen war der Bau einer FAA auf der rechten Flussseite nicht möglich. Durch Realisierung der empfohlenen Verbesserungsvorschläge kann voraussichtlich eine gute Funktionsfähigkeit erreicht werden.

Übersicht Lage:



Übersicht Kraftwerk, FAA, Wehr von unterstrom (~ MQ):



Übersicht FAA (~ MQ):



Übersicht technischer Teil FAA (u.a. große Höhengsprünge):



Einstieg FAA von oberstrom (~ MQ):



Anbindung FAA ans Oberwasser:



Detail FAA (obere Schwelle: abgelöster Strahl):



Detail FAA (großer Höhengsprung):



Detail FAA (lange Engstelle mit großen Höhengsprüngen):



## 9 Isar – Schlitzpass am KW Gottfrieding

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Abflusshauptwerte Isar (Pegel Landau) [m³/s]:	MNQ = 87,6 MQ = 168 MHQ = 579	Gesamtlänge [m]:	110	
		mittlere Breite [m]:	1,8	
Fallhöhe Querbauwerk [m]:	6,77	mittleres Gefälle:	1:20	
Wasserkraftnutzung:	ja	Lage der Mündung:	linksufrig	
Art des Kraftwerks:	Flusskraftwerk	Entfernung der Mündung zu den Turbinenauslässen [m]:	10	
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk			
Turbinentyp:	Kaplan-PIT-Rohrturbinen	Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	0,5	
Turbinenzahl:	2	Zusatzdotation:	ja, 0,5–1,0 m³/s	
Ausbau durchfluss [m³/s]:	2 × 95	Art der Anbindung an Gewässersohle:	Steinrampe	
Lage der Turbinenauslässe:	linksufrig	Sohlbeschaffenheit:	rauh (steinig)	
Besonderheiten:	-	Beckenanzahl:	43	
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		min. Beckendimension, Länge x Breite [m]:	2,5 × 1,8	
Fließgewässerzone:	Epipotamal	min. Schlitz-/Durchlassbreite [m]:	0,3	
Größte Zielfischart(en):	Barbe, Nase Aitel, Huchen	max. Höhengänge [m]:	0,16	
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Schmerle Gründling	max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	1,74	
Hauptwanderkorridor:	linksufrig	min. Wassertiefe [m]:	1,2	
		Besonderheiten:	-	
		Funktionskontrolle:	2010/2011 und 2015	

### Beurteilung FAA:

#### Auffindbarkeit:

Der Einstiegsbereich des Fischpasses liegt direkt linksufrig zwischen Turbinenauslass und Uferböschung am unteren Ende des Turbinenabstroms im Bereich des rechtsseitigen Wanderkorridors der Fische. Durch den Betrieb der Dotationsleitung soll der Leitkorridor und der Leitströmungsimpuls vergrößert werden. Der Einstieg im Unterwasser wurde nach hydraulischen 3 D Modellierungen im Jahr 2014 umgebaut, um dadurch den Leitkorridor bzw. die Leitströmungswirkung zu verbessern. Die Funktionskontrollen 2010 und 2015 haben eine zufriedenstellende Auffindbarkeit ergeben.

#### Passierbarkeit:

Die an der Oberfläche gemessenen Fließgeschwindigkeiten im Bereich einzelner Schlitz-/Übergänge scheinen gerade für leistungsschwächere Jung- und Kleinfische in ihren Maximalwerten geringfügig zu hoch zu sein. Sohlnahe Geschwindigkeiten liegen dagegen in günstigen Bereichen. Durch Nachrüstungen zwischen 2010 und 2014 wurden die Höhendifferenzen zwischen einzelnen Becken vermindert und die Strömunglenkung zwischen den Becken verbessert.

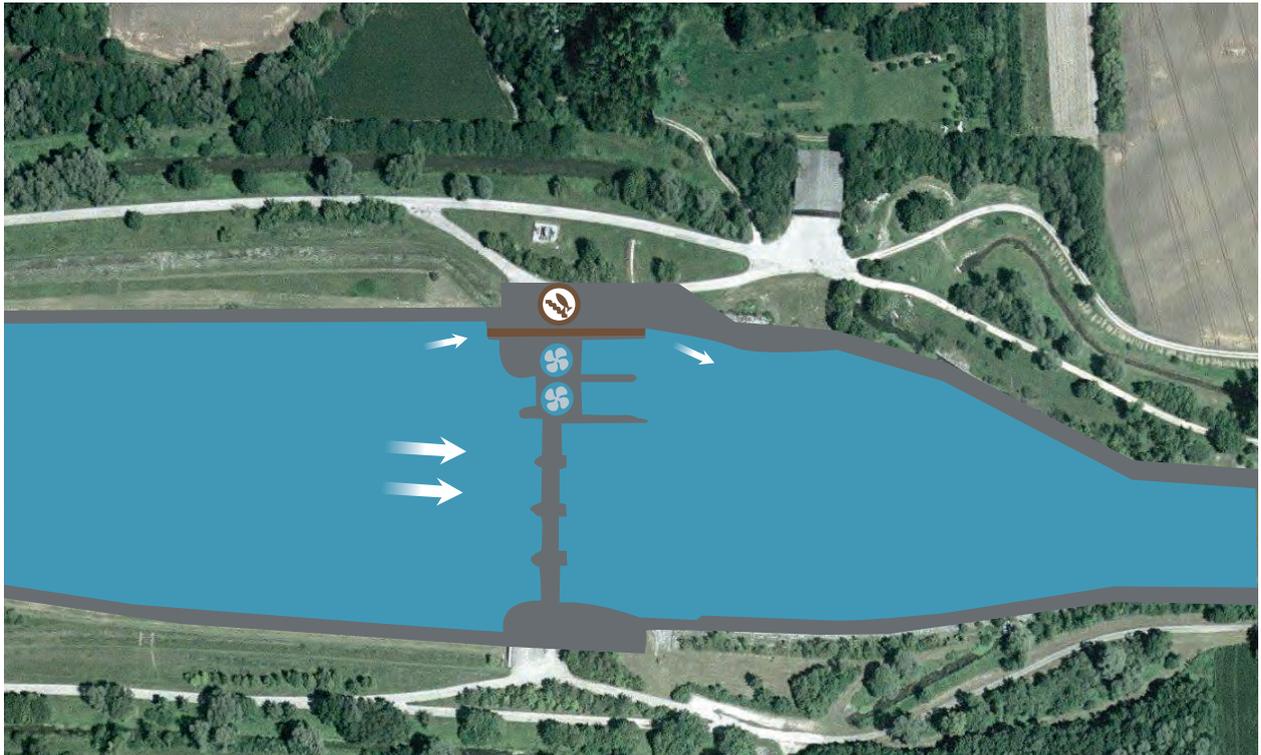
Aufstiegskontrollen mit Hilfe einer Fangreuse zeigten keine Arten- und Größenselektion der Anlage an. Insgesamt ist die FAA so dimensioniert, dass sowohl die tatsächlich vorkommenden indifferenten rheophilen Arten als auch die Arten der potenziell natürlichen Fischfauna (z.B. Äsche, Huchen) geeignete Aufstiegsbedingungen vorfinden. Insgesamt ist seit 2015 eine gute Passierbarkeit gegeben.

Im Zuge der Nachrüstungen wurde am oberwasserseitigen Ausstieg/Einlauf oberhalb des bestehenden Pfahlrechens ein neues Schwimmbalkensystem errichtet, das Treibzeug deutlich besser zurückhält und die Verklausungsgefahr deutlich reduziert hat.

#### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Nach den Ergebnissen der Funktionskontrollen in den Jahren 2010 - 2011 sowie im Jahr 2015 (nach Nachrüstung) gemäß der Methode nach EBEL 2006 liegt eine gute Funktionsfähigkeit der FAA vor

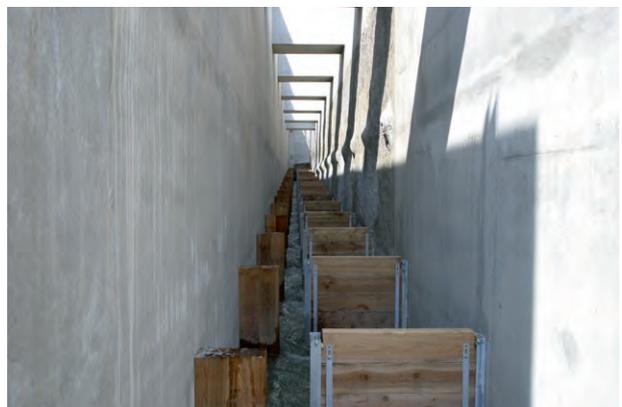
Übersicht Lage:



Übersicht Wehr, Kraftwerk, FAA-Mündung von unterstrom:



Übersicht FAA:



Vergleich Situation vor und nach Umbau Einstieg sowie sonstige Verbesserungen der FAA Stand 2015

1 ) Übersicht FAA-Einstieg (1) vor Umbau ohne Vorschüttung und ohne Trennrechen zur Zusatzdotationsmündung (2), Zusatz-Dotationsmenge ca. 0,5 m<sup>3</sup>/s



2 ) Übersicht Einstieg nach Umbau mit Vorschüttung/Spundwand (1), Leitelement (2) und Rechen zur Vergleichmäßigung der Zusatzdotationsmenge (3), Zusatzdotationsmenge ca. 1,0 m<sup>3</sup>/s



Detail Einstieg nach Umbau, Zusatzdotationsmenge ca. 0,5 m<sup>3</sup>/s



Schwelle/Übergang nahe Ausstieg vor Umbau



Schwelle/Übergang nahe Ausstieg nach Umbau



Ausstiegsbereich im Oberwasser nach Einbau des Schwimmbalkens/Treibgutabweisers



## 10 Main – Umgebungsbach am Wehr Oberwallenstadt

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	Verbesserungsvorschläge
Abflusshauptwerte Main (Pegel Schwürbitz) [m³/s]:	MNQ = 6,06	Gesamtlänge [m]:	460	
	MQ = 30,2 MHQ = 310	mittlere Breite [m]:	3	
Fallhöhe Querbauwerk [m]:	2,2	mittleres Gefälle:	0,5 %	
Wasserkraftnutzung:	ja	Lage der Mündung:	Rechtsufrig (Ausleitungsstrecke)	
Art des Kraftwerks:	Ausleitungskraftwerk	Entfernung der Mündung zum Wehr [m]:	ca. 100	
Art des KW-Betriebes:	Laufwasserkraftwerk	Bemessungsdurchfluss [m³/s]:	0,4 (Sommer) 1,0 (Winter)	
Turbinentyp:	nicht bekannt	Zusatzdotation:	-	
Turbinenzahl:	nicht bekannt.	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos	
Ausbaudurchfluss [m³/s]:	34,6	Sohlbeschaffenheit:	rauh (grobkiesig bis sandig)	
Mindestwassermenge [m³/s]:	keine	min. Schlitz-/Durchlassbreite [m]:	nicht bekannt	
Lage der Turbinenauslässe:	rechtsufrig (Kanal)	max. Höhensprünge [m]:	nicht bekannt	
Besonderheiten:	Ausleitungskraftwerk,	max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	nicht bekannt	
Angaben zur Fischfauna		min. Wassertiefe [m]:	0,20	
Fließgewässerzone:	Hyporhithral- Epipotamal			
Größte Zielfischart(en):	Aitel, Barbe, Nase, Rutte – mittelfristig potenzielle Wanderfischarten wie Flussneunauge und Lachs	Besonderheiten:	-	
Kleinste Zielfischart(en):	Gründling, Schmerle	Funktionskontrolle:	-	
Hauptwanderkorridor:	rechtsufrig (unterhalb Einmündung Kanal), rechtsufrig (Kanal)			

## Beurteilung FAA:

### Auffindbarkeit:

Auf Grund der Ausleitungssituation mit Kraftwerksbetrieb und der damit verbundenen Abflussverteilung stellt die Herstellung der Durchgängigkeit und speziell die Auffindbarkeit einer FAA am Wehr Oberwallenstadt eine besondere Herausforderung dar. Da sich die Fische in der Regel entsprechend der Abflussverteilung auf den Hauptwanderkorridor (Triebwerksabfluss) und den Nebenwanderkorridor (Mindestwasserabfluss) verteilen, kann eine FAA am Ausleitungswehr selbst bei ökologisch günstiger Mindestwasserbemessung in quantitativer Hinsicht (Verhältnis aufsteigender Individuen zur Gesamtzahl der Wanderfische) nur in eingeschränktem Umfang aufgefunden werden. Der rechtsseitige Mainarm wird auf halber Höhe der Landzunge durch eine befahrbare Furt durchschnitten. In diesem Bereich unterhalb der Furt liegt die Mündung der FAA und erreicht mit einer nur leichten Lockströmung zur Flussmitte hin bei Normalwasserstand noch den Hauptstromkorridor. Von den Turbinenauslässen direkt im Hauptwanderkorridor liegt der Mündungsbereich ca. 150 m entfernt. Die Auffindbarkeit der FAA wird, in Abhängigkeit vom Wasserstand, aufgrund der Lage, der Wassertiefe und der Anbindung über die Lockströmung an den Hauptwanderkorridor als teilweise eingeschränkt bewertet.

### Passierbarkeit:

Durch die Ausbildung als Umgebungsbach mit entsprechendem Struktureichtum (Gumpen, Kehrwasserbereiche, Rauigkeit der Sohle, flache Uferzonen) und Dimension (vgl. Angaben zum Gewässer) ist bei Normalwasserstand (vgl. Dotationsmenge von 400 l/s) von einer uneingeschränkten Passierbarkeit bei den großen und kleinen Zielfischarten auszugehen. Bei Niedrigwasserabflüssen reicht der Wasserkörper an flacheren Übergängen (< 20 cm) nicht aus, um den Aufstieg größerer Zielfischarten zu gewährleisten (vgl. Schlegel C., Speierl Th., Völkl W., Hoffmann K-H. & Klupp, R. (2008) – Nutzung von Umgebungsgerinnen am oberen Main, Fischer und Teichwirt 6/210–213). Hingegen ist eine Durchwanderbarkeit bei Hochwasserabflüssen (dokumentiert bis Hochwasser Kategorie 3) möglich. Linienführung und Bettgestaltung führen sohnah selbst bei den kleinen Zielarten noch zu tolerierbaren Abflussgeschwindigkeiten.

### Beurteilung Funktionsfähigkeit:

Insgesamt kann die FAA an der Wehranlage Oberwallenstadt im momentanen Zustand als eingeschränkt funktionsfähig bewertet werden. Eine Verbesserung der Funktionsfähigkeit kann aber durch die Umsetzung weiterer wasserbaulicher Maßnahmen erreicht werden, wie im Folgenden beschrieben.

### Verbesserungsmöglichkeiten:

Eine Verbesserung der Auffindbarkeit des Mündungsbereiches der FAA kann sowohl durch eine Erhöhung der Dotationsmenge als auch durch die verbesserte Anbindung der Leitströmung an den Hauptwanderkorridor erreicht werden. Mittels eines Leitsporns kann der Ausstrom der FAA gebündelt und bis zur Spitze der Landzunge an den Hauptwanderkorridor herangeführt werden. Die Problemstellen der zu flachen Übergänge bei Niedrigwasserabfluss können durch gezielte Unterhaltungsmaßnahmen beseitigt werden (evtl. Entnahme von Hartsubstraten). Verstärkte Kontrollen sind hier sowohl während der Niedrigwasserperioden als auch nach Hochwasserereignissen nötig. Eine optimale Herstellung der Durchgängigkeit wäre mit der Errichtung einer zweiten (technischen) FAA direkt am Triebwerk zu erreichen.

Übersicht Lage:



Übersicht Wehr, FAA, Kraftwerk:



Übersicht FAA von oberstrom:



FAA (oberer Abschnitt):



Detail FAA



## 11 Alz – Umbau eines Wehr in eine fischpassierbare Sohlgleite in Burgkirchen

Angaben zum Gewässer/Querbauwerk		Angaben zur FAA	Ist-Zustand	notwendige Verbesserung
Abflusshauptwerte Alz (Pegel Burgkirchen) [m³/s]:	MNQ = 2,81 MQ = 12,5 MHQ = 164	Gesamtlänge [m]:	ca. 48	
		Gesamtbreite [m]: beckenförmige FAA Blocksteingleite	ca. 40 ca. 13 ca. 27	
Fallhöhe ehemaliges Querbauwerk [m]:	2,0	mittleres Gefälle:	1:22	
Wasserkraftnutzung:	nein	Art der Anbindung an Gewässersohle:	nahtlos über Vorbodensicherung an Kiessohle des Flusses	
Besonderheiten:	Ausleitungsstrecke mit Mindestwassermenge derzeit bei ca. 3 m³/s; das Wehr Burgkirchen dient der Ausleitung von Brauchwasser/ Kühlwasser	Sohlbeschaffenheit: beckenförmige FAA	Kies auf Beckensteinen	
		Sohlbeschaffenheit Blocksteingleite	Steinschüttung HMB 600/800 mit Einzelblöcken und teilweiser Kiesüberschüttung	
		Q30 [m³/s] Q 330 [m³/s]	3 28	
<b>Angaben zur Fischfauna</b>		max. Höhengsprünge [m]:	0,15	
Fließgewässerzone:	Hyporhithral – Epipotamal Äschen-Barben-Übergangsregion	max. gemessene Fließgeschwindigkeit [m/s]:	1,2	
Größte Zielfischart(en):	Huchen, Barbe, Nase, Aitel	min. Wassertiefe [m]:	0,4	
Kleinste Zielfischart(en):	Schneider, Elritze, Groppe	Besonderheiten: Umbau des Wehres in eine FAA im Rahmen eines Sanierungsprogramms nach dem Umweltschadengesetz		
Hauptwanderkorridor:	linksseitig	Bei Normalabfluss linksseitig bei Q250-330 links- und rechtsseitig		

### Beurteilung FAA:

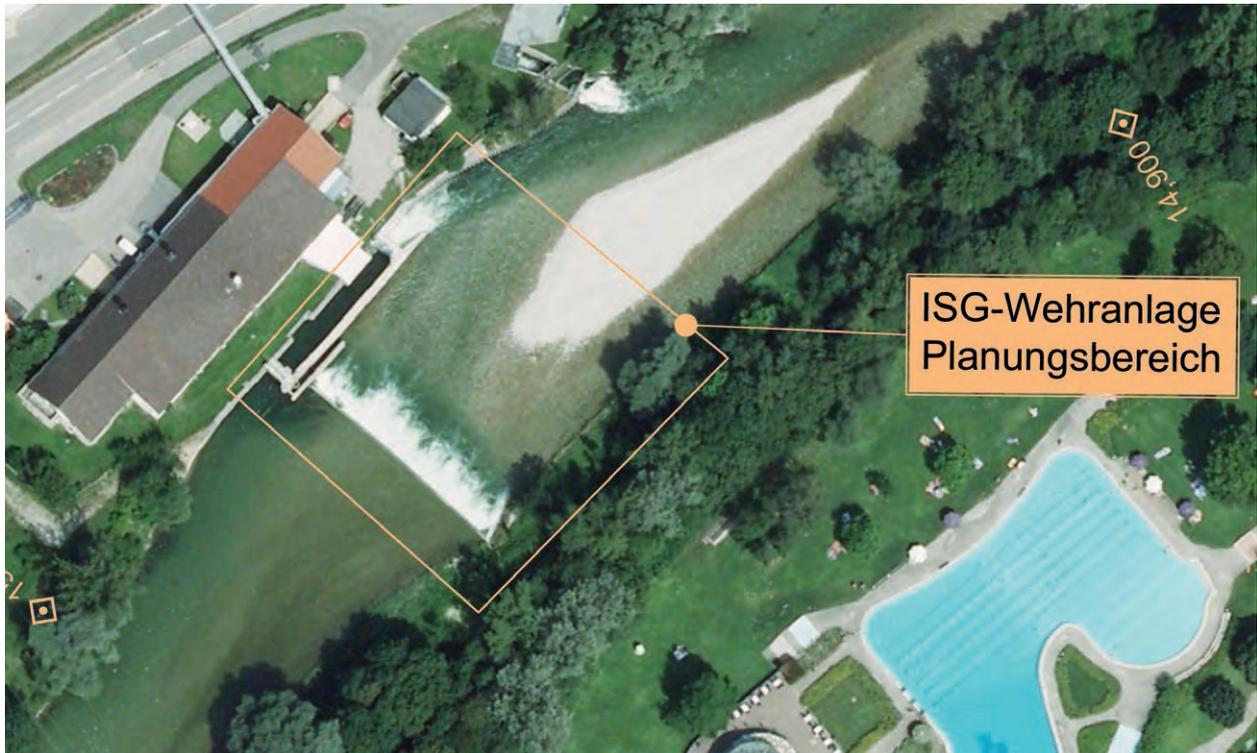
**Beschreibung der Umbauplanung:** Die im Frühjahr 2015 fertiggestellte Sohlgleite ersetzt das vorher senkrechte, ca. 2 m hohe Absturzbauwerk durch eine als beckenförmige Gleite angelegte FAA auf der orografisch linken Wehrseite. Die insgesamt 12 Becken haben eine mittlere Länge von ca. 3,8 m und eine Breite von ca. 13 m. Die 13 Schwellen sind aus Riegel-Blöcken mit ca. 1,4 m Höhe aufgebaut. Die mittleren Höhengsprünge zwischen den Becken liegen bei 0,13 m, die Energiedissipation bei maximal ca. 120 W/m<sup>3</sup>. An die beckenförmige FAA schließt in Richtung zum rechten Ufer eine Blocksteingleite an, mit einer Niedrigwasserrinne, die als geschwungener Wasserlauf mit einer Sohlbreite von mindestens 2,5 m ausgebildet ist. Im rechten Teil der Sohlgleite wurde durch den Einbau von Störsteinen, Wurzelstöcken und Totholzbäumen sowie teilweiser Kiesüberschüttung eine vielfältige Oberflächenstruktur geschaffen, welche die Energieumwandlung auf der Sohlgleite verstärkt und vor allem bei höheren Abflüssen aufstiegswilligen Fischen einen zusätzlichen Wanderkorridor entlang des rechten Ufers anbietet.

**Auffindbarkeit:** Auf Grund fehlender Konkurrenzströmungen erreichen die entlang des linken Ufers aufwandernden Fische bei Normalabfluss die von der beckenförmigen FAA linksseitig ausgehende Hauptströmung am untersten Querriegel der Sohlgleite sehr gut. Bei erhöhten Abflüssen entstehen neben dem Hauptwanderkorridor über die Becken-FAA auch am rechten Rand der Blocksteingleite zusätzliche Wanderkorridore, die sich mit steigendem Abfluss zum rechten Ufer hin ausdehnen.

**Passierbarkeit:** In Bezug auf die hydraulischen und geometrischen Bemessungsgrundlagen ist die beckenförmige FAA so dimensioniert, dass sowohl die tatsächlich vorkommenden rheophilen und indifferenten Arten (inklusive der Kleinfischarten), als auch die Arten der potenziell natürlichen Fischfauna (Referenzzönose) geeignete Aufstiegsbedingungen vorfinden. Der Aufbau aus beckenförmiger FAA und Blocksteingleite ermöglicht die Passierbarkeit für alle relevanten Arten und Größenklassen bei nahezu allen Abflussbedingungen.

**Beurteilung Funktionsfähigkeit:** Die technisch-hydraulische Überprüfung ergab durchwegs geeignete geometrische und hydraulische Werte. Erste Ergebnisse des fischökologischen Monitorings (regelmäßige Fischbestandsuntersuchungen an diversen Kontrollstrecken im Unterwasser und Oberwasser der FAA seit 2011), zeigten im Sommer/Herbst 2015 signifikante Zunahmen bei relevanten Zielfischpopulationen (z. B. Barben) im Oberwasser der FAA. Zusammenfassend dargestellt, ist die FAA als sehr gut funktionsfähig zu bewerten.

Übersicht Lage vor Rückbau des Wehrs:



Übersicht Lage nach Umbau des Wehrs:



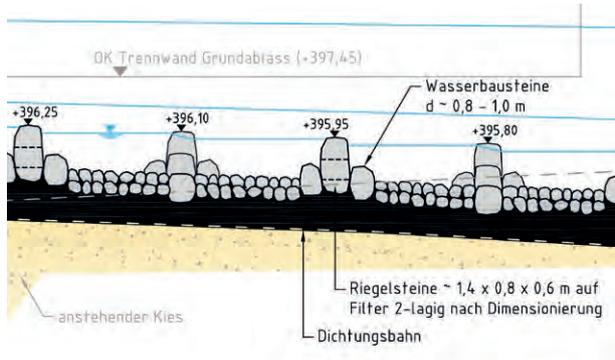
Übersicht Wehr vor Umbau von unterstrom:



Übersicht Sohlgleite nach Umbau von unterstrom: linksseitig (orografisch) beckenförmige FAA, rechtsseitig Blocksteingleite mit Niedrigwasserrinne



Längsschnitt durch die beckenförmige FAA (linke Seite)



Beckenbereich der FAA (linke Flussseite) in Fließrichtung (ca. Q 30)



Beckenförmige FAA: Übergang zwischen Becken 5 und 6



Beckenbereich: Übergang zwischen Becken 1 und 2



Gesamtanlage bei erhöhtem Abfluss (ca. Q 300)



Blocksteingleite rechte Flussseite: zusätzliche Wanderwege bei erhöhtem Abfluss (ca. Q300)



Beckenförmige FAA und Anschlussbereich der Blocksteingleite bei erhöhtem Abfluss (ca. Q 300)



Hauptwanderwege bei erhöhtem Abfluss (ca. Q 300)



# Glossar

## Abfluss

Wasservolumen, das einen definierten Gerinne-Querschnitt in einer bestimmten Zeit durchfließt (Angabe meist in m<sup>3</sup>/s oder l/s). Der natürliche Abfluss eines Gewässers rekrutiert sich aus dessen **Einzugsgebiet** und wird v.a. durch die Größe des **Einzugsgebietes** und den darüber abregnenden Niederschlag bestimmt. Einen technischen Abfluss hingegen stellt bspw. die Dotation einer FAA dar, dieser wird häufig über ein **Dotationsbauwerk** gesteuert.

## Absturz

Sohlstufe mit senkrechter oder steil geneigter Absturzwand, wobei sich der Überfallstrahl vom Untergrund ablöst.

## adult

erwachsen, geschlechtsreif

## Altarm

Ehemalige Flussschleife oder ehemaliger Nebenarm, die/der zumindest zeitweise mit dem Hauptgewässer in Verbindung steht.

## anadrom

Bezeichnung für Fische, welche zur Fortpflanzung vom Meer ins Süßwasser ziehen, z.B. Lachs, Meerforelle, Maifisch.

## anthropogen

durch menschlichen Einfluss bedingt

## Ausleitung

Wasserentnahme/-ableitung aus einem Fließgewässer für unterschiedliche Nutzungen (z.B. Energiegewinnung, Kühlwasser). Die Ausleitung erfolgt i.d.R. über ein entsprechendes Ausleitungsbauwerk, unterhalb einer Ausleitungsstelle stellt sich ein reduzierter Abfluss ein (vgl. hierzu **Mindestwasserabgabe** sowie **Mindestwasserabfluss**).

## Ausstieg

**Oberwasserseitige** Öffnung einer FAA, über welche der Betriebsabfluss in eine FAA abgegeben wird und von der die aufgestiegenen Fische ins höher gelegene **Oberwasser** gelangen. Hier sollten eine stufenlose Anbindung zur Gewässersohle des Oberwassers sowie ein ausreichender Abstand zu Kraftwerkseinläufen sichergestellt sein.

## Bemessungswerte

Können hydraulischer oder geometrischer Natur sein und beziehen sich in der Regel auf fischart- und/oder bauartspezifische Minimal- und Maximalwerte, die nicht über- oder unterschritten werden sollten. Exemplarisch genannt seien hier **hydraulische Mindesttiefe**, **Schlitzbreiten** oder maximales **Gefälle**.

## Benthos(-organismen)

Die am Gewässergrund lebende Tier- und Algengemeinschaft

## Biotop

Lebensstätte einer regelmäßig wiederkehrenden Artengemeinschaft (Biozönose) von einheitlicher, gegenüber seiner Umgebung abgrenzbarer Beschaffenheit

## Collection gallery

Engl. Bezeichnung für einen Sammelkanal oberhalb der Turbinenauslassbauwerks, welcher für die am Krafthaus oberflächennah ankommenden Fische auf der gesamten Breite mehrere **Einstiege** in die FAA zur Verfügung stellt.

## Cypriniden

Zoologischer Begriff für die Familie der Karpfenartigen; dazu gehören u.a. Aitel, Nase, Brachsen, Hasel

## diadrom

Fischarten, die zwischen Meer und Süßwasser wandern, bspw. Aal, Lachs, Meerforelle

## Dotation

In diesem Fall Wasserzuführung in ein natürliches oder technisches Gerinne. Der **Abfluss** wird dabei häufig über ein Regelungsbauwerk gesteuert. Beispiele: Ausleitungsstrecke, Einlauf FAA

## Dotationsbauwerk

Technische Einrichtung zur Abgabe eines bestimmten Abflusses in ein Gerinne, z.B. Tauschschütz, Schieber.

## Drift

Verfrachtung von Organismen (organismische Drift) und Material mit der fließenden Welle flussabwärts. Besonders wichtig im Kontext der Juvenil-Drift bei Fischen, die zur natürlichen Ausbreitung vieler Fischarten dient.

## Einstieg

**Unterwasserseitige** Öffnung einer FAA, aus der der Betriebsabfluss der FAA ins Unterwasser abgegeben wird und in die die aufwandernden Fische „einsteigen“ sollen. Maßgeblich mitbestimmend für die Auffindbarkeit des Einstiegs sind die Leitströmung, die Lage im Gesamtsystem sowie eine stufenlose Anbindung an die Gewässersohle.

## Einzugsgebiet

Ein Gebiet, das von einem Gewässer und seinen sämtlichen Zuflüssen ober- und unterirdisch entwässert wird. Die Grenze eines Einzugsgebiets wird über die Wasserscheide markiert.

## Energiedissipation

Abbau potentieller und kinetischer Energie in diesem Fall in den Becken einer FAA. Die Energiedissipation kann sich ab einer bestimmten Energiedichte auf das Orientierungs- und Leistungsvermögen von Fischen und somit die Funktionsfähigkeit einer FAA auswirken. Sie wird mit der Einheit W/m<sup>3</sup> angegeben.

## FAA

**Fisch-Aufstiegs-Anlage**; bauliche Einrichtung, die dem vorhandenen Fischbestand, insbesondere den sog. **Zielarten** und/oder anderen aquatischen Lebewesen (Benthosorganismen) die Überwindung eines künstlich geschaffenen Hindernisses in Richtung flussauf ermöglicht.

## Fließgewässerregion/Gewässerregion

Fließgewässerabschnitt gemäß der ökologischen Einteilung der Fließgewässer anhand morphologischer und physikalischer Parameter und der damit verbundenen Fischfauna.

## Gefälle

Gibt den Gradienten aus der vertikal vorhandenen Höhendifferenz (Höhenunterschied **Oberwasser** zu **Unterwasser**) und der horizontal verfügbaren Länge an. Die Angabe erfolgt häufig in 1:x. Für verschiedene Typen von FAA dürfen bestimmte Gefälle-Werte nicht überschritten werden.

## Geschiebe

Der Teil der Feststoffe eines Fließgewässers, wie bspw. Kies, die an der Sohle transportiert werden (im Gegensatz zu Schweb- und Schwimmstoffen)

## Gewässerstruktur

Formenvielfalt und Strukturelemente (Prall- und Gleitufer, Mäander, Buchten, Vorsprünge, Gehölz- und Bewuchselemente, Totholz, Kolke, Steinblöcke oder Inseln) in einem Gewässerbett. Die Gewäs-

serstruktur ist entscheidend für die ökologische Funktionsfähigkeit: Je vielfältiger die Struktur, desto mehr geeignete Habitats für Tiere und Pflanzen sind vorhanden.

#### Habitat

Charakteristische Konzentrationsstelle einer Art („Wohnbereich“ von lat. „habitare“ = „wohnen“), die sich innerhalb eines größeren Biotops (z.B. Fluss, Bach) scharf hervorhebt, die von den Gesamtbedingungen desselben jedoch in seiner Artenzusammensetzung weitgehend abhängt.

#### Hydraulische Mindesttiefe

Sie ist diejenige Wassertiefe im Abflussprofil einer FAA, welche von der Oberkante der Sohle bis zum darüber gelegenen Wasserspiegel frei von Strömungshindernissen ist. Von besonderer Bedeutung ist sie an Verbindungsstellen bzw. Übergängen von Beckenstrukturen mit deren Schlitz- und Durchlässen. In Bezug auf die Fischgröße/Höhe kann eine zu geringe hydraulische Mindesttiefe eine gröÙenselektive Wirkung entfalten.

#### Indifferent

Verhaltensmerkmal oder Lebensraumsanspruch einer Tierart, das/der keinem bestimmten Verhaltensmuster oder einer eindeutigen Klassifikation zugeordnet werden kann. Einige Fischarten sog. **Ubiquisten** („Allerweltsarten“) können z.B. indifferent sein bzgl. Temperatur, Substrattyp, Strömungsverhältnissen, etc.

#### Interstitial

Kieslückensystem – Lebensraum für zahlreiche wirbellose Arten (**Makrozoobenthos**, **Fischnährtiere**), ferner für Fischeier, Fischbrut und Jungfische. Besonders wichtig für kieslaichende Fischarten. Eine entsprechend raue Sohle mit ausreichendem Interstitial ist in einer FAA wichtig für einen erfolgreichen Aufstieg bodenorientierter Kleinfische sowie für das Makrozoobenthos.

#### Jungfischhabitat

Lebensraum und Aufwuchsgebiet von Jungfischen.

#### juvenil

zur Jugendphase gehörend.

#### katadrom

Fische, die zur Fortpflanzung aus dem SüÙwasser ins Meer ziehen sind katadrom; Beispiel: Aal

#### Kieslaicher

Fische, die sich auf Kiessubstrat fortpflanzen; dazu gehören nahezu alle Fließgewässerarten der Mittel- und Oberläufe, z.B. Äsche, Bachforelle, Barbe, Nase, Huchen u.a.

#### Konkurrierende Strömung

Strömung, die aufgrund ihrer Stärke oder ihres Verlaufs in Konkurrenz zur Leitströmung tritt und somit eine Fehlleitung von Fischen verursachen kann. Spielt neben dem **Einstieg** in FAAs auch an Ausleitungsstrecken eine wichtige Rolle, wo ein geringer **Mindestwasserabfluss** und eine höhere Abflussmenge (z.B. aus einem Triebwerkskanal) wieder zusammentreffen.

#### Laichplatz

Ort, an dem sich Fische fortpflanzen (laichen) und wo sich deren Eier entwickeln. Die unterschiedlichen Arten stellen oft sehr spezielle Anforderungen an ihren Laichplatz.

#### lateral

seitwärts gelegen, seitlich, laterale Vernetzung = Vernetzung Haupt- mit Nebengewässern

#### Laufwasserkraftwerk

Wasserkraftwerk, das den jeweils anfallenden nutzbaren Zufluss über ein Gefälle abarbeitet, das durch ein Querbauwerk künstlich erzeugt oder erhöht wird.

#### Leitströmung

Strömung, welche in Abhängigkeit vom Haupt-Abfluss in Lage und Ausprägung einer permanenten Änderung unterliegt und die Fische zur Orientierung dient. Spielt am bzw. kommend aus dem Einstiegsbereich von FAAs für die Auffindbarkeit einer FAA eine maßgebliche Rolle. Zu beachten sind hier besonders **konkurrierende Strömungen**.

#### Leitströmungsimpuls

Der aus dem FAA-Einstieg im **Unterwasser** austretende Leitströmungsimpuls ist das Produkt aus **Strömungsgeschwindigkeit** und zugehörigem Wasservolumen (LARINIER 2002).

#### longitudinal

In der Längsrichtung verlaufend. Eine longitudinale Durchgängigkeit verläuft entlang der Hauptachse eines Gewässers.

#### Mesohabitat

Aus dem Englischen: Teilhabitat im Fließgewässer, das durch spezielle Struktur-/Funktionselemente geprägt bzw. charakterisiert wird, z.B. Kiesbank, Kolk, Schnelle, Gleitufer, Bucht

#### Mindestwasserabfluss

**Abfluss**, der an sog. Ausleitungswehren/-kraftwerken zur **Dotation** der Ausleitungsstrecke (Mutterbett) abgegeben werden muss

#### Mikrohabitat

Kleinstlebensraum bzw. Einzelstrukturelement z.B. Blockstein (Fischeinstand) innerhalb eines **Mesohabitats**

#### Makrozoobenthos

Sammelbezeichnung für wirbellose Kleintiere, die den Gewässerboden bewohnen und zumindest in einem Lebensstadium mit bloÙem Auge sichtbar sind.

#### Migration

Wanderung, von lat. „migrare“ = „wandern“. Bezeichnet hier die Wanderung von Fischen.

#### Mindestwasserabgabe

Minimale Abflussmenge, die an sog. Ausleitungswehren/-kraftwerken zur **Dotation** der Ausleitungsstrecke (Mutterbett) abgegeben werden muss

#### Oberwasser

Aquatischer Bereich, der sich in Fließrichtung gesehen oberhalb eines **Querbauwerkes** befindet. Hier liegt der Ausstieg aus einer FAA.

#### Perciden

Zoologischer Begriff für die Familie der Barschartigen; dazu gehören u.a. Flussbarsch, Zander, Streber, Schrätrzer

#### Population

Gruppe von Individuen einer Art, die eine Fortpflanzungsgemeinschaft bilden.

#### potamodrom

Bezeichnung für Fischarten, die Wanderungen nur innerhalb des SüÙwassers durchführen.

### Querverbauung/Querbauwerk

Bauwerk, welches quer über ein Fließgewässer reicht, z.B. Wehr, Sohlschwelle, Staudamm. Querverbauungen unterbrechen das Gewässerkontinuum. Fischwanderungen und Geschiebetransport werden verhindert oder eingeschränkt.

### Reproduktion

Natürliche Fortpflanzung

### Rheotaxis

Ausrichten der Körperlängsachse und Orientierungsbewegung von Fischen nach der Richtung des Strömungsverlaufs, positive/negative Rheotaxis = Bewegung gegen die Strömung/ mit der Strömung

### rheophil

Strömungsliebend – Bezeichnung für Organismen, die Gewässerbereiche mit rasch strömendem Wasser bevorzugen.

### Salmoniden

Zoologischer Begriff für die Familie der Lachsartigen; dazu gehören u.a. Äsche, Bachforelle, Lachs, Huchen

### Schlitzbreite

Der lichte Abstand zwischen zwei technischen Schlitz-Elementen (z.B. Wasserbaustein bei Naturbauweise, Holz- oder Betonbauteile bei technischer Bauweise) im Schlitz/Durchlass einer FAA. Je nach größenbestimmender **Zielart** sind bestimmte Mindestbreiten für Schlitz einzuhalten, um eine größenselektive Wirkung zu vermeiden. Horizontal betrachtet Pendant zur vertikal verlaufenden **hydraulischen Mindesttiefe**.

### Schwellbetrieb/Schwallbetrieb

Betriebsart eines oder mehrerer **Laufwasserkraftwerke** in Kombination mit Speicherkraftwerken (meist Tagesspeicher) zur Anpassung an den zeitlichen Energiebedarf, wobei der Zufluss durch begrenzte Speicherbewirtschaftung beeinflusst und genutzt wird. Folge des Schwellbetriebes sind unnatürlich hohe und rasche Abfluss- und Wasserspiegelschwankungen.

### Schwimmgeschwindigkeit/Schwimmleistung

Fische verfügen je nach Art, Alter und Größe über verschiedene Schwimmgeschwindigkeiten, die sie der augenblicklichen Umgebungssituation für einen bestimmten Zeitraum anpassen können. Da eine FAA i.d.R. über eine entsprechende Strömung verfügt, sind hier je Fischart spezifische Schwimmgeschwindigkeiten zu berücksichtigen, um Selektionseffekte zu vermeiden

### Stagnophil/limnophil

ruhigwasserliebend – Bezeichnung für Organismen, die Gewässerbereiche mit stehendem Wasser bevorzugen.

### Stauwurzel

Übergangsbereich vom ungestauten zum gestauten Wasserlauf. Verlagert sich in Abhängigkeit von der aktuellen Stauhöhe und dem jeweiligen Abfluss des Gewässers.

### Strömungsgeschwindigkeit

Geschwindigkeit des Wassers über der Gewässersohle. Angabe meist in m/s. Nimmt bei entsprechend rau beschaffenem Bodensubstrat in Richtung Sohle ab. Kann bei zu hohen oder zu niedrigen Werten in einer FAA einen selektiven Effekt hervorrufen.

### Totholz

Hier: Zweige, Äste, Wurzelstöcke oder ganze Bäume in Flüssen und Bächen. Lebenswichtiges Strukturelement, besonders für Fische (Einstand, Schutz). Nahrung für Makroinvertebraten.

### Slot Pass

Engl. Bezeichnung für einen „Schlitz-Pass“, eine technische Form einer FAA. Am geläufigsten ist ein Vertical-Slot-Pass mit vertikalen Schlitzten von der Wasseroberfläche bis zur Gerinnesohle, die entweder auf einer Seite oder beidseitig angeordnet sein können.

### Ubiquisten

Umgangssprachlich auch „Allerweltsarten“: Organismen ohne Bindung an einen bestimmten Lebensraumtyp oder ohne spezifisch ausgeprägte Lebensraumansprüche, siehe auch „**indifferent**“.

### Unterwasser

Aquatischer Bereich, der sich in Fließrichtung gesehen unterhalb eines Querbauwerkes befindet. Der **Einstieg** in eine FAA liegt stets im Unterwasser-Bereich einer Barriere.

### Verklausung

Wenn sich Baumstämme oder Äste im Gerinnequerschnitt verkeilen und durch weiter angeschwemmtes Totholz der Gerinnequerschnitt verlegt wird; das zufließende Wasser wird aufgestaut und mitgeführte Sedimente können sich ablagern. Kann die Funktionsfähigkeit einer FAA durch eine Blockade des Gerinnes oder das Verstopfen von Schlitzten und Durchlässen maßgeblich beeinträchtigen.

### Wanderhindernisse

Gegebenheiten, welche die Ausbreitung von Fließgewässertieren insbesondere von Fischen im Längsverlauf der Fließgewässer oder in lateraler Richtung stören oder unterbinden (z.B. Talsperren, Wehre, Abstürze, Durchlässe, Längsverbauungen, chemische „Barrieren“ u.a.).

### WRRL

Die seit Dezember 2000 gültige Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union setzt in allen Mitgliedsstaaten der EU einheitlich geltende Umweltziele für den Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer fest und hat damit eine rechtliche Basis dafür geschaffen, wie das Wasser auf einem vergleichbar hohem Niveau zu schützen ist. Die Wasserrahmenrichtlinie verfolgt einen umfassenden, integrativen und länderübergreifenden Ansatz der Bewirtschaftungsplanung in Flussgebieten (Hauptziel: Erreichen des guten ökologischen Zustandes).

### Zielarten

Gewässer- und standortspezifische Gruppe von Fischarten, die für die zu vernetzenden Gewässerabschnitte repräsentativ ist. Die hydraulischen und geometrischen Bemessungswerte einer FAA sollen für die Zielarten günstige Aufstiegsbedingungen bereitstellen.

### Zusatzdotation

ein in Abhängigkeit von der Wasserführung des Flusses oder von den Hauptwanderzeiten der Fische dynamisch veränderbarer **Abfluss**, welcher zur Verstärkung des **Leitströmungsimpulses** zusätzlich zum normalen Betriebsabfluss direkt in die FAA oder mittels einer **Bypassleitung** in den unteren Bereich der FAA oder neben der FAA Mündung ins Unterwasser eingeleitet wird.

### Wanderdistanz

Distanz von Wanderbewegungen, die Fische zurücklegen. Insbesondere bei der Laichwanderung unterscheidet man zwischen Kurzdistanzwanderern (Wanderungen kleinräumig, z.B. Hecht, Aitel), Mitteldistanzwanderern (bisweilen großräumige Wanderungen innerhalb eines Flussgebiets, z.B. Nase, Rutte) und Langdistanzwanderern (Wanderung vom Binnengewässer ins Meer oder umgekehrt, z.B. Lachs, Aal).

# Abkürzungsverzeichnis technischer Parameter für Fischaufstiegsanlagen, Becken und Gerinne

Abkürzung	Bedeutung	Einheit(en)
FAA	FischAufstiegsAnlage	
FAH	FischAufstiegsHilfe	
l	Länge	m
$l_b$	Lichte Beckenlänge	m
b	Lichte Beckenbreite	m
$b_s$	Schwellen- bzw. Trennwandbreite	m
$Q_B$	Betriebsabfluss	$m^3/s$
$Q_L$	Für Leitströmung benötigter Abfluss	$m^3/s$
$Q_G$	Gesamtdotationsmenge ( $Q_B + Q_L$ )	$m^3/s$
$h_{min}$	Mindestwassertiefe	m
h	Höhe, z.B. Fallhöhe	m
$\Delta h$	Höhendifferenz, z.B. von Becken zu Becken	m
$\rho_w$	Dichte von Wasser ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )	$\text{kg/m}^3$
$P_D$	Spezifische Leistungsdichte	$\text{W/m}^3$
g	Erdbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )	$\text{m/s}^2$
I	Gefälle	$\text{m/m}$ ; % ; 1:n
v	(Fließ-)Geschwindigkeit	$\text{m/s}$
$v_m$	Mittlere (Fließ-)Geschwindigkeit	$\text{m/s}$
$v_{min}$	Minimal gemessene (Fließ-)Geschwindigkeit	$\text{m/s}$
$v_{max}$	Maximal gemessene (Fließ-)Geschwindigkeit	
TW	Trennwand	
OW	Oberwasser, oberhalb Querbauwerk (h ü. NN OW > h. ü. NN UW)	
UW	Unterwasser, unterhalb Querbauwerk (h ü. NN UW < h. ü. NN OW)	
WSP	Wasserspiegel (Angabe häufig in h ü. NN)	
$k_{ST}$	Rauigkeitsbeiwert nach Strickler (oberflächenabhängig)	$(\text{m}^{2/3})/s$
$r_{hy}$	Hydraulischer Radius	m
Q	Abfluss	$m^3/s$
NQ	Niedrigster, seit Abflussaufzeichnung gemessener Abfluss	$m^3/s$
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss (statistisch, über eine Zeitreihe)	$m^3/s$
MQ	Mittlerer Abfluss (statistisch, über eine Zeitreihe)	$m^3/s$
MHQ	Mittlerer Hochwasserabfluss (statistisch, über eine Zeitreihe)	$m^3/s$

Abkürzung	Bedeutung	Einheit(en)
HQ	Höchster, seit Abflussaufzeichnung gemessener Abfluss	m <sup>3</sup> /s
HQ <sub>100</sub>	Hochwasserabfluss, dessen Höhe statistisch alle 100 Jahre eintritt	m <sup>3</sup> /s
Q <sub>30-330</sub>	Abfluss, der statistisch an 30 bzw. 330 Tagen pro Jahr unterschritten wird	m <sup>3</sup> /s
NW	Niedrigster gemessener Wasserstand seit Aufzeichnungsbeginn	m ü. NN
MNW	Mittlerer Niedrigwasserstand (statistisch, über eine Zeitreihe)	m ü. NN
MW	Mittlerer Wasserstand (statistisch, über eine Zeitreihe)	m ü. NN
MHW	Mittlerer Hochwasserstand (statistisch, über eine Zeitreihe)	m ü. NN
HW	Höchster gemessener Wasserstand seit Aufzeichnungsbeginn	m ü. NN
H <sub>Fisch</sub>	(Körper-)Höhe eines Fisches	cm
L <sub>Fisch</sub>	(Körper-)Länge eines Fisches	cm
B <sub>Fisch</sub>	(Körper-)Breite eines Fisches	cm
MZB	Makrozoobenthos (siehe Glossar)	
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (siehe Glossar)	
EG-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie (siehe Glossar)	
fiBS	Fischbasiertes Bewertungssystem (Qualitätskomponente Fische zur Fließgewässerbewertung nach WRRL)	
min	minimal	
max	maximal	
Mittl.	Mittlere	
h ü. NN	Höhe (in m) über Normal Null	

## Impressum

### Herausgeber

Landesfischereiverband Bayern e.V.  
Mittenheimer Str. 4  
85764 Oberschleißheim  
Tel +49 (0)89-64 27 26-0

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Bgm.-Ulrich-Str. 160  
86179 Augsburg  
Tel +49 (0)821-90 71-0

### Autor

Dr. Kurt Seifert, BNGF GmbH – Büro für Naturschutz-, Gewässer- und Fischereifragen

### Redaktion

Patrick Türk (LFV Bayern)  
Thomas Grebmayer (LfU)  
Manfred Ache (BNGF)

Beraten durch projektbegleitenden Expertenarbeitskreis:

Dr. Oliver Born (Bezirk Schwaben Fischereifachberatung), Dr. Sebastian Hanfland (LFV Bayern),  
Dr. Andreas Kolbinger (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz), Piet Linde (LfU),  
Dr. Christoph Mayr (LfU), Johannes Schnell (LFV Bayern)

### Grafische Gestaltung

pure oxygen design

### Papier

mit dem Umweltzeichen FSC®-zertifiziert

### Druck

Holzmann Druck GmbH & Co KG, Bad Wörishofen

### Bildnachweis

Alle Fotos und Abbildungen (sofern nicht anders angegeben) von Dr. K. Seifert, mit Ausnahme von: Fischillustrationen von Atelier Ziegler, Kitzingen: S. 8, S. 9, S. 20; B. Seifert: S. 7; H. H. Heine: S. 63: Abb. 31 links, S. 144; H. G. Hartmann: S. 71: Abb. 42 links.

Luftbilder: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung, [www.geodaten.bayern.de](http://www.geodaten.bayern.de); „Darstellung der Flurkarte als Eigentumsnachweis nicht geeignet“.

### Danksagung

Dank für die Unterstützung in der Erstellung dieser Broschüre gebührt den Institutionen:

Regierung von Oberfranken (SG Wasserwirtschaft), Wasserwirtschaftsamt Kronach, Wasserwirtschaftsamt Weilheim, Bezirk Oberfranken Fischereifachberatung, Uniper Kraftwerke GmbH, Bayerische Elektrizitätswerke GmbH (BEW); VERBUND-Innkraftwerke GmbH; Rhein-Main-Donau AG

© Landesfischereiverband Bayern e.V. und Bayerisches Landesamt für Umwelt Februar 2012,  
2. Überarbeitete Auflage, Mai 2016







