> Wiederherstellung der Fischauf- und -abwanderung bei Wasserkraftwerken

Checkliste Best practice

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Wiederherstellung der Fischauf- und -abwanderung bei Wasserkraftwerken

Checkliste Best practice

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU
Bern, 2012

Impressum

Herausgeber
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor
Daniel Hefti, BAFU

Begleitgruppe
Stephan Bieri, BFE
Klaus Blasel, Büro für Fischereibiologie und Ökologie
Yvon Crettenand, Service de la chasse, de la pêche et de la faune VS
Peter Hässig, BKW FMB Energie AG
Andreas Hertig, Amt für Landschaft und Natur ZH
Frédéric Hofmann, Conservation de la faune et de la nature VD
Andreas Knutti, WWF Schweiz
Willy Müller, Amt für Landwirtschaft & Natur BE
Armin Peter, EAWAG
Roger Pfammatter, Schweizerische Wasserwirtschaftsverband
Thomas Stucki, Jagd und Fischerei AG
Luca Vetterli, Pro Natura

Zitierung
Hefti D. 2012: Wiederherstellung der Fischauf- und -abwanderung bei Wasserkraftwerken. Checkliste Best practice. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1210: 79 S.

Gestaltung
Karin Nöthiger, Niederrohrdorf

Titelbild
Fischtreppe am Lechwehr in Landsberg am Lech, ©Thomas Then

PDF-Download
www.bafu.admin.ch/uw-1210-d
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2012

> Inhalt

Abstracts **5**
Vorwort **7**
Einleitung und allgemeines Umfeld **8**

1 Biologische Grundlagen **10**

2 Wanderung flussaufwärts (Fischaufstieg) **12**
2.1 Verhalten des Fisches 12
2.2 Grundsatz und Funktionsweise 12
2.3 Technische Werke 13
2.3.1 Standort und Positionierung des Einstiegs 14
2.3.2 Wassermenge und Geschwindigkeit beim Einstieg 15
2.3.3 Orientierung des austretenden Wasserstrahls 17
2.3.4 Sohlenanschluss 17
2.3.5 Hydrodynamische Bedingungen in den Becken 18
2.3.6 Gestaltung der Becken 20
2.3.7 Standort und Positionierung des Ausstiegs aus dem Fischpass 20
2.3.8 Betriebsdauer des Fischpasses 21
2.4 Naturnahe Werke 21
2.4.1 Umgehungsgewässer 21
2.4.2 Raue Rampen 22

3 Wanderung flussabwärts (Fischabstieg) **24**
3.1 Verhalten des Fisches 24
3.2 Grundsatz und Funktionsweise 24
3.2.1 Funktion Schutz des Fisches 25
3.2.2 Funktion Lenkung des Fisches 33
3.2.3 Funktion Durchleiten des Fisches 35

4 Checkliste **38**
4.1 Aufstiegshilfen: «Technische» Werke 38
4.2 Aufstiegshilfen: «Naturnahe» Werke 39
4.3 Abstiegshilfen 39

Anhang **40**
A1 Definition Leistungsdichte 40
A2 Best-practice-Beispiele 41

Literatur **75**
Verzeichnisse **77**

> Abstracts

During their life cycle, fish migrate upstream and downstream along watercourses. Maintaining a longitudinal continuum is an important factor in the survival of fish populations. This publication outlines the problem and contains a number of recommendations to ensure that fish migration is re-established alongside small and medium-sized hydropower plants. It indicates the key elements to be considered for the construction of upstream and downstream fish passes and describes some actual structures which represent examples of best practice. The target groups for this publication are the cantonal authorities and parties supervising the construction of fish passes.

Keywords:
fish migration, upstream migration, downstream migration, longitudinal continuum, check-list, best-practice, recommendation.

Im Laufe seines Entwicklungszyklus unternimmt der Fisch auf- und abwärts gerichtete Wanderungen entlang von Fliessgewässern. Die Sicherstellung eines longitudinalen Kontinuums ist eine wichtige Bedingung für das Überleben der Fischpopulationen. Die vorliegende Publikation erläutert die Problematik und enthält eine Reihe von Empfehlungen, um die Wiederherstellung der Fischwanderung bei kleinen und mittelgrossen Wasserkraftwerken zu gewährleisten. Sie zeigt die Schlüsselelemente auf, die beim Bau von Auf- und Abstiegshilfen zu berücksichtigen sind, und beschreibt einige konkrete Realisierungen, die als Beispiele einer «best-practice» dienen können. Zielpublikum der vorliegenden Publikation sind die kantonalen Behörden sowie Dritte, welche den Bau von Auf- oder Abstiegshilfen zu begleiten haben.

Stichwörter:
Fischaufstieg, Fischabstieg, Fischwanderung, Fischpass, Fischaufstiegshilfe, Kraftwerke, best-practice

Lors de son cycle de vie, le poisson effectue des migrations vers l'amont et vers l'aval le long des cours d'eau. Le maintien de ce continuum longitudinal constitue une condition déterminante pour la survie des populations piscicoles. Le présent document explicite la problématique et contient une série de recommandations visant à rétablir la libre migration du poisson au droit d'ouvrages hydroélectrique de petite et moyenne taille. Il focalise l'attention sur les éléments clés à prendre en considération lors de la construction d'un ouvrage de franchissement et présente quelques réalisations concrètes qui peuvent être considérées comme des exemples de «best-practice». Ce document est destiné aux autorités cantonales ou aux tiers chargés d'accompagner la construction d'un ouvrage de franchissement.

Mots-clés:
montaison, dévalaison, migration du poisson, passe à poissons, dispositif de franchissement, centrales hydrauliques, best-practice

Durante il suo ciclo di sviluppo un pesce scende e risale più volte i corsi d'acqua. La garanzia di una continuità longitudinale è una condizione essenziale alla sopravvivenza delle popolazioni di pesci. La presente pubblicazione illustra la problematica e presenta una serie di raccomandazioni volte a garantire il ripristino della libera circolazione dei pesci nei pressi di centrali idroelettriche di piccole e medie dimensioni. Inoltre, indica gli elementi chiave di cui tenere conto nella costruzione di scale di risalita e di discesa e presenta alcuni progetti già realizzati che possono essere considerati come «best practice». La pubblicazione è destinata alle autorità cantonali e ai terzi incaricati di accompagnare la costruzione di tali opere.

Parole chiave:
migrazione dei pesci, risalita dei pesci, discesa dei pesci, continuità longitudinale, check-list, best-practice, raccomandazioni.

> Vorwort

Der umfassende Schutz der Gewässer und ihrer vielfältigen Funktionen sowie die nachhaltige Nutzung der Gewässer durch den Menschen sind zentrale Ziele des Gewässerschutzrechts des Bundes. Bei der jüngsten Änderung des Gewässerschutzgesetzes ging es genau darum: unter Berücksichtigung von berechtigten Schutz- und Nutzungsinteressen ausgewogene Lösungen im Bereich des Gewässerschutzes zu finden. Die Änderungen wurden im Dezember 2009 als Gegenvorschlag zur Volksinitiative «Lebendiges Wasser» vom Parlament beschlossen, worauf die Volksinitiative zurückgezogen wurde.

Die die Renaturierung der Gewässer betreffende Revision von Gewässerschutzgesetz und -verordnung, welche am 1. Januar respektive 1. Juni 2011 in Kraft traten, stellt einen weiteren Meilenstein im Schweizer Gewässerschutz dar. Sie hat zum Ziel, die Gewässer als Lebensraum aufzuwerten, damit sie naturnäher werden und einen Beitrag zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität leisten. Die eingezwängten Gewässer müssen wieder mehr Raum erhalten und die negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung sollen gedämpft werden. Um die Kantone bei der Umsetzung dieser neuen gesetzlichen Bestimmungen zu unterstützen und einen schweizweit koordinierten und einheitlichen Vollzug des Bundesrechts zu ermöglichen, erstellt das BAFU die modular aufgebaute Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer». Diese umfasst alle relevanten Aspekte der Renaturierung der Gewässer in den Bereichen Revitalisierung von fliessenden und stehenden Gewässern, Auen, Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, Sanierung von Schwall und Sunk sowie Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben.

Für einzelne Bereiche werden weitere unterstützende Unterlagen und Fallbeispiele aus der Praxis zusammengestellt und als Grundlagen zur Renaturierung der Gewässer in der BAFU-Reihe Umwelt-Wissen produziert. Die vorliegende Publikation liefert diese für die Umsetzung der Anforderungen im Bereich freie Fischwanderung gemäss der Vollzugshilfe Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer», indem Checklisten und Empfehlungen vorgestellt sowie konkrete Praxisbeispiele aufgezeigt werden.

Stephan Müller
Chef der Abteilung Wasser
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Einleitung und allgemeines Umfeld

Gesetzliche Grundlagen

Die Sicherstellung der freien Fischwanderung ist ein gesetzliches Erfordernis, das sich aus dem Bundesgesetz über die Fischerei vom 21. Juni 1991 (BGF; SR 923.0) ergibt. Gemäss Artikel 9 hat die zuständige Behörde bei Neuanlagen Massnahmen vorzuschreiben, die geeignet sind, «die freie Fischwanderung sicherzustellen» (Art. 9, Abs. 1, Bst. b BGF). Die Vorschriften des Bundes betreffen die gesamte Fischfauna (alle Arten) und zwar sowohl für Fischwanderungen flussaufwärts (Fischaufstieg) als auch für diejenigen flussabwärts (Fischabstieg). Bei jedem technischen Eingriff in ein Gewässer ist also die freie Fischwanderung in beide Richtungen sicherzustellen. Diese Gesetzesvorschrift gilt auch für bestehende Anlagen, die auf Anordnung der Behörde gestützt auf Artikel 10 BGF saniert werden müssen.

Sanierung von Wasserkraftnutzungen nach revidiertem GSchG

Seit Inkrafttreten des revidierten Gewässerschutzgesetzes (GSchG) vom 11. Dezember 2009 per 1.1.2011 müssen die Kantone die nötigen Massnahmen ergreifen, um ökologische Beeinträchtigungen, die sich aus der Nutzung der Wasserkraft ergeben, zu beseitigen. Dazu gehören auch Beeinträchtigungen der freien Fischwanderung. Demnach muss jedes Hindernis, das die Fischwanderung wesentlich beeinträchtigt, saniert werden. Zu diesem Zweck stehen beträchtliche finanzielle Mittel zur Verfügung.

Problematik des Fischaufstiegs

Die Problematik im Zusammenhang mit dem **Fischaufstieg** ist seit langem bekannt und relativ gut dokumentiert. Die vorliegende Schrift gibt einen allgemeinen Überblick über die am häufigsten verwendeten Anlagetypen und ihre wichtigsten Eigenschaften nach aktuellem Stand der Technik. Sie enthält auch eine Checkliste der wichtigsten Faktoren, die für die Funktionstüchtigkeit einer Fischaufstiegshilfe zu berücksichtigen sind. Als Grundlage dienen mehrere Fachpublikationen, die im Literaturverzeichnis erwähnt sind. In Anbetracht der sehr unterschiedlichen Situationen kann man keine Standardlösungen empfehlen. Obwohl die angeführten Grundsätze überall gelten, müssen je nach den Zielarten und den Besonderheiten des Hindernisses von Fall zu Fall entsprechende technische Lösungen gesucht werden. Die Wiederherstellung der Aufwärtswanderung bei grossen Wasserkraftwerken erfordert häufig komplexe Systeme mit mehreren Anlagen (Sammelstollen, Mehrfacheingänge, usw.). In solchen Situationen kann sich eine Modellierung im Labor (reduziertes physikalisches Modell) als nötig erweisen, um die zur Anwendung kommenden Anlagen zu optimieren.

Problematik des Fischabstiegs

Im Gegensatz zur Fischwanderung flussaufwärts, die als Notwendigkeit allgemein anerkannt ist, ist die Problematik des **Fischabstiegs** erst seit viel kürzerer Zeit bekannt. Trotz grossen Fortschritten sind heute noch keine erprobten Techniken verfügbar, die sich auf alle Situationen anwenden lassen. Die vorliegende Schrift erläutert die Problematik und enthält eine Reihe von Empfehlungen, die für kleine und mittelgrosse Kraftwerke gelten. Sie zeigt die bestehenden technischen Möglichkeiten gestützt auf die Fachliteratur auf und enthält im Anhang einige konkrete Realisierungen, die als Beispiele einer «best practice» dienen können. Für bestehende grosse Kraftwerke braucht es noch Forschung.

Zielpublikum und Anwendungsbereich

Die folgenden Empfehlungen für den **Fischaufstieg** und den **Fischabstieg** richten sich in erster Linie an kantonale Behörden (besonders an die Fachstellen für Fischerei), welche den Bau einer Auf- oder Abstiegshilfe und deren Funktionskontrolle zu begleiten haben. Sie sind keine vollständige «Gebrauchsanleitung». Sie ersetzen somit in keiner Weise den Einsatz von Fachleuten; sie zeigen aber auf, welche Schlüsselelemente beim Bau von Auf- und Abstiegshilfen zu berücksichtigen sind, damit ihre Funktionstüchtigkeit sichergestellt ist. Sie enthalten auch einige empirische Werte («Faustregeln»), von denen man nicht allzu stark abweichen sollte.

In jedem Fall ist die Wahl der Auf- oder Abstiegshilfe, deren Dimensionierung und deren Ausführung sorgfältig von Fachleuten in enger Zusammenarbeit mit der Fachstelle für Fischerei vorzunehmen.

1 > Biologische Grundlagen

Diadrome Arten

Im Laufe seines Entwicklungszyklus unternimmt der Fisch zahlreiche Wanderungen entlang des Flusslaufes, manchmal auch über grosse Distanzen. Die spektakulärsten Wanderungen sind diejenigen der **diadromen** Arten, deren Lebenszyklus zwischen einer Phase im Süsswasser und einer Phase im Meer wechselt. Die anadromen Arten wie der Europäische Stör *(Acipenser sturio)*, der Atlantische Lachs *(Salmo salar)*, die Forelle *(Salmo trutta)*, das Flussneunauge *(Lampetra fluviatilis)* oder der Maifisch *(Alosa alosa)* verlassen das Meer und schwimmen flussaufwärts, um sich dort fortzupflanzen. Der Europäische Aal *(Anguilla anguilla)* ist eine katadrome Art und macht den umgekehrten Weg: er verlässt die Flüsse, um sich im Sargasso-Meer fortzupflanzen.

Potamodrome Arten

In einem kleineren Massstab unternehmen die **potamodromen** Arten wie die Seeforelle *(Salmo trutta lacustris)* oder gewisse Felchenarten (*Coregonus* sp.) Wanderungen zur Fortpflanzung zwischen Seen und Flüssen und legen dabei manchmal beträchtliche Distanzen zurück.

Ablauf des Lebenszyklus des Fisches

Abgesehen vom spektakulären Verhalten der Fische mit grossen (anadromen oder katadromen) Wanderungen ist auch zu beachten, dass jede Fischart sich entlang des Flusslaufs bewegt. Diese Bewegungen flussaufwärts und flussabwärts kommen in verschiedenen Entwicklungsphasen des Fisches vor und sind für den Ablauf ihres Lebenszyklus unerlässlich. Sie haben darin verschiedene Funktionen (ATV-DVWK 2004):

- *Wanderung zwischen Lebensräumen*
  Gesamtheit der Bewegungen zu räumlich getrennten Lebensräumen (Nahrungszone, Wachstumszone, Ruhe- und Schutzzone, usw.).
- *Fortpflanzungswanderung*
  Bewegung zu den Laichplätzen zur Fortpflanzung.
- *Überwinterungswanderung*
  Bewegungen der Fische zu Zonen mit grösserer Tiefe, um dort den Winter zu verbringen.
- *Passive oder kontrollierte Verdriftung*
  Passive oder aktive Wanderung flussabwärts infolge von natürlichen oder künstlichen Störungen des Lebensraumes.
- *Kompensationswanderung*
  Aktive Bewegung zur Wiedereroberung weiter oben gelegener Gebiete z. B. nach einer Verdriftung.
- *Ausdehnungswanderung*
  Besiedlung neuer Lebensräume.

Konzept des longitudinalen Kontinuums

Auch Arten, die als relativ sesshaft erscheinen mögen, sind fähig, Wanderungen zu unternehmen, manchmal auch über längere Distanzen und das gleichermassen flussaufwärts und flussabwärts (Tab. 1). Das Überleben einer Population und längerfristig einer Art hängt sehr stark von den Wanderungsmöglichkeiten entlang des Hauptflusses und seiner Nebenflüsse ab. Funktional ausgedrückt spricht man von einem «longitudinalen Kontinuum». Die Wiederherstellung der freien Fischwanderung entlang von stark verbauten Wasserläufen (und ihrer Zuflüsse) stellt eine wesentliche Massnahme zur Erhaltung einer Art dar. Sie ist aber nur dort angebracht, wo künstliche Hindernisse die Wanderung der Fische unterbrochen haben. Die Überwindung eines natürlichen Hindernisses ist aus biologischer Sicht in keiner Weise sinnvoll und kann sich aus der Sicht der Biodiversität sogar als kontraproduktiv erweisen.

Tab. 1 > Zurückgelegte Distanzen einiger Karpfenfische, ermittelt aufgrund von Markierungen

Art	Zurückgelegte Distanz flussaufwärts [km]	Zurückgelegte Distanz flussabwärts [km]	Flusssystem	Quellen
Barbus barbus	300	300	Donau	Steinmann et al. 1937
Chondrostoma nasus	140	100–446	Donau	Steinmann et al. 1937
Leuciscus leuciscus	105	170	Donau	Steinmann et al. 1937
Cyprinus carpio	> 100	> 100	Donau	Scheuring 1929
Aspius aspius		> 150	Elbe	Fredrich et al. 1999

ATV-DVWK 2004

Jedes technische Werk behindert die Fischwanderung

Jedes künstlich errichtete technische Werk an einem Gewässer (Schwelle, Wehr, Ablagerung, usw.) kann grundsätzlich dessen longitudinales Kontinuum gefährden. Je nach seinen Eigenschaften kann es die Fischwanderung leicht behindern, stark hemmen oder sogar völlig blockieren. Das Problem stellt sich besonders akzentuiert im Falle von Stauwehren, die einen Gewässerbereich gänzlich abtrennen.

2 > Wanderung flussaufwärts (Fischaufstieg)

2.1 Verhalten des Fisches

Positive Rheotaxis und Wanderung an der Gewässersohle

Ein flussaufwärts schwimmender Fisch orientiert sich aktiv an der Strömung (positive Rheotaxis) und schwimmt in der Regel an der Gewässersohle. Er wird somit auf natürliche Weise von turbulenten Zonen angezogen. Das heisst aber nicht, dass er immer dort aufwärts schwimmt, wo die Geschwindigkeiten am grössten sind, denn diese müssen mit seinem Leistungsvermögen kompatibel bleiben. Diese positive Rheotaxis kann man dazu benützen, den Fisch anzulocken und ihn zum Einstieg in eine Fischaufstiegshilfe zu leiten. Von da an muss sich der Fisch längs eines gestalteten Wasserkorridors orientieren können, bis er am Ausstieg aus der Anlage ins Oberwasser gelangen kann.

Spezialfall Aal

Der Aal *(Anguilla anguilla)* bildet einen Sonderfall und benötigt spezielle Einrichtungen, die sich weit von den für die anderen Arten allgemein anwendbaren Eigenschaften entfernen.

2.2 Grundsatz und Funktionsweise

Grundsatz und Funktionsweise

Die Wiederherstellung der flussaufwärts gerichteten Fischwanderung bei einem künstlichen Hindernis macht den Bau eines oder mehrerer Werke nötig. Das Prinzip der Anlage besteht darin, den Fisch an einen bestimmten Ort am Fuss des Hindernisses zu locken und ihn dazu zu bewegen oder ihn sogar zu zwingen flussaufwärts zu schwimmen, indem man ihm ein dafür speziell gebautes Gewässer anbietet. In der Regel geschieht dies parallel zum Fluss oder indem man den Fisch in eine geeignete Falle lockt, die dann nach oben verschoben wird. Solche Anlagen, im Volksmund «Fischtreppen» genannt, profitieren vom natürlichen Verhalten des aufwärts schwimmenden Fisches, der aktiv einen Durchgang sucht und sich dabei an der Strömung orientiert. Je nach Art der Anlage unterscheidet man «technische Werke» und «naturnahe» Werke.

Technische Werke

Beckenpass

Der am meisten verbreitete Typ der **technischen** Aufstiegshilfen ist der Beckenpass. Er kann praktisch an jedes Hindernis angepasst werden. Dabei wird die Absturzhöhe in eine Reihe voneinander abgetrennter und durch Überläufe, überflutete Öffnungen oder vertikale Spalten verbundener Becken unterteilt. Anstelle einer Abfolge von Becken kann der Wasserlauf auch in Form eines Korridors mit rauer Oberfläche (Fischpass mit Blockwurf) oder mit lokal am Boden festgemachten Büscheln von halbstarren Borsten gestaltet werden (Borstenpass).

Fischlift

Eine andere Kategorie von technischen Aufstiegshilfen ist diejenige, bei welcher der Fisch in einer geeigneten Einrichtung in eine Falle (Käfig oder Becken) gelockt und mechanisch nach oben befördert wird. Der Fischlift ist ein Beispiel für diese Art Aufstiegshilfe; sie ist in der Schweiz schon bei verschiedenen Stauwehren zu finden. Befindet sich der Fisch einmal in der Falle, ist sein Transport nach oben sicher. Fischlifte

werden dort verwendet, wo beträchtliche Absturzhöhen zu überwinden sind oder wo besondere topografische Verhältnisse bestehen (enge Schlucht, wenig Raum zur Verfügung, usw.). Sie sind aber etwas anfällig (viele Bestandteile in Bewegung, elektronische Ausrüstung, usw.) und benötigen besonders im Winter einen relativ anspruchsvollen Unterhalt. Diese Art von Aufstiegshilfen wird hier nicht weiter behandelt.

Naturnahe Werke

Falls es die Topografie ermöglicht, kann man auch eine **naturnahe Aufstiegshilfe** gestalten. Hier unterscheidet man raue Rampen, die direkt im Flussbett oder in einem Teil davon gebaut werden, und Umgehungsgewässer am Ufer.

Selektivität eines Fischpasses

Grundsätzlich sollte eine Aufstiegshilfe von allen im Gewässer vorhandenen Arten benützt werden können (keine spezifische Selektivität), ebenso von allen Entwicklungsstadien (keine ontogenetische Selektivität). Diese doppelte Anforderung ist allerdings sehr ehrgeizig und in der Praxis selten erfüllt. Man muss tatsächlich davon ausgehen, dass jedes System eine gewisse Selektivität besitzt, auch wenn die naturnahen Einrichtungen in dieser Beziehung gewisse Vorteile aufweisen. Man kann deshalb nicht a priori irgendein bestimmtes System einer Aufstiegshilfe wählen. Die Wahl hängt von den lokalen Bedingungen (Topografie des Ortes, Absturzhöhe, Besonderheiten des Wehrs, Zusammensetzung der Fischfauna, usw.) ab und muss fallweise evaluiert werden. Es ist auch möglich, ein kombiniertes Werk zu planen, bei dem verschiedene Techniken miteinander verbunden werden. Ein Umgehungsgewässer kann zum Beispiel in den steilsten Zonen, wo nur wenig Raum zur Verfügung steht, mit einem technischen Werk kombiniert werden.

Fallweise Evaluation

Kombination mehrerer Techniken

2.3 Technische Werke

Eigenschaften nach dem Stand der Technik

Im Folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften (Schlüsselfaktoren) einer technischen Aufstiegshilfe vorgestellt. Sie stammen einerseits aus der Fachliteratur, anderseits von konkreten Beispielen und entsprechen dem aktuellen Stand der Technik. Die Beachtung der nachfolgend aufgeführten Grundsätze sollte (unter Vorbehalt eines angemessenen Unterhalts) die Funktionsfähigkeit des Werkes sicherstellen. Die technischen Eigenschaften, die in dieser Schrift aufgeführt werden, beschränken sich auf die am meisten verwendeten Aufstiegshilfen: die Beckenpässe und die Schlitzpässe.

Der Erfolg des Fischaufstiegsprozess hängt im Wesentlichen von folgenden Parametern ab:

Schlüsselelemente für die Funktionsfähigkeit

- Standort und Positionierung des Einstiegs in den Fischpass
- Wassermenge und Geschwindigkeit beim Einstieg in den Fischpass
- Orientierung des austretenden Wasserstrahls
- Sohlenanschluss
- Hydrodynamische Bedingungen in den Becken
- Gestaltungstyp der Becken
- Standort und Positionierung des Ausstiegs aus dem Fischpass
- Betriebsdauer des Fischpasses

2.3.1 Standort und Positionierung des Einstiegs

Einstieg in den Fischpass

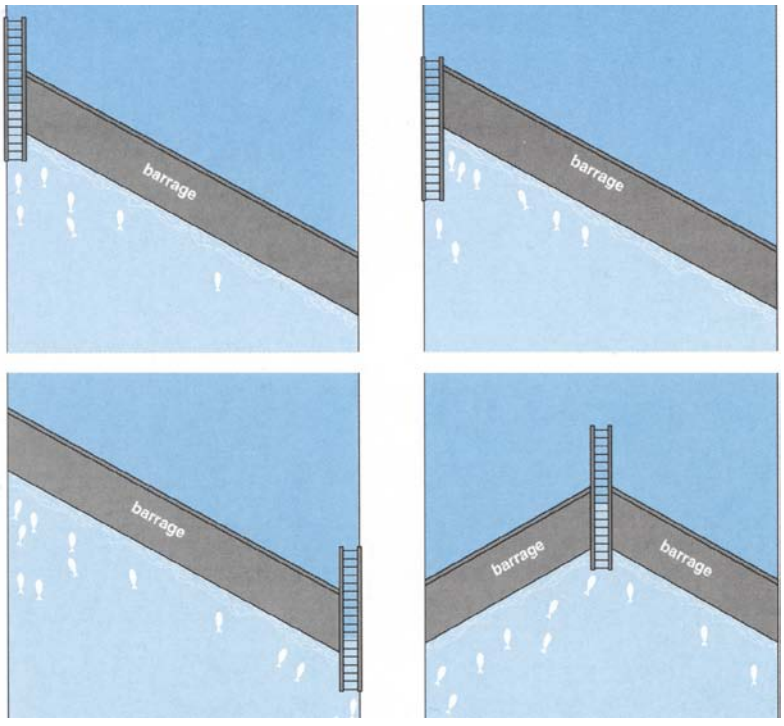
Definitionsgemäss liegt der Einstieg in einen Fischpass unterhalb eines Hindernisses und sein Ausstieg oberhalb. Die Nummerierung der Becken erfolgt vom Einstieg zum Ausstieg von unten nach oben. Unabhängig vom Typ der Aufstiegshilfe muss darauf geachtet werden, dass deren Standort und besonders derjenige ihres Einstiegs optimal zu liegen kommen.

Platzierung am Ufer möglichst weit oben

Der Einstieg zu einem Fischpass sollte mit Vorteil an einem Ufer liegen, da die wandernden Fische die Tendenz haben, am Ufer und nicht mitten im Flussbett flussaufwärts zu schwimmen (im Falle grosser Wasserkraftwerke kann die Situation anders sein). Da der Fisch das Hindernis so weit oben wie möglich überwinden will, sollte der Einstieg in den Fischpass dort liegen, wo seine Wanderung blockiert wird (Abb. 1).

Abb. 1 > Eingang beim Laufkraftwerk

Richtiger (oben links und unten rechts) und falscher (oben rechts und unten links) Standort eines Fischpasses.



Larinier et al. 1995

Zonen mit rückfliessendem Wasser vermeiden

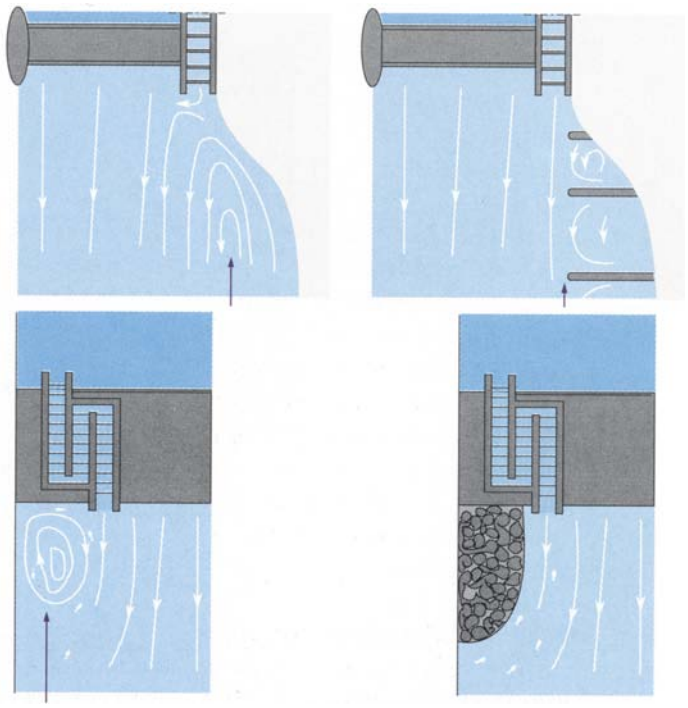
Die Lage des Fischpasseinstiegs ist besonders wichtig im Fall eines Laufkraftwerks ohne Ausleitung. In dieser Situation wird der Fisch durch die Hauptströmung angelockt, die durch die Saugrohre der Turbinen entsteht. Der Einstieg zum Fischpass muss deshalb möglichst weit oben auf der Seite der Turbinen zu liegen kommen. Man darf den Einstieg nicht in die Zonen des Flusses mit rückfliessendem Wasser (Kreisströmung) legen, denn dort verliert der Fisch die Orientierung und gerät in eine Falle (Abb. 2).

Mehrere Anlagen sind möglich

Bei grossen Wasserkraftwerken ist es oft nötig, mehrere Fischpässe oder mehrere Einstiege anzulegen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Haupteinstieg des Fischpasses mit einem Sammelwerk («Sammelstollen» oder «collection gallery») zu verbinden.

Abb. 2 > Positionierung des Eingangs in Abhängigkeit des Strömungsmusters

Einstieg mit rückfliessenden Strömungsmusters (oben und unten links) mit entsprechenden Massnahmen (oben und unten rechts).



Larinier et al. 1995

2.3.2 Wassermenge und Geschwindigkeit beim Einstieg

Attraktivität der Fischtreppe

Die Funktionsfähigkeit einer Aufstiegshilfe hängt zu einem grossen Teil von ihrer Attraktivität ab. Ein aufsteigender Fisch orientiert sich an der Strömung und muss auf natürliche Weise zum Einstieg in den Fischpass geleitet werden. Die Strömung, die vom Auslauf des Fischpasses ausgeht, muss vom Fisch wahrgenommen werden. Bei einem Wasserkraftwerk mit Ausleitung, wo die ganze Dotation via die Fischtreppe geleitet werden kann, ist das noch relativ einfach. Schwieriger ist die Situation bei einer Anlage ohne Ausleitung. Dort tritt die Wassermenge, die aus dem Fischpass herauskommt, in Konkurrenz mit der starken Turbulenz, die durch die Turbinen des Werks entsteht. Weiter ist die hydraulische Attraktivität eines Fischpasses von den Wassermengen und von den Wasserständen im Ober- und Unterwasser abhängig (im Allgemeinen verliert ein Fischpass bei grossen Wassermengen an Attraktivität, weil die Absturzhöhe abnimmt). Ab einer bestimmten Hochwasserführung kann es z. B. zum Rückstau in den untersten Becken des Fischpasses kommen, was seine Auffindbarkeit beeinträchtigt.

Die hydraulische Attraktivität eines Fischpasses hängt von der Bewegungsmenge (Impuls) beim Einstieg ab, das heisst vom Produkt von Strömungsgeschwindigkeit und Wassermenge (Volumen) (Larinier 2002). Die Ausflussgeschwindigkeiten beim Einstieg in den Fischpass müssen deshalb relativ hoch sein, in der Grössenordnung von einem Meter pro Sekunde. Es ist darauf zu achten, dass die Geschwindigkeiten mit dem Leistungsvermögen der Zielarten oder der Jugendstadien (selektiver Effekt) kompatibel bleiben und dass ein Wechselsprung vermieden wird. Die Ausflussbedingungen beim Einstieg hängen auch stark von den Niveauunterschieden zwischen Ober- und Unterwasser ab. Die Geschwindigkeiten können angepasst werden, indem man entweder den Abfluss beim Einstieg in den Fischpass einengt oder die Wassermenge mithilfe einer Schütze reguliert. Im Allgemeinen sollte die Ausflussgeschwindigkeit beim Einstieg zwischen 0,8 und 1,5 m/s liegen.

Ausflussgeschwindigkeit beim Einstieg

Da die Geschwindigkeit beim Einstieg zum Fischpass nicht unendlich erhöht werden kann, kann man dessen Attraktivität auch durch eine erhöhte Wassermenge verbessern. Im Allgemeinen wird nur ein Teil davon durch die Becken des Fischpasses geführt, der Rest (= Lockströmung) wird in eine separate Leitung eingespeist und in der Nähe des Einstiegs oder in den untersten Becken des Fischpasses eingeführt. In diesem letzten Fall muss die beträchtliche kinetische Energie der Lockströmung zuerst in einem speziell dimensionierten Becken dissipiert werden, bis sie Werte zwischen 1000 und 1500 W/m³ erreicht. Der Lockströmung wird dann mit schwachem Druck durch ein feines Gitter in den Fischpass eingeführt. Eine solche Anlage stellt auch einen gleichmässigen Abfluss und geringe Fliessgeschwindigkeiten (0,3–0,4 m/s) sicher, die den Durchgang des wandernden Fisches von einem Becken zum anderen nicht stören.

Erhöhung der Wassermenge

Einspeisung einer Lockströmung

Energiedissipation vor der Lockströmung

Die Lockströmung ist bei einem Laufkraftwerk ohne Ausleitung entscheidend, da die Wassermenge, die den Fischpass verlässt, in direkter Konkurrenz zu den turbinierten Wassermengen steht. Damit eine genügende Attraktivität erreicht wird, muss eine Gesamtwassermenge für den Fischpass und die Lockströmung in der Grössenordnung von 1 bis 5 % der effektiv turbinierten Wassermengen festgelegt werden (Bell 1980, Larinier et al. 2002, Dumont et al. 2005, Larinier 2008). Diese Mengen werden im Oberwasser gefasst und gehen zu Lasten der Stromproduktion. Um die Energieverluste zu verringern, turbinieren gewisse Anlagen die Lockströmung vor der Einleitung ins Unterwasser in einer Mikrozentrale. Mit einer anderen, kürzlich entwickelten Technik kann man das Volumen des im Oberwasser gefassten Wassers mit einer Wasserstrahlpumpe verringern (siehe Abb. 3) (Hassinger 2009a und b). Bei diesem System wird die Lockströmung zur Hauptsache dem Unterwasser entnommen und unter Druck beim Einstieg in den Fischpass eingespeist, während nur eine bescheidene Wassermenge im Oberwasser entnommen wird.

Bei Laufkraftwerken Gesamtwassermenge festlegen

Turbinieren der Lockströmung

Prinzip der Wasserstrahlpumpe

Abb. 3 > Generelles Funktionsschema

Funktionsweise einer Wasserstrahlpumpe.

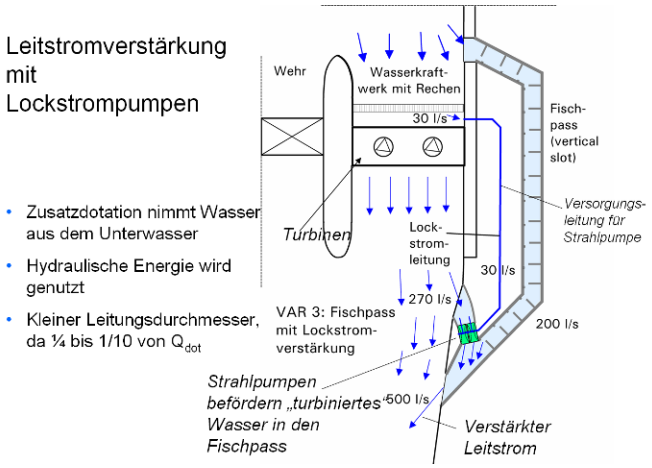
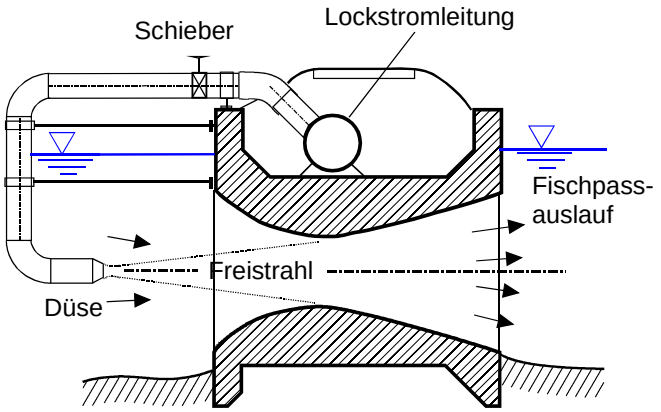


Abb. 4 > Detailschema

Detail der Wassereinspeisung unter Druck.



Hassinger 2009a und b

Schliesslich muss man sich auch vergewissern, dass der Fisch in direkter Nähe zum Einstieg in den Fischpass problemlos eine Pause einlegen kann und dass der Zugang zum Fischpass nicht versperrt ist. Das heisst, es braucht eine Vertiefung oder einen genügend tiefen Unterschlupf.

2.3.3 Orientierung des austretenden Wasserstrahls

Einspeisung parallel zum Abfluss

Die Attraktivität des Fischpasses hängt abgesehen von der Wassermenge und von der Geschwindigkeit des Wasserstrahls beim Einstieg auch von dessen Orientierung in Bezug auf die Abflussbedingungen ab. Grundsätzlich werden die besten Ergebnisse erzielt, wenn die Wassermasse aus dem Fischpass parallel zur Fliessrichtung des Hauptabflusses eingeleitet wird (Adam & Schwevers 1998). In einer solchen Situation erkennen die Fische die Lockströmung schon weit unten und können sich leicht zum Einstieg hin orientieren. Die Attraktivität nimmt mit dem Einleitungswinkel ab. Man sollte einen Winkel von 30 bis 45° zum Hauptausfluss nicht überschreiten, denn sonst wird der Strahl schnell abgeschnitten und kann von den Fischen nicht mehr auf Distanz wahrgenommen werden. Je homogener übrigens die Strömungslinien des Strahls sind, desto besser nimmt der Fisch sie wahr.

2.3.4 Sohlenanschluss

Verlängerung des Einstiegs bis zur Sohle

Beim Aufsteigen bewegen sich die Fische an der Gewässersohle. Es ist deshalb wichtig, zwischen dem ersten Becken (Einstieg in den Fischpass) und der Gewässersohle einen kontinuierlichen Übergang sicherzustellen. Ist ein Sohlenanschluss nicht möglich (z. B. wegen zu grosser Tiefe), muss der Einstieg in den Fischpass durch eine Rampe mit einer maximalen Neigung von 1:1,5 bis 1:2 flussabwärts verlängert werden, bis die Gewässersohle erreicht wird. Dadurch ermöglicht man auch den benthischen Makroinvertebraten den Zugang zum Fischpass.

2.3.5 Hydrodynamische Bedingungen in den Becken

Entscheidende hydrodynamische Bedingungen

Ist der Fisch einmal in den Fischpass gelangt, muss man sicherstellen, dass er den vorgegebenen Weg bis zum Ausstieg aufsteigen kann. Dies hängt zu einem grossen Teil von den hydrodynamischen Bedingungen ab, die in den Becken herrschen. Ist die Turbulenz zu schwach, kann sich der Fisch nicht an den Strömungslinien orientieren. Ist die Turbulenz zu stark, ist der Fisch wie in einer «Waschmaschine» gefangen. Der Wert der Leistungsdichtedissipation (Anhang A1) ist ein guter Indikator für die Turbulenzverhältnisse in einem Becken. Zusammen mit der Fliessgeschwindigkeit ist der Wert Leistungsdichtedissipation ein Schlüsselfaktor für die Funktionalität der Fischaufstiegsanlage. Die Becken (Länge, Breite, Tiefe) müssen in Abhängigkeit des jeweiligen Abflusses richtig dimensioniert sein. Grundsätzlich muss die minimale Länge der Becken etwa 3-mal so lange sein, wie die Länge des grössten, in der Fischtreppe zu erwartenden Fisches. Eine Beckentiefe von mindestens 0,6 m ist ausreichend. Tab. 2 und 3 und Abb. 5 geben einige Hinweise zur Dimensionierung von Becken, die sich bewährt haben. Von diesen Werten sollte man nicht zu weit abweichen. Die anderen geometrischen und hydrodynamischen Parameter müssen mit den Zielarten kompatibel bleiben und sind entsprechend von der Längszonierung abhängig (Tab. 4).

Geschwindigkeiten und Leistungsdichte in den Becken

Tab. 2 > Empirische Werte zur Dimensionierung eines Beckenpasses

	Salmoniden	Cypriniden
(Innere) Länge des Beckens	> 1,00 m	1,4–2,0 m
(Innere) Breite des Beckens	> 0,80 m	1,0–1,5 m
Wassertiefe in den Becken	> 0,60 m	0,6–0,8 m
Max. Absturzhöhe zw. Becken	0,20 m	0,15 m
Kronenausschnitt im Becken	> 0,20 x 0,20 m	0,20 x 0,25 m
Kronenausschnitt Schlupfloch	nicht nötig	0,25 x 0,30 m
Leistungsdichtedissipation	200 W/m³	150 W/m³
Max. Geschwindigkeit in den Becken	0,5 m/s	0,5 m/s

DVWK 1996, Dumont et al. 2005

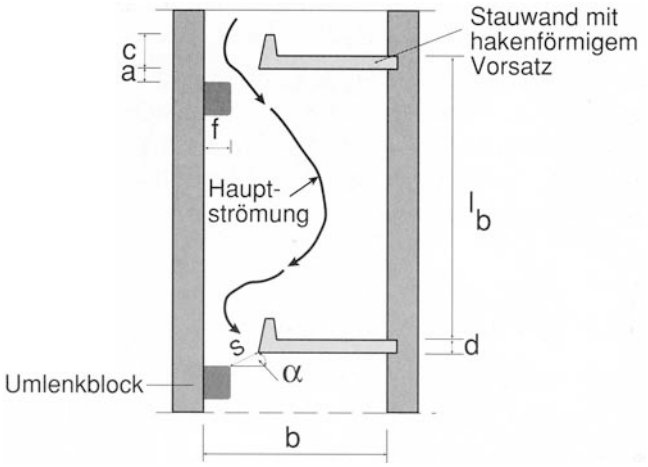
Tab. 3 > Empirische Werte zur Dimensionierung eines Schlitzpasses

Länge der Becken l_b (Minimalwert)	1,90 m (8 bis 10 mal Schlitzbreite)
Breite der Becken b (Minimalwert)	1,20 m (6 bis 8 mal Schlitzbreite)
Wassertiefe in den Becken	0,60 m
Schlitzbreite s (Minimalwert)	0,15 m
Länge Trennwandkante c	0,20 m (1,5 bis 2 mal Schlitzbreite)
Max. Höhendifferenz zw. den Becken	0,20 m
Winkel α der Stauwand	mind. 20° (kleine Anlagen) 35 à 45° (grosse Anlagen)
Leistungsdichtedissipation	150 à 200 W/m³
Geschwindigkeit in den Becken	0,50 m/s
Max. Geschwindigkeit beim Schlitz	1,70 m/s

Gebler 1991, DVWK 1996, Larinier 1996, Dumont et al. 2005; siehe auch Abb. 5.

Abb. 5 > Generelles Schema eines Schlitzpasses

Grundschema eines Schlitzpasses.



DVWK 1996

Tab. 4 > Empfohlene geometrische und hydrodynamische Parameter in Abhängigkeit von der Längenzonierung des Gewässers

Längenzonierung	Max. Höhe zw. Becken [cm]	Max. Geschwindigkeit in Becken [m/s]	Leistungsdichte im Becken [W/m³]	Leistungsdichte im Ruhebecken [W/m³]
Epirhithral (ob. Forellenregion)	20	0,5	200–200	50
Metarhithral (unt. Forellenregion)	18	0,5	150–200	50
Hyporhithral (Äschenregion)	15	0,5	120–150	50
Epipotamal (Barbenregion)	10	0,5	100–120	50

DVWK 1996, Dumont et al. 2005

Ruhebecken

Ab einer gewissen Länge des Fischpasses ist es nötig, Ruhebecken mit einem Leistungsdichtedissipationswert von unter 50 W/m³ zwischenzuschalten. Anzahl und Abstand der Ruhebecken hängen von der konkreten Situation ab. Im Allgemeinen ist ein Ruhebecken pro 2 m Höhenunterschied angezeigt. In der neusten Literatur (DWA 2010) wird die Bedeutung der Ruhebecken etwas relativiert: es besteht die Gefahr (1), dass solche Strukturen dauerhaft von Raubfischen besiedelt werden, die sich von aufsteigenden Fischen ernähren und (2) dass sich in Ruhebecken eine verstärkte Tendenz zur Auflandung manifestiert, die z. B. zu einer Unterschreitung der zulässige Wassertiefe führen kann.

2.3.6 Gestaltung der Becken

Gestaltung eines Substrats in den Becken

Becken mit glattem Boden ohne jede Rauigkeit sind zu vermeiden. Die beste Lösung besteht darin, das Becken mit einem Substrat von mindestens 20 cm Dicke zu bedecken, das eine ähnliche Zusammensetzung wie dasjenige des Flusses aufweist. Empfehlenswert ist auch, Elemente mit grossen Korngrössen beizufügen, z. B. herausragende kantige Steine von etwa 15–20 cm (Abb. 6). Diese Art Substrat garantiert eine deutliche Rauheit und bietet eine breite Schnittstelle, die auch die Besiedlung und Wanderung von Makroinvertebraten fördert.

Abb. 6 > Becken mit einem natürlichen Substrat

Becken mit einem natürlichen Substrat von starker Rauheit.

2.3.7 Standort und Positionierung des Ausstiegs aus dem Fischpass

Gesicherter und geschützter Ausstieg aus dem Fischpass

Der Ausstieg aus dem Fischpass (oberstes Becken) muss in einer geeigneten und wenig turbulenten Zone liegen (Strömungsgeschwindigkeit < 1,5 m/s), damit der Fisch nicht unmittelbar nach dem Austritt aus dem Fischpass wieder nach unten getrieben wird. Von Rechen oder Turbinenöffnungen muss ein minimaler Abstand von 10 m eingehalten werden. Wie beim Einstieg ist es auch hier empfehlenswert, eine Rampe zu bauen, die bis an die Gewässersohle reicht.

Schutztypen gegen Geschwemmsel

Schliesslich muss der Ausstieg aus dem Fischpass vor Geschwemmsel geschützt werden.

2.3.8 Betriebsdauer des Fischpasses

Betriebsdauer eines Fischpasses

Die Funktionstüchtigkeit einer Fischaufstiegshilfe muss grundsätzlich dauernd, d. h. ganzjährig während 24 Stunden, sichergestellt sein, mindestens aber während 300 Tagen/Jahr (Funktionsbereich zwischen Q_{30} und Q_{330}). Ein Unterbruch bei ausgeprägtem Niedrigwasser ($Q < Q_{30}$) und bei Hochwasser ($Q > Q_{330}$) kann hingenommen werden, da Fische bei diesen besonderen hydrologischen Bedingungen wenig oder nicht aktiv sind.

Robustheit des Systems

Das System sollte im Übrigen genügend robust sein, um Unwetter und hydrologische Risiken (Hochwasser, Geschiebe, usw.) überstehen zu können. Zur Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit ist ein regelmässiger Unterhalt der Anlage unumgänglich.

2.4 Naturnahe Werke

Bei diesem Anlagetyp wird die Überwindung des Hindernisses mit einem geneigten Gewässer, das naturnah gestaltet wird, sichergestellt. Es handelt sich um Anlagen mit variabler Gestaltung, in denen die Energiedissipation durch die Rauigkeit der Sohle gegeben wird. Dies wird durch die unregelmässige Platzierung von Blöcken auf der Sohle erreicht. Man unterscheidet zwischen am Ufer angelegtem Umgehungsgewässer und rauen Rampen direkt im Fluss.

2.4.1 Umgehungsgewässer

Umgehungsge¬wässer

Anstatt mit einem technischen Bauwerk am Ufer kann die Fischwanderung auch mit einem Umgehungsgewässer ermöglicht werden. Wenn die Topografie es zulässt, kann die Anlage bepflanzt und naturnah gestaltet werden. In diesem Falle entsteht nicht nur ein Wanderkorridor, sondern ein Lebensraum für die Wasserfauna und ein landschaftlicher Mehrwert. Die technischen und hydrodynamischen Einschränkungen sind im Prinzip die gleichen wie bei den Rampen (vgl. Kap. 2.4.2).

Trotz ihres scheinbar naturnahen Aussehens bleiben Umgehungsgewässer künstliche Anlagen mit praktisch konstanter Wasserführung. Eine natürliche Gewässerdynamik (hydraulisch und bezüglich Geschiebefracht) kann nicht zugelassen werden. Deshalb zeigen die Umgehungsgewässer eine starke Tendenz zur Kolmation der Sohle, was einen regelmässigen Unterhalt bedingt. Schliesslich ist der Nachweis der Funktionalität eines Umgehungsgewässers schwieriger zu erbringen.

Unterhalt und Tendenz zur Verschlammung

Nicht immer ist ein Umgehungsgewässer auf der ganzen Länge der Aufstiegshilfe realisierbar. Es kann sich deshalb eine Kombination von Bereichen mit einer technischen Anlage (z. B. an einer steilen Stelle) und naturnahen Bereichen als nötig erweisen.

2.4.2 Raue Rampen

Rampen

Eine Rampe ist ein Wasserablauf, der auf der ganzen Breite des Flussbettes oder auf einem Teil davon (Teilrampe) eingerichtet ist. Rampen besitzen einen beträchtlichen Vorteil in Bezug auf den Fischaufstieg, denn Fische haben gewöhnlich keinerlei Schwierigkeiten, den Wasserweg zu finden. Rampen funktionieren übrigens auch beim Fischabstieg (Wanderung vom Ober- ins Unterwasser). Ihr Anwendungsbereich bleibt allerdings auf relativ kleine Absturzhöhen beschränkt.

Man unterscheidet grundsätzlich drei Rampentypen (DVWK 1996):

Abb. 7 > Rampe in Blocksteinbauweise

Hier handelt es sich um einen Wasserablauf mit einer einzigen Schicht von gleich grossen, kantigen Blöcken, die in einem Betonbett fixiert werden. Dieser Anlagetyp widersteht der hydraulischen Last und dem Geschiebe, bietet aber nur eine ziemlich geringe Rauheit. Er kann deshalb nicht für die Wiederherstellung der Fischwanderung empfohlen werden. Sein Anwendungsbereich reicht bis zu einem maximalen Gefälle von 1:10 (10 %).

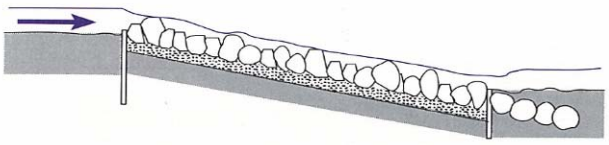


Abb. 8 > Rampe in geschütteter Bauweise

Hier handelt es sich um einen Wasserablauf, der aus mehreren Schichten lockerer, nicht einbetonierter Blöcke unterschiedlicher Grösse besteht. Die Substratdicke entspricht mindestens dem doppelten Durchmesser der grössten Blöcke und weist eine gute Rauheit auf. Sein Anwendungsbereich reicht bis zu einem maximalen Gefälle von 1:15 (6,5 %).

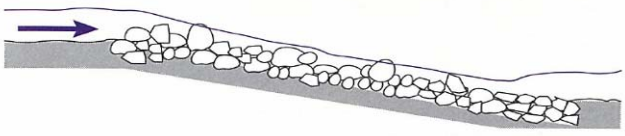
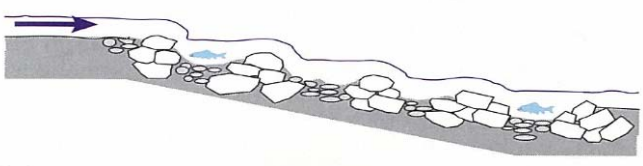


Abb. 9 > Rampe in aufgelöster Bauweise

Hier handelt es sich um einen strukturierten Wasserablauf mit einer Abfolge von Riegeln aus groben Blöcken (0,6 bis 1,2 m Durchmesser) und kleinen Senken, die mit Elementen kleinerer Korngrösse gefüllt sind. Dieser Rampentyp bietet eine starke Rauheit. Sein Anwendungsbereich reicht bis zu einem maximalen Gefälle von 1:30 (3,5 %).



Limitierende Faktoren

Die Wahl des Rampentyps ist abhängig vom Gefälle und von der angestrebten Rauheit. Diese Parameter bestimmen die Fliessgeschwindigkeiten und die Mindesttiefen entlang der Rampe. Die zulässigen Geschwindigkeiten hängen von den Zielarten und somit von der Längenzonierung ab (Tab. 5). Die mittlere Fliessgeschwindigkeit kann aber nicht als einziges Kriterium für die Durchgängigkeit benutzt werden (Larinier et al. 2006). Wie bei den technischen Fischpässen muss man den Wert der Leistungsdichte-dissipation berücksichtigen.

Geschwindigkeiten

Mindesttiefe

In der Forellenregion genügt entlang der Rampe eine Mindesttiefe von 20 cm, in der Äschen- und in der Barbenregion muss sie grösser sein (DVWK 1996).

Tab. 5 > Hydraulische Parameter

Hydraulische Parameter entlang eines natürlich gestalteten Wanderungskorridors in Abhängigkeit von der Längenzonierung.

Längszonierung	Mittlere Geschwindigkeit [m/s]	Energiedissipation für Q_{30} [W/m³]	Energiedissipation für Q_{300} [W/m³]
Epirhithral	1,0	200	200
Metarhithral	1,0	180	200
Hyporhithral	0,9	150	200
Epipotamal	0,8	100	150

Dumont et al. 2005

Gefälle < 1:20

Bei einem Gefälle von mehr als 1:20 (5 %) sind die Abflussgeschwindigkeiten auf einer klassischen Rampe schwer mit den Kriterien gemäss DVWK (1996) in Übereinstimmung zu bringen (d. h. eine maximale Geschwindigkeit von 2 m/s und eine Mindesttiefe von 20 cm). Diese Kriterien werden im Allgemeinen bei spezifischen Abflussmengen (= Gesamtabfluss geteilt durch die mittlere Breite der Rampe) von über 1,5 m³/s m nicht mehr eingehalten. Die Rauheit der Rampe muss deshalb unbedingt im Bett durch grosse Blöcke von 0,6 bis 1,2 m Durchmesser erhöht werden. Diese Gestaltung verstärkt die Stabilität der Rampe, bremst den Abfluss und erhöht die Tiefe. Labormodelle zeigen, dass der Aufstieg für Forellen auf gut strukturierten Rampen bis zu einem Gefälle von 6 % bei einem spezifischen Abfluss von 2 m³/s m und bis zu 10 % bei einem spezifischen Abfluss von 1 m³/s m möglich ist (Weibel, in Vorber.). Für Karpfengewässer zeigen die Messungen, dass es relativ schwierig ist, bei einem Gefälle von mehr als 1:30 akzeptable Geschwindigkeiten zu garantieren (Dumont et al. 2005).

Betriebsdauer und geneigtes Niedrigwasserbett

Grundsätzlich muss der Fischaufstieg das ganze Jahr über möglich sein, mindestens aber zwischen Q_{30} et Q_{330}. Ein raues und vielfältig gestaltetes Niedrigwasserbett mit einigen Becken oder Unterschlüpfen, wo der Fisch sich ausruhen kann, sichert die Funktionstüchtigkeit der Anlage auch in Zeiten mit Niedrigwasser. Die Rampe muss in Richtung Niedrigwasserbett geneigt sein, damit sich dort das Niedrigwasser konzentriert. Unmittelbar unterhalb der Rampe muss eine Auskolkung geschaffen werden, um eine genügende Energiedissipation zu ermöglichen.

Auskolkung unterhalb Rampe

3 > Wanderung flussabwärts (Fischabstieg)

3.1 Verhalten des Fisches

Passives Verhalten

Beim Abstieg hat der Fisch die Tendenz, sich mehr oder weniger passiv von der Strömung leiten zu lassen, und zwar im Allgemeinen im oberen Teil des Wassers und den Kopf flussaufwärts gerichtet. Der Fisch zeigt also gegenüber dem Aufstieg ein völlig anderes Verhalten, was die meisten Aufstiegshilfen für den Fischabstieg unbrauchbar macht.

Seitenlinie der Fische

Der Fisch orientiert sich mit Hilfe seiner Seitenlinie, welche auf sehr kleine Druckunterschiede reagiert. Bei einem mechanischen Hindernis in der Strömung (z. B. ein Rechen) entstehen hydraulische Störungen, welche vom Fisch mittels Seitenlinienorgan wahrgenommen werden. Der Fisch reagiert mit einer Meidereaktion auch bei totaler Dunkelheit. Je stärker die hydraulischen Störungen, umso besser werden sie von abwandernden Fischen wahrgenommen.

Aal wieder als Ausnahme

Der Aal reagiert total verschieden von den anderen Arten. Er zeigt bei Annäherung an mechanische Barrieren nicht die für andere Arten beschriebene Meidereaktion. Zudem zeigt der Aal ein aktives Abstiegsverhalten am Grund, wofür spezifische Installationen benötigt werden. Diese sind im vorliegenden Dokument nicht berücksichtigt.

3.2 Grundsatz und Funktionsweise

Doppelte Zielsetzung

Das Hauptziel beim Fischabstieg ist ein Doppeltes: Einerseits geht es darum, dem Fisch die Überwindung eines Hindernisses flussabwärts zu ermöglichen, anderseits soll die Mortalität bei diesem Unterfangen minimiert werden.

Durchlässige Hindernisse

Je nach ihren Eigenschaften sind künstliche Hindernisse an Gewässern für den Fisch mehr oder weniger durchlässig. Stauwehre mit häufigen Überläufen ermöglichen einen gewissen Fischabstieg. Wasserfassungen mit einem Coanda-Rechen sichern einen permanenten und für den Fisch gefahrlosen Durchgang. Bestimmte Turbinentypen garantieren auch einen «unschädlichen» Durchgang:

- Turbine VLH. Anwendungsbereich: Höhenunterschied von 1,4 bis 2,8 m; Abfluss von 10 bis 30 m³/s *(www.vlh-turbine.com/FR/html/Pdt_VLH.htm)*
- Schnecken- oder Schraubenturbine. Anwendungsbereich: Höhenunterschied von 1 bis 10 m; Abfluss von 0,5 bis 5,5 m³/s *(www.nptec.de/wasserkraft/schraubentrubine.html)*
- Kraftwerkanlangen mit bewegliche Turbinen *(www.hydroenergie.de/bewegliche-wka)*.
- «Fish-friendly» Turbinen (Cook et al. 2000). Anwendungsbereich: Höhenunterschied von 20 bis 30 m; Abfluss ab ca. 30 m³/s.

Undurchlässige Hindernisse

Das Anbringen dieser «fischfreundlichen» Einrichtungen hängt allerdings von zahlreichen technischen Einschränkungen ab; sie können nicht systematisch zur Anwendung kommen. Man muss deshalb grundsätzlich davon ausgehen, dass die meisten Wasserkraftwerke für den Fisch undurchlässig sind. In gewissen Fällen bilden sie eigentliche Fallen, in denen der Fisch die Orientierung verliert oder tödlich verletzt wird. Fischabstiegshilfen können aber auch selber die Ursache für eine nicht unerhebliche Mortalität sein. In einem ersten Schritt muss deshalb das Problem unter Einbezug einer tolerierten Mortalität mit oder ohne Einrichtung genau betrachtet werden. Die Gegenüberstellung der beiden Varianten ermöglicht es, die Sachdienlichkeit der Errichtung einer speziellen Fischabstiegshilfe zu beurteilen.

Fischabstiegsanlage mit 3 Funktionen

Eine Fischabstiegshilfe hat, unabhängig vom gewählten Typ, drei mehr oder weniger voneinander unabhängige Funktionen: Schutz, Lenkung und Durchleiten des Fisches. Eine Wasserfassung welche 1. die Passage der Fische durch die Turbine verhindert, 2. den Fisch in die Abstiegsanlage leitet und 3. den Fisch schadlos nach unten transferiert, wird als ichtyokompatibel klassiert (Courret & Larinier 2008).

3.2.1 Funktion Schutz des Fisches

Erste Funktion = Schutz des Fisches

Beobachtungen an Lachssmolts zeigen, dass der absteigende Fisch im Allgemeinen vom Hauptstrom geleitet wird (Nemitz & Steinmann 2001). Bei einer Abflussmenge bis zur Ausbauwassermenge der Zentrale wird der Fisch die Tendenz haben, vor die Wasserfassung zu gelangen und, wenn es keinen Rechen gibt, durch die Turbinen hindurchzugehen. Die erste Funktion einer Fischabstiegshilfe zielt deshalb auf den Schutz des Fisches, indem man ihn von den Einrichtungen, die ihn verletzen könnten, fernhält. Dieser Schutz kann aus Verhaltensbarrieren (Elektro- oder Schallfelder, Luftblasenvorhang, Lufteinblasen unter Druck, usw.) oder aus physischen Barrieren (Rechen oder Abschirmungen) bestehen.

Verhaltensbarrieren

Verhaltensbarrieren

Unter einer Verhaltensbarriere versteht man alle Einrichtungen, die einen Stimulus produzieren, auf den der Fisch reagiert (repulsive oder attraktive Wirkung). Die zur Anwendung kommenden Stimuli sind unterschiedlicher Natur (Licht, Schall, Elektrofeld, Druckunterschied, Luftblasenvorhang).

Wenig aussagekräftige Erfahrungen in Europa

Die bisherigen Erfahrungen in Europa sind alles in allem in Bezug auf die Verhaltensbarrieren nicht sehr aussagekräftig (Gosset & Travade 1999). Ihr Anwendungsbereich ist im Übrigen auf geringe Anströmgeschwindigkeiten (< 0,3 m/s) beschränkt. Hydraulische Bedingungen dieser Art finden sich vor seitlichen Entnahmen mit einer geringen Kapazität, hingegen nicht bei der Mehrheit der stirnseitigen Fassungen mit einer grossen Schluckfähigkeit (Dumont et al. 2005). Verhaltensbarrieren werden in dieser Schrift nicht weiter behandelt.

Physische Barrieren

Physische Barrieren

Eine physische Barriere wirkt wie ein mechanischer Filter. Sie hat die Form eines Rechens mit Reihen von (vertikalen oder horizontalen) Gitterstäben von mehr oder weniger grossem Abstand oder die Form einer Abschirmung oder eines Siebes (Lochplatte oder Drahtgitter). Für einen wirksamen Schutz müssen die «Maschen» der Einrichtung genügend eng sein, um den Fisch abzuhalten. Auch darf vor der physischen Barriere kein allzu grosser Druck entstehen (kein irreversibles Anpressen des Fisches).

Einschränkungen der Produktion

Für die Nutzung der Wasserkraft haben physische Barrieren zwei grosse Nachteile. Der eine liegt in ihrer Tendenz zur Verstopfung, was eine regelmässige Reinigung und Unterhalt erfordert. Das andere Problem liegt in ihrem Widerstand gegen den Abfluss, was zu einem hydraulischen Verlust und somit zu einer geringeren Produktion führt. Der hydraulische Verlust hängt von der Geometrie des Rechens ab (Abstand zwischen den Stäben, Profil der Stäbe, Verhältnis von Abstand und Fläche des Rechens) und von der Fliessgeschwindigkeit.

Unter den häufigsten physischen Barrieren unterschiedet man zwischen Feinrechen, «wedge wire screen» (z. B. Coanda-Rechen) und den Abschirmungen, welche weiter unten beschrieben sind.

→ Feinrechen

Gestützt auf Felduntersuchungen haben Höfer & Riedmüller (1996) gezeigt, dass für Salmoniden ein wirksamer Schutz sichergestellt ist, wenn der Abstand zwischen den Stäben kleiner ist als 1/10 der Gesamtlänge des Fisches. Im Allgemeinen betrachtet man einen genügenden Schutz als gegeben, wenn der Rechen folgende Kriterien erfüllt (Dumont et al. 2005, Courret & Larinier 2008):

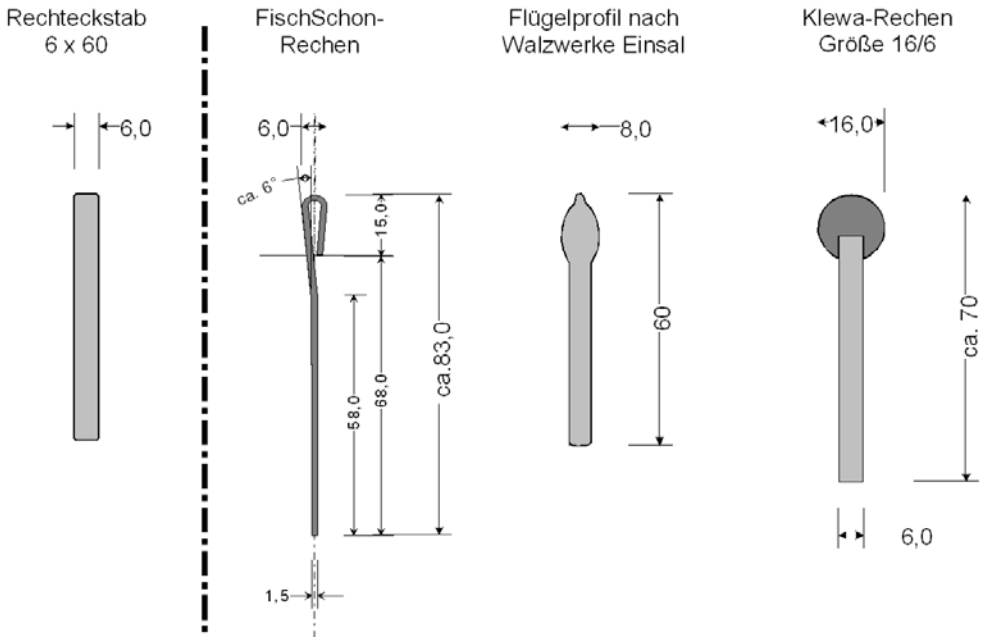
Eigenschaften der Feinrechen

- Maximaler Abstand der Stäbe: 20 mm
- Maximale Geschwindigkeit vor dem Rechen: 0,5 m/s

Dank neuer Entwicklungen im Labor sind heute Rechensysteme mit kleinem Stababstand (10 bis 20 mm) auf dem Markt erhältlich. Die Stäbe dieser neuen Rechen haben ein besonderes Profil, das den Fisch schont und gleichzeitig mit der Wasserkraftnutzung kompatibel bleibt (Abb. 10 bis 13). Das Stabprofil weist gegen die Fliessrichtung einen verdickten «Kopf» auf. Kommt ein Fisch mit dem Rechen in Kontakt, stösst er nur auf gerundete, glatte Flächen, was Abrasion und Verletzungsrisiko deutlich verringert. Der Fischschutz ist im Übrigen dadurch gewährleistet, dass der Stababstand extrem klein ist (bis 10 mm). Im Vergleich zu den herkömmlichen vierkantigen Stäben ermöglicht die Hydrodynamik dieses neuen Rechentyps, den hydraulischen Verlust zu beschränken. Weniger hydraulischer Verlust bedeutet weniger Druck vor dem Rechen und somit weniger Risiko, dass ein Fisch dagegen gepresst wird.

Abb. 10 > Verschiedene Profiltypen von Rechenstäben

Vergleich von vierkantigen Stäben mit solchen in Feinrechen.



Quelle: R. Hassinger, Uni Kassel (D)

Dank des besonderen Profils bleibt das am Rechen angetriebene Geschwemmsel an der Oberfläche und dringt nicht tief zwischen die Stäbe ein, was eine einfache mechanische Reinigung mit einer Kunststoffbürste ermöglicht.

Der Einsatz solcher Rechen macht natürlich die Installation eines konventionellen Systems (Abstand 100 bis 150 mm) weiter oben nötig, mit dem grobes Geschwemmsel (Äste, Baumstämme, usw.) zurückgehalten werden kann.

Da der Fisch im Allgemeinen «höher» als «breit» ist, wird empfohlen, Rechen mit horizontalen (an Stelle von vertikalen) Stäben zu verwenden. In diesem Fall muss dann folglich die Anordnung des Feinrechens angepasst werden (s. Beispiel 5 in Anhang A2).

Neigung der Rechen

Die Feinrechen sind im Allgemeinen geneigt installiert, sodass (1) der Fisch nicht an den Rechen gepresst wird, (2) die hydraulischen Verluste minimiert und (3) der Fisch in den Bypass geleitet wird. Grundsätzlich sind folgende Konfigurationen möglich:

- der Rechen wird vertikal in Fliessrichtung um einen Winkel α geneigt (Abb. 14)
- der Rechen wird horizontal um einen Winkel β geneigt, wobei er im rechten Winkel zur Strömung bleibt (Abb. 15).

Abb. 11a > Rechen vom Typ Oppermann

Detail.

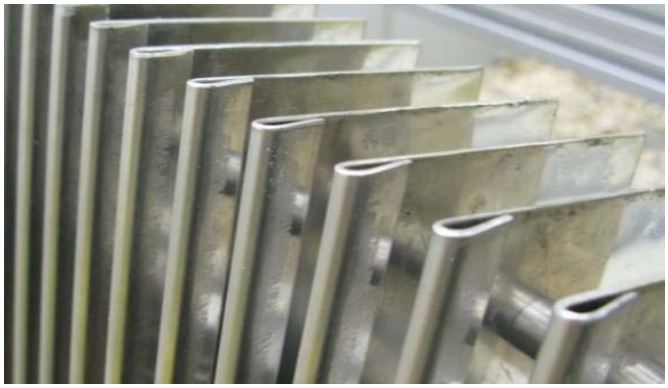


Abb. 11b > Rechen vom Typ Oppermann

Ansicht.

Quelle: R. Hassinger, Uni Kassel (D)

Abb. 12 > Detail eines Rechens vom Typ Flügelprofil

Detail.

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie

Abb. 13a > Rechen vom Typ Klewa

Detail.

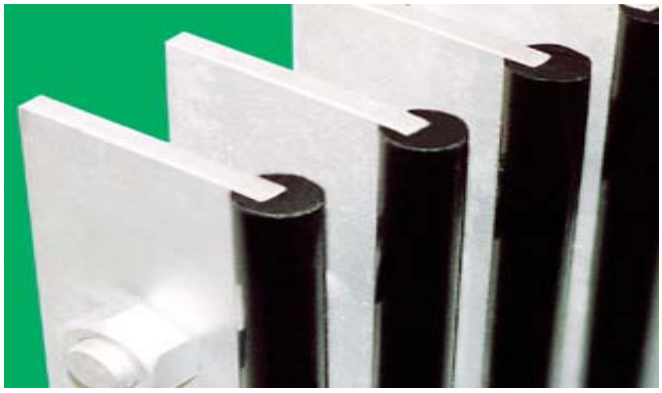
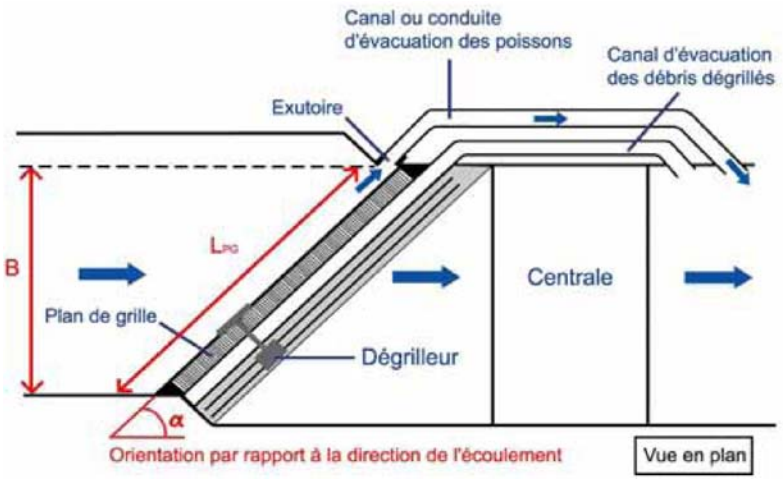


Abb. 13b > Rechen vom Typ Klewa

Ansicht.

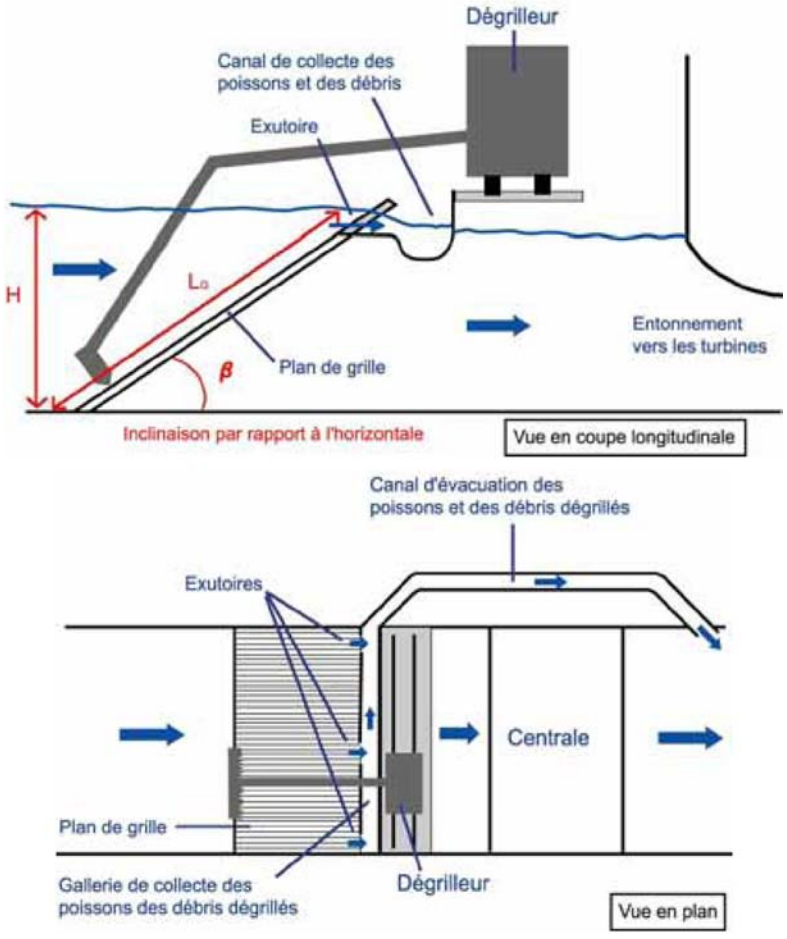
Quelle: R. Hassinger, Uni Kassel (D)

Abb. 14 > Darstellung eines vertikal in Fliessrichtung um einen Winkel α geneigten Rechens



Courret & Larinier 2008

Abb. 15 > Darstellung eines horizontal in Fliessrichtung um einen Winkel α geneigten Rechens



Courret & Larinier 2008

Horizontaler Rechen
Wenn möglich rechtwinklige Orientierung bevorzugen

Gemäss Courret & Larinier (2008) «soll der Rechen vorzugsweise gegenüber der Horizontalen geneigt, aber rechtwinklig zur Fliessrichtung positioniert sein (gemäss Abb. 15), diese Ausrichtung hat nicht zwingend einen hydraulischen Verlust zur Folge und erlaubt sogar einen gewissen Selbstreinigungseffekt». Es ist allerdings nicht immer möglich, diese Anordnung bei tiefen Wasserfassungen oder solchen mit grossen Wasserstandsschwankungen einzurichten. In diesem Fall ist die Installation des Rechens gemäss Abb. 14 vorzusehen.

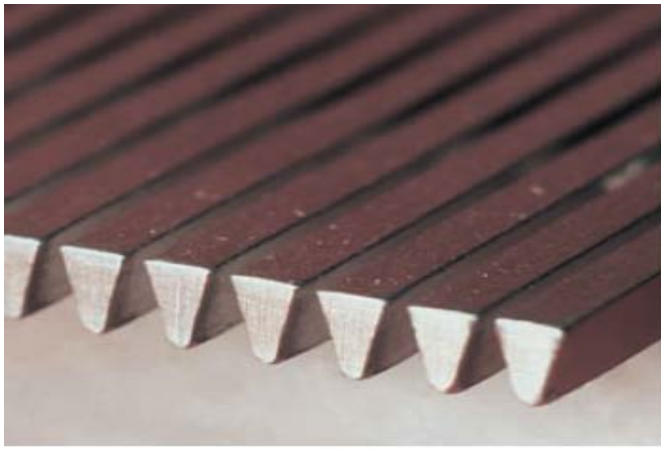
→ Wedge-Wire-Screen

Wedge-Wire-Screen

Diese Art von physischer Barriere besteht aus einer Reihe von dreieckigen, eng aneinanderliegenden Stäben, deren Basis gegen die Strömung gerichtet ist. Sie sind gegen die Abflussrichtung geneigt; das darüber fliessende Wasser wird zwischen den Stäben angesaugt und sorgt so für eine Selbstreinigung des Systems (Abb. 16). Der extrem kleine Abstand (bis zu 1 mm) führt zu einer glatten Oberfläche, auf der Geschwemmsel (inkl. Blätter), aber auch die Fische und andere Wasserorganismen «dahingleiten», ohne Schaden zu nehmen (Tab. 6). Rechen dieser Art können allerdings einen beachtlichen hydraulischen Verlust bewirken, weshalb sie nicht überall zur Anwendung kommen können.

Abb. 16 > Rechen vom Typ «Wedge-Wire-Screen»

Detail.

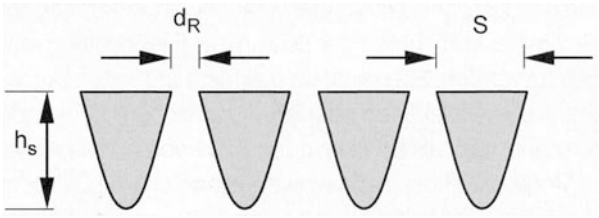


Ansicht einer geneigten Anlage.

Tab. 6 > Technische Eigenschaften eines Rechens vom Typ «Wedge-Wire-Screen»

Neigung des Rechens [Grad]	Dicke s [mm]	Abstand dR [mm]	Höhe hs [mm]	Geschwindigkeit [m/s]	Autoren
-	2 à 10	1 à 10	6 à 10	-	ATV-DVWK 2004
15	2	2	-	0,6	Weber et al. 1993
25	5	5,3	-	1,0	Dumont 2000

Abb. 17 > Dimensionierung eines Rechens «Wedge-Wire-Screen»



Coanda-Rechen

Eine Variante dieser Art von Rechen, die an Wasserfassungen im alpinen und voralpinen Raum angepasst wurde, ist unter dem Namen Coanda bekannt (Abb. 18 und Abb. 19). Sie ist eine Alternative zu den klassischen Wasserfassungen vom Typ «Tirolerwehr», die neben dem Wasser im wörtlichen Sinne die gesamte Aquafauna «verschlucken» (Jungstadien der Fische, Makroinvertebraten, usw.). Diese verendet dann in den Sandsammlern oder in den Turbinen. Die Wasserfassungen vom Typ Coanda bilden eine interessante Alternative, da (durch den Coanda-Effekt) nur das Wasser ins Innere der Fassung geleitet wird. Alles andere gleitet über die Oberfläche hinweg. In der Schweiz durchgeführte Tests haben die Wirksamkeit des Systems und seine Vorteile gegenüber dem klassischen Tirolerwehr aufgezeigt.

Abb. 18 > Ansicht einer Wasserfassung mit Coanda-Rechen

Abb. 19 > Detail eines Coanda-Rechens

der Pfeil zeigt die Fliessrichtung an.

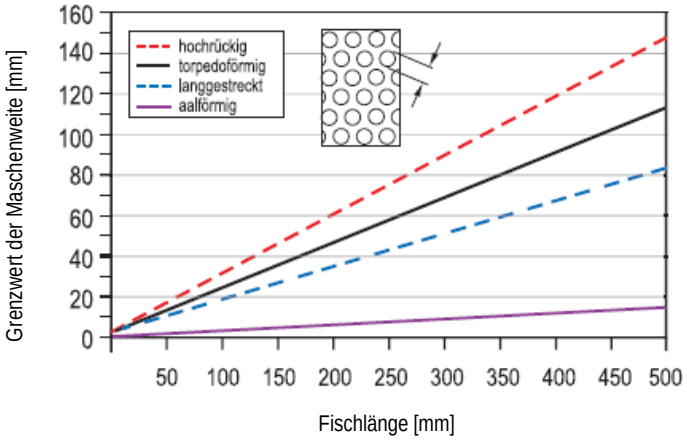
Fotos: R. Hartmann

→ Abschirmungen

Abschirmungen oder Drahtgitter

Feinrechen können durch stationäre oder umlaufende Abschirmungen ersetzt werden. Diese Einrichtungen haben die Form von Lochplatten oder von Drahtgittern. Der Durchmesser einer Öffnung in einer Platte hängt von der Grösse und der Höhe der zu erwartenden Fischarten ab (Abb. 20).

Abb. 20 > Lochdurchmesser einer Platte in Abhängigkeit von Länge und Form des Fisches



Dumont et al. 2005

Je nach Funktionsart unterscheidet man mehrere Typen von Abschirmungen:

Stationäre Abschirmung

> Stationäre Abschirmung *(«stationary screen»)* aus einer gelochten Metallplatte, die senkrecht oder geneigt angebracht wird (Abb. 21. links).

Umlaufende Abschirmung

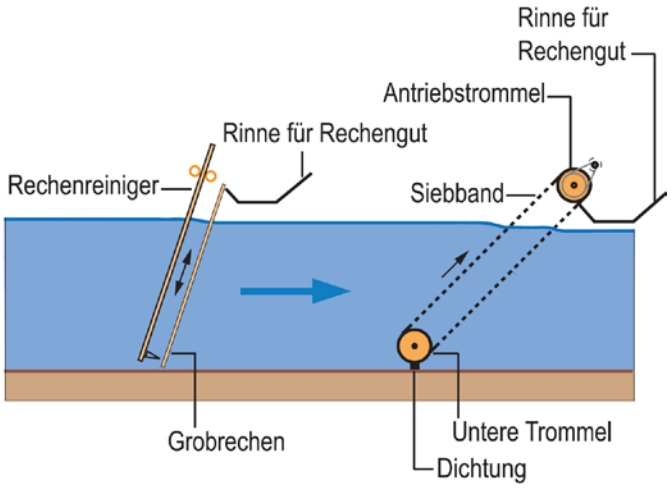
> Umlaufende Abschirmung *(«travelling screen»),* vergleichbar mit einem senkrechten oder geneigten Fliessband (Abb. 21, rechts), dessen Rotationsgeschwindigkeit je nach der Menge des Geschwemmsels zwischen 0,1 und 5 m/mn variiert. Die Öffnungsweiten des Systems (Gitternetz oder Löcher) haben einen Durchmesser von 1 bis 6 mm. Dieser Typ kann ergänzt werden durch Behälter, die den Fisch fangen und in eine Sammelrinne befördern, die mit einem Evakuationssystem verbunden ist. Diese Systeme sind allerdings problematisch im Winter (Vereisung). Sie weisen auch bei grossen Wasserstandsschwankungen im Staubecken eine gewisse Empfindlichkeit der Mechanik auf (Dumont et al. 2005).

Rotationsrechen

> Trommelsieb oder Rotationsrechen *(«drum screen»).* Das Prinzip ist vergleichbar mit demjenigen eines umlaufenden Maschensiebes, aber die Abschirmung hat die Form einer Trommel (Durchmesser 0,8 bis 1,5 m bei kleinen und mittelgrossen Werken, bis zu 6 m bei grossen Werken), die sich langsam dreht (1–2 m/mn). Die Trommeloberfläche besteht aus einem feinmaschigen Draht oder aus Stäben vom Typ *«wedge-wire-screen»* (Abstand zwischen 3 und 6 mm).

Abb. 21 > Stationäre und umlaufende Abschirmung

Prinzip einer fixen Abschirmung mit einem Reinigungssystem (links) und einer umlaufenden Abschirmung (rechts). Beide Systeme sind mit einer Rinne für das Rechengut versehen.



Dumont et al. 2005

3.2.2 Funktion Lenkung des Fisches

Zweite Funktion = Lenkung des Fisches

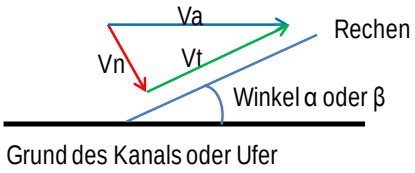
Absteigende Fische finden sich im Allgemeinen vor dem Rechen der Anlage ein. Beobachtungen an Lachssmolts zeigen, dass die Individuen die Tendenz haben, sich beim obersten Teil des Rechens zu konzentrieren (Blasel 2011). Wenn dieser bis an die Oberfläche reicht, drängen sich die Fische nahe an der Wasseroberfläche. Ist der Rechen in der Tiefe versenkt, konzentrieren sich die Fische vor dessen oberem Teil. Diese Art Beobachtung ist entscheidend für die richtige Positionierung des Leitsystems.

Zwei Komponenten der Strömung

Wie bereits ausgeführt wird ein erster Leitungseffekt der Fische erzielt, indem der Rechen senkrecht zur Strömung stehend mit einem Winkelβ in Fliessric htung geneigt wird oder indem der Rechen in einem Winkel α in Fliessrichtung ausgerichtet wird. Der Vektor der Fliessgeschwindigkeit setzt sich zusammen aus den Vektoren der Fliessgeschwindigkeit senkrecht zum Rechen und jener tangential zum Rechen (Abb. 22). Die Tangentialgeschwindigkeit erweist sich als besonders wichtig für den Fischabstieg, weil die erzeugte Strömung den Fisch abwärts leitet, was entsprechend besser funktioniert, wenn die Tangentialgeschwindigkeit gross und folglich der Winkel α oder β klein ist ($\alpha < 45^{o}$ und $\beta < 26^{o}$).

Abb. 22 > Der Vektor der Fliessgeschwindigkeit

Der Vektor der Fliessgeschwindigkeit (V_A) setzt sich zusammen aus den Vektoren der Fliessgeschwindigkeit senkrecht zum Rechen (V_N) und jener tangential zum Rechen (V_T).



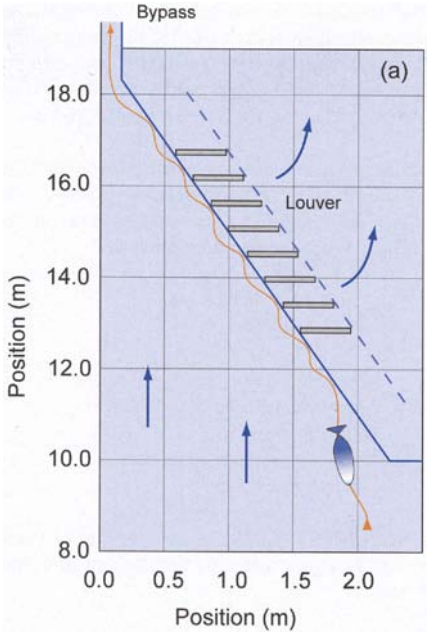
Courret & Larinier 2008

Funktionieren eines Louvers

Einige Leitsysteme versuchen schliesslich, die Schwimmrichtung des Fisches zu ändern, bevor er am Rechen ankommt. Eine Lösung, die sich bewährt hat, besteht im Aufstellen einer Reihe von senkrechten Lamellen (oder Schiebern) in regelmässigen Abständen in der Fliessrichtung. Diese Einrichtung, Louver genannt, wird so eingesetzt, dass sie einen Winkel zur Abflussachse bildet (Abb. 23). Die dem Louver vorgelagerte Strömungsänderung in Form einer stehenden Welle kann von sich annähernden Fischen wahrgenommen werden. Die dadurch ausgelösten Verhaltensreaktionen können zur Führung von Fischen ausgenutzt werden. Der Winkel zwischen der Louverachse und der Hauptströmung muss zwischen 10^o und 20^o betragen, damit die Tangentialgeschwindigkeit mindestens dreimal höher ist als die Fliessgeschwindigkeit senkrecht zum Rechen (Courret & Larinier 2008). In der Regel weisen die Lamellen einen Abstand von 5 bis 15 cm auf (Travade & Larinier 1992); je kleiner die Zielart, desto geringer der Abstand. Je nach Art können die Lamellen sich bis zur Gewässersohle fortsetzen oder nur teilweise versenkt sein. Die Louvers sind zwar relativ wirkungsvoll (50 % bis 90 % Effizienz bei Juvenilen von Salmoniden (Asce 1995, Epri 2001, Amaral 2003), sie weisen aber aufgrund der speziellen Anströmung hohe hydraulische Verluste auf. Zudem muss in der Regel ein Grobrechen vorgeschaltet werden.

Abb. 23 > Funktionsweise des Louvers

Aufsicht.



ATV-DVWK 2004

3.2.3 Funktion Durchleiten des Fisches

Dritte Funktion = Durchleiten des Fisches

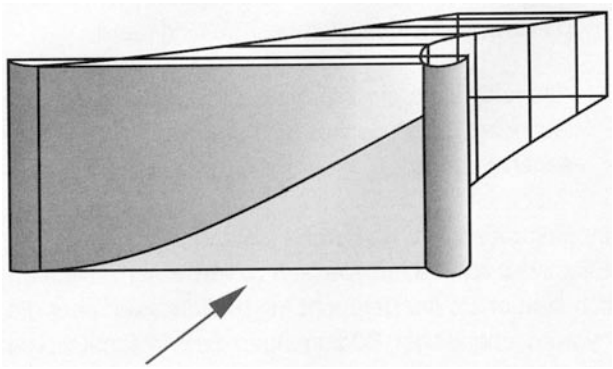
Ist der Fisch einmal an einen sicheren Ort gelenkt, bleibt noch, ihn ans untere Ende des Hindernisses zu führen. Dies geschieht im Allgemeinen mit Öffnungen oder Auslässen, die im Wehr eingebaut sind. Ein Auslass oder Bypass ist ein Wasserlauf, der Ober- und Unterwasser durch das Wehr hindurch verbindet. Seine Wirksamkeit hängt von seinem Standort und besonders von den hydraulischen Bedingungen bei seinem Eingang ab. Man unterscheidet Auslässe nahe an der Oberfläche und solche in Sohlennähe (für den Aal).

Eigenschaften eines Auslaufs an der Oberfläche

Auslässe an der Oberfläche sind Öffnungen mit einer Breite von 0,4 bis 1,0 m in der Krone des Wehrs. Sie liegen möglichst nah an der Höhe des Rechens und haben die Form einer «Trompete», die einen Oberflächenabfluss mit leichter Turbulenz und zunehmender Geschwindigkeit bewirkt (Abb. 24). Damit sie ihre Wirkung entfalten können, müssen Auslässe eine permanente Wasserführung haben. Die Abflusshöhe im Auslass wird durch einen Schieber reguliert. Sie muss mindestens 0,40 m betragen. Sofern der Auslass optimal angelegt ist, «verschluckt» er den Fisch, ohne ihn zu verletzen. Manchmal wird eine Beleuchtung (Quecksilberdampflampe 50 W) installiert, um die Attraktivität zu verstärken. Diese Methode kann aber die hydrodynamischen Effekte nicht ersetzen.

Abb. 24 > Schema eines trompetenförmigen Auslasses

Schema eines Oberflächenauslaufs



Bomassi & Travade 1987

Wenn die Fläche des Rechens horizontal geneigt ist (Anordnung wie in Abb. 15), besteht der Bypass aus einer oder mehreren Öffnungen, welche am oberen Teil des Gitters angebracht sind. Dort werden die Fische in einer senkrecht angeordneten «collection gallery» gesammelt und nach unten geleitet (Anhang A2, Bsp. 1).

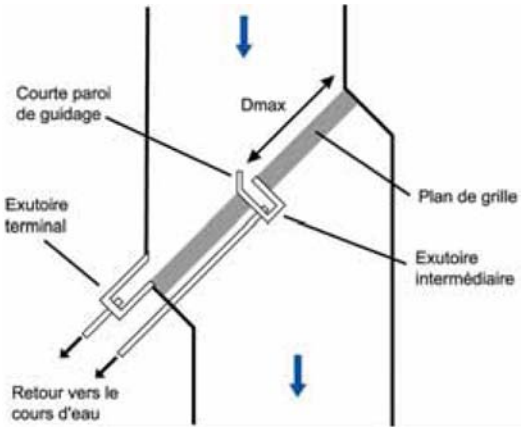
Auslauf bei horizontalem Rechen

Wenn der Rechen gemäss Anordnung in Abb. 15 geneigt ist, muss der Bypass am Ufer oder an der Staumauer angebracht werden. Wenn die Länge des Rechens mehr als 10 m beträgt, wird empfohlen, mehrere Öffnungen anzubringen und eine kurze Leitwand einzurichten (Abb. 25). Die Tiefe der Öffnung muss so konzipiert sein, dass eine ausreichende Wassermenge sowie eine regelmässige Beschleunigung der Strömung beim Bypass gewährleistet sind (wenn möglich sollte die Fliessgeschwindigkeit etwas grösser sein als die Tangentialgeschwindigkeit entlang des Gitters). Dafür müssen die Seitenwände ein entsprechendes Profil aufweisen und der Grund muss kontinuierlich wieder ansteigen (Abb. 26).

Auslauf bei lateralem Rechen

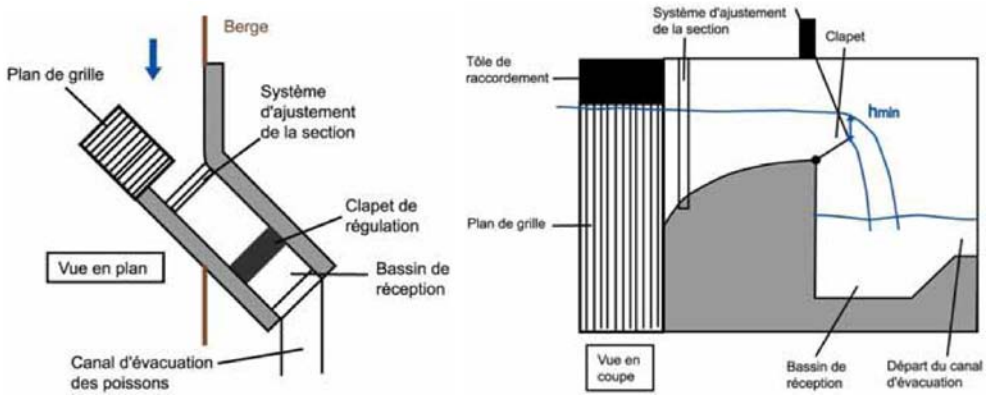
Abb. 25 > Positionierung von zwei Bypässen mit geneigtem Rechen

Der mittlere Bypass ist mit einer kurzen Leitwand ausgerüstet.



Courret & Larinier 2008

Abb. 26 > Lage des Bypasses von oben gesehen (links) und im Schnitt (rechts)



Courret & Larinier 2008

Durchleitung gleichzeitig mit Geschwemmsel

Gewisse Fischabstiegshilfen sind kombiniert und synchronisiert mit Anlagen zur Reinigung der Rechen: die Durchleitung des Fisches flussabwärts geschieht gleichzeitig mit derjenigen des Geschwemmsels, indem man gezielt kleine Ablässe vornimmt. Beobachtungen des Verhaltens von Lachssmolts beim Abstieg setzen aber ein Fragezeichen hinter diese Praxis (Blasel 2009, 2011). Sie zeigen im Gegenteil, dass eine diskontinuierliche und intermittierende Dotation den Fischabstieg behindert. Während der Spülphase treten im Auslass starke Schwankungen der Abflussgeschwindigkeiten auf, was zu einer Flucht der Lachssmolts in ruhigere Zonen flussaufwärts führt.

Auslassen im freien Fall

Das Auslassen im freien Fall in das Unterwasser ist im Allgemeinen nicht problematisch, solange die Wassertiefe mindestens ein Viertel der Absturzhöhe, aber mindestens 0,9 m aufweist (DWA 2005). Die Auslässe können im Unterwasser durch geeignete Evakuationssysteme wie Rampen, Gleiten, Rutschen oder Röhren verlängert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Fliessgeschwindigkeit in solchen Strukturen 7–8 m/s nicht überschreitet (Asce 1995) und dass der Fisch nicht durch raue oder vorstehende Oberflächen verletzt wird. Das Auslassen ins Unterwasser muss über dem Wasserspiegel im freien Fall von maximal 2,5 m erfolgen. Von einem Auslassen unter Wasser ist abzuraten, da sich der Fisch bei der starken Verlangsamung beim Eintritt ins Unterwasser verletzen könnte.

4 > Checkliste

4.1 Aufstiegshilfen: «Technische» Werke

> Den Einstieg zum Fischpass an demjenigen Ufer platzieren, wo sich der Hauptstrom befindet (Seite der Turbinen bei Wasserkraftwerken ohne Ausleitung) und so weit oben wie möglich.
> Den Einstieg zum Fischpass nicht in Zonen mit rückläufiger Strömung platzieren (Stillwasser).
> Den Einstieg zum Fischpass bei Wasserkraftwerken ohne Ausleitung nicht auf der Höhe der Sprudelzonen der Turbinen platzieren, wo der Fisch die Orientierung verlieren würde.
> Die maximale Fliessgeschwindigkeit beim Ausstieg aus dem Fischpass auf 0,8–1,5 m/s beschränken.
> Eine zusätzliche Lockströmung via ein vom Wanderkorridor unabhängiges System vorsehen (Laufkraftwerk ohne Ausleitung).
> Die zusätzliche Lockströmung einspeisen:
  – in nächster Nähe zum Einstieg in den Fischpass oder
  – im ersten Becken des Fischpasses nach Durchlauf durch ein Energiedissipationsbecken (1000–1500 W/m³) und durch ein feinmaschiges Gitter (max. Geschwindigkeiten 0,3–0,4 m/s).
> Eine Gesamtwassermenge (Lockströmung + Wasser aus Fischpass) in der Grössenordnung von 1 bis 5 % der effektiv turbinierten Wassermenge festlegen (Laufkraftwerke ohne Ausleitung).
> Die Lockströmung parallel zum Hauptabfluss oder in einem maximalen Winkel von 30 bis 45° zum Hauptabfluss einleiten.
> Sicherstellen, dass das erste Becken (Einstieg in den Fischpass) in Kontakt zur Gewässersohle steht. Notfalls flussabwärts eine Rampe mit einem maximalen Gefälle von 1:1,5 bauen.
> Den Boden jedes Beckens mit einem natürlichen Substrat von mindestens 20 cm Dicke versehen.
> Die Becken so dimensionieren, dass eine Energiedissipation von ungefähr 200 W/m³ für Salmoniden und von ungefähr 150 W/m³ für Karpfenfische erreicht wird.
> Die Fliessgeschwindigkeiten in den Becken auf 0,5 m/s beschränken.
> Zwischen den Becken eine Höhendifferenz von 20 cm für Salmoniden und von 15 cm für Karpfenfische nicht überschreiten.
> Die Zweckmässigkeit der Gestaltung von Ruhebecken nach jeweils 2 m Höhendifferenz prüfen (Energiedissipation unter 50 W/m³).
> Beim Ausstieg aus dem Fischpass starke Turbulenzen (Geschwindigkeit unter 1,5 m/s), vermeiden sowie eine minimale Distanz von 10 m vom Rechen erhalten.
> Sicherstellen, dass das letzte Becken (Ausstieg aus dem Fischpass) Kontakt mit der Gewässersohle hat. Notfalls den Ausstieg durch eine Rampe verlängern.
> Den Ausstieg des Fischpasses vor Geschwemmsel schützen.

> Die Funktionstüchtigkeit während mindestens 300 Tagen im Jahr sicherstellen (Funktionsbereich zwischen Q_{30} und Q_{330}).
> Einen dauernden Unterhalt der Aufstiegshilfe sicherstellen.

4.2 Aufstiegshilfen: «Naturnahe» Werke

> Je nach Gewässertyp und Längenzonierung ein maximales Gefälle von 1:15–1:20 festlegen.
> In Abhängigkeit vom Gewässertyp eine Tiefe von > 0,20 m aufrechterhalten.
> Abflussgeschwindigkeiten von 2 m/s nicht überschreiten.
> Ein raues Substrat einbringen, das in seiner Korngrössenzusammensetzung für den Standort typisch ist (manchmal Abdichtung nötig).
> Die Sohle regelmässig dekolmatieren (mechanisch oder durch Erhöhung des Abflusses).
> Ein abwechslungsreiches Niedrigwasserbett einrichten und die Rampe so orientieren, dass sich die Wassermenge im Niedrigwasserbett konzentriert.
> Die Querprofile variabel mit bepflanzten Böschungen gestalten.

4.3 Abstiegshilfen

> Maximaler Stababstand des Rechens: 20 mm
> Maximale Fliessgeschwindigkeit vor dem Rechen: 0,5 m/s
> Maximale Neigung α des in Fliessrichtung vertikalen Rechens: 45^{o}.
> Maximale Neigung β des horizontalen Rechens: 26^{o}.
> Systematische Anwendung der Coanda-Rechen statt Tirolerwehr (überall wenn technisch möglich).
> Minimaler Abfluss durch einen Bypass: 2 bis 10 % der max. turbinierten Menge.
> Minimale Dimensionierung eines Bypasses: 0,5 m Breite und 0,5 m Höhe.
> Minimale Wasserhöhe (durch Schütze reguliert) durch Bypass: 0,40 m
> Auslassen ins Unterwasser über dem Wasserspiegel im freien Fall von maximal 2,5 m.
> Wassertiefe mindestens ein Viertel der Absturzhöhe, aber mindestens 0,9 m.

> Anhang

A1 Definition Leistungsdichte

Die Leistungsdichte ist ein Mass für den Grad der Turbulenz oder der Durchlüftung in einem Becken.

Leistungsdichte Pv in einem Becken
$P_v = \rho\ g\ Q\ \Delta H/V$

P_v = Leistungsdichte pro Volumeneinheit [Watt/m³]
ρ = Dichte des Wassers (Kst.) [1000 kg/m³]
g = Erdbeschleunigung (Kst.) [9,81 m/s^2]
Q = Abflussmenge durch den Fischpass [m³/s]
ΔH = Fallhöhe zwischen den Becken [m]
V = Volumen des Beckens [m³]

A2 Best-practice-Beispiele

- **Beispiel 1:** Bleibach/Baden-Württemberg (D)
- **Beispiel 2:** Steinach/Baden-Württemberg (D)
- **Beispiel 3:** Schlossmühle/Baden-Württemberg (D)
- **Beispiel 4:** Hofsäge/Baden-Württemberg (D)
- **Beispiel 5:** Klingenmühle/Baden-Württemberg (D)
- **Beispiel 6:** Ochtendung/Rheinland-Pfalz (D)
- **Beispiel 7:** Halle-Planena/Sachsen-Anhalt (D)

Diese Beispiele wurden von Klaus Blasel, Büro für Fischbiologie und Ökologie, dokumentiert.

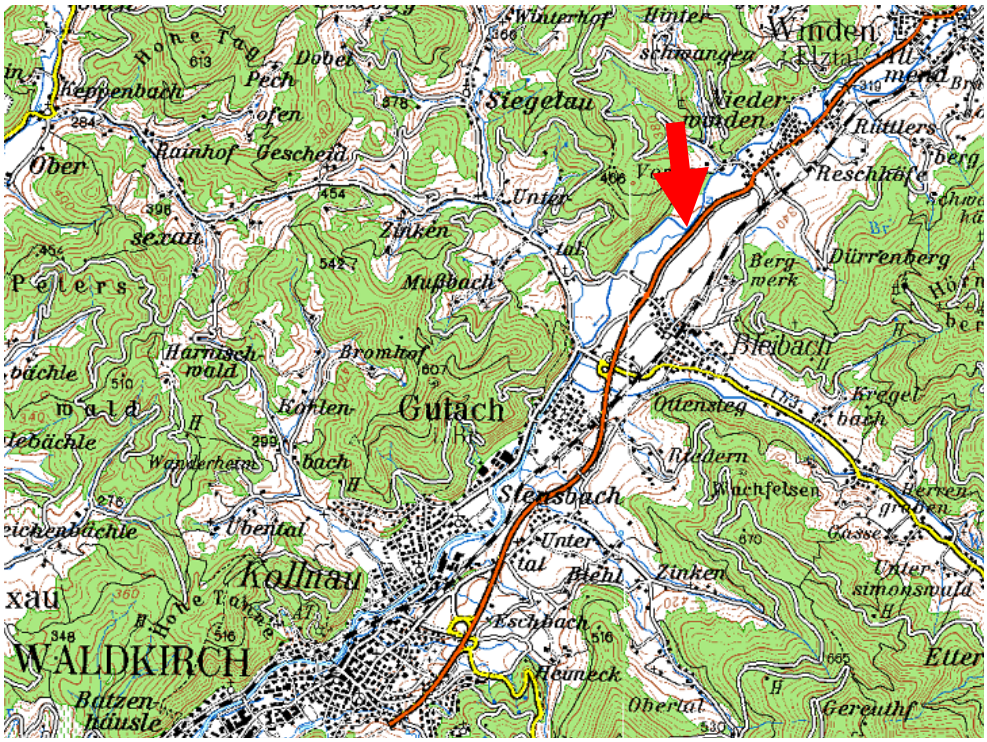
A2-1

Beispiel 1: WKA Bleibach

Tab. 7 > WKA Bleibach, Baden-Württemberg

Lage:	
Gewässer:	Elz, Gutach-Bleibach
Verwaltungsbezirke:	Landkreis Emmendingen, Gemarkung Bleibach
Koordinaten:	8°00'26.3'' Ost, 48°08'03.1'' Nord
Einzugsgebiet:	170 km²
Abflusskennwerte: www.hvz.baden-wuerttemberg.de	NMQ: 1,39 m³/s MQ: 9,01 m³/s HQ: 90 m³/s
Regelung:	Statische Mindestwasserabgabe in die Ausleitungsstrecke: 1,5 MNQ (= 0,810m³/s), davon 700 l/s über Fischaufstiegshilfe, 100–150 l/s über Fischabstieg
Vorkommende Fischarten (u.a.)	Lachs, Bachforellen, Äschen, Barben, Nase, Aal, Kleinfische (Groppe, etc.)
Abstiegskonzept:	
Technik:	Feinrechen, 10 mm Stabweite mit Kronenausschnitt, und Bypass, permanent beaufschlagt mit 100–150 l/s; sohlorientierte Arten können alternativ über den Fischaufstieg abwärts wandern
Aufstiegskonzept:	
Technik:	Rauhgerinne-Beckenpass
Angaben zur Wasserkraftanlage	
Baujahr:	1999
Betreiber & Ansprechpartner:	Wasserkraft Volk AG; Herr Haas
Leistung Turbine:	320 KW
Produktion:	keine Angabe
Ausbauwassermenge:	3 m³/s
Details Rechen	
Rechenstabweite [lichte Weite]	10 mm, senkrechte Anordnung
Anströmgeschwindigkeit:	0,5m/s
Neigung der Rechenvorrichtung:	60°
Finanzierung:	
Kosten Rechenanlage:	40 000 bis 50 000 €, inkl. Planung, exkl. Fischaufstiegshilfen in der Ausleitungsstrecke
Ergänzende Bemerkungen	
	Bei Niedrigstwasserabflüssen kann der Fischabstieg über die Fischaufstiegshilfe erfolgen, da «Positive Schwelle» zunächst FAH mit Wasser versorgt. Turbinenkanal ist zweitrangig.
Funktionskontrolle	Funktionskontrolle im Frühjahr 2009 durch Büro für Fischereibiologie & Ökologie geplant.

Abb. 27 > Kartenausschnitt mit Lage der Anlage im Tal der Elz



Quelle: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg

Abb. 28 > Kronenausschnitt im Stabrechen

Abb. 29 > Oberwasser an der Wehranlage WKA Bleibach

mit positiver Schwelle und Rechenanlage.

mit Überblick (von rechts) über den Überlauf, Fischaufstiegsanlage, Leerschuss und positiver Schwelle.

Fotos: Rippmann

Abb. 30 > Bypassrinne hinter dem Rechen

von oben (links).

von unten (rechts).

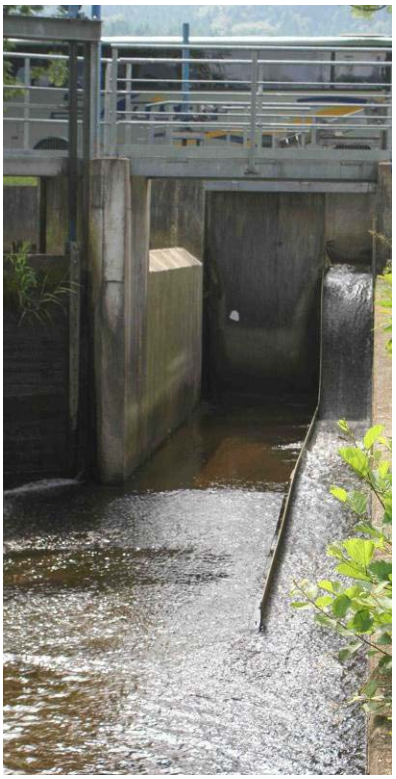


Foto: Guggisberg

Abb. 31 > Ansicht vom Unterwasser

A2-2

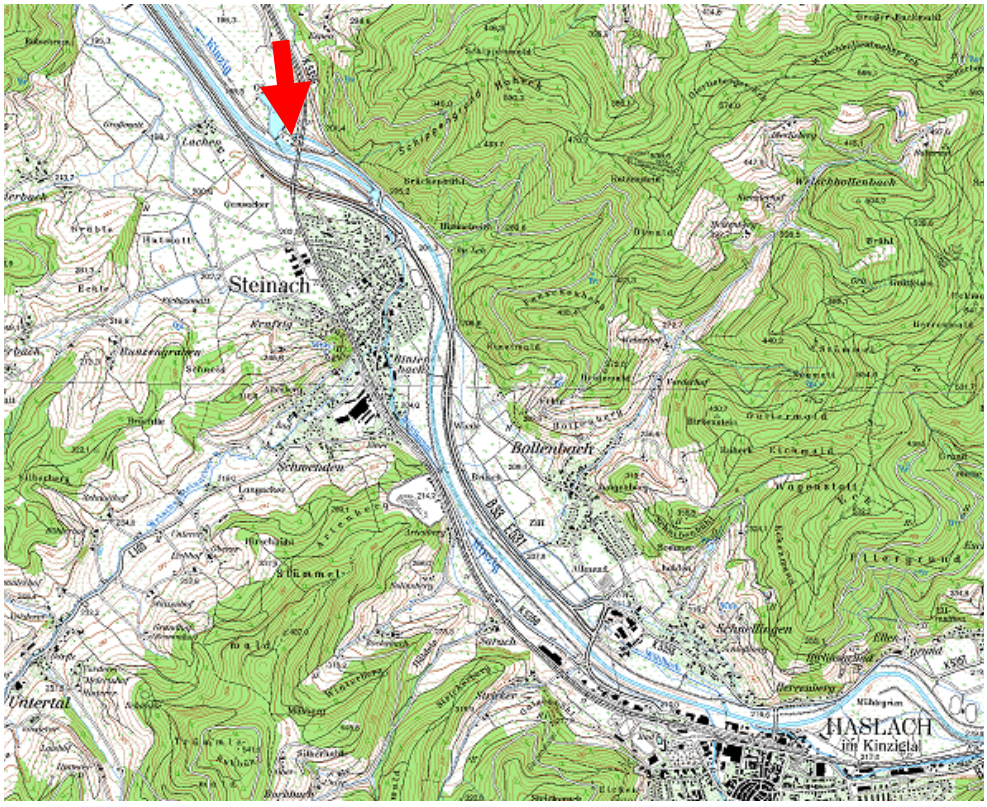
Beispiel 2: WKA Steinach

Tab. 8 > WKA Steinach, Pilotanlage des Bundeslandes Baden-Württemberg

Lage:	
Gewässer:	Kinzig, Steinach
Verwaltungsbezirk:	Landkreis Ortenau, Gemarkung Steinach
Koordinaten:	8°02'58.7'' Ost, 48°18'43.5'' Nord
Einzugsbiet:	Ca. 672 km²
Abflusskennwerte: www.hvz.baden-wuerttemberg.de	NMQ: 3,04 m³/s MQ: 17,9 m³/s HQ: 233 m³/s
Regelung:	Mindestwasser in Ausleitungsstrecke:920 l/s (~ 1/3 MNQ); Spülstösse mit ca. 2,5 m³
Vorkommende Fischarten (u.a.)	Lachs, Bachforellen, Äschen, Barben, Nase, Aal, Kleinfische (Groppe, etc.)
Abstiegskonzept:	
Technik:	Pilotanlage «Circulating Rake» (Rollrechen aus zirkulierenden Lochblechlamellen) Fische steigen über den überströmten Rollrechen in die Abschwemmrinne und werden von dort in 30 min-Intervallen durch öffnen eines Schützes über die Bypass-rinne abgeschwemmt
Aufstiegskonzept:	
Technik:	Rauhgerinne-Beckenpass am Querbauwerk in der Ausleitungsstrecke Ausleitungsstrecke mit Mindestwasserregelung
Angaben zur Wasserkraftanlage	
Baujahr Rechenanlage:	Inbetriebnahme: 06/2006, Bauzeit: 2 Monate
Betreiber & Ansprechpartner:	Stadtwerke Haslach, Herr Weber
Leistung Turbine:	Kaplan-Schachtturbine, erbaut in den 50er Jahren, ca. 350 kW
Produktion:	1,5 Mio kWh/a
Ausbauwassermenge:	ca. 13 m³/s
Details Rechen	
Rechenstabweite [lichte Weite]	Lichte Rechenweite: 12 mm, Ersatz des alten 40 mm Stabrechens In Stromrichtung umlaufendes Rechenfeld aus Lochblechlammen RV 10–12, t= 3 mm Lochanteil > 63 %, freidurchströmte Fläche ca. 26,5 m² Rechenrotation und Abschwemmung im 30-min-Intervall vorgesehen
Anströmgeschwindigkeit:	< 0,6 m/s
Neigung der Rechenvorrichtung:	30°
Finanzierung:	
Kosten der Rechenanlage:	Ca. 150 000 Euro; Teil-Förderung durch das Land Baden-Württemberg
Ergänzende Bemerkungen	
	Turbine kann auch bei hohem Laubanfall in Betrieb bleiben. Der Rollrechen arbeitet besser als herkömmliche Stabrechen (20 mm) an oberhalb gelegenen WKA's (dort war Abschaltung bei Laubanfall-Peak's notwendig). Noch keine Erfahrungen mit Eisgang. Bisher drei Lamellen durch einen verkeilten Ast verbogen.

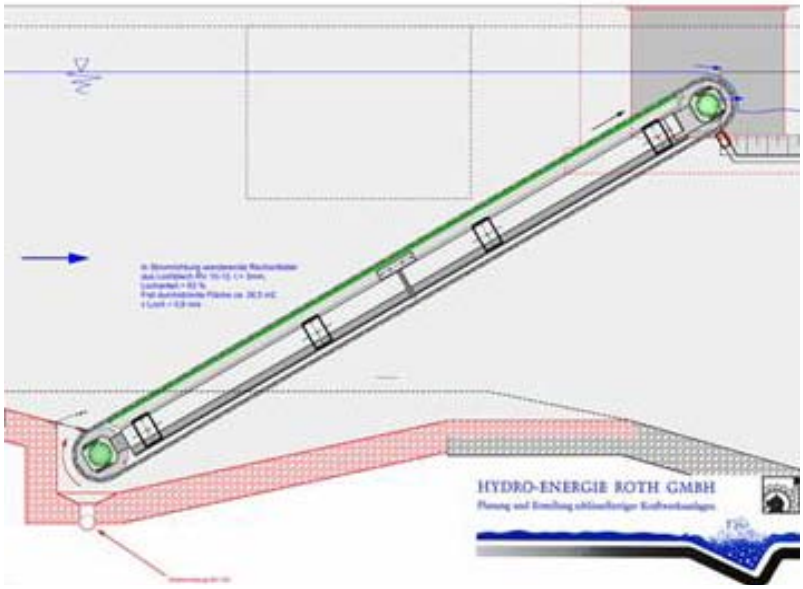
Funktionskontrolle	Kontrolle Fischabstieg durch Büro für Fischereibiologie und Ökologie Vorläufige Befunde: Fischschutz für abwandernde Smolts prinzipiell gegeben, aber: • Abschwemmen von Fischen aus der Abschwemmrinne funktioniert nur unzureichend (positive Rheotaxis der Salmoniden), • Salmoniden halten sich nur sehr kurz in der Abschwemmrinne auf und wechseln dann wieder in die volle Strömung vor dem Rechen Anpassungen wurden aufgrund von Vorschlägen aus der Funktionskontrolle durchgeführt: Bypassausleitung für Fische jetzt vor dem Rechen (Mauerdurchbruch) mit 100 l/s, permanent. Funktion wird im März 2009 erneut überprüft. Dann Abschlussbericht. Kontrolle Technik: Universität Karlsruhe; Bericht liegt ab April 2009 vor

Abb. 32 > Kartenausschnitt mit Lage der Anlage im Kinzigtal



Quelle: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg

Abb. 33 > Planungsskizze der zirkulierenden Rechenanlage



Quelle: www.hydroenergie.de/referenzen.html

Abb. 34 > CR beim ersten Fluten – Details: Lochblech und Kettenstrang

Quelle: www.hydroenergie.de/referenzen.html

Abb. 35 > CR – fertige Montage vor dem ersten Fluten

Quelle: www.hydroenergie.de/referenzen.html

Abb. 36 > CR bei Turbinenbetrieb eingestaut, Tauchschütz der Abschwemmrinne geschlossen

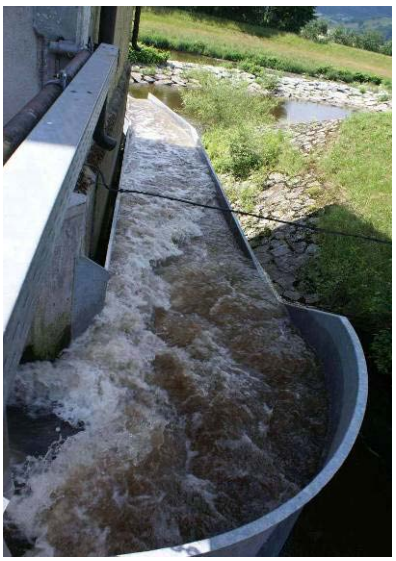
Foto: Guggisberg

Abb. 37 > Tauchschütz öffnet, Fische und Geschwemmsel werden ins Unterwasser abgespült

Quelle: www.hydroenergie.de/referenzen.html

Abb. 38 > Tauchschütz öffnet

Abb. 39 > Spülung über die Bypassrinne



Fotos: Guggisberg

Abb. 40 > Kopf des Rechens bei ganz geöffnetem Tauchschütz

Foto: Guggisberg

Abb. 41 > Mündung der Bypassrinne ins Unterwasser

Foto: Rippmann

Abb. 42 > Mündung der Bypassrinne ins Unterwasser bei Spülung

Foto: Guggisberg

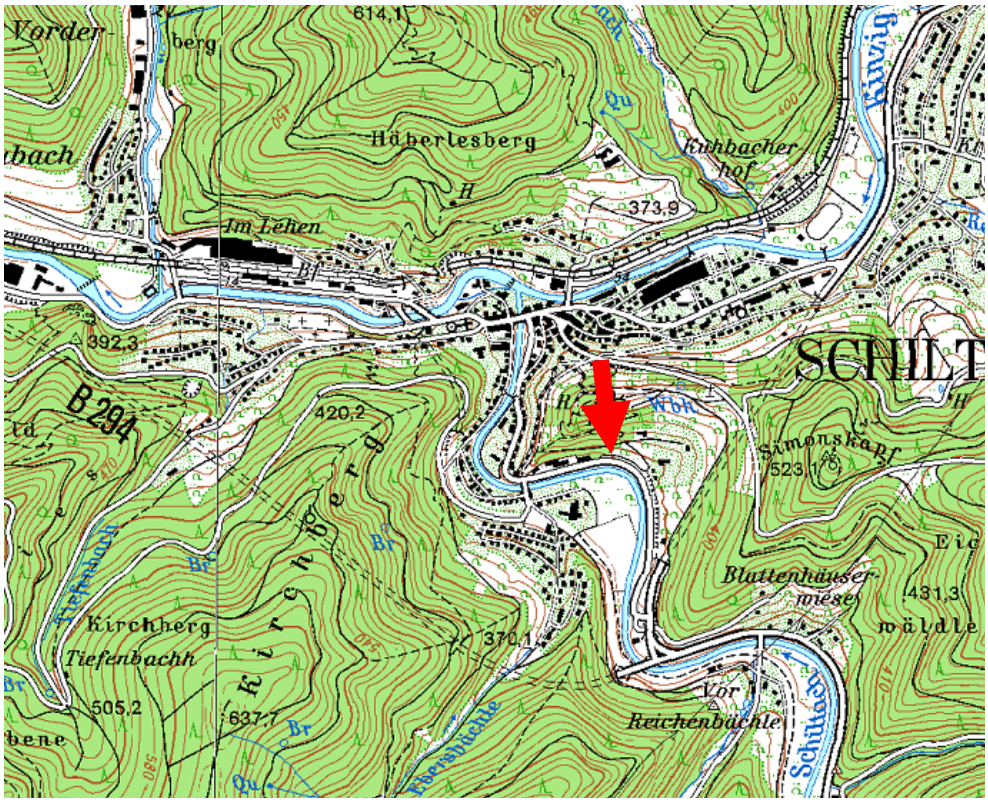
A2-3

Beispiel 3: WKA Schlossmühle

Tab. 9 > WKA Schlossmühle, Baden-Württemberg

Lage:	
Gewässer:	Schiltach, Schiltach
Verwaltungsbezirke:	Landkreis Ortenau, Gemarkung Schiltach
Koordinaten:	8°20'38.85'' Ost, 48°17'13.82'' Nord, 368 m
Einzugsgebiet:	106 km²
Abflusskennwerte: www.hvz.baden-wuerttemberg.de	NMQ: 0,42 m³/s MQ: 2,31 m³/s HQ: 26,0 m³/s
Regelung:	Mindestwasser: 420l/s Über Fischaufstiegshilfe 270 l/s; Fischabstieg 250 l/s
Vorkommende Fischarten (u.a.)	Lachs, Bachforellen, Äschen, Barben, Kleinfische (Groppe, etc.)
Abstiegskonzept:	
Technik:	Stabrechen mit gerundeten Stäben (siehe Abbildung), Bypass
Aufstiegskonzept:	
Technik:	Vertical-Slot Fischaufstieg
Angaben zur Wasserkraftanlage	
Baujahr Rechenanlage:	2007
Betreiber & Ansprechpartner:	Herr Kipp
Leistung Turbine:	60 kW
Produktion:	~240 000 kWh/a
Ausbauwassermenge:	2,7 m³/s, unterirdische Ableitung
Details Rechen	
Rechenstabweite [lichte Weite]	10 mm (siehe Abbildung)
Anströmgeschwindigkeit:	keine Angaben
Neigung der Rechenvorrichtung:	80°
Größe des Rechenfeldes	1,5 x 6 m
Finanzierung:	
Zusatz-Kosten der Rechenanlage gegenüber konventioneller Anlage (Rechenfeld und Reiniger mit 3 m Breite):	Grob geschätzt ca. 20 000 Euro mehr inklusive Fischabstiegseinrichtung (Schütz etc.) im Vergleich zu konventioneller Einrichtung ohne Fischabstieg
Ergänzende Bemerkungen	
	Betreiber erklärt Rechenverluste als «gut erträglich» und ist mit der verbesserten Reinigungsleistung sehr zufrieden.
Funktionskontrolle	Funktionskontrolle Frühjahr 2009 durch Büro für Fischereibiologie & Ökologie

Abb. 43 > Kartenausschnitt mit Lage des Entnahmebauwerks an der Schiltach



Quelle: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg

Abb. 44 > Gesamtansicht im Oberwasser

Quelle: RP Freiburg

Abb. 45 > Rechenanlage mit Spülrinne und Fischabstiegsmöglichkeit (roter Punkt) – Bauzustand –

Quelle: RP Freiburg

Abb. 46 > Rechenreinigungsanlage

in Ruhestellung.

in Betrieb (Endphase) mit Spülung.

Foto: Guggisberg, Foto: Rippmann

Abb. 47 > Details der verwendeten Rechenstäbe

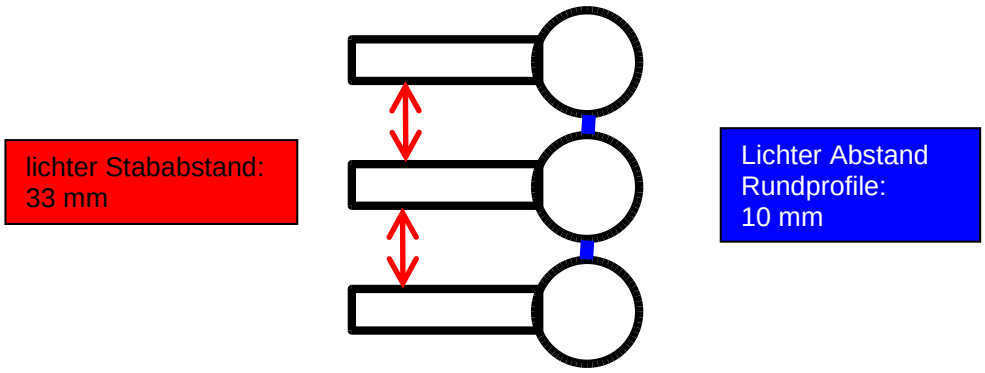


Abb. 48 > Durch Ausschnitt im Schütz permanent dotierte Abstiegsmöglichkeit für Smolts

Abb. 49 > Fischbypass von rechter Wehrwange, oben (links), und von Unterwasser (rechts)

ohne Geschwemmselspülung. *mit Geschwemmselspülung (Endphase).*

Fotos: Rippmann

Abb. 50 > Gesamtansicht der WKA Schlossmühle von Unterwasser

Foto: Guggisberg

A2-4

Beispiel 4: WKA Hofsäge

Tab. 10 > WKA Hofsäge, Baden-Württemberg

Lage:	
Gewässer:	Schiltach, Schiltach
Verwaltungsbezirke:	Landkreis Ortenau, Gemarkung Schiltach
Koordinaten:	8°21'27.59'' Ost, 48°16'26.42'' Nord, 360 m
Einzugsgebiet:	106 km²
Abflusskennwerte: www.hvz.baden-wuerttemberg.de	NMQ: 0,42 m³/s MQ: 2,31 m³/s HQ: 26,0 m³/s
Regelung:	Mindestwasser am Wehr (1/6 MNQ = 74 l/s); Bypass 30 l/s; Fischaufstieg 150 l/s Sobald Lachse in die Schiltach aufsteigen, werden Beckenschlitze erweitert, dann Betrieb mit 200 l/s
Vorkommende Fischarten (u.a.)	Lachs, Bachforellen, Äschen, Barben, Kleinfische (Groppe, etc.)
Abstiegskonzept:	
Technik:	überströmter Stabrechen, Bypass aktuell mit 30 l/s permanent dotiert.
Aufstiegskonzept:	
Technik:	Vertical Slot; Schlitzbreite 17 cm Sobald Lachse in die Schiltach aufsteigen, werden Beckenschlitze erweitert, dann Betrieb mit 200 l/s
Angaben zur Wasserkraftanlage	
Baujahr Rechenanlage:	2005
Betreiber & Ansprechpartner:	Herr Bühler
Leistung Turbine:	Kaplan-Turbine
Produktion:	keine Angabe
Ausbauwassermenge:	2,8 m³/s
Details Rechen	
Rechenstabweite [lichte Weite]	Stabrechen, 10 mm
Anströmgeschwindigkeit:	
Neigung der Rechenvorrichtung:	42°
Finanzierung:	
Kosten der Rechenanlage:	keine Angabe
Ergänzende Bemerkungen	
Funktionskontrolle	Funktionskontrolle Frühjahr 2009 durch Büro für Fischereibiologie & Ökologie

Abb. 51 > Kartenausschnitt mit Lage der WKA an der Schiltach

Quelle: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg

Abb. 52 > Ansicht vom Oberwasser

1 mit Vertical-Slot-Fischaufstieg, 2 Rechen und Spülrinne, 3 Permanent beaufschlagter Fischabstiegsbypass aus der Geschwemmselrinne in den Fischaufstieg mündend, 4 Geschwemmsel-Rinne.

Foto: Guggisberg

Abb. 53 > Detail-Ansicht des permanent beaufschlagten Fischabstiegsbypass

Aus der Geschwemmselrinne in den Fischaufstieg mündend.

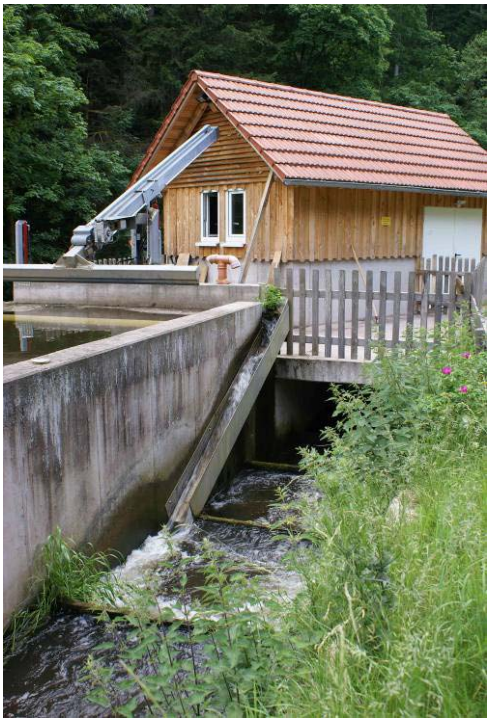


Foto:Guggisberg

Abb. 54 > Ansicht von Fischaufstiegshilfe (Vertical Slot)

Turbinenauslauf und Geschwemmsel-Rutsche vom Unterwasser her.

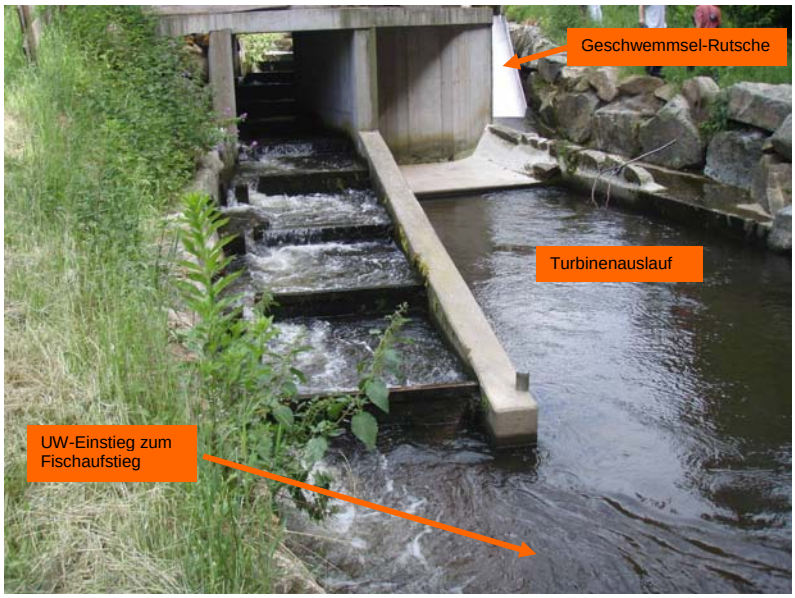


Foto: Rippmann

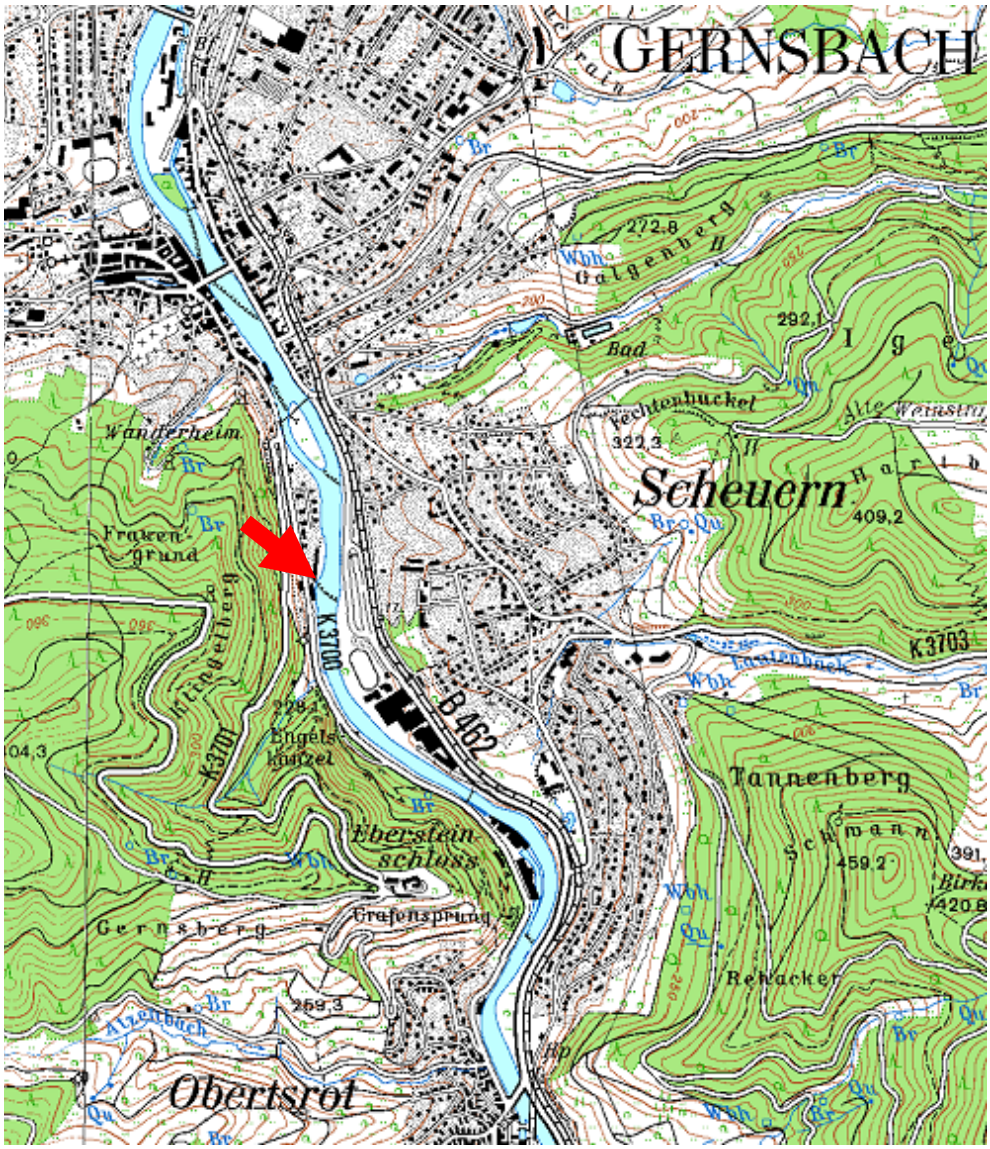
A2-5

Beispiel 5: WKA Klingenmühle

Tab. 11 > WKA Klingenmühle, Baden-Württemberg

Lage:	
Gewässer:	Murg, Gernsbach
Verwaltungsbezirke:	Landkreis Rastatt, Gemarkung Gernsbach
Koordinaten:	8°20'22.78'' Ost, 48°45'34.98'' Nord, 177 m
Einzugsgebiet:	ca. 466 km²
Abflusskennwerte: www.hvz.baden-wuerttemberg.de	NMQ: 2,19 m³/s (Minimalwert 2003) MQ: 16,8 m³/s HQ: 231 m³/s
Regelung:	Horizontalrechen mit Stauklappe, die mit 100 l/s ganzjährig, von März bis Mai (Hauptabstiegszeit) mit 300 l/s dotiert ist;
Vorkommende Fischarten (u.a.)	Lachs, Bachforellen, Äschen, Barben, Nasen, Aal, Kleinfische (Groppe, etc.)
Abstiegskonzept:	
Technik:	Horizontalrechen mit Stauklappe, die mit 100 l/s ganzjährig, von März bis Mai (Hauptabstiegszeit) mit 300 l/s dotiert ist; Fischabstieg über Stauklappe
Aufstiegskonzept:	
Technik:	Rauhgerinne-Beckenpass «Typ Wiegner»
Angaben zur Wasserkraftanlage	
Baujahr Rechenanlage:	2007
Betreiber & Ansprechpartner:	Herr Huppmann
Leistung Turbine:	240 kW
Produktion:	
Ausbauwassermenge:	13–14 m³/s
Details Rechen	
Rechenstabweite [lichte Weite]	19 mm
Anströmgeschwindigkeit:	
Neigung der Rechenvorrichtung:	90°
Finanzierung:	
Kosten der Rechenanlage:	keine Angaben
Ergänzende Bemerkungen	
Funktionskontrolle	Funktionskontrolle Frühjahr 2009 durch Büro für Fischereibiologie & Ökologie

Abb. 55 > Kartenausschnitt mit Lage der WKA Klingenmühle im Murgtal



Quelle: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg

Abb. 56 > Horizontalrechen im Bauzustand

Quelle: Hartmann, RP Karlsruhe

Abb. 57 > Horizontalrechen nach Fertigstellung

Blick entlang des Rechens.

Ansicht der Wehrfelder.

Abb. 58 > Horizontalrechen während der Rechenreinigungsphase

horizontale Rechenreinigung.

Reinigung beendet, Rechen klappt von Stäben weg.

Foto: Rippmann

Abb. 59 > Stauklappe mit permanentem Abfluss

Abb. 60 > Fischaufstiegsanlage

Raugerinne «Typ Wiegner».

Abb. 61 > Zusammenfluss der Teilströme

von 1 der Stauklappe, 2 der Turbine und 3 der Fischaufstiegshilfe.

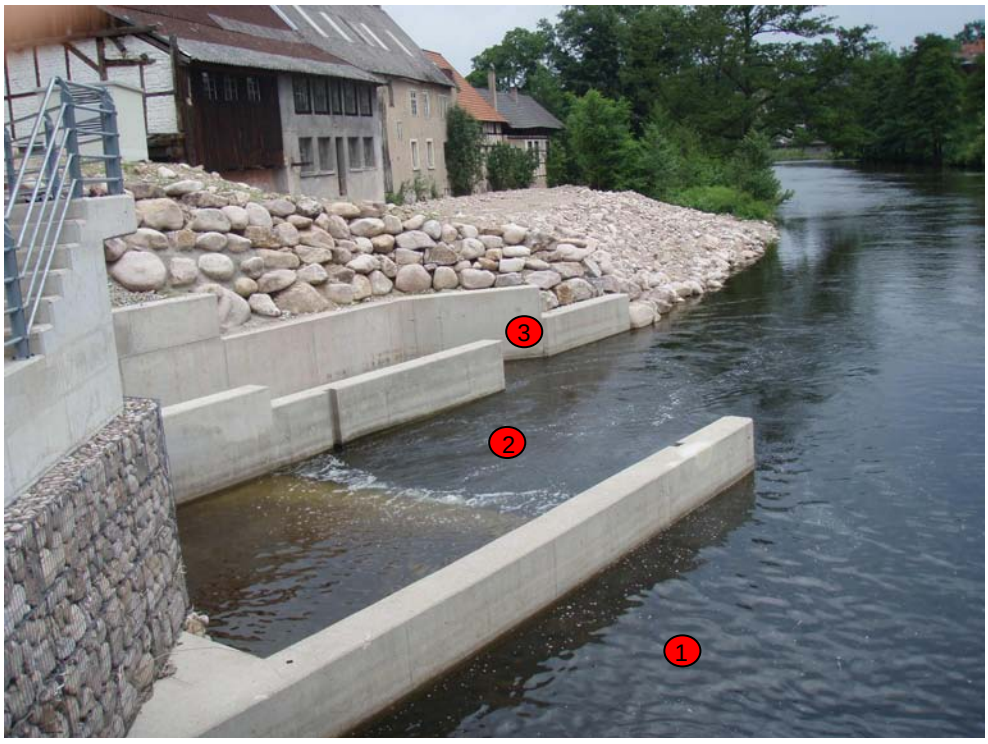


Foto: Rippmann

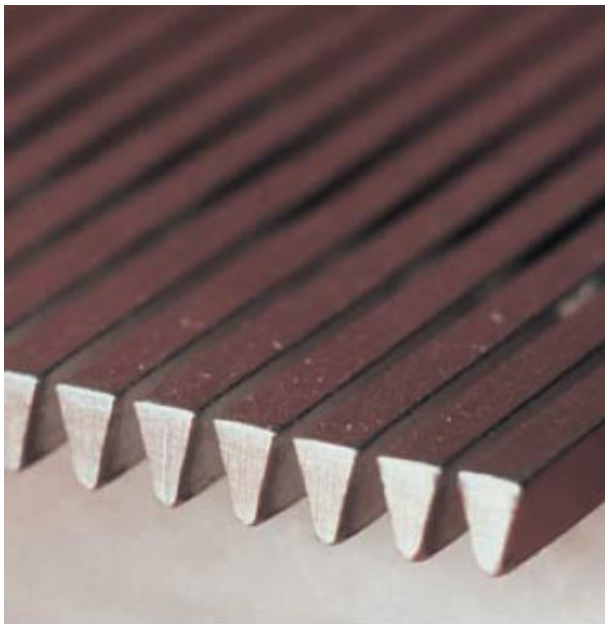
A2-6

Beispiel 6: WKA Ochtendung

Tab. 12 > WKA Ochtendung, Pilotanlage Rheinland-Pfalz

Lage:	
Gewässer:	Nette, Ochtendung
Verwaltungsbezirke:	Mayen-Koblenz
Koordinaten:	
Einzugsgebiet:	370 km² (bis zum Pegel Nettegut 365 km²)
Abflusskennwerte:	Niedrigstwerte: 12.09.1991: 0,547 m³/s Mittel ca. 1,6 m³/s Höchstwerte: (21.12.1993: 26,143 m³/s)
Regelung:	Keine Angabe
Vorkommende Fischarten (u.a.)	Bachforellen, Meerforelle, Flussneunauge, Lachs diverse Cypriniden, Kleinfische (Groppe, Schmerle etc.)
Abstiegskonzept:	
Technik:	Keine Angaben; Schräg geneigter Wedge-Wire-Screen, Testbetrieb einer Feinstrechenanlage
Aufstiegskonzept:	
Technik:	Keine Angaben
Angaben zur Wasserkraftanlage	
Baujahr Rechenanlage:	2004
Betreiber & Ansprechpartner:	Floecksmühle Energietechnik
Leistung Turbine:	
Produktion:	
Ausbauwassermenge:	ca. 1,7 m³/s
Details Rechen	
Rechenstabweite [lichte Weite]	Lichte Rechenweite der Wedge-Wire-Stäbe: 5,3 mm, Ersatz des alten 20 mm Stabrechens
Anströmgeschwindigkeit:	< 0,6 m/s
Neigung der Rechenvorrichtung:	24°
Finanzierung:	
Kosten der Rechenanlage:	Keine Detailangabe; Höhere Kosten für Planung, Stützkonstruktion und Rechenreinigungsanlage Förderung durch die Deutsche Umweltstiftung
Ergänzende Bemerkungen	
	Der Stababstand ergab sich aus den Liefermöglichkeiten des Herstellers und war nicht fischökologisch begründet. Abschaltung der Turbinen erfolgte während Grundeisbildung Rechen- und Stauverluste siehe DBU 2004 und DUMONT 2005
Funktionskontrolle	Kontrolle Technik: Ingenieurbüro Floeksmühle und Floeksmühle Energietechnik GmbH; Zitat aus Projektkennblatt (DBU 2004) «Es konnte der Nachweis zur fischbiologischen und hydraulischen Funktionstüchtigkeit der Pilotanlage eines Feinstrechen unter einem Rechenstababstand von 5,3 mm an einer kleinen Wasserkraftanlage erbracht werden.» (Siehe auch: www.floeksmuehle.com/img/2723d855f969377d.pdf)

Abb. 62 > Wedge-Wire-Screen



Quelle: Dumont 2005; www.umwelt.nrw.de/umwelt/wasser/baeche/wehre/index.php

Abb. 63 > Wedge-Wire-Screen in Ochtendung bei entleertem Oberwasserkanal

Quelle: Dumont 2005; www.umwelt.nrw.de/umwelt/wasser/baeche/wehre/index.php

A2-7

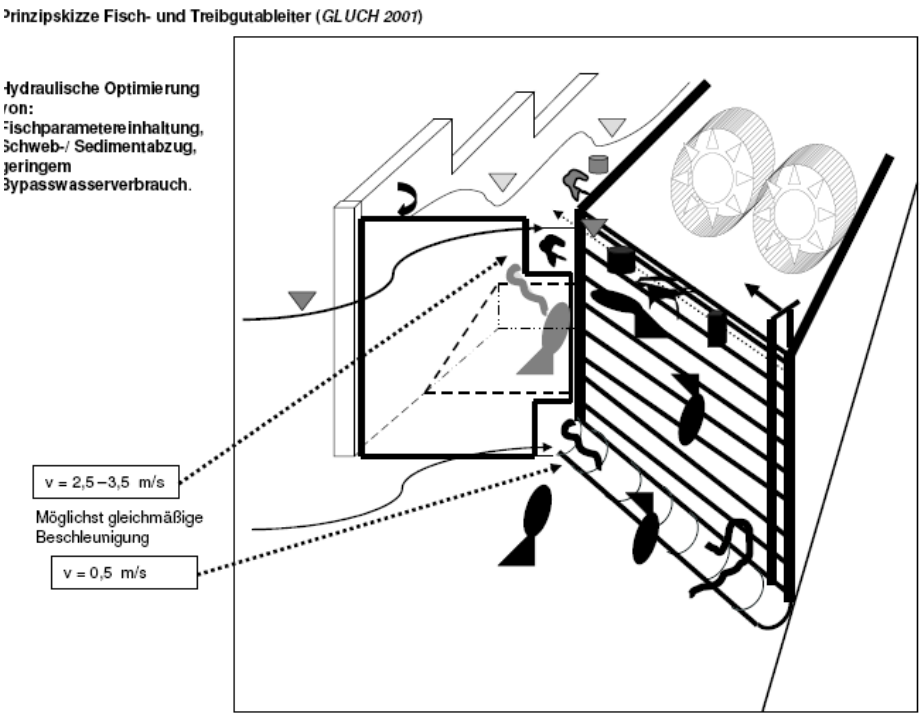
Beispiel 7: WKA Halle-Planena

Tab. 13 > WKA Halle-Planena, Kombinierter Fisch- und Treibgutableiter (Gluch 2001) Sachsen-Anhalt

Lage:	
Gewässer:	Saale, Halle
Verwaltungsbezirke:	Landkreis Saalekreis
Koordinaten:	
Einzugsgebiet:	
Wasserstandskennwerte:	NMQ: 76 cm MQ: 158 cm HQ: 410 cm (Abflüsse: keine Angaben)
Regelung:	Keine Angaben
Vorkommende Fischarten (u.a.)	Potamale Fischarten, inklusive Langdistanz-Wanderfischen
Abstiegskonzept:	
Technik:	Ein horizontaler Stabrechen über einer als Halbschale ausgeführten Sohlleitwand ermöglicht die Weiterleitung von Fischen, Treibgut und Sediment (Sediment bei Tangentialgefälle der Sohle) im permanent offenen Bypassschacht.
Aufstiegskonzept:	
Technik:	Rauhgerinne-Beckenpass
Angaben zur Wasserkraftanlage	
Baujahr Rechenanlage:	Inbetriebnahme: 2006
Betreiber & Ansprechpartner:	Herr Rauch
Leistung Turbine:	Keine Angabe
Produktion:	Keine Angabe
Ausbauwassermenge:	ca. 50 m³/s
Details Rechen	
Rechenstabweite [lichte Weite]	Stababstand Horizontalrechen: 20 mm
Anströmgeschwindigkeit:	< 0,6 m/s
Neigung der Rechenvorrichtung:	ca. 45° zur Flussstromrichtung; tangential angeströmt
Finanzierung:	
Kosten der Rechenanlage:	Keine Angaben
Bemerkungen	
	Spülklappe zum Bypass ist an Sohle (Verlängerung Spülrinne) auf 0,8 m x 0,4 m und an Wasseroberfläche ca. 1 m x 0,4 m permanent geöffnet; Fließgeschwindigkeit (2–2,5 m/s) im Bypass wird über ein kleines Überfallwehr hinter der Spülklappe – vom Unterwasser unabhänig – geregelt, damit auch Wassereinsparung möglich Anpassungen an Rhithralbedingungen sind möglich.
Funktionskontrolle	Kontrolle Fischabstieg durch Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie; Dr. Guntram Ebel, Halle Befunde: Abstieg aller im Potamal vorkommenden Arten und Fischgrößen wurde bei Reusenkontrollen nachgewiesen (Juni 2008: 269 Fische/Tag – beispielsweise: Aale kleiner 2 cm und über 8 cm Durchmesser, Ukelei mit 0,05 m Länge bis Wels 1,62 m Länge

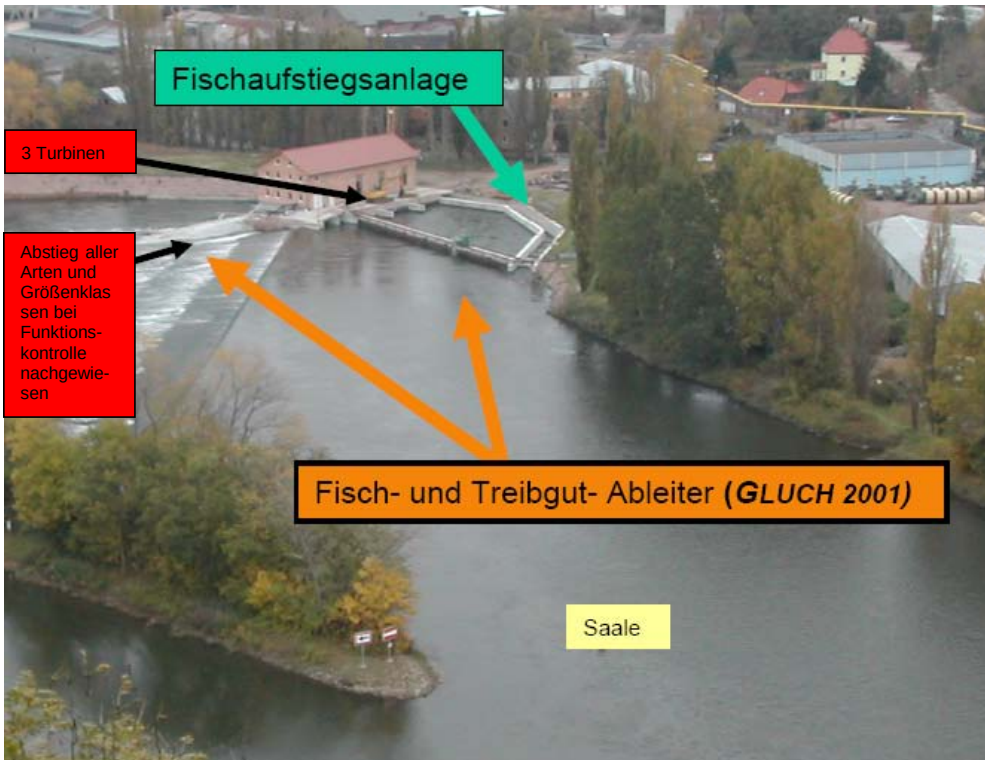
Abb. 64 > Prinzipskizze Fisch- und Treibgutableiter

nach Gluch 2001.



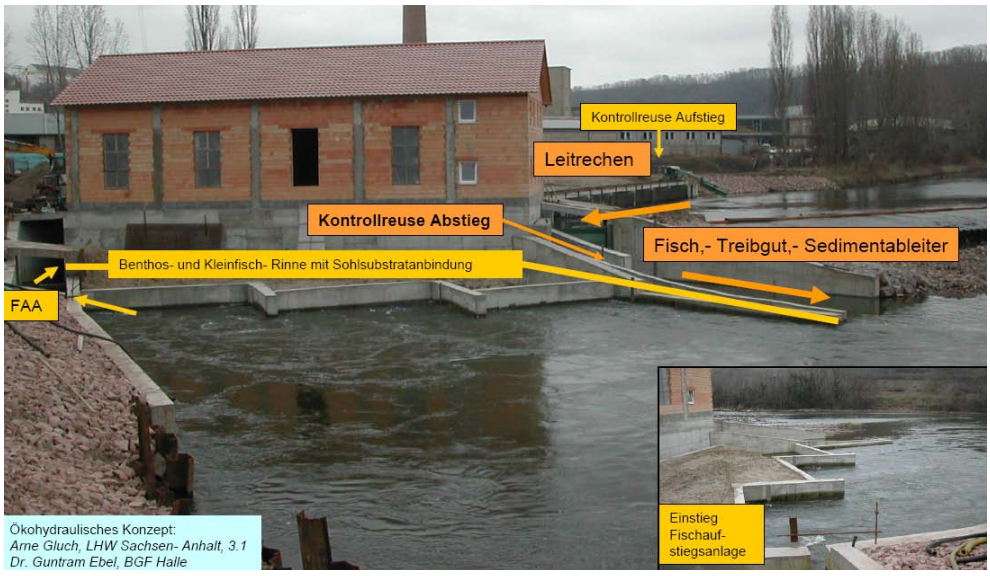
Quelle und Abbildung: Arne Gluch, schriftliche Mitteilung

Abb. 65 > Überblick, Anlage Planena an der Saale



Quelle und Abbildung: Arne Gluch, schriftliche Mitteilung

Abb. 66 > Ansicht von Unterwasser



Quelle und Abbildung: Arne Gluch, schriftliche Mitteilung

Abb. 67 > Detailaufnahmen

vom horizontal angeordneten Rechen.

Ende der Rechenreinigung.

Einstieg in den Bypassschacht.

Quelle und Abbildung: Arne Gluch, schriftliche Mitteilung

Abb. 68 > Detailaufnahmen der Spülklappe

Schlitz oben und unten, Bypass leer.

Schlitz oben und unten, Bypass dotiert.

Schlitz oben, Ansicht Oberwasser.

Quelle und Abbildung: Arne Gluch, schriftliche Mitteilung

Abb. 69 > Überfallwehr im Bypassschacht

Quelle und Abbildung: Arne Gluch, schriftliche Mitteilung

Abb. 70 > Impressionen: Fischabstiegskontrolle

Quelle: Arne Gluch, schriftliche Mitteilung; Fotos: Guntram Ebel

> Literatur

Adam B., Schwevers U. 1998: Zur Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen – Verhaltensbeobachtungen an Fischen in einem Modellgerinne. Wasser und Boden 50 (4), 55–58.

Amaral S. 2003: The Use of Angled Bar Racks and Louvers for Guiding Fish at FERC-Licensed Projects. Presented at FERC Fish Passage Protection Workshop. Alden Research laboratory.

Asce 1995: Guidelines for Design of Intakes for Hydroelectric Plant. American Society of Civil Engineers, New York, 469–499.

ATV-DVWK 2004: Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Arbeitsgruppe WW-8.1. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. 255 S.

Bell M. 1980: General considerations for upstream fish passage facilities. In: Analysis of environmental issues related to small scale hydroelec-tric development II: design considerations for passing fish upstream around dams. Hildebrand S.G. (Hrsg). Oak Ridge National La-boratory, Environmental Sciences Division, Oake Ridge, Tennesee. No. 1567, 47–62.

Blasel K. 2009: Fischereibiologische Funktionsüberprüfung des zirkulierenden Rechens an der Wasserkraftanlage Steinach/Kinzig. Endbericht. Auftraggeber: Regierungspräsidium Freiburg, Landesbetrieb Gewässer und Universität Karlsruhe, Institut für Wasser- und Gewässerentwicklung. 28 S.

Blasel K. 2011: Beobachtung von Lachssmolts an Fischabstiegsanlagen unterschiedlichen Bautyps in Baden-Württemberg. Interner Bericht.

Bomassi P., Travade F. 1987: Projet de réimplantation du saumon dans la partie supérieure de l'Allier: expériences sur la possibilité de dévalaison des saumoneaux au barrage hydroélectrique de Poutès. In: Thibault M., Billard R. La restauration des rivières à saumons, Paris (INRA), 183–194.

Cook T.C., Cain S.A., Fetfatsidis P., Hecker G.E., Stacy P.S. 2000: Final Turbine and Test Facility Design Report. Al-den/NREC Fisch Friendly Turbine. DOE/ID-10821. USA. 24 p.

Courret D., Larinier M. 2008: Guide pour la conception de prises d'eau «ichtyocompatibles».pour les petites centrales hydroélectriques. Rapport GHAAPPE R.A.08.04. 72 p.

Dumont U. 2000: Bericht zum Verhalten eines Wedge-wire-screeen an einer kleinen Wasserkraftwerkanlage. Aachen. Ingenieurbüro Floecksmühle.

Dumont U., Anderer P., Schwevers U. 2005: Handbuch Querbauwerke. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 212 S.

DVWK 1996: Fischaufstiegsanlage; Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau 232, 110 S.

DWA 2005: Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. DWA-Themen, 256 S.

DWA 2010: Merkblatt DWA-M 509. Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätsicherung (Entwurf).

Epri 2001: Evaluation of Angled Bar Racks and Louvers for Guiding Fish at Water Intakes. Epri, Palo Alto, CA and Dominion Millston Laboratories, Waterford C.T. 1005193.

Fredrich F. 1999: Wanderungen und Habitatwahl potamodromer Fische in der Elbe. Statusseminar Eble-Ökologie 2.–5. November Berlin, Tagungsband, 50–53.

Gebler R.J. 1991: Naturgemässe Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fliessgewässer. Diss. Univ. Karlsruhe. Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik, Nr. 181.

Gosset C., Travade F. 1999: Etudes de dispositifs d'aide à la migration de dévalaison des salmonidés: barrières comportementales? Cybium, 23(1), 45–66.

Hassinger R. 2009a: Energieeffiziente künstliche Erzeugung von Leitströmungen bei Fischwanderhilfen. Österreichische Wasser und Abfallwirtschaft, 3–4,32–34.

Hassinger R. 2009b : Energieeffiziente künstliche Erzeugung von Leitströmungen bei Fischaufstiegsanlage. Wasserwirtschaft 6, 35–37.

Höfer R., Riedmüller U. 1996: Fischschäden bei Salmoniden durch Turbinen von Wasserkraftanlagen. Studie im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg. 81 S. + Anhang.

Larinier M. 2002: Location of fishways. Bulletin français de la pisci-culture 364 (supplement), 39–53.

Larinier M., Courret D., Gomes P. 2006: Guide technique pour la conception des passes «naturelles». Rapport Ghaappe R.A.06.05-V1. 66 p.

Larinier M. 2008: Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. Hydrobiologia 609, 97–108.

Larinier M., Porcher J.P., Travade F. Gosset C. 1995: Passes à poissons, expertise, conception des ouvrages de franchisse-ment. Collection Mise au Point. Conseil supérieur de la pêche.

Nemitz A., Steinmann I. 2001: Zum Aufkommen und zur Abwanderung von Lachssmolts im Siegsystem. Unveröffentlichte Studie im Auftrag der LÖBF, 47 S.

Scheuring L. 1929: Die Wanderung der Fische. I. – Ergebn. Biol. 6, 504–691.

Steinmann P., Koch W., Scheuring L. 1937: Die Wanderungen unserer Süsswasserfische, dargestellt auf Grund von Markierungsversuchen. Z. Fischerei 35, 369–467.

Travade F., Larinier M. 1992: La migration de dévalaison: problèmes et dispositifs. Bull. franç. Pêche Piscic. 326/327, 165–176.

Weber et al. 1993: Hydraulics of a new modular fish diversion screen. Holden MA/USA (Alden Research Laboratory).

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1
Eingang beim Laufkraftwerk 14

Abb. 2
Positionierung des Eingangs in Abhängigkeit des Strömungsmusters 15

Abb. 3
Generelles Funktionsschema 17

Abb. 4
Detailschema 17

Abb. 5
Generelles Schema eines Schlitzpasses 19

Abb. 6
Becken mit einem natürlichen Substrat 20

Abb. 7
Rampe in Blocksteinbauweise 22

Abb. 8
Rampe in geschütteter Bauweise 22

Abb. 9
Rampe in aufgelöster Bauweise 22

Abb. 10
Verschiedene Profiltypen von Rechenstäben 27

Abb. 11a
Rechen vom Typ Oppermann 28

Abb. 11b
Rechen vom Typ Oppermann 28

Abb. 12
Detail eines Rechens vom Typ Flügelprofil 28

Abb. 13a
Rechen vom Typ Klewa 28

Abb. 13b
Rechen vom Typ Klewa 28

Abb. 14
Darstellung eines vertikal in Fliessrichtung um einen Winkel α geneigten Rechens 29

Abb. 15
Darstellung eines horizontal in Fliessrichtung um einen Winkel α geneigten Rechens 29

Abb. 16
Rechen vom Typ «Wedge-Wire-Screen» 30

Abb. 17
Dimensionierung eines Rechens «Wedge-Wire-Screen» 31

Abb. 18
Ansicht einer Wasserfassung mit Coanda-Rechen 31

Abb. 19
Detail eines Coanda-Rechens 31

Abb. 20
Lochdurchmesser einer Platte in Abhängigkeit von Länge und Form des Fisches 32

Abb. 21
Stationäre und umlaufende Abschirmung 33

Abb. 22
Der Vektor der Fliessgeschwindigkeit 34

Abb. 23
Funktionsweise des Louvers 35

Abb. 24
Schema eines trompetenförmigen Auslasses 36

Abb. 25
Positionierung von zwei Bypässen mit geneigtem Rechen 36

Abb. 26
Lage des Bypasses von oben gesehen (links) und im Schnitt (rechts) 37

Abb. 27
Kartenausschnitt mit Lage der Anlage im Tal der Elz 43

Abb. 28
Kronenausschnitt im Stabrechen 43

Abb. 29
Oberwasser an der Wehranlage WKA Bleibach 44

Abb. 30
Bypassrinne hinter dem Rechen 44

Abb. 31
Ansicht vom Unterwasser 45

Abb. 32
Kartenausschnitt mit Lage der Anlage im Kinzigtal 47

Abb. 33
Planungsskizze der zirkulierenden Rechenanlage 48

Abb. 34
CR beim ersten Fluten – Details: Lochblech und Kettenstrang 48

Abb. 35
CR – fertige Montage vor dem ersten Fluten 49

Abb. 36
CR bei Turbinenbetrieb eingestaut, Tauchschütz der Abschwemmrinne geschlossen 49

Abb. 37
Tauchschütz öffnet, Fische und Geschwemmsel werden ins Unterwasser abgespült 50

Abb. 38
Tauchschütz öffnet 50

Abb. 39
Spülung über die Bypassrinne 50

Abb. 40
Kopf des Rechens bei ganz geöffnetem Tauchschütz 51

Abb. 41
Mündung der Bypassrinne ins Unterwasser 52

Abb. 42
Mündung der Bypassrinne ins Unterwasser bei Spülung 52

Abb. 43
Kartenausschnitt mit Lage des Entnahmebauwerks an der Schiltach 54

Abb. 44
Gesamtansicht im Oberwasser 54

Abb. 45
Rechenanlage mit Spülrinne und Fischabstiegsmöglichkeit (roter Punkt) – Bauzustand – 55

Abb. 46
Rechenreinigungsanlage 55

Abb. 47
Details der verwendeten Rechenstäbe 56

Abb. 48
Durch Ausschnitt im Schütz permanent dotierte Abstiegsmöglichkeit für Smolts 56

Abb. 49
Fischbypass von rechter Wehrwange, oben (links), und von Unterwasser (rechts) 57

Abb. 50
Gesamtansicht der WKA Schlossmühle von Unterwasser 57

Abb. 51
Kartenausschnitt mit Lage der WKA an der Schiltach 59

Abb. 52
Ansicht vom Oberwasser 60

Abb. 53
Detail-Ansicht des permanent beaufschlagten Fischabstiegsbypass 61

Abb. 54
Ansicht von Fischaufstiegshilfe (Vertical Slot) 61

Abb. 55
Kartenausschnitt mit Lage der WKA Klingenmühle im Murgtal 63

Abb. 56
Horizontalrechen im Bauzustand 64

Abb. 57
Horizontalrechen nach Fertigstellung 64

Abb. 58
Horizontalrechen während der Rechenreinigungsphase 64

Abb. 59
Stauklappe mit permanentem Abfluss 65

Abb. 60
Fischaufstiegsanlage 65

Abb. 61
Zusammenfluss der Teilströme 66

Abb. 62
Wedge-Wire-Screen 68

Abb. 63
Wedge-Wire-Screen in Ochtendung bei entleertem Oberwasserkanal 68

Abb. 64
Prinzipskizze Fisch- und Treibgutableiter 70

Abb. 65
Überblick, Anlage Planena an der Saale 71

Abb. 66
Ansicht von Unterwasser 71

Abb. 67
Detailaufnahmen 72

Abb. 68
Detailaufnahmen der Spülklappe 73

Abb. 69
Überfallwehr im Bypassschacht 74

Abb. 70
Impressionen: Fischabstiegskontrolle 74

Tabellen

Tab. 1
Zurückgelegte Distanzen einiger Karpfenfische, ermittelt aufgrund von Markierungen (nach ATV-DVWK 2004) 11

Tab. 2
Empirische Werte zur Dimensionierung eines Beckenpasses 18

Tab. 3
Empirische Werte zur Dimensionierung eines Schlitzpasses 18

Tab. 4
Empfohlene geometrische und hydrodynamische Parameter in Abhängigkeit von der Längenzonierung des Gewässers 19

Tab. 5
Hydraulische Parameter 23

Tab. 6
Technische Eigenschaften eines Rechens vom Typ «Wedge-Wire-Screen» 30

Tab. 7
WKA Bleibach, Baden-Württemberg 42

Tab. 8
WKA Steinach, Pilotanlage des Bundeslandes Baden-Württemberg 46

Tab. 9
WKA Schlossmühle, Baden-Württemberg 53

Tab. 10
WKA Hofsäge, Baden-Württemberg 58

Tab. 11
WKA Klingenmühle, Baden-Württemberg 62

Tab. 12
WKA Ochtendung, Pilotanlage Rheinland-Pfalz 67

Tab. 13
WKA Halle-Planena, Kombinierter Fisch- und Treibgutableiter (Gluch 2001) Sachsen-Anhalt 69