

**Versuchsanstalt und Prüfstelle für  
Umwelttechnik und Wasserbau  
Universität Kassel**

**Entwicklung und Untersuchung  
einer neuartigen Kombination  
von Fischabstiegsvorrichtung und Rechenreiniger**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt  
gefördert von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt  
(AZ: 27863 – 24/0)

von  
Dr.-Ing. Reinhard Hassinger und Dr. rer. nat. Dirk Hübner

Kassel, 07. Mai 2013

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>27863 - 24/0</b>	Referat	Klimaschutz und Energie	Fördersumme	<b>EUR 66 000,00</b> (nur Phase 1)
<b>Antragstitel</b>	<b>Entwicklung und Untersuchung einer neuartigen Kombination von Fischabstiegsvorrichtung und Rechenreiniger</b>				
<b>Stichworte</b>	Fischschutz, Fischabstieg, Aalabstieg Feinrechen, Rechenreinigung, Durchgängigkeit, Fischwanderhilfe				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>2 Jahre</b>	<b>31.08.2010</b>	<b>31.08.2012</b>	<b>ursprünglich 2</b>		
		verlängert bis <b>28.02.2013</b>	<b>Phase 2 entfallen</b>		
Zwischenberichte	keine				
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Universität Kassel FB Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen Kurt-Wolters-Straße 3, 34109 Kassel			Tel	+49 561 804 3291
				Fax	+49 561 804 2684
				Projektleitg.+Bearbeitg. Dr.-Ing. R. Hassinger	
<b>Kooperationspartner</b>	Klawe Anlagenbau GmbH, Bahnwiesenweg 6, 34281 Gudensberg Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstelle Süd Rudolf-Steiner-Straße 5, 38120 Braunschweig				

### **Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Die Veranlassung für das Entwicklungsvorhaben ergibt sich aus der Tatsache, dass derzeit für den Fischabstieg vor Wasserkraftanlagen nur zwei Konzepte nach dem Prinzip „Fische zu einem Abstiegs-korridor leiten“ angewandt werden, deren Effizienz insbesondere im Hinblick auf einen schnellen Abstieg noch nicht nachgewiesen ist. Diese Bauweisen sind zudem insbesondere bei Nachrüstung im Bestand aufwändig.

Das beschriebene Entwicklungsprojekt hat zum Ziel, die Funktion einer nach dem Prinzip „Fische einfangen und mit dem Rechengut abführen“ arbeitenden neuartigen Rechenreinigung zu entwickeln und im Labor mit lebenden Fischen zu testen. In Projektphase 2 sollte in einer Pilotanlage dieses Funktionsprinzip im realen Umfeld einer Wasserkraftanlage zum Einsatz gebracht und getestet werden.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Das Vorhaben sollte sich in 2 Phasen gliedern:

Phase 1: Laboruntersuchungen: Es wurde ein voll funktionsfähiges System aus Fisch schonendem Rechen, Rechenreinigung und Fischabstieg (Fischhebetrog) aufgebaut und mit allen Antriebselementen und mit der elektronischen Steuerung versehen. Die Steuerung beinhaltete alle Parameter und Funktionen, die auch in der Praxis nötig sind. Die Abmessungen und Parameter dieses Ausschnittsystems entsprachen in der Vertikalen und in der Hydraulik praktisch typischen Naturwerten.

Mit diesem Laborsystem wurden mit lebenden Fischen Verhaltensbeobachtungen durchgeführt, um herauszufinden, wie bestimmte Systemelemente so zu betreiben sind, dass die Fische dieses Abstiegsangebot annehmen. Da der Fischhebetrog in der Vertikalen den gesamten Wasserkörper erfasst, wurden die Versuche mit in verschiedenen Höhen schwimmenden Fischarten (Aale und Gründlinge unten, Lachs-Smolts in der Mitte und Rotaue/Plötze oben) durchgeführt.

Phase 2: Pilotanlage: In Phase 2 war der Test in der Praxis vorgesehen. Dieser Teil kam nicht zur Ausführung, da die ursprünglich vorgesehene Pilotanlage nicht mehr zur Verfügung stand und innerhalb der Projektlaufzeit keine andere Pilotanlage organisiert werden konnte.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Die Ergebnisse waren viel versprechend, denn praktisch alle Fische, die im Einzugsbereich des Fischhebetroges vor dem Rechen standen, wurden vom System aufgenommen und zum Unterwasser abgeleitet. Die Fische wurden ohne Auslösung eines Fluchtreflexes in den Fischhebetrog aufgenommen und zur Oberfläche gebracht.

Die Entleerung stellt sich als kritische Phase heraus, denn durch den Entleerungsstrom wird die Rheotaxis der Fische angesprochen, was dazu führt, dass sie zunächst gegen den Entleerungsstrom anschwimmen und sich nicht mit dem Rechengut aus dem Trog abtreiben lassen. Es zeigte sich aber auch, dass die Fische bei nachlassender Wassertiefe und bei nachlaufendem Wasser nach einer gewissen Zeit die Rinne sehr wohl in Richtung Unterwasser verlassen.

Wenn man davon ausgeht, dass ein abstiegswilliger Fisch in einem Abstand von wenigen Dezimetern vor dem Rechen steht, sollte das System auch in der Praxis eine hohe Effizienz aufweisen. Die Laborversuche ergaben damit eine gute Basis für den versuchsweisen Einsatz des Prinzips in der Natur.

Zur Tauglichkeit des Konzeptes in der Praxis wurden keine Ergebnisse gewonnen, da die dafür vorgesehene Projektphase 2 entfiel.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

In der Laborphase gab es eine Reihe von Besichtigungsterminen. Besonders zu erwähnen ist die Besichtigung im Rahmen einer Tagung am 8. November 2010 mit lebenden Aalen. In der Endphase des Projektabschnitts 1 wurden die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse auch bereits in diversen Vortragsveranstaltungen präsentiert:

R. Hassinger: Umsetzungsprobleme bei der ökologischen Verbesserung von Wasserkraftanlagen. Vortrag beim ad-hoc-Seminar „Fischschutz und Fischdurchgängigkeit“ am 14.05.2012 an der ETH Zürich

R. Hassinger: Hochwertiger Fischschutz: Kombination von modernem Feinrechen mit raschem und schonendem Fischabstieg. Beitrag bei der SVK-Tagung im Mai 2012 in Künzell/Fulda

D. Hübner: Probleme und Lösungsansätze zum Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. Tagungsband 15. Betreueretagung der GFG (Gewässer-Nachbarschaften Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland) im Juni 2011 in Wiesbaden

D. Hübner: Neue Ergebnisse zum Verhalten von Fischen vor Kraftwerksrechen und zum Fischabstieg. Vortrag beim ad-hoc-Seminar „Fischschutz und Fischdurchgängigkeit“ am 14.05.2012 an der ETH Zürich

Die bei dem Projekt gewonnenen Filme und Bilder werden auf der Website der Versuchsanstalt und Prüfstelle zum Download zur Verfügung gestellt: z.B.

<http://www.uni-kassel.de/fb14/vpuw/Download/FischSchonRechen/Lachsabstieg.avi>

## **Fazit**

Zusammenfassend haben die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Projekt dazu geführt, dass sehr gute Aussichten bestehen, mit der kombinierten Rechenreinigung mit Fischabstieg das Problem des Fischschutzes und der Abwärtswanderung von Wanderfischen an Wasserkraftanlagen effizient und mit geringerem Aufwand als bei alternativen Konzepten zu lösen. Die Vorteile gegenüber den derzeit propagierten Systemen sind so groß, dass mit den zur Verfügung stehenden Mitteln wesentlich mehr für den Fischabstieg erreicht werden kann.

Die Ergebnisse und Filmaufnahmen waren so überzeugend, dass ein Lizenznehmer gefunden wurde, der den Fischhebetrog unter der Bezeichnung „Fischlift“ bauen und vertreiben will. Der praktische Einsatz in ersten Pilotanlagen wird derzeit vorbereitet.

## Inhalt

Verzeichnis der Bilder .....	iii
<b>Projektkennblatt</b> .....	<b>i</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>2</b>
1.1 Projektdaten .....	2
1.2 Gegenstand und Projektstruktur .....	2
1.3 Projektpartner .....	2
1.4 Projektablauf .....	3
1.5 Inhalt des Berichts .....	3
<b>2 Problemstellung</b> .....	<b>4</b>
2.1 Allgemeines zur Problematik .....	4
2.2 Konkrete Aufgabenstellung .....	4
<b>3 Bisherige Lösungskonzepte für den Fischabstieg</b> .....	<b>6</b>
3.1 Allgemeines .....	6
3.2 Horizontaler Schrägrechen .....	7
3.3 Geneigter Rechen .....	8
3.4 Zusammenfassung zu bisherigen Lösungen .....	8
<b>4 Lösungskonzept des Fischhebetrogs</b> .....	<b>9</b>
4.1 Grundzüge des Konzepts .....	9
4.2 Bauteile .....	9
4.2.1 Fischhebetrog .....	9
4.2.2 Absenkschütz .....	12
<b>5 Versuchsanlage</b> .....	<b>13</b>
5.1 Grundlegende Festlegungen .....	13
5.2 Geometrische Vorgaben und Versuchsgerinne .....	13
5.3 Hydraulische Randbedingungen .....	13
5.4 Rechen .....	14
5.5 Abstiegs- und Reinigungsrinne (Fischhebetrog) .....	14
5.5.1 Grundstruktur und Höhensystem .....	14
5.5.2 Fischhebetrog .....	16
5.5.3 Abstreifleiste .....	16
5.5.4 Fischschutzkamm .....	16
5.5.5 Absenkschütz .....	16
5.6 Messeinrichtungen .....	18

5.7	Betriebsparameter .....	18
5.7.1	Funktionen der Steuerung .....	18
5.7.2	Ablauf einer Reinigungsfahrt .....	19
5.7.3	Antriebsweise .....	20
5.8	Fischrückhaltevorrichtungen .....	20
5.9	Bau der Versuchsanlage durch den Projektpartner Klawa Anlagenbau GmbH .....	20
6	Laborversuche mit Fischen.....	22
6.1	Zielsetzung .....	22
6.2	Material und Methoden .....	22
6.2.1	Auswahl und Herkunft der Versuchstiere .....	22
6.2.2	Versuchsbedingungen und Ablauf .....	23
6.2.3	Wirkungsmechanismen eines Rechens .....	24
6.2.4	Versuchszonierungen .....	24
6.3	Qualitative Ergebnisse.....	26
6.3.1	Verhalten der Fische vor dem Rechen und außerhalb des Fischhebetrogs .....	26
6.3.2	Reaktionen der Fische bei Start des Fischhebetrogs.....	30
6.3.3	Abfang und Transport der Fische durch den Fischhebetrog.....	32
6.3.4	Abschwemmung der Fische aus dem Fischhebetrog in das Unterwasser .....	35
6.3.5	Fische unter dem Fischhebetrog .....	38
6.4	Quantitative Ergebnisse.....	39
6.5	Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....	41
7	Zusammenfassung der Ergebnisse für Laboranlage.....	43
7.1	Mechanischen Auslegung .....	43
7.2	Antrieb und Steuerung .....	44
7.3	Fischverhalten.....	45
7.4	Bodenrinne und Raum unter dem Fischhebetrog .....	45
8	Vor- und Nachteile des Fischhebetroges .....	46
8.1	Vorteile .....	46
8.2	Nachteile.....	46
9	Information der Öffentlichkeit.....	48
10	Ausblick .....	49
11	Danksagung .....	49
	Literaturverzeichnis.....	53

## Verzeichnis der Bilder

<i>Bild 1: Funktionsprinzip des Fischhebetrogs.....</i>	<i>10</i>
<i>Bild 2: Grundriss des Versuchsstandes.....</i>	<i>15</i>
<i>Bild 3: Längsschnitt des Versuchsstandes.....</i>	<i>17</i>
<i>Bild 4: Aufteilung des Versuchsfeldes in Zonen.....</i>	<i>25</i>
<i>Bild 5: Positionen der Lachssmolts vor dem Rechen.....</i>	<i>27</i>
<i>Bild 6: Rechenkontakte der Smolts bei Anströmgeschwindigkeiten von 0,5 und 0,8 m/s</i>	<i>28</i>
<i>Bild 7: Ankunft Aale am Rechen, Verhalten im Fischhebetrog.....</i>	<i>29</i>
<i>Bild 8: Mitnahme der Smolts beim Aufstellen des Fischschutzkammes.....</i>	<i>31</i>
<i>Bild 9: Transport der Fische (Lachs-Smolts) im Fischhebetrog .....</i>	<i>32</i>
<i>Bild 10: Transport der Aale im Fischhebetrog.....</i>	<i>33</i>
<i>Bild 11: Abfang von Cypriniden vor dem Rechen durch den Fischhebetrog.....</i>	<i>34</i>
<i>Bild 12: Abschwemmung der Smolts aus dem Fischhebetrog .....</i>	<i>35</i>
<i>Bild 13: Abschwemmen der Aale aus dem Fischhebetrog .....</i>	<i>36</i>
<i>Bild 14: Abschwemmen von Rotauge und Gründling aus dem Trog .....</i>	<i>37</i>
<i>Bild 15: Kumulierte Abstiegswahrscheinlichkeiten bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,50 m/s .....</i>	<i>40</i>
<i>Bild 16: Kumulierte Abstiegswahrscheinlichkeiten bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,80 m/s .....</i>	<i>40</i>

## Anhang

Anhang 1: Tabellen A1 bis A3 mit Ergebnissen

Anhang 2: Prospekt der Lizenznehmerin Friedrich Köster GmbH & Co KG, Heide

## Zusammenfassung

Nach dem aktuellen Wasserhaushaltsgesetz müssen an Wasserkraftwerken der Fischschutz und der Fischabstieg verbessert werden. Dies gelingt zuverlässig nur mit feinen mechanisch wirkenden Sperren, also Feinrechenanlagen. Wenn der Weg durch die Turbine zum Vorteil für die Fische versperrt ist, muss ein gefahrloser und leicht zu findender alternativer Wanderkorridor angeboten werden. Hierfür gibt es Lösungen, die nach dem Konzept „Fische leiten“ arbeiten, die jedoch wegen hoher Kosten und nicht nachgewiesener Effizienz derzeit noch nicht überzeugen.

Der im Rahmen dieses Projektes untersuchte Fischhebetrog, der nach dem Funktionsprinzip „Fische abholen“ arbeitet, bietet die Möglichkeit, für den Fischabstieg entscheidende Verbesserungen zu erzielen. Er kombiniert an einem feinen Rechen, der als mechanische Barriere den Fischschutz übernimmt, die Aufgaben der Rechenreinigung und des Fischabstiegs in einer Anlage.

Dieses kombinierte System besteht aus einem vertikal verfahrbaren Trog, der aus einer Ruheposition in oder über der Sohle nach oben gefahren wird, wobei das Rechengut abgeschabt und die Fische im Trog eingesammelt werden. Am Wasserspiegel angekommen wird der Trog seitlich entleert, wobei die Fische in reichlich Wasser zusammen mit dem Rechengut in das Unterwasser geschwemmt werden.

Im Rahmen dieses DBU-Projektes wurde dieses neue Funktionskonzept in einer halbtechnischen Anlage im Labor mit lebenden Fischen untersucht. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Alle Fischarten lassen sich durch das System aufnehmen, solange sie vor dem Rechen stehen. Das Ableiten aus dem Trog, insbesondere der zeitliche Ablauf, muss anhand einer Naturanlage optimiert werden. Besonders sohlorientierte Fische (Aale, Gründlinge, etc.) können unter den Trog geraten. Für diese muss es dort einen separaten Bypass geben, der auch zur Spülung dieser Rinne in der Sohle dienen kann.

Es ist sehr empfehlenswert, das System des Fischhebetrogs durch einen Grobrechen zu schützen.

Für die Software der Steuerungsanlage, den zeitlichen Ablauf, die beweglichen Komponenten am Fischhebetrog und die Einbindung in die Wasserkraftanlage wurden Hinweise für schon im Labor wertvolle Hinweise gewonnen.

Die Versuche zeigen, dass der Fischhebetrog sehr gute Chancen bietet, das Problem des Fischabstiegs an feinen Rechen mit geringerem Aufwand und mit geringem Wasserbedarf zu lösen. Die bei den Versuchen gewonnenen Filmaufnahmen wurden bereits in der Fachwelt interessiert aufgenommen.

Leider stand aus organisatorischen Gründen der ursprüngliche Pilotstandort für die Naturphase des Projekts nicht mehr zur Verfügung. Es gelang auch nicht, während der Laufzeit des DBU-Projektes eine andere Pilotanlage zu organisieren. Kurz vor Fertigstellung dieses Berichtes ergaben sich jedoch weitere Möglichkeiten, dieses Konzept an einem neuen Kraftwerksstandort in der Praxis zu testen. Dort werden annähernd die gleichen Untersuchungen anzustellen sein, die in Projektphase 2 vorgesehen waren. Damit kommen die Ergebnisse aus dem abgebrochenen DBU-Projekt doch noch zeitnah zur Anwendung.

# 1 Einleitung

## 1.1 Projektdaten

Auf Antrag durch die Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau an der Universität Kassel (Projektverantwortlicher) wurde mit Datum vom 31.08.2010 die Förderung des Projektes mit der Nummer 27863-24/0 und dem Titel "Entwicklung und Untersuchung einer neuartigen Kombination von Fischabstiegsvorrichtung und Rechenreiniger " durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt bewilligt.

Die Projektsumme betrug für beide beantragte Phasen zusammen EUR 133 126,00; die komplette Fördersumme betrug EUR 66 000,00. Da aus den weiter unten beschriebenen Gründen die Projektphase 2 nicht durchgeführt wurde, betragen die tatsächlichen Summen wie folgt: Projektsumme Phase 1 EUR 68 124; Förderanteil Phase 1: EUR 33 485; Förderquote 49,15%.

## 1.2 Gegenstand und Projektstruktur

Gegenstand des Projektes war die Entwicklung und Realisierung eines neuartigen kombinierten Rechenreinigungssystems mit Fischabstiegsfunktion. Der Anlass ergab sich aus der Notwendigkeit, an der Rathsmühle in Celle im Zuge der Modernisierung eine Rechenanlage einzubauen, die alle aktuellen Anforderungen hinsichtlich Fischschutz und Fischabstieg erfüllt.

Das ursprünglich vorgesehene Projekt wies eine 2-phasige Struktur auf und sollte in 2 Haupt-Bearbeitungsphasen "Laborversuche" und "Untersuchungen an der Pilotanlage Rathsmühle in Celle" bearbeitet werden. Die Arbeiten waren zwischen diesen beiden Bearbeitungsphasen deutlich unterscheidbar, so dass es weitgehend gelang, auch den Finanzplan in zwei Bearbeitungsphasen anzulegen. Beide Bearbeitungsphasen waren im Finanzplan von den Summen her etwa gleichwertig. Allerdings kam die Phase 2 nicht zur Ausführung, so dass für die Abrechnung nur die Daten der Phase 1 gelten.

## 1.3 Projektpartner

In den vorbereitenden Gesprächen kam man recht schnell zu der Erkenntnis, dass das Ziel eines solchen Projektes nur erreicht werden kann, wenn die universitär angesiedelten Antragsteller als Entwickler des Grundkonzeptes von einem Anlagenbauer und einem planerisch tätigen Partner unterstützt werden.

Als Partner für Anlagenbau wurde die Firma Klawa Anlagenbau GmbH in Gudensberg gewonnen. Als Partner für die Umsetzung war bereits zu Projektbeginn der Niedersächsische Landebetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Braunschweig, engagiert, da der NLWKN die Aufgabe übernommen hatte, für die Rathsmühle in Celle eine ökologische Ertüchtigung zu planen. Im Zuge dieser Planungsaufgabe war die Idee aufkommen, an diesem Standort eine neue Technologie für Fischschutz und Fischabstieg zu erproben, weil man bei den herkömmlichen Techniken funktionelle Probleme befürchtete.

Neben den offiziellen Projektpartnern ist als weiterer Projektbeteiligter das Büro für Fisch- und gewässerökologische Studien (bfs – Dr. Dirk Hübner) in Marburg anzuführen, das für die Durchführung sämtlicher fischbezogener Arbeiten beauftragt wurde.

## 1.4 Projektablauf

Direkt im Anschluss an die Bewilligung wurde mit der Projektphase 1 und mit den Arbeiten im Labor begonnen. In der Projektphase 1 arbeiteten die Antragsteller aus der Universität als Projektverantwortlichen mit dem Projektpartner Klawa GmbH an der Erstellung eines voll funktionsfähigen Systems für den Laboreinsatz (Halbtechnischer Maßstab). Daneben wurde mit dem Projektpartner NLWKN die Planung für die Naturanlage vorangetrieben.

Der Projektfortgang für die Umsetzung der Entwicklung am Standort in Celle gestaltete sich schwierig, da durch Einflüsse von außen, die in der Trägerschaft und Finanzierung für dieses Projekt begründet waren, das Konzept nicht geradlinig weiter verfolgt werden konnte. So ergab es sich, dass dort die ursprüngliche Zielsetzung, eine herkömmliche Lösung wegen erwarteter Probleme zu vermeiden, aufgegeben wurde. Damit entfiel auch die Motivation, am Standort Celle eine neue Methodik des Fischschutzes und Fischabstiegs zu erproben. Die Folge war, dass die Ratsmühle in Celle als Pilotanlage nicht mehr zur Verfügung stand.

Es schloss sich eine intensive Suche nach einem anderen Standort und einer anderen Pilotanlage an. Hierzu wurden viele Kontakte geknüpft, mehrere Anlagen besichtigt und viele Gespräche geführt. Zu dieser Akquisition gehört auch die Bekanntmachung dieses neuen Konzepts auf Tagungen und Wissenschaftlichen Kolloquien.

Jedoch ergaben Verhandlungen mit möglichen Bauherren kein gemeinsames Projekt, an dem die Projektphase 2 hätte durchgeführt werden können. Hauptgrund war, dass derzeit noch einfachere Lösungen für Fischschutz und Fischabstieg genehmigt werden, von denen man aber bereits heute weiß, dass sie die Anforderungen nach EEG und WHG nicht auf Dauer erfüllen werden. Die behördliche Genehmigung erfolgt in Ermangelung nachgewiesenermaßen effizienter und bewährter besserer Lösungen.

Somit wurde im Oktober 2012 beschlossen, das hier beschriebene DBU-Projekt nach Phase 2 abzuschließen. Dies bedeutet nicht, dass der Anlass für eine weitere Entwicklung der Technologie des Fischhebetrogs entfallen wäre, denn die bekannten Konzepte sind alle noch nicht überzeugend. Zu den Funktionsschwächen herkömmlicher Systeme finden sich weiter unten eingehendere Erläuterungen.

Zum Projektverlauf gehört jedoch die Information, dass kurz nach Entscheidung über den Abbruch des Projektes nach Phase 1 noch während der Bearbeitungszeit des vorliegenden Berichtes dann doch ein Standort für den Einsatz des Fischhebetrogs gefunden wurde. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse haben hierbei einen entscheidenden Anteil gehabt.

## 1.5 Inhalt des Berichts

Der nachstehende Bericht beschreibt die Problematik des Fischschutzes und Fischabstiegs an Wasserkraftanlagen, die bekannten Technologien für den Fischabstieg, die Merkmale eines neuen kombinierten Systems für Rechenreinigung und Fischabstieg (Fischhebetrog), das Gegenstand des DBU-Projektes war, die im Labor durchgeführten Arbeiten, die im Wesentlichen auf Verhaltensbeobachtungen von Fischen basieren, sowie die Ergebnisse und Erkenntnisse für den Einsatz in der Praxis.

## 2 Problemstellung

### 2.1 Allgemeines zur Problematik

Das Problem des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen ist schon lange bekannt. So werden turbinenbedingte Schädigungen von Fischen bereits seit geraumer Zeit eingehend untersucht (z.B. Holzner, 2000). Auch das Verhalten der Fische an Rechenanlagen ist seit langer Zeit Gegenstand von Labor- und Freilanduntersuchungen (z.B. Adam et. al., 1997). Fazit dieser Untersuchungen ist, dass Verhaltensbarrieren (Licht, Schall, Infraschall, Luftblasen, etc.) nur eingeschränkt, da temporär oder artenselektiv, wirken. Man versucht auch, das Problem durch die Entwicklung fischschonender Turbinen zu lösen. Jedoch ist deren Einsatz im Bestand nur bei anstehenden Kompletterneuerungen denkbar. Außerdem ist es fraglich, ob Turbinen, bei denen starke Druckveränderungen und hohe Beschleunigungen vermieden werden, einen so hohen Wirkungsgrad erreichen werden, dass die Einbußen bei der Stromerzeugung auf Dauer geringer sind als die alternativen Aufwendungen für einen effektiven Fischschutz.

Diese Problematik ist nun allgemein als Hindernis bei der ökologischen Verbesserung der Wasserkraftanlagen erkannt worden. Deshalb wurde vom Umweltbundesamt (UBA) kürzlich das Forum Fischschutz und Fischabstieg ins Leben gerufen, dessen Einführungsveranstaltung und erster Workshop bereits stattgefunden haben und der im Januar 2013 fortgesetzt wurde. Dies zeigt, dass die Fachwelt die derzeit praktizierten Bauweisen nicht als Lösungen ansieht.

Nach derzeitigem Stand kann ein effektiver Fischschutz nur erwartet werden, wenn ein Feinrechen als mechanische Barriere einen Stababstand von nicht mehr als 12 mm aufweist. Als optimal werden 10 mm Stababstand angesehen. Gleichzeitig mit der Absperrung des Turbinendurchgangs muss dem Fisch eine alternative Abstiegsmöglichkeit angeboten werden, die er rasch und ohne unnötigen Energieaufwand finden und annehmen kann.

### 2.2 Konkrete Aufgabenstellung

Als Postulat hat die Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau die Zielsetzung des Fischschutzes und Fischabstiegs wie folgt formuliert (Hassing, 2012):

„90 Prozent der wanderstimmig ankommenden Fische sollen innerhalb einer Stunde das Unterwasser ohne Erschöpfung und ohne Verletzung erreichen.“ Dies war und ist auch erklärte Zielsetzung für das hier beschriebene Projekt.

Die hierin enthaltenen Forderungen lauten isoliert formuliert:

- a) Unter Fischabstieg an Wasserkraftanlagen ist die Passage vom Ober- zum Unterwasser von denjenigen Fischen zu verstehen, die eine definierte Wanderung durchführen. Die Abdrift von Brütlings und kleinen Jungfischen ist damit nicht gemeint.
- b) Wanderstimmig ankommende Fische sollen vor dem Eintritt in die Turbinen so effektiv geschützt werden, dass deutlich weniger als 10% in die Turbinen gelangen. Dazu werden Stababstände oder Lochgrößen von max. 12 mm, besser 10 mm benötigt.

- c) Die Strömung vor dem Rechen muss so langsam sein, dass die Fische sich über längere Zeit darin aufhalten können, ohne ihre Energiereserven aufzubrauchen.
- d) Die Fische müssen innerhalb etwa einer Stunde einen Abstiegskorridor erreichen und annehmen.
- e) Die Fische dürfen bei der Abwanderung nicht durch Hindernisse, scharfe Kanten, extreme hydraulische Beanspruchung, zu flaches Wasser o.Ä. beschädigt werden.
- f) Die Fische sollen das Unterwasser in einem Zustand erreichen, wo sie gegen dort lauernde Fressfeinde eine realistische Chance haben.

Die mechanische Rückhaltung der Fische ist insofern problematisch, als feine Rechen derzeit in größeren Anlagen noch als nicht einsetzbar angesehen werden. Diese in der Wasserkraftbranche ausgeprägte Auffassung basiert auf der Befürchtung, dass

- die feinen Rechen zu hohe Verluste aufweisen,
- dass sie gegenüber grobem Treibzeug zu empfindlich sind,
- und dass die großen Mengen an herausgefiltertem Rechengut nicht beherrschbar sind.

Bei der Beschreibung des im Projekt zu untersuchenden Konzeptes wird erläutert, ob und wie diese erwarteten Probleme gelöst werden können.

Die in dem hier beschriebenen Projekt in der Phase 1 zu lösende Aufgabe bestand also darin, eine Rechenreinigung für feine Kraftwerksrechen zu konzipieren, zu bauen und im Labor zu testen, die gleichzeitig die Aufgabe erfüllt, abstiegswillige Fische zusammen mit dem Rechengut in das Unterwasser mitzunehmen.

## 3 Bisherige Lösungskonzepte für den Fischabstieg

### 3.1 Allgemeines

Wenn man davon ausgeht, dass das Eindringen der Fische in die Turbinen wirksam verhindert wird, kann man für das Ableiten der Fische in zu einem Abstiegskorridor 4 grundlegende Ansätze unterscheiden, nämlich

1. den Fischen lediglich einen seitlichen oberflächen- oder sohnahen Bypass anbieten (Verbindungsleitung zum Unterwasser, offen oder geschlossen),
2. Fische über den Rechen abschwemmen,
3. Fische zu einem Bypass leiten,
4. Fische einsammeln und abtransportieren.

Das erstgenannte Konzept einfacher Bypässe wurde vielfach gebaut, es liegen aber keinerlei positive Effizienznachweise vor. Stattdessen ist aus hydraulischen Gründen offensichtlich, dass die Fische diese Abstiegskorridore nur nach langem Suchen oder zufällig finden können. Die Gründe liegen darin, dass eine Senkenströmung in die Bypässe hinein ihr Wasser von überall bezieht und deshalb die Zuströmkomponenten in geringem Abstand von der Einlauföffnung bereits sehr gering sind. Diese geringen Geschwindigkeitskomponenten von wenigen cm/s gehen im allgemeinen Strömungsfeld in die Turbinen hinein unter. Um diesen Effekte teilweise zu kompensieren, werden für Bypässe vergleichsweise große Durchflüsse gefordert. Allerdings führt dies zu einem Wasserverlust für die Turbine und zu einer Mindererzeugung elektrischer Energie, ohne das Grundproblem zu lösen.

Die Literatur zeigt (Blasel 2010, Calles et. al. 2012), dass solche Bypässe erst nach langen Such- und Wartezeiten angenommen werden. Die Zielsetzung einer raschen Abwanderung ohne Erschöpfung der Fische ist damit nicht sicher erfüllbar.

Weiterhin haben besonders die in halber Höhe oder am Grund ansetzenden Bypässe das Problem, dass sie mit Treibholz verklausen, ohne dass dies gleich auffällt. Derartige Verklausungen ohne Gefahr für Leib und Leben zu beseitigen, ist kaum möglich, da die Einläufe nur mit großem Aufwand trockengelegt werden können.

Diese vielfach gebauten Bypässe bieten deshalb kaum eine Chance eines effizienten Fischabstiegs und werden deshalb nicht weiter betrachtet.

Die zweitgenannte Strategie beruht darauf, dass der Fisch durch eine hohe Geschwindigkeitskomponenten parallel zu den Rechenstäben zu einem oben liegenden Rinnensystem gespült wird. Sie wird allgemein als nicht zielführend angesehen, da sie selektiv wirkt und einen hohen Wasserverbrauch mit sich bringt. Eine weitere Betrachtung erübrigt sich in diesem Zusammenhang.

Die dritte Gruppe basiert auf der Idee, den Rechen zur Strömung schräg zu stellen, um bei der Durchströmung eine tangentielle Geschwindigkeitskomponente zu erzielen, die den Fisch zur weiter unterstrom liegenden Kante des Rechens zu leiten, an der sich der Einstieg zum Wanderkorridor befindet (Pavlov, 1989 und Travade u. Larinier, 2002). Diese Gruppe untergliedert sich in die Rechen, die in Strömungsrichtung geneigt sind, und in die horizontalen Schrägrechen, die im Grundriss eine zur Strömung schräge Anordnung aufweisen. Für beide Ausbildungen einer Schrägstellung wurden von Larinier und Travade (2002) hydraulische

sche Forderungen formuliert. Diese Konzepte sollen nachstehend einer weitergehenden Betrachtung unterzogen werden.

### 3.2 Horizontaler Schrägrechen

Bei den Horizontalrechen mit liegenden Stäben soll nach Larinier und Travade (2002) die Strömung den Rechen unter maximal 45 Grad schneiden (Winkel zwischen Stromlinie und Rechenebene). Dies soll sicherstellen, dass über der gesamten Rechenfläche eine leitende Komponente (Tangentialkomponente) zum Abstieg vorhanden ist. Diese Lösung wurde in Deutschland von der Saale ausgehend inzwischen an mehreren Standorten umgesetzt und teilweise auch untersucht (Gluch, 2007). Wegen der als positiv eingeschätzten absoluten Abstiegszahlen wird dieses Konzept insbesondere von den Behörden einiger Bundesländer als (bevorzugt) genehmigungsfähig betrachtet. Allerdings ist in der Fachwelt auch die Meinung verbreitet, dass dieses Konzept keineswegs als allgemein zu empfehlende Lösung des Problems anzusehen ist, da Einzeluntersuchungen von langen Aufenthaltszeiten der Fische berichten. Die in Vorträgen vorgestellten Funktionskontrollen (Ebel, 2010) lieferten leider keine Informationen über den Zeitverzug oder die Gesamteffizienz.

Aus hydraulischer Sicht sind drei Aspekte von Bedeutung:

- Wenn der Grobrechen aus einem großflächigen Oberwasser angeströmt wird, ist es kaum möglich, die Grundbedingung (alle Stromlinien schneiden den Rechen unter maximal 45 Grad zur Rechenfläche) einzuhalten.
- Wenn hinter einem Schrägrechen zwei Turbinen angeordnet sind, von denen nur eine läuft, wird die benötigte Leitwirkung möglicherweise gestört.
- Schräge Rechen richten bei höheren Rechenverlusten, also bei Belegung, die Strömung so aus, dass im Unterstrom möglicherweise eine asymmetrische Anströmung der Turbinen verursacht wird.

Es werden deshalb derzeit noch Laborversuche zur Funktion, zu den hydraulischen Eigenschaften und zum Verhalten der Fische durchgeführt (Boes, 2012).

Die Gründe für einen für notwendig gehaltenen Forschungsbedarf sind:

- Es liegen keine Effizienznachweise im Sinne des oben formulierten Postulats vor.
- Aus hydraulischen Gründen ist die Forderung, dass alle Stromlinien unter 45 Grad oder weniger schneiden, nur in den seltensten Fällen erfüllbar.
- Die Rechenlängen werden sehr groß, so dass der Weg zum Abstieg sehr lang sein kann.
- Die große Rechenlänge bedingt auch einen langen Fahrweg für die Rechenreinigung und damit ein langes Reinigungsintervall, das bei Laubfall Probleme machen kann.
- Der horizontale Schrägrechen ist vergleichsweise aufwändig und teuer.
- Es ist zwar nur eine Rechenreinigung erforderlich, aber in vielen Fällen sind zusätzlich sind Mittel (z.B. Hydraulik-Bagger) zum Umgang mit grobem Rechengut (Treibholz, etc.) erforderlich.

### 3.3 Geneigter Rechen

Die Funktion basiert auf der Vorstellung, dass die Fische durch den allmählich ansteigenden Rechen noch oben geleitet werden, wo sie über eine oberflächennahe Rinne absteigen können. Die hydraulische Forderung für diese Anordnung lautet (Larinier & Travade 2002), dass die tangentielle Komponente der Geschwindigkeit doppelt so groß sein soll wie die Normalkomponenten durch den Rechen. Daraus resultiert ein kleiner Winkel von etwa 26 bis 30 Grad zwischen Anströmung und Rechenfläche. Der gegenüber dem horizontalen Schräggehen kleinere Winkel basiert vermutlich auf der Tatsache, dass viele Fischarten sich weigern, an die Oberfläche gebracht zu werden. Die typische Berandung der Strömung, nämlich eine ebene Sohle und ein horizontaler Wasserspiegel, die die Stromlinien weitgehend horizontal verlaufen lassen, sorgen im Prinzip für den gewünschten Schnittwinkel zwischen Stromlinien und Rechen. In der Nähe der Oberfläche liegt jedoch dadurch eine Störung der Leitwirkung vor, dass wegen der im Wasser liegenden Abschwemmrinne eine Einschnürung mit entsprechender Umlenkung der Stromlinien vorliegt. Blasel (2010) hat hierfür beobachtet, dass die Leitwirkung bei Lachs-Smolts nur bis zum oberen Rand der durchströmten Rechenfläche reicht. Dort stehen die Fische und es ist das Problem zu lösen, dass die Fische von hier zu den weiter oben liegenden Abstiegskorridoren finden müssen. Auch hierbei wird erheblicher Forschungsbedarf gesehen, denn es wurde zur Klärung der Funktion ein aufwändiges Projekt „Unkelmühle“ begonnen (Rhein-Sieg-Anzeiger, 2012). Dieses ist inzwischen in Betrieb genommen. Mit Ergebnissen ist frühestens im Jahr 2014 zu rechnen.

Die Nachteile dieses Konzeptes des Leitens nach oben sind:

- Große Rechenfläche, erheblicher Platzanspruch im Oberwasser,
- aufwändiger Unterbau des Rechens,
- große Probleme bei der Einhaltung der hydraulischen Forderung eines bestimmten Schnittwinkels zwischen Stromlinie und Rechenfläche ist am oberen Rand des Rechenfensters,
- selektive Wirkung; zusätzliche Notwendigkeit eines Aalabstiegs,
- keine Anrechenbarkeit der großen Rechenfläche zum Nachweis einer ausreichend kleinen Anströmgeschwindigkeit (ATV-DVWK, 2006),
- große und weit ausladende Rechenreinigung,
- zusätzliche Maßnahmen zum Umgang mit grobem Treibzeug erforderlich.

### 3.4 Zusammenfassung zu bisherigen Lösungen

Die oben stehenden Ausführungen zeigen, dass einfache Konzepte untauglich sind und dass Lösungen, die eine gewisse, jedoch in der Effizienz nicht nachgewiesene Wirkung zeigen, sehr aufwändig und teuer sind und im Bestand kaum wirtschaftlich nachgerüstet werden können. Deshalb ist es zur Erreichung der ökologischen Ziele der Europäischen Wasser-Rahmenrichtlinie, des Wasserhaushaltsgesetzes und des Erneuerbare-Energien-Gesetzes dringend nötig, andere Lösungen weiter zu entwickeln.

## 4 Lösungskonzept des Fischhebetrogs

### 4.1 Grundzüge des Konzepts

Der im Projekt untersuchte Fischhebetrog basiert auf folgenden funktionellen Grundsätzen:

- a) Die zielgerichtete Behandlung von Fischen und Rechengut ist nur möglich, wenn sie nicht durch grobes Treibzeug gestört wird. Deshalb sollte das grobe Treibzeug an einem vorgeschalteten Grobrechen abgefangen und dort separat entsorgt werden. Da dieses überwiegend aus Holz besteht, werden sich vermutlich Möglichkeiten ergeben, diesen Anteil praktisch kostenlos als Brennmaterial zu entsorgen. Die Tatsache, dass der grobe Zivilisationsmüll dann noch zu entsorgen ist, sollte eher positiv bewertet werden. Die Mengen werden jedoch in der Regel überschaubar sein.
- b) Das Funktionskonzept beruht auf dem Prinzip des Einsammelns und Ableitens. Dies hat den Vorteil, dass die Fische nicht suchen müssen und der zeitliche Ablauf des Abstiegs durch den einstellbaren Arbeitsrhythmus des Systems vorgegeben ist. Fische und feines Rechengut sollen zusammen von der gesamten Rechenfläche aufgenommen und behutsam in das Unterwasser ab gespült werden. Damit werden Fische, die sich überwiegend an der Sohle orientieren, genauso erfasst wie oberflächennah schwimmende Fische.
- c) Der Rechen sollte ein moderner Rechen mit strömungsgünstigem Profil sein. Diese Rechen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie einen verdickten Kopf haben, der für die Reinigung vorteilhaft ist, weil alle Partikel, die den Rechen nicht passieren können, relativ nah an der Oberfläche liegen bleiben. Dort können sie mit einer einfachen, glatten Abstreifleiste oder einer Bürste abgestreift werden.
- d) Behutsames Ableiten der Fische in einem langsam durchströmten Rinnensystem. Die überschüssige Höhe zum Unterwasser hin wird durch einen Absturz in tiefes Wasser überwunden. In Einzelfällen können Fische und Rechengut auf kurzem Weg in eine Fischaufstiegsanlage abgeleitet werden.
- e) Für den Fischabstieg soll nur so wenig Wasser verwendet werden, wie zum ordnungsgemäßen Betrieb notwendig ist. Ein permanentes Ablassen von Wasser durch Abstiegskorridore, die nicht gefunden werden, ist nicht zielführend.

### 4.2 Bauteile

#### 4.2.1 Fischhebetrog

Das System des Fischhebetrogs ist in der nachfolgenden Skizze (Bild 1) dargestellt. Sie zeigt den Fischhebetrog in 3 Stadien der Bewegung, nämlich in der Grundstellung in der Bodenrinne, bei der Aufwärtsfahrt, bei der Entleerung und bei der Abwärtsfahrt.

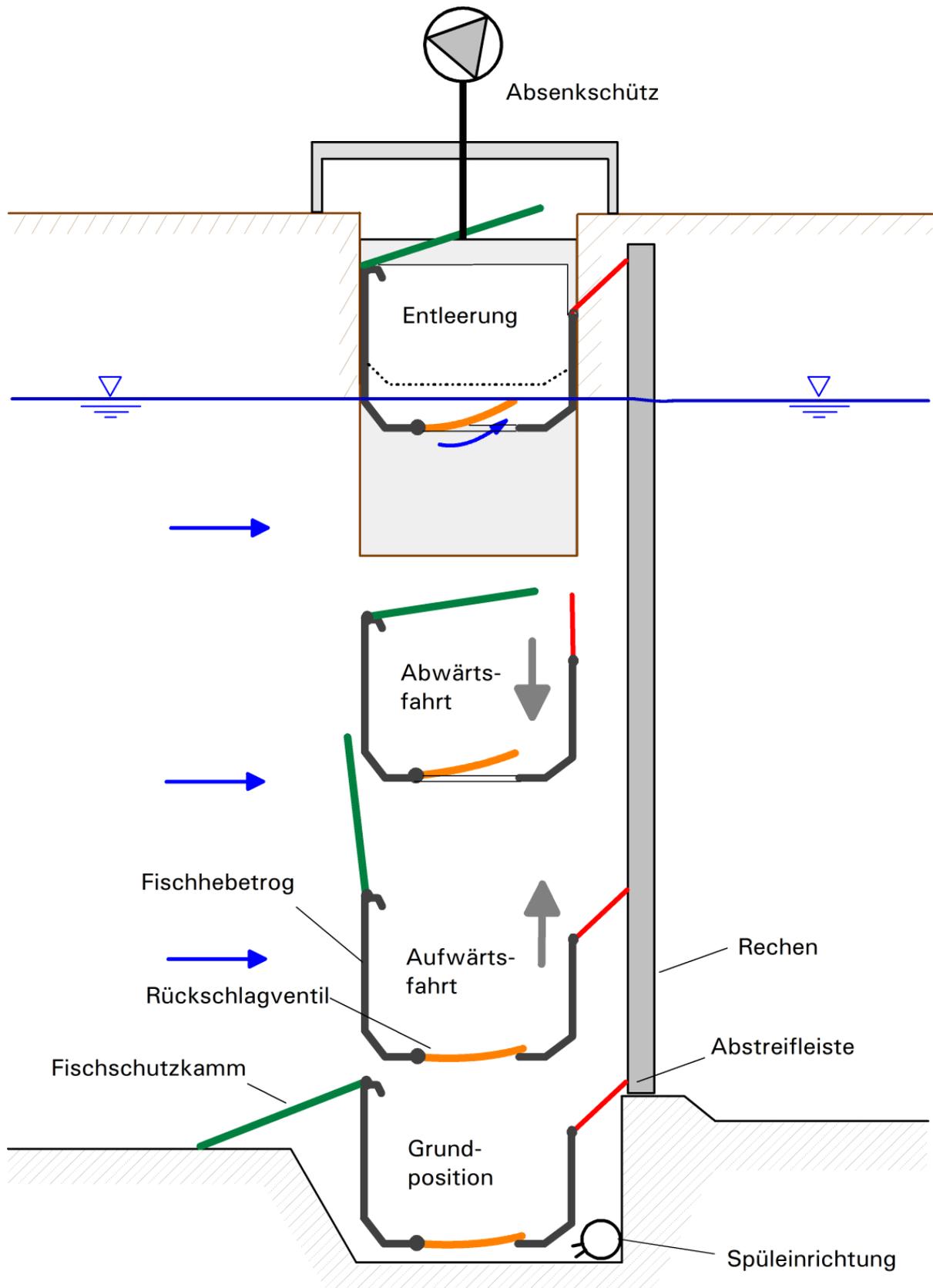


Bild 1: Funktionsprinzip des Fischhebetrogs

Das System besteht aus folgenden Bauteilen (siehe Bild 1):

1. Hauptkomponente ist eine vertikal verfahrbare Rinne, auch Fischhebetrog genannt, die auf der Oberwasserseite des Rechens angeordnet ist. Diese ist in ihrer Grundstellung teilweise in der Sohle versenkt, um wenig Strömungswiderstand zu bieten. Die Rinne wird parallel zur Rechenebene geführt.
2. Zum Abstreifen des Rechengutes in die Rinne dient eine Kunststoffleiste, die gefedert aufliegt und von der Rechenfläche weggeschwenkt werden kann. Diese löst den Belag auf dem Rechen, er rutscht in die Rinne und wird dort bis zum Ausschwemmen im Wasser angesammelt. Um bei den unvermeidlich unebenen Rechenoberflächen eine gute Reinigung zu erzielen, sollte diese Abstreifleiste elastisch aufliegen. Bei der Fahrt nach unten sollte sie von der Rechenfläche abgehoben werden können.
3. Als schwenkbare Verbindung zwischen Oberwassersohle und Rinne dient eine kammähnliche Konstruktion (Fischschutzkamm), die aus Fiberglasstäben besteht, die in ein drehbares Rohr eingesetzt sind. Dieser Fischschutzkamm hat folgende Funktionen:
  - Pos. auf der Oberwassersohle: Bilden einer Verbindungsrampe für sohlorientierte Fische
  - Pos. senkrecht nach oben: Erzeugung eines Strömungsschattens im Bereich über dem Fischhebetrog. Dieser hilft den Fischen und reduziert die Auflagekraft von Rechengut und Fischen im Moment des Abstreifens.
  - Pos. schräg zum Rechen hin geschwenkt: Verhinderung des Herausspringens von Fischen und Schutz der Fische in der Rinne vor Fressfeinden aus der Luft.
  - In dieser Position ist der Kamm auch vor Zerstörung geschützt und bietet wenig Strömungswiderstand.
4. Zum Entleeren des Troges dient ein Absenkschütz, das in der Grundstellung den Einlauf zu einer seitlich angeordneten Ableitrinne absperrt. Wenn der Trog eine Position am Wasserspiegel erreicht hat, gibt das Absenkschütz den Abfluss aus dem Fischhebetrog frei. Wenn dann der Trog zur Entleerung langsam weiter angehoben wird, muss das Schütz langsam nachgezogen werden, um den entstehenden Spalt zwischen Trogboden und Schützkante zu verschließen.
5. Im Rinnenboden sind Öffnungen angeordnet, die mit einseitig angeklebten Folienstücken abgedeckt sind. Die Folienstücke (Planenstoff) wirken als Rückschlagklappe. Sie lassen Wasser von unten eintreten, wenn die entleerte Rinne wieder abgesenkt werden soll. Ohne diese Befüllungsmöglichkeit würde die Rinne schwimmen und nicht absinken. Daneben kann am Ende der Entleerung durch diese Öffnungen Wasser nachfließen, um in einer Nachspülphase den Nachzüglern beim Fischabstieg ein dauerhaftes Wasserpolster zu bieten.
6. Die Antriebselemente müssen den Trog vertikal verfahren und die beiden schwenkbaren Komponenten Abstreifrinne und Fischschutzkamm antreiben. Hierzu dienen vorzugsweise hydraulische Dreh-Antriebe. Die beiden beweglichen Elemente Abstreifleiste und Fischschutzkamm sollen in der Warteposition gefedert in einer Posi-

tion nahe der Endstellung stehen. Der Fischschutzkamm soll auf der Oberwasserseite aufliegen, während die Abstreifleiste ebenfalls gefedert auf der Rechenfläche liegt. Dies ist auf einfache Weise möglich, indem in den ölhydraulischen Antrieb eine starke Rückstellfeder integriert wird. Der hydraulische Antrieb kann demnach einseitig wirken, wodurch u.U. eine Ölrückleitung gespart werden kann.

7. Der Antrieb des ganzen Hebetroges kann durch Seilwinden oder umlaufende Ketten erfolgen. Eine Zwangsführung nach oben und unten ist dann nötig, wenn wegen hoher Zulaufgeschwindigkeiten die Strömungskräfte so groß sind, dass die Gefahr besteht, dass die Rinne wegen beschränkten Eigengewichts und hoher Reibung nicht von selber abwärts fährt.
8. Für die hydraulischen Antriebe ist eine Ölzufuhr von oben möglich, wobei die Ölschläuche über gefederte Schlauchaufroller dosiert nachgeführt werden. Die Schläuche laufen dabei geschützt in einer Nische.

#### 4.2.2 Absenkschütz

Das Absenkschütz hat die Aufgabe, den Fließweg für die Entleerung des Troges dosiert und fein steuerbar freizugeben. Es wurde ein Absenkschütz gewählt, da dieses von der Strömung als Überfall passiert wird, in dem die Beschleunigungen und Geschwindigkeiten kleiner und die Querschnittsflächen größer sind als bei einer Schützunterströmung. Da die obere Begrenzung der Stromröhre ein freier Wasserspiegel ist, können Fische nicht verletzt oder eingeklemmt werden.

Das Absenkschütz kann in der Praxis eine Schürze erhalten, die eine Rutsche in den weiterführenden Kanal bereitstellt. So wird verhindert, dass beim Anlaufen der Überfallströmung Fische relativ steil auf die Sohle der Ableitrinne fallen.

Das Absenkschütz wird bei der Entleerung zunächst soweit abgesenkt, dass es mit seiner Oberkante mit der Sohle der Rinne fluchtet. Wenn bei der Entleerung des Troges dieser langsam aus dem Wasser gehoben wird, muss das Absenkschütz in gleichem Maße angehoben werden, um unter der Rinne keine Öffnung entstehen zu lassen, durch die Wasser unkontrolliert ablaufen würde. Durch diese betriebsweise wird ein kantenfreier Übergang am Ende der Rinne sichergestellt.

Das Absenkschütz wird immer mit einem festen Höhenbezug zum Fischhebetrog bewegt, der wiederum mit bei der Entleerung höhenmäßig an den Oberwasserspiegel angepasst wird. Wenn die weiterführende Bypassrinne ein festes Niveau hat und der Fischhebetrogboden mit Absenkschütz eine variable Höhe haben, gibt es am Übergang zeitweise einen kleinen Absturz. Ob dieser Absturz mit einer beweglichen Rutsche zu überbrücken ist, muss im Naturversuch geklärt werden.

## 5 Versuchsanlage

### 5.1 Grundlegende Festlegungen

Generell gilt, dass neuere Wasserkraftwerke automatisch arbeiten und nicht ständig mit Personal besetzt sind. Deshalb ist es unverzichtbar, dass das im Projekt untersuchte System mit Fischeschonrechen und Fischhebetrog automatisch arbeitet. Deshalb und wegen der Komplexität der zeitlichen Abläufe ist eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) unumgänglich.

Typischerweise sind Anlagen rund um die Wasserkraft auf sehr lange Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten auszulegen. Deswegen ist das Konzept so angelegt, dass alle Funktionen mit langlebigen und vollständig wasserfesten bzw. nichtrostenden Komponenten bestückt sind.

Die Komponente mit der kürzesten Lebensdauer dürfte die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) sein, die im Mittel etwa 15 Jahre hält. Diese vergleichsweise kurze Lebensdauer trifft aber auch für die anderen elektronischen Komponenten der Wasserkraftanlage zu (Turbinenregler, etc.), so dass hier durch den Fischhebetrog kein außergewöhnlich kurzlebiges Bauteil in die Anlage eingebracht wird.

### 5.2 Geometrische Vorgaben und Versuchsgerinne

Die Versuchsanlage wurde im großen Rücklaufkanal der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau eingebaut. Dieser Kanal ist 2,00 m breit und ab dem Hallenboden gemessen 3,50 m tief. Um die erforderlichen Strömungsgeschwindigkeiten zu erreichen, musste die Rinne im Bereich des Versuchseinbaus auf 1,00 m verengt werden. Hierzu diente eine Trennwand aus Kunststoff, die an einer Unterkonstruktion aus Edelstahl-Kastenprofilen befestigt war. Die Grundkonstruktion stammte teilweise aus einem älteren Versuchsprogramm zum Studium der Verhaltensweise von Fischen in Abhängigkeit von Anströmgeschwindigkeit und Stababstand (Hübner et. al., 2011).

In Bild 2 ist der Grundriss der Versuchsanlage dargestellt. Bild 3 zeigt den zugehörigen Längsschnitt.

Üblicherweise sollte der Fischhebetrog in der Ruhestellung in einer Rinne in der Sohle liegen, damit die freie Rechenfläche möglichst groß ist. Dann kann der Fischeschutzkamm in seiner Funktion als Verbindungsrampe auch gut mit einem relativ flachen Winkel auf die Sohle gelegt werden. Im dies auch im Labor zu realisieren, wurde auf der Sohle eine Sohlerrhöhung angeordnet, die mit einer Höhe von 0,20 m vor dem Rechen eine gleich tiefe Bodenrinne erzeugte, in die die Fischheberinne abgesenkt werden konnte.

### 5.3 Hydraulische Randbedingungen

Die Füllung (Wassertiefe) bei ruhendem Wasserspiegel betrug knapp 2 m, bezogen auf die Betonsohle der Rinne. Bei umlaufendem Wasser sank der Wasserspiegel auf die Betriebshöhe, da größere Wassermengen zur Füllung der Räume im Kreislauf (Hochbehälter, Kipp-

rinne, Rücklaufkanäle) benötigt wurden. Üblicherweise betrug die Wassertiefe über der Betonsohle im Betrieb etwa 1,72 m.

Infolge der beidseitigen Einfassung des Rechens in Rahmenprofile betrug die Netto-Lichtweite der Rechenfläche 0,84 m. Die durchflossene Höhe ist davon abhängig, welche Position die Fischheberinne momentan hat. In der Diplomarbeit von Weber (2011) werden die Strömungsgeschwindigkeiten und Widerstände für unterschiedliche Positionen des Fischhebetrogs untersucht. In der tiefsten Position ist die durchflossene Rechenfläche am geringsten, da die Abstreifleiste auf der Rechenfläche anliegt und die Rinne nur oben umströmt wird, wo sie infolge der Kontur relativ viel Widerstand bietet. Im Betrieb betrug die Höhe der Wassersäule über der Kante der anliegenden Abstreifleiste 1,21 m, was eine Nettofläche des Rechens von 1,1088 m<sup>2</sup> ergibt. Die angestrebte Geschwindigkeit von 0,50 m/s wird dann bei einem Durchfluss von 554 l/s erreicht.

Die Geschwindigkeit an der Rechenfläche wurde bei 0,50 m/s bei allen Versuchen annähernd konstant gehalten. Im Oberwasser der Sohlaufbauten war die zur Verfügung stehende Wassertiefe etwas größer, so dass hier die Anströmgeschwindigkeit unter 0,50 m/s lag.

## 5.4 Rechen

Für den Versuch im Rahmen des hier beschriebenen Projektes war der Einsatz des Fischschonrechens vorgesehen, der auch zum Einsatz kam. Dieser Rechen zeichnet sich dadurch aus, dass er geringe Verbauungsgrade mit einem strömungsgünstigen Profil kombiniert (Hassinger, 2009). Zudem ist die Vorderkante der Stäbe gut gerundet und glatt. Der Stababstand ist beliebig ab ca. 8 mm wählbar. Den Vorgaben in Hessen folgend wurde die Mehrzahl der Versuche mit einem lichten Stababstand von 15 mm durchgeführt. Bei den Versuchen mit Lachs-Smolts wurde der Stababstand auf 10 mm verringert, da diese Stabweite in Lachsvorranggewässern vorgeschrieben ist (MUNLV 2005 und 2006).

## 5.5 Abstiegs- und Reinigungsrinne (Fischhebetrog)

### 5.5.1 Grundstruktur und Höhensystem

Der Fischhebetrog war im Labor 400 mm breit und 310 mm tief (Bild 3). Er war aus Edelstahl gefertigt und in Spanten aus Winkelprofil eingefasst.

Das Höhensystem für die Anlage wurde auf eine Höhenskala bezogen, die ihren Nullpunkt (Bezugsniveau BN) in Höhe der oberwasserseitigen Kante des Fischhebetrogs hatte, wenn diese in der tiefsten Position knapp über der Sohle stand. Bezogen auf dieses Höhensystem lag der Betriebswasserspiegel auf einer Höhe von 1,32 m. In der unteren Position wurde zwischen Rinnenboden und Sohle ca. 60 mm Luft bzw. Wasser gelassen, um Fische, die unter die Rinne geraten, nicht zu gefährden.

# Grundriss

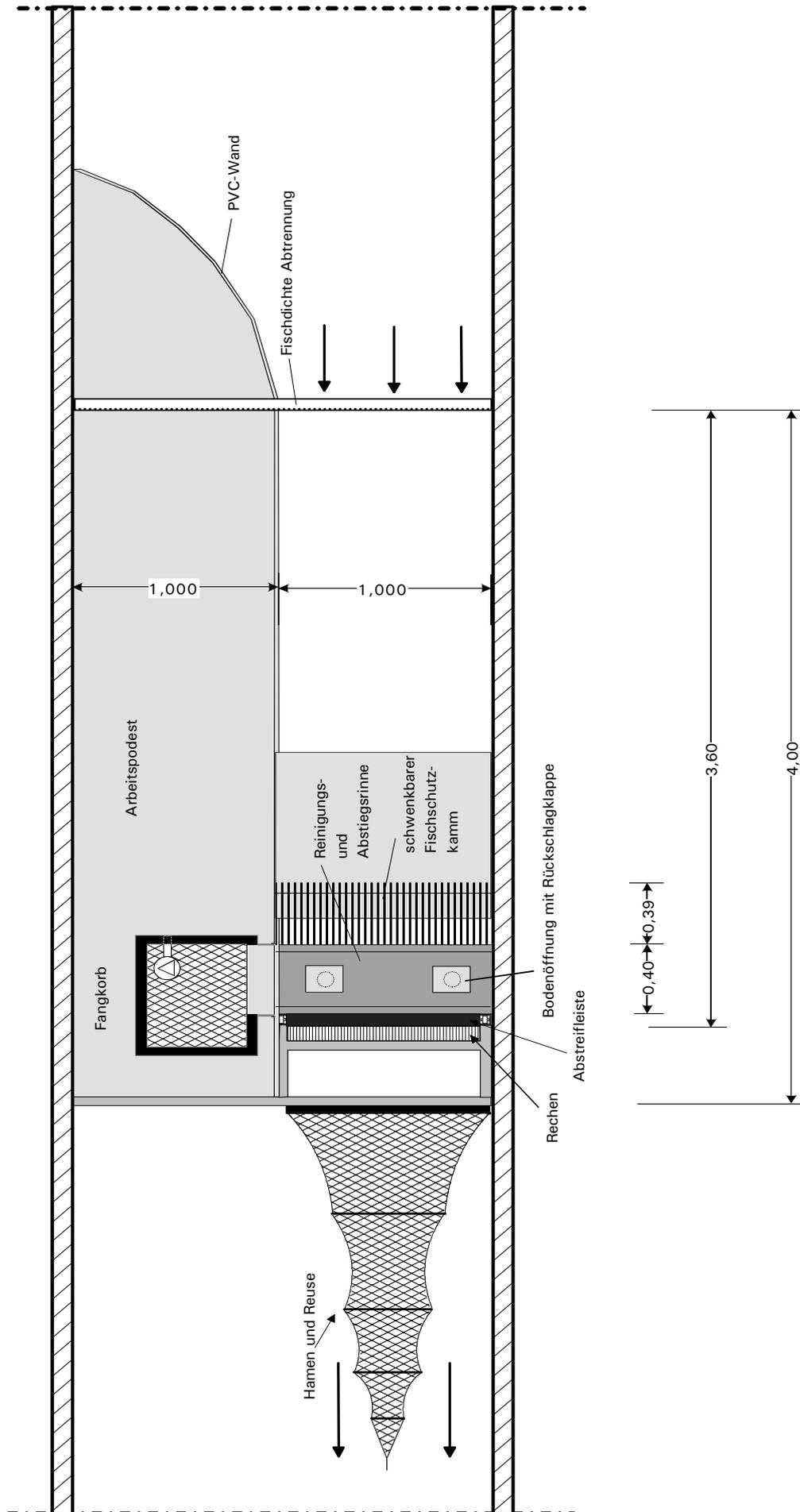


Bild 2: Grundriss des Versuchstandes

### **5.5.2 Fischhebetrog**

Der Fischhebetrog war aus Edelstahlblech mit 3 mm Dicke hergestellt worden, wobei die Form durch 2 Spanten aus Winkelprofilen 40 x 40 mm gehalten wurde. Die Abmessungen des Troges waren: 400 mm breit und 310 mm hoch und 980 mm lang.

In der Realität wird die Rinne von der Größe her an die größten zu erwartenden Fische angepasst. In großen Anlagen sollte wegen der potentiellen Fischlänge von mehr als einem Meter die Rinne ca. 1,20 m breit sein. Die Tiefe der Rinne bewegt sich zwischen 30 und 60 cm.

### **5.5.3 Abstreifleiste**

Die Abstreifleiste bestand aus einem Streifen aus 8 mm starkem Polypropylen. Die Verbindung zum Fischhebetrog wurde mit Edelstahl-Scharnieren hergestellt. Die Breite betrug 120 mm, was einem lichten Abstand zwischen Rinne und Rechenoberfläche von ca. 60 mm entsprach.

Die Verstellung geschah mit einem hydraulischen Hubzylinder, der auf der Unterseite der Fischliftrinne angebracht war und über einen Umlenkhebel wirkte.

### **5.5.4 Fischschutzkamm**

Der Fischschutzkamm ist drehbar an einer Welle befestigt, die oberwasserseitig an der oberen Kante des Troges liegt. Der Schwenkbereich des Fischschutzkammes betrug etwas mehr als 200 Grad. Der Kamm bestand im Modell aus pultrudierten GfK-Stäben mit 4 mm Durchmesser und mit 15 mm Stababstand. In der Realität werden die Stäbe aus dem gleichen Material etwa 6 mm dick sein und einen Abstand zwischen 15 und 20 mm aufweisen.

### **5.5.5 Absenkschütz**

Das Absenkschütz war in seiner Breite auf die Breite des Fischhebetroges abgestimmt (400 mm). Die Kontur der Oberkante in Trapezform entsprach der Querschnittsform des Fischhebetroges. Das Schütz wurde mit einem elektrischen Drehantrieb bewegt, wobei der Drehantrieb über eine Gewindespindel wirkte. Der maximale Gesamthub betrug ca. 300 mm, der aber zur Entleerung nicht komplett durchfahren wurde.

### Längsschnitt

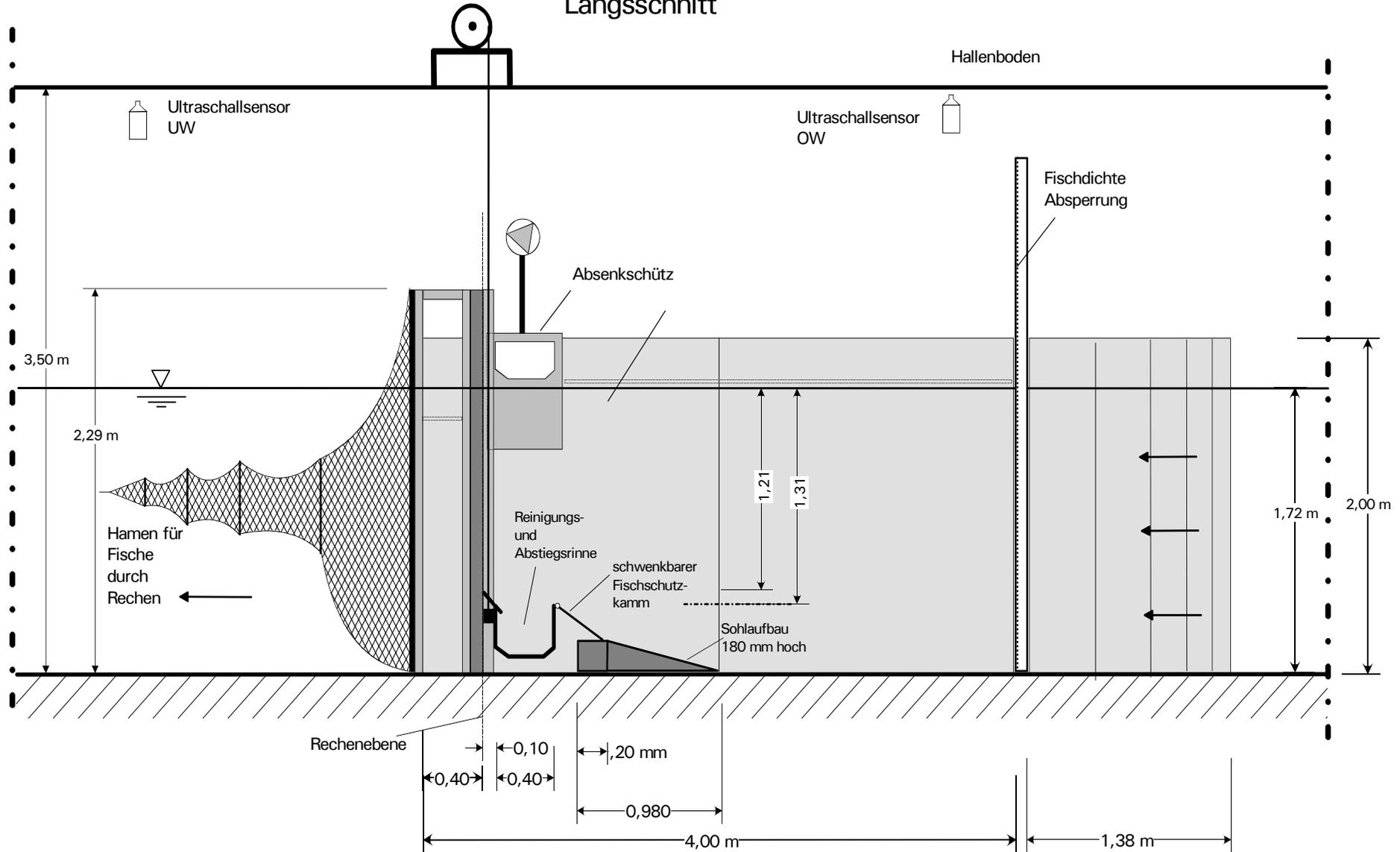


Bild 3: Längsschnitt des Versuchsstandes

## 5.6 Messeinrichtungen

Folgende Größen sollten ständig gemessen werden:

- Oberwasserstand  $h_o$
- Unterwasserstand  $h_u$
- Vertikale Position des Fischhebetroges
- Position des Absenkschützes
- Laufzeit seit der letzten Reinigung
- Spannung in der Aufhängung des Troges

Aus Ober- und Unterwasserstand wird die WSP-Differenz gebildet und auf Überschreitung eines zulässigen Wertes überprüft. Eine Reinigung ist fällig, wenn entweder die aktuelle Zeit seit der letzten Reinigung größer ist als das maximale Reinigungsintervall **oder** der Höhenverlust am Rechen größer ist als der zulässige Wert.

Die Spannung in der Aufhängung der Rinne wird ständig überwacht. Wenn diese verloren geht, sitzt die Rinne auf einem Hindernis auf oder ist verklemmt. Wie genau auf solche Störungen zu reagieren ist, muss in Pilotanlagen noch erarbeitet werden. Eine gute Strategie dürfte sein, die tiefste erreichte Position als neuen Tiefstpunkt anzunehmen und die Anlage damit weiter zu betreiben, jedoch auch einen Alarm auszulösen.

Die Positionen des Hebetroges und des Absenkschützes ergeben sich aus der Stellungsmessung, die jeweils in den E-Antrieben enthalten ist. Diese Signale werden als Ströme 4 – 20 mA an die SPS übermittelt.

## 5.7 Betriebsparameter

### 5.7.1 Funktionen der Steuerung

Die Steuerung hat folgende Grund-Aufgaben:

- Messung und Überwachung des Wasserstandes und der Höhendifferenz am Rechen
- Messung der Höhenposition der Rechenreinigungs-Rinne (RRR)
- Ansteuerung der Seilwinde (oder der Antriebe) für die Bewegung der gesamten Rinne
- Ansteuerung der klappbaren Abstreifleiste (AL)
- Ansteuerung des schwenkbaren Fischschutzkammes (FSK)
- Ansteuerung des Schützes zur Entleerung der Rinne
- Ansteuerung einer Reinigungseinrichtung für den Bereich unter der Rechenreinigungs-Rinne (Spülschütz)
- Ausgabe von Störmeldesignalen bei Ausfall der Rechenreinigung oder zu großer Höhendifferenz am Rechen
- Protokollierung der wesentlichen Betriebsdaten

### 5.7.2 Ablauf einer Reinigungsfahrt

- a) Die Ruheposition des Fischhebetroges befindet sich unter Wasser entweder knapp über der Sohle vor einem Sockel, auf dem der Rechen steht, oder in einer in den Boden eingelassenen Sohlrinne. In beiden Fällen kann die Sohle in diesem Bereich bei erheblichem Sandanfall mit einer speziellen Spüleinrichtung freigehalten werden. Die Abstreifleiste liegt auf dem Rechen auf, der Fischschutzkamm ist heruntergeklappt und liegt vor der oberwasserseitigen Gerinne sohle auf. Er wird durch eine Federspannung in dem entsprechenden hydraulischen Drehantrieb dort gehalten.
- b) Vor der Aufwärtsfahrt wird das Gitter nach oben herausgefahren.
- c) Dann startet die Aufwärtsfahrt. Das Rechengut liegt im Strömungsschatten und lässt sich leicht abstreifen. Es sammelt sich im Wasser der Rinne. Fische, die vor dem Rechen schwimmen, verspüren zunächst das helfende Angebot des Strömungsschattens vom Gitter und nutzen dieses. So werden sie langsam nach oben mitgenommen.
- d) Wenn die Oberkante des Gitters den Wasserspiegel durchbricht, sind die Fische in einem großzügigen Wasservolumen gefangen. Die Rinne fährt weiter nach oben, bis die Oberkante der Rinnenwand den WSP erreicht. Das Wasser über der Rinne fließt durch den rechen und zum Schluss durch das Gitter ab.
- e) In dieser Position bleibt die Rinne stehen und das Schütz zum seitlichen Ablauf geht auf. Die Rinne läuft seitlich in eine Schwemmleitung leer. Diese muss glatt sein und darf keine Kanten enthalten. Die Rinne führt mit wenig Gefälle bis über das Unterwasser. Der Großteil des Höhenabbaus erfolgt durch einen Absturz in das tiefe Unterwasser.
- f) Damit die Rinne vollständig entleert wird, wird sie langsam angehoben, bis ihre Sohle etwa 5 cm unter dem OW-Spiegel liegt.
- g) Hier hält die Rinne an; nach einer gewissen Wartezeit wird das Schütz geschlossen, das Gitter wieder herunter gefahren und die Abstreifleiste von der Rechenfläche abgeklappt.
- h) Nun wird die Rinne langsam abgelassen. Da sie leer ist, würde sie schwimmen, wenn nicht im Boden Öffnungen mit Klappen wären. Der Wasserdruck unter der Rinne öffnet die Klappen; das Wasser dringt von unten ein und füllt die Rinne.
- i) Wenn die Rinne gefüllt ist, fährt sie mit der Normalgeschwindigkeit nach unten. Dabei wird Rechengut, was sich in der Zwischenzeit gesammelt hat, mit abgehobener Abstreifleiste überfahren. Während der Abwärtsfahrt wird die Fläche unter der Endposition der Rinne mit der Spüleleitung frei gespült.
- j) Unten angekommen, wird die Abstreifleiste auf die Rechenfläche angelegt

### 5.7.3 Antriebsweise

Der Antrieb der beweglichen Elemente erfolgte hydraulisch gedämpft. Das heißt, dass durch eine Drosselung die Ölzufuhr zu den Hydraulik-Zylindern so langsam erfolgte, dass insbesondere der Fischschutzkamm langsam geschwenkt wurde. Da ein hydraulischer Antrieb erschütterungsarm läuft und die Lärmquelle außerhalb des Wassers liegt, werden nur wenige Geräusche und Erschütterungen in das Wasser eingetragen.

Im Labor war der Fischhebetrog an Seilen aufgehängt, die auf einer Seilwinde auf- und abgewickelt wurden. Die Seilwinde war mit einem Frequenzumrichter versehen. Frequenzumrichter bieten typischerweise die Möglichkeit, eine Anlaufplanke zu programmieren. Zudem kann die Ausgangsfrequenz über einen analogen Eingang angesteuert werden. Damit war es auf einfache Weise möglich, die Aufwärtsfahrt sehr weich anlaufen zu lassen und eine verstellbare Fahrtgeschwindigkeit zu realisieren. Im vorliegenden Fall betrug die Fahrtgeschwindigkeit für die Aufwärtsfahrt etwa 5 cm/s.

Bei der Abwärtsfahrt wurde zunächst langsam abgesenkt, um das Füllen des Troges abzuwarten. Dann erfolgte die Fahrt nach unten schneller (ca. 10 cm/s).

## 5.8 Fischrückhaltevorrichtungen

Das Laborsystem musste mit Rückhaltevorrichtungen für die Fische ausgestattet werden, damit diese sich nicht in den kompletten Kanal des Labors ausbreiten. Dazu war im Oberwasser in einem Abstand von 5 m vor dem Versuchsstand eine Absperrwand aus Edelstahl-Lochblech angeordnet worden, das in einen Edelstahl-Rahmen eingespannt war.

Für die Fische, die den Rechen passiert haben, war direkt unterstrom von diesem ein Hamen mit Reuse eingehängt. Der Reusensteert war mit einem Schwimmer versehen, so dass man die Reuse aus dem Wasser heben und entleeren konnte.

Etwa 15 m weiter abwärts war eine weitere Lochblechwand installiert, die das Abtreiben von Fischen in die Pumpen verhindern sollte.

## 5.9 Bau der Versuchsanlage durch den Projektpartner Klawa Anlagenbau GmbH

Der erste Realisierungsschritt bestand darin, die Planungsidee aus dem Projektantrag in konkrete Konstruktions- und Planungsunterlagen umzuwandeln. Hierzu wurden im Hause KLAWA Zeichnungen angefertigt und mit den beteiligten Projektpartnern ausgetauscht und abgestimmt. Das daraus entstandene Resultat ist dem vorliegenden Bericht beigelegt und beinhaltet die planerischen Unterlagen für die folgenden Bauteile:

- Fischschonrechenrost aus gebördelten Edelstahlblech (Abmessungen, b x H: 900 x 2000 mm, 15 mm lichter Abstand)
- Fischhebetrog mit Abstreifleiste (für das Rechengut) und Borstenkamm (Schutz und Strömungsschatten für die Fische (Abmessungen, l x b x h: 900 x 400 x 300 mm)
- Spülschütz zum Entleeren der Rinne
- Hebeantrieb mit Umlenkrollen und Auflager

Anschließend wurden die Konstruktionsteile hausintern gefertigt oder bei anderen Firmen beauftragt (z.B. Fa. Aco Edelstahl, Philippsthal) sowie Teile für die Antriebssysteme bestellt (Fa. Landefeld, Kassel). Der Aufbau des Versuchsstands erfolgte danach gemeinsam mit der VPUW, Universität Kassel. Hierzu waren mehrere Ortstermine in Kassel nötig.

Die aus dem oben detailliert beschriebenen Funktionsprofil resultierenden Anforderungen haben dazu geführt, dass die für Projektphase 2 vorgesehene Position „Steuerungsprogramm schreiben“ (Position 2K4.1) vorgezogen wurde und bereits für den Versuchsaufbau in der Laborrinne eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) aufgesetzt und realisiert wurde. Die dazu notwendigen Arbeiten wurden von der Firma Restal, Kassel, durchgeführt, die darüber hinaus den Versuchsstand mit der notwendigen Elektrotechnik ausstattete.

## 6 Laborversuche mit Fischen

### 6.1 Zielsetzung

Zielsetzung der Versuche im Labor mit Fischen war es, herauszufinden,

- ob die Fische den angebotenen Strömungsschatten in der Rinne vor dem Rechen zum Ruhen und Warten nutzen,
- ob das Losfahren der Rinne eine Unruhe oder gar eine Fluchtreaktion bewirkt,
- ob die Fische den durch den Fischschutzkamm angebotenen Strömungsschatten nutzen,
- ob sie sich mit der aufwärts fahrenden Rinne nach oben mitnehmen lassen,
- ob sie versuchen, durch den Fischschutzkamm zu fliehen,
- ob sie durch den als Deckel abgesenkten Fischschutzkamm in Panik geraten,
- ob die Fische sich mit dem abfließenden Wasser mitnehmen lassen.

Ursprünglich war auch vorgesehen, die Funktion zur Geschwemmselabfuhr zu testen. Dies wurde auch mit Stofffetzen aus Baumwolle ausprobiert. Da bei einem Stababstand von 15 mm jedoch noch einige Stofffetzen durch den Rechen hindurch gehen und sich im Wasserkreislauf verbreiten, konnten diese Versuche nicht im ursprünglich vorgesehenen Umfang durchgeführt werden.

Dass das Reinigungskonzept des Abstreifens beim Fischschonrechen gut funktioniert, ist durch die seit Jahren in Betrieb befindliche Anlage an der Stadtmühle in Forst/Neiße gezeigt. Insofern wurde beschlossen, diese Problematik im praktischen Betrieb einer Pilotanlage zu betrachten.

### 6.2 Material und Methoden

#### 6.2.1 Auswahl und Herkunft der Versuchstiere

Als Versuchstiere wurden Fischarten gewählt, die repräsentativ für die häufigsten Ökotypen der heimischen Fischfauna sind. Für die bodenlebenden Fische wurde der Gründling (*Gobio gobio*) als Versuchstier ausgesucht, da er, ähnlich wie die Barbe, eine hohe Mobilität besitzt und in der Versuchsrinne Wanderungsbewegungen zu erwarten waren. Gleichzeitig repräsentiert er aufgrund seiner geringen Größe viele andere bodenlebende Kleinfischarten (Groppe, Schmerle, Grundel). Im Zusammenhang mit seiner Größe war vor allem das Verhalten am Fischschutzkamm wichtig. Die Frage dabei war, auch bodenlebende Kleinfische den in Ruheposition am Boden liegenden Kamm problemlos überschwimmen können und so in den Fischhebetrog gelangen. Als weitere bodenlebende Art wurde der Aal (*Anguilla anguilla*) ausgewählt, da sein Verhalten vor Kraftwerksrechen bei der Abwanderung sehr spezifisch ist. So wurde in Laboruntersuchungen beobachtet, dass der Aal bei der Abwanderung oft zuerst am Kraftwerksrechen anstößt und danach einige Meter flussaufwärts vor dem Rechen flieht (Adam et al. 1997). Damit war fraglich, inwieweit der Aal

effektiv durch den Fischhebetrog abgesammelt werden kann, wenn sein Wirkungsbereich direkt vor dem Rechen liegt. Die grundsätzliche Zudem musste das System schon deshalb für diese Art getestet werden, da für den Aal aufgrund seiner starken Gefährdung europaweit besondere Schutzziele gelten. So fordert u.a. die seit 2007 geltende „Aalverordnung“ (Verordnung (EG) 1100/2007), dass 40% aller abwandernden Blankaale unbeschadet ihre Laichplätze in der Sargassosee erreichen müssen. Um dies zu erreichen, sind funktionierende Abwanderwege für den Aal vor Wasserkraftanlagen nötig. Stellvertretend für abwandernden Fische die in mittleren Wassertiefen vor dem Rechen stehen, wurden Hasel (*Leuciscus leuciscus*) und Rotauge (*Rutilus rutilus*) gewählt. Der Hasel ist im unteren Rhithral weit verbreitet und das Rotauge besiedelt das Potamal in großen Dichten. Beide Arten haben eine unterschiedlich starke Schwimmleistung und repräsentieren viele Fischarten ihrer Fließgewässerzone. Der Hasel ist strömungsliebend (rheophil) und hat eine kritische Schwimmgeschwindigkeit von 0,5-1 m/s. Das Rotauge verhält sich gegenüber der Strömung indifferent und hat eine geringe kritische Schwimmgeschwindigkeit, die zwischen 0,4-0,7 m/s liegt (ATV-DVWK 2006). Unter den Arten, die eher oberflächennah ihren Abstieg vor dem Rechen suchen würden, wurden Ukelei (*Alburnus alburnus*) und Lachssmolts (*Salmo salar*) ausgewählt. Die Ukelei ist ein Schwarmfisch im Potamal und ist stark oberflächenorientiert. Der Lachs ist die erste Art, für die eine Abwanderung an Wasserkraftanlagen gefordert wurde, seitdem Lachse seit Mitte der 90 er Jahre an einigen Flüssen in Deutschland wieder erfolgreich angesiedelt wurden. Deshalb wurden mehrfach speziell für Lachssmolts oberflächennahe Abstiegskorridore an Wasserkraftanlagen gebaut. Diese funktionieren mehr oder minder gut, bzw. überhaupt nicht (Blasel 2010, Schneider et al. 2012). Deshalb war es wichtig, auch für diese Art den Fischhebetrog zu testen.

Alle Versuchstiere stammen aus der Lahn. Gründling, Rotauge und Ukelei wurden mit Hilfe von Elektrofischfängeräten (Fa. Bretschneider Typ EFGI 650 und EFGI 4000) gefangen. Die Aale stammen teilweise von Elektrofischfängen und teilweise von nächtlichen Hamenfängen an einer Wasserkraftanlage. Die Lachssmolts kommen von der Aufzuchtstation für Lachse und Meerforellen in Aumenau an der Lahn. Dort werden Rückkehrer beider Arten im Zuge des Wiederansiedlungsprogramms abgestreift und vermehrt. Alle Tiere wurden an die Versuchsanstalt nach Kassel transportiert und dort sorgfältig an die physikalisch-chemischen Bedingungen der Hälterungsbecken adaptiert. Danach wurde eine Pause von mehr als 24 Stunden eingehalten, um den Stress für die Tiere möglichst gering zu halten.

### 6.2.2 Versuchsbedingungen und Ablauf

Die Versuchstiere wurden in Gruppen eingeteilt, wobei darauf geachtet wurde, dass ein Versuchstier maximal 3-mal für einen Versuch eingesetzt wurde. Damit sollten Konditionsverluste und Lerneffekte vermieden werden. Die Gruppen waren unterschiedlich groß. Von Gründling, Rotauge und Ukelei wurden je 10 Tiere und vom Hasel je 5 Tiere für einen Versuch gemeinsam in die Versuchsrinne eingesetzt. Bei Lachsen und Aalen wurden die Versuche, bedingt durch ihre speziellen Abwanderungszeiten, getrennt nach Arten durchgeführt. Die Gruppengröße bei Lachsen betrug 17 Tiere und bei Aalen 20 Tiere. Die Wassertemperatur bei den Cypriniden betrug 18 °C und erhöhte sich bis zum Versuchsende aufgrund der Abwärme der Pumpen im Umlaufkanal auf maximal einen Grad. Bei Lachsen und Aalen wurde die Wassertemperatur mithilfe einer Kühlung auf 10°C abgesenkt. Da die Abwanderung von Fischen meist in der Nacht erfolgt, wurde die Beleuchtung in der Ver-

suchshalle gemindert. Besonders bei den Versuchen mit Aal und Lachs-Smolts war die Beleuchtung nahezu ausgeschaltet. Die Versuche wurden mit zwei unterschiedlichen Anströmgeschwindigkeiten durchgeführt. Einmal mit der Geschwindigkeit von 0,5 m/s, die zurzeit für neue Wasserkraftanlagen praktisch überall als Grenzwert den Genehmigungen zugrunde gelegt wird (ATV-DVWK 2006). Zum anderen wurde die Anströmgeschwindigkeit auf 0,8m/s gesteigert. Sie repräsentiert die Situation am Rechen vieler Altanlagen. Die Stabweite des Rechens betrug 15 mm. Nur bei den Lachssmolts wurde ein 10-mm-Rechen verwendet, da dieser in sogenannten „Lachsvorranggewässern“ üblich ist (MUNLV 2005 und 2006).

Für alle Arten wurden jeweils drei Versuche bei Anströmgeschwindigkeiten von 0,5 und 0,8m/s durchgeführt. Jeder Versuch dauerte insgesamt 45 min, da aus anderen Versuchen bekannt war, dass abwandernde Fische nur eine sehr kurze Zeit vor dem Rechen verbleiben. Innerhalb dieser Zeit kommt es bereits je nach Strömungsgeschwindigkeit und Stababstand zu Verletzungen und Passagen durch den Rechen (Hübner et al. 2011). Deshalb wurde der Fischhebetrog alle 15 min gestartet. Die Auf- und Abfahrt und das Absenken des Fischschuttkammes auf Ausgangsposition dauerten insgesamt 3 min, wobei 0,5 Minuten auf die Entleerungszeit der Rinne fielen. Die Pausenzeit zwischen den Hüben betrug demnach etwa 12 min. Somit konnte innerhalb der Versuchszeit das Verhalten der Fische bei drei Hüben beobachtet werden.

Nach Versuchsende wurden alle Tiere vor und hinter dem Rechen und im Auffangbecken auf eventuelle äußerliche Verletzungen hin untersucht und zurück in die Hälterungsbecken gesetzt. Nach 24 Stunden wurde die verzögerte Mortalität ermittelt.

### 6.2.3 Wirkungsmechanismen eines Rechens

Die Wirkung eines Rechens und das Verhalten der Fisch vor diesem wurden in einer ausführlichen Untersuchung unter ähnlichen Versuchsbedingungen studiert (Hübner et. al. 2011). Ergebnis dieser Versuchsreihe war die Klassifizierung der Wirkung eines Rechens, der zu eng ist für die Passage eines Fisches:

**Primärwirkung:** Infolge Schwingungen und Geräuschen im Wasser dreht der Fisch seine Schwimmrichtung um (rheotaktische Ausrichtung) und steht ohne Berührung vor dem Rechen. Der Rechen wirkt rein als Verhaltensbarriere, wobei der Rechen den Fisch hydraulisch und/oder akustisch reizt.

**Sekundärwirkung:** Wegen nachlassender Schwimmleistung driftet der Fisch zum Rechen hin und berührt diesen immer wieder kurz. Seine Kraftreserven reichen jedoch aus, sich immer wieder vom Rechen zu lösen und ein Stück abzusetzen. Diese Wirkungsphase ist auch Grundlage der Leitwirkung nach Pavlov (1989). Der Rechen wirkt als Verhaltensbarriere mit mechanischer Reizung des Fisches.

**Tertiärwirkung:** Der Fisch liegt auf dem Rechen oder steckt zwischen den Stäben. Die Wirkung ist rein physisch.

### 6.2.4 Versuchszonierungen

Auf der Grundlage der früheren Versuche und der Wirkmechanismen wurde das Versuchsfeld in unterschiedliche Zonen aufgeteilt. Ab dem Beginn der Fahrt des Troges bis zum Wiedererreichen der Ausgangstellung wurde die Position jedes Fisches notiert und sein

Verhalten vor dem Rechen bzw. in dem Trog festgehalten. Für die Aufwärtsfahrt (Hub) wurden 7 Versuchszonen und für die Abwärtsfahrt 2 Zonen unterschieden. Die Einteilung war folgendermaßen (Bild 4):

Zone 1: Fische halten sich oberhalb der Bodenrampe auf und nehmen daher am Versuch nicht teil

Zone 2: Fische befinden sich im Bereich der Rampe

Zone 3: Fische befinden sich vor dem Hub unterhalb oder innerhalb der Abstiegsrinne (Fischhebetrog)

Zone 4: Fische stehen oberhalb der Rinne vor dem Rechen

Zone 5: Fische wurden mit der Rinne bis zum Auslassschieber transportiert

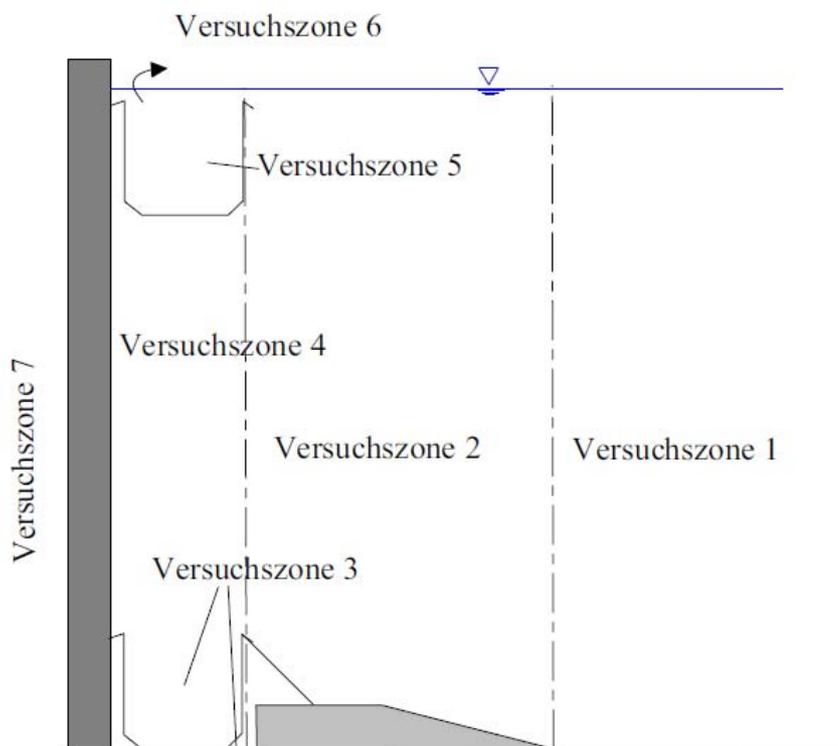
Zone 6: Fische wurden erfolgreich abgeschwemmt

Zone 7: Fische haben den Rechen passiert und befinden sich hinter dem Rechen

Zone 5 und 3: Die Fische sind nach Entleerung der Rinne in der Rinne geblieben und wieder mit nach unten gefahren

Zone 3 und 4: Die Fische halten sich während der Rinnenunterfahrt vor dem Rechen bzw. im Strömungsschatten der Rampe am Boden auf

Als Ergänzung zum Protokoll wurde das Verhalten der Tiere mit einer Handkamera (Sony Digital Handycam DCR-PC 100 E) gefilmt.



*Bild 4: Aufteilung des Versuchsfeldes in Zonen*

## 6.3 Qualitative Ergebnisse

### 6.3.1 Verhalten der Fische vor dem Rechen und außerhalb des Fischhebetrogs

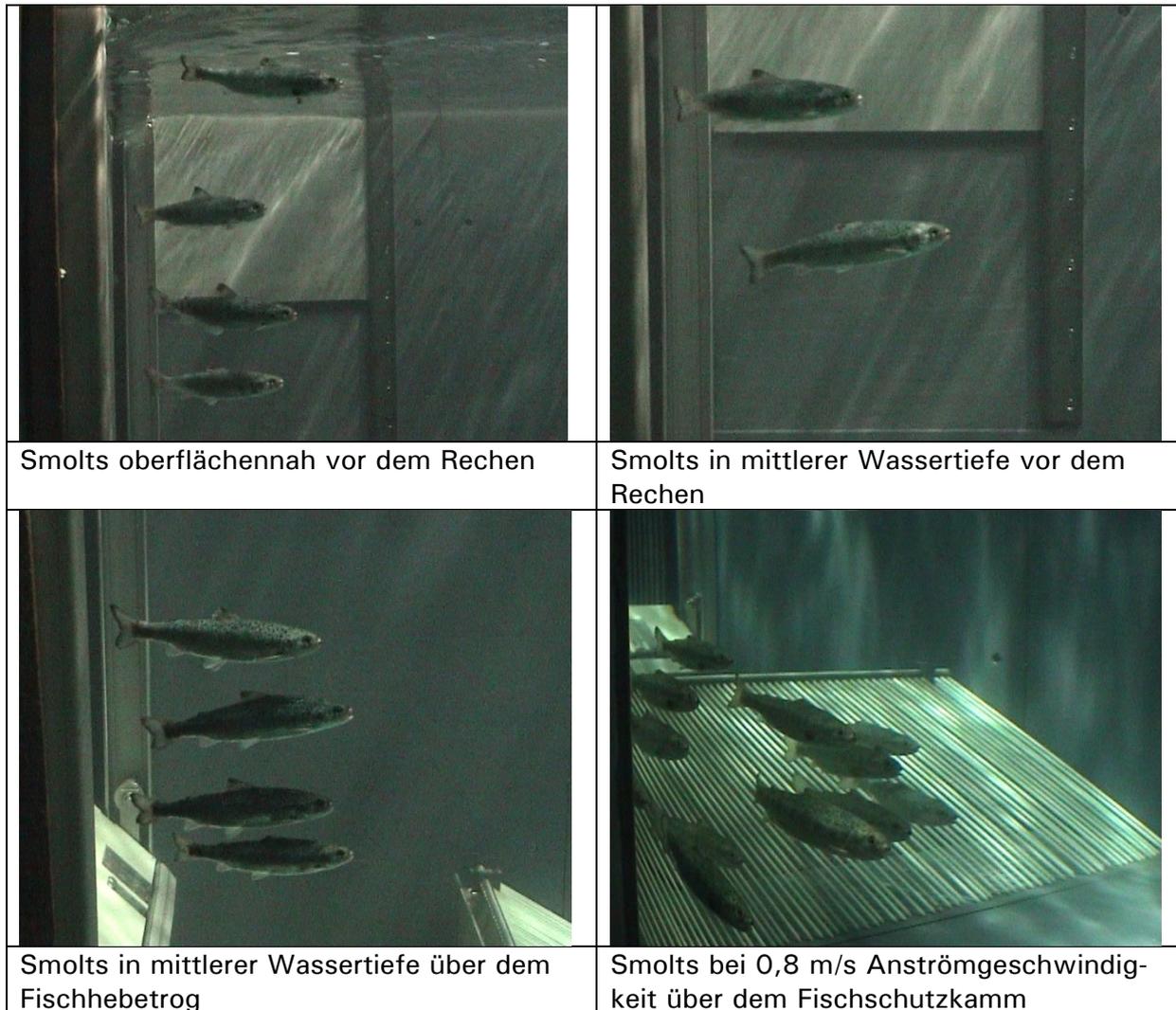
#### 6.3.1.1 Vorbemerkungen

Das Verhalten der Fische in der Versuchsrinne war abhängig von der Bereitschaft zum Fischabstieg. Bei Lachs und Aal war eine deutliche Orientierung stromabwärts zu erkennen. Viele Tiere bewegten sie deshalb früher oder später in Richtung Rechen und standen damit im unmittelbaren Wirkungsbereich des Fischhebetrogs. Zu diesem Verhalten kam es bei Gründlingen, Rotaugen, Haseln und Ukelei weitaus seltener. Dies liegt daran, dass die genannten Cyprinidenarten ihre Wanderungen auf das Süßwasser beschränken (potamodrome Wanderungen) und damit keine speziellen Abwanderungsformen wie die diadromen Arten ausbilden. Deshalb sind abwanderbereite Tiere nicht wie bei Lachs und Aal deutlich zu erkennen (Smolts bzw. Blankaalstadium). Hinzu kommt dass bei den o.g. Arten die Abwanderung das ganze Jahr über stattfindet und nicht, wie bei Lachs und Aal, auf wenige Monate begrenzt ist. Es ist deshalb kaum möglich abwanderungswillige Tiere bei diesen vier Arten zu finden. Als Folge davon orientierten sich viele Versuchstiere im Versuchstand naturgemäß stromaufwärts (positive Rheotaxis) und standen nicht im Wirkungsbereich der getesteten Fischabstiegsanlage, sondern in Versuchszone 1 (Bild 4).

#### 6.3.1.2 Lachssmolt

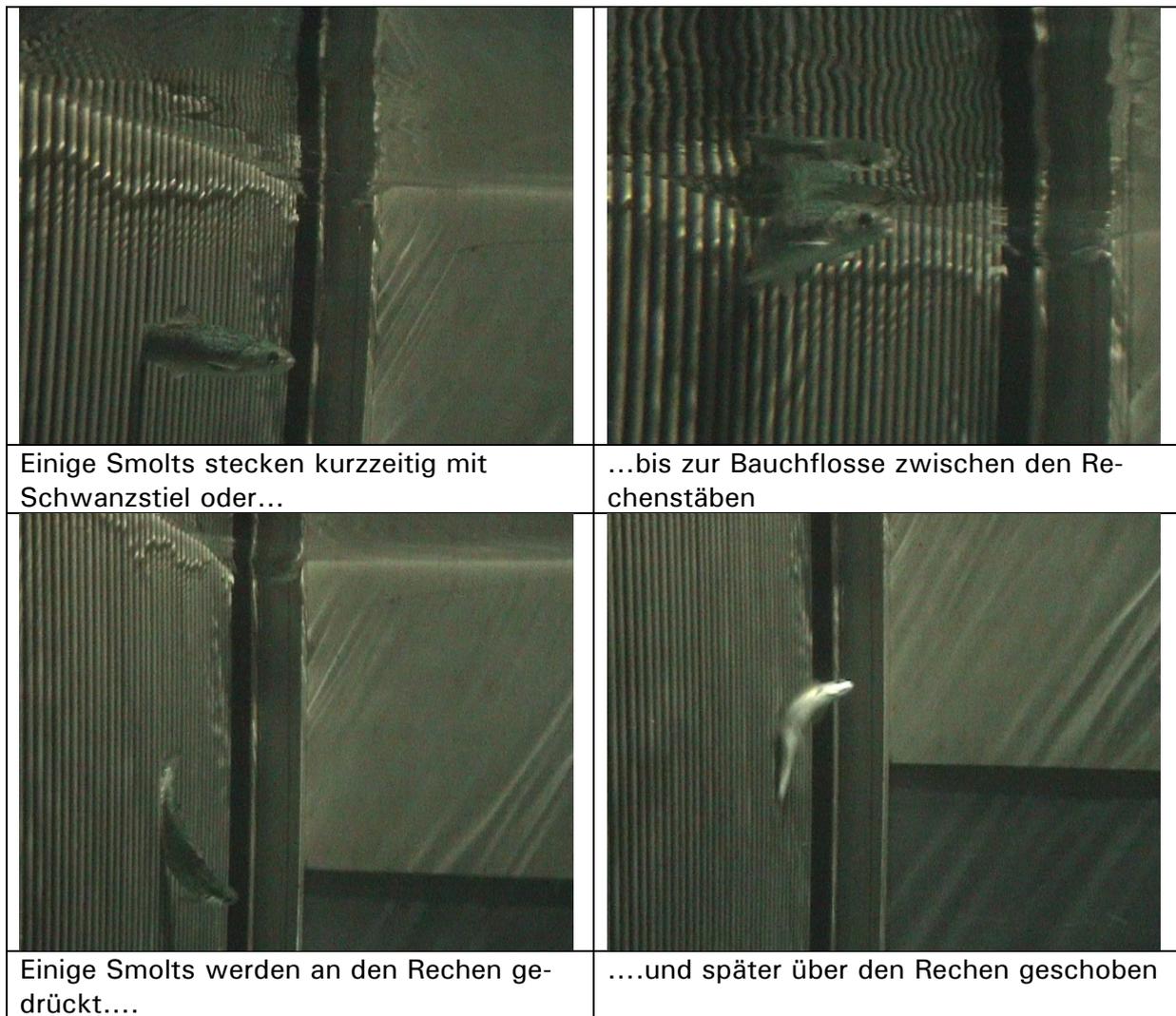
Die Lachssmolts schwammen die Versuchsrinne abwärts. Deshalb standen kurz nach Versuchsbeginn nahezu alle Tiere in kleinen Gruppen vor dem Rechen. Dort schwammen sie in einem Abstand von 5-20 cm vom Rechen dicht unter der Wasseroberfläche oder in mittlerer Wassertiefe. In einigen Versuchen befand sich ein Teil der Tiere bodennah direkt über dem Fischschutzkamm (Versuchszone 2). Einige Tiere positionierten sich direkt über der Rinne des Fischhebetrogs und tauchten später in den Strömungsschatten der Rinne ab.

Bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s schwammen viele Tiere mit dem Kopf gegen die Strömung vertikal am Rechen auf und ab. Dabei gelangte ein Teil der Tiere in Bodennähe und tauchte in den Strömungsschatten der Rinne des Fischhebetrogs ab. Dort blieben teilweise bis zu 14 Tiere bis zum Hub des Fischhebetrogs. Nach einiger Zeit überstieg offensichtlich die Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s die Schwimmkapazität einiger Lachssmolts und es kam zu massiven Rechenberührungen. Dies ging so weit, dass einmal ein Tier ab der 6. Minute für wenige Augenblicke mit dem Schwanzstil/Hinterleib zwischen den Rechenstäben steckte. Zu ähnlichen Beobachtungen kam in einem andern Versuch es bei zwei weiteren Tieren ab der 12. Minute. Bei diesen starken Rechenberührungen (Tertiärwirkungen) können bei Fische zu erheblichen Verletzungen führen, ebenso wie die Passage durch den Rechen (Hübner et al. 2011). Zwei der drei Lachse überlebten den Rechenkontakt. Anders war dies bei den beobachteten Rechenpassagen. Bei einem Versuch passierten zwei Tiere den 10-mm-Rechen. Kurz darauf verstarben sie an ihren Verletzungen, die sie sich an den Rechenstäben zugezogen hatten.



*Bild 5: Positionen Lachssmolts vor dem Rechen*

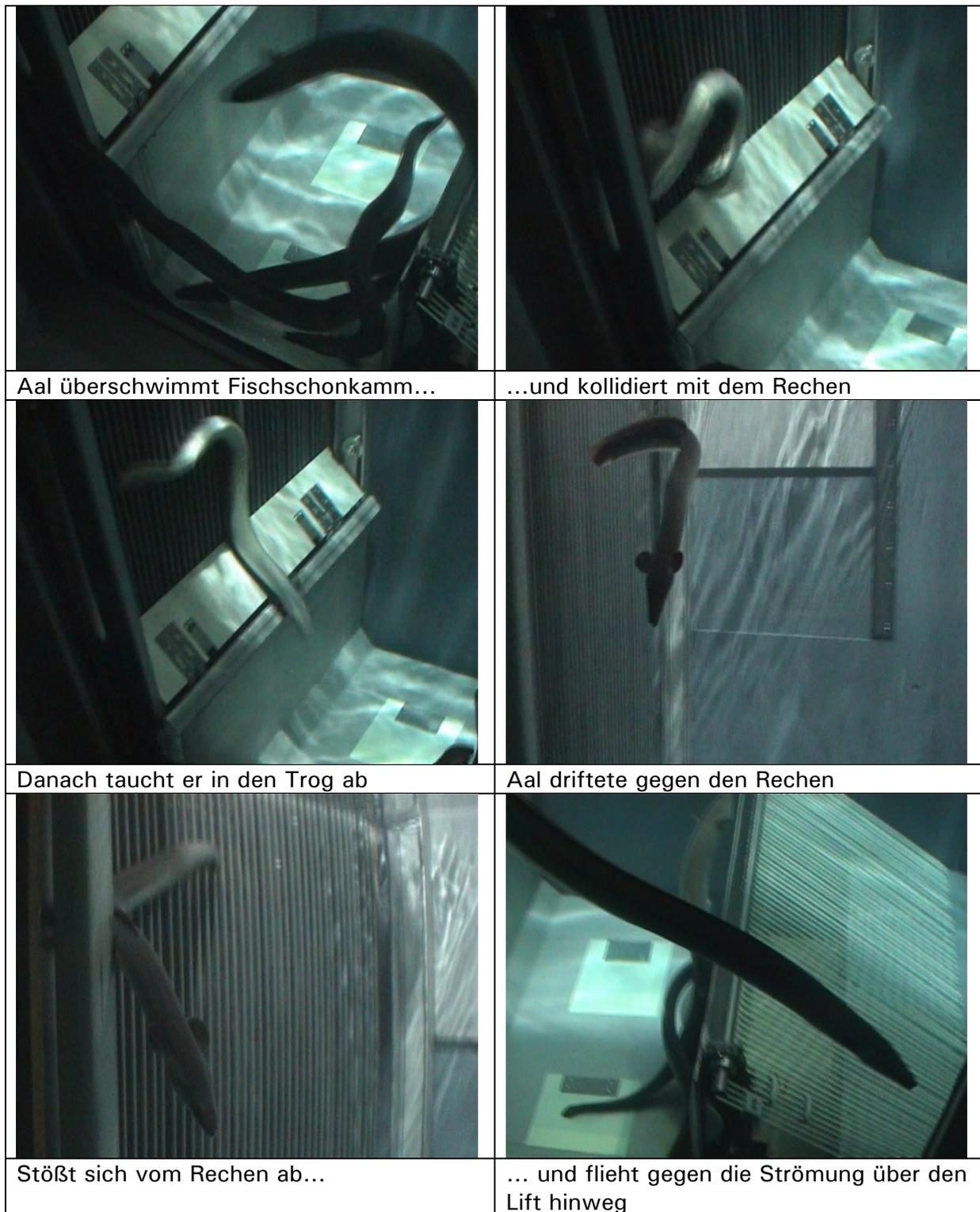
Bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,8 m/s schwammen deutlich weniger Tiere vertikal am Rechen auf und ab. Deshalb befanden sich nur wenige Tiere vor einem Hub im Fischhebetrog (maximal 6 Tiere). Die Smolts verteilten sich vor dem Rechen. In jedem Versuch standen von Anfang an Smolts kurz über oder vor dem Fischschutzkamm. Die ersten Tertiärwirkungen wurden bei 5 Tieren bereits nach 5 Minuten beobachtet. Bei einem Versuch wurden zwei Smolts zwischen zwei Hüben nach der 24. Minute quer über den Rechen geschoben und später durch den Fischhebetrog abgesammelt. Sie überlebten den Rechenkontakt, während ein Tier das nach der 10. Minute durch den Rechen schwamm kurz danach an seinen Verletzungen verstarb.



*Bild 6: Rechenkontakte der Smolts bei Anströmgeschwindigkeiten von 0,5 und 0,8m/s*

### 6.3.1.3 Aale

Im Gegensatz zu den Lachssmolts wanderten die Blankaale nicht sofort nach Versuchsbeginn ab. Sie tauchten mit Verzögerung im Laufe des Versuches in Gruppen oder Einzeln vor dem Rechen auf. Die meisten Tiere wanderten dabei am Boden entlang und überschwammen den Fischschutzkamm. Danach stießen sie am Rechen an und tauchten in den Strömungsschatten des Troges ab. Einige Tiere schwammen durch die Stäbe des Kammes hindurch und gelangten somit unter die Rinne (s. Kap. 6.3.6.2). Dort blieben sie im Strömungsschatten der Rampe vor dem Rechen. Nur wenige Tiere drifteten in der Mitte des Wasserkörpers stromabwärts. Sie stießen dann zuerst am Rechen an und flüchteten 1 bis 2 Meter stromaufwärts. Dabei wurden Fischlifrinne und Fischschutzkamm überschwommen. Allerdings kehrten viele nur wenige Sekunden danach wieder um und schwammen bodennah in Richtung Rechen. Auf diese Weise gelangten vor dem Hub des Fischliftes eine mehr oder minder große Anzahl Aale in den Strömungsschatten der Fischlifrinne oder lag im Strömungsschatten unter der Rinne.



*Bild 7: Ankunft Aale am Rechen, Verhalten im Fischhebetrog*

In Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit waren die Rechenberührungen mehr oder minder stark. Während bei Anströmgeschwindigkeiten von 0,5 m/s keine Aale an den Rechen angepresst wurden, kam es bei einer Strömung von 0,8 m/s bei einigen Tieren zu starken Kollisionen mit den Rechen. So wurde zweimal beobachtet, wie jeweils ein Tier,

das sich während einer Hubphase des Fischhebetrogs unterhalb des Lifts am Rechen befand, quer über die gesamte Rechenbreite gerollt wurde. Derartiges Verhalten wurde bereits bei erschöpften Aalen bei anderen Laborversuchen dokumentiert (Hübner et. al. 2011). Des Weiteren wurde ein Aal bei dieser hohen Anströmgeschwindigkeit so an den Rechen gepresst, dass er dort steckenblieb und sich erst mithilfe des Fischhebetrogs wieder lösen konnte (s.u.). Zudem zwängte sich ein weiteres kleineres Tier bei dieser Geschwindigkeit durch den 15-mm-Rechen.

#### 6.3.1.4 Rotauge, Hasel, Ukelei und Gründling

Die vier Arten Rotauge/Plötze, Hasel, Ukelei/Laube und Gründling zeigten kein ausgeprägtes Abwanderverhalten. Ihre Anwesenheit vor dem Rechen war im Großen und Ganzen zufällig. In einigen Fällen war sie auch eine Folge der Abdrift durch die mehr oder minder hohe Anströmgeschwindigkeit im Versuchskanal, was jedoch nicht dazu führte das bei 0,8 m/s mehr Fische vor dem Rechen standen als bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s.

Der Abstand der Versuchstiere vor dem Rechen war mit dem Abstand der Lachssmolts vergleichbar (5 - 20cm). Auch die Verteilung am Rechen war ähnlich. Vor allem die Ukelei stand dicht unter der Wasseroberfläche, während Rotauge und Hasel die Mitte des Rechens bevorzugten. Nicht wenige Tiere der drei o.g. Arten erreichen allerdings auch bodennah den Rechen. Dabei überschwammen sie den Fischschutzkamm und tauchten oft ohne Rechenberührung in die den Trog ab. Dort bleiben sie dann bis zum Hub im Strömungsschatten des Troges. Der Gründling näherte sich ausschließlich am Boden dem Rechen und zeigte ein identisches Verhalten. Immer wieder passierten einige Tiere aller Arten den Fischschutzkamm und standen dann im Strömungsschatten unter dem Fischhebetrog.

In Abhängigkeit von den Anströmgeschwindigkeiten kollidierten unterschiedlich viele Fische mit dem Rechen oder durchschwammen ihn. Bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0,5 m/s kamen keine Kollisionen vor. Bei einer Geschwindigkeit von 0,8 m/s wurden heftige Rechenkontakte beobachtet. Entweder lagen die Fische über unterschiedlich lange Zeiten quer auf dem Rechen (insgesamt 1 Ukelei, 1 Rotauge, 1 Hasel) oder sie bleiben kurzzeitig mit dem Schwanzstiel/Hinterleib zwischen den Rechenstäben stecken (2 Hasel). Die Passagen durch den Rechen (15 mm) waren bei den Versuchen mit 0,5 m/s Anströmgeschwindigkeit doppelt so hoch, wie bei Versuchen mit 0,8 m/s (insgesamt 4 Ukelei und 2 Rotaugen bei 0,5 m/s vs. 3 Ukelei bei 0,8 m/s). Alle Tiere, die den Rechen durchschwommen hatten, verstarben kurz darauf an ihren Verletzungen, die sie sich bei der Passage an den Rechenstäben zugezogen hatten.

### 6.3.2 Reaktionen der Fische bei Start des Fischhebetrogs

#### 6.3.2.1 Lachssmolts

Bei Start der Rechenreinigung wird zuerst der am Boden liegende Fischschutzkamm aufgestellt. Danach setzt sich der Fischhebetrog in Bewegung. Das langsame Aufstellen des Kamms löste bei keinem der Smolts einen Fluchtreflex aus. Im Gegenteil. Viele Tiere, die direkt über dem Kamm standen, nutzten sofort den angebotenen Strömungsschutz hinter dem Kamm und ließen sich so durch den Kamm über den Fischhebetroge führen. Dort

tauchten sie sofort in den Strömungsschatten der Rinne ab oder bleiben im Strömungsschatten des Kamms. Auf diese Weise wurde bei einem Versuch mit einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5m/s die Hälfte der über dem Kamm stehenden Tiere in die Rinne geleitet (3 von 6 Tieren). Bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0,8m/s betrug der Anteil mindestens die Hälfte (2 von 4 Tieren) von den Tieren, die über dem Kamm standen. Einmal wurden sogar über 80% (10 von 12 Tieren) der Tiere über dem Kamm mitgenommen. Die nicht vom Kamm mitgeführten Tiere wichen dem Kamm langsam aus. Sie schwammen dann ohne Panik einige Zentimeter über ihn hinweg und nahmen danach ihre ursprüngliche Position in Versuchszone 2 wieder ein.

Der nach dem Aufstellen des Fischschutzkamms einsetzende Hub des Fischhebetrogs löste ebenfalls keine Fluchtreaktion aus. Weder die Smolts in der Rinne noch die Tiere vor dem Rechen veränderten ihre Position nachdem der Fischhebetrog sich in Bewegung setzte.



*Bild 8: Mitnahme der Smolts beim Aufstellen des Fischschutzkamms*

### 6.3.2.2 Aale

Das Aufrichten des Fischschutzkamms vor der Hubphase blieb ohne Reaktion bei den Aalen, da sich kein Tier auf dem Kamm oder unterhalb des Kamms befand. Auch das Einsetzen des Hubes erzeugte keine sichtbare Reaktion. Alle Aale bleiben auf ihrer Position (Rinne oder unter der Rinne) und zeigten keinerlei Fluchtreflex.

### 6.3.2.3 Rotauge, Hasel, Ukelei und Gründling

Die Reaktion von Rotauge, Hasel und Ukelei auf das Aufstellen des Fischschutzkamms unterschied sich nicht vom Verhalten der Lachssmolts. Ebenso wie die Lachse nutzen ein Teil der über dem Kamm stehenden Tiere den Strömungsschatten hinter dem Kamm und gelangten so über die Rinne. Ein Großteil der so mitgeführten Tiere tauchte dann sofort in den Strömungsschatten der Rinne ab. Nur in Ausnahmefällen blieben Hasel und Rotauge hinter dem Schutzkamm stehen und folgten ihm ein Stück auf dem Weg nach oben. Schließlich tauchten auch sie in die Rinne ab. Tiere, die sich bereits vor dem Hub in der Rinne befanden, reagierten auf den einsetzten Hub kaum und blieben in der Rinne.

### 6.3.3 Abfang und Transport der Fische durch den Fischhebetrog

#### 6.3.3.1 Lachssmolts

Ein Großteil der Smolts die in der Rinne waren, tauchte bis zum Boden ab und blieb dort im Schwarm stehen. Dabei richteten die Tiere sich aufgrund der Verwirbelungen in der Rinne auch mit dem Kopf in Richtung Rechen aus. Ein kleinerer Teil der Lachse blieb über der Rinne im Strömungsschatten hinter den Fischschutzkamm stehen und stieg im Tempo des Fischhebetrogs bis zu Oberfläche auf.

Auf der Fahrt nach oben wurden Lachse die in mittlerer Wassertiefe oder an der Oberfläche vor dem Rechen standen regelmäßig durch den Fischhebetrog abgesammelt. Sobald der Strömungsschatten des Fischschutzkamms auf der Höhe der Smolts angelangt war, wurde er von ihnen genutzt. Entweder blieben die Tiere hinter dem Kamm und schwammen mit den bereits dort befindlichen Smolts weiter nach oben, oder sie tauchten sofort in die Rinne ab. Auch Lachse, die durch die Anströmgeschwindigkeit mehrmals den Rechen berührt hatten oder teilweise quer vor dem Rechen lagen (bei Anströmgeschwindigkeit von 0,8m/s), konnten sich, sobald der Strömungsschatten des Kamms wirksam war, selbstständig vom Rechen lösen und tauchten sofort in die Rinne ab. Kein Lachs schwamm während des Transportes aus der Rinne.

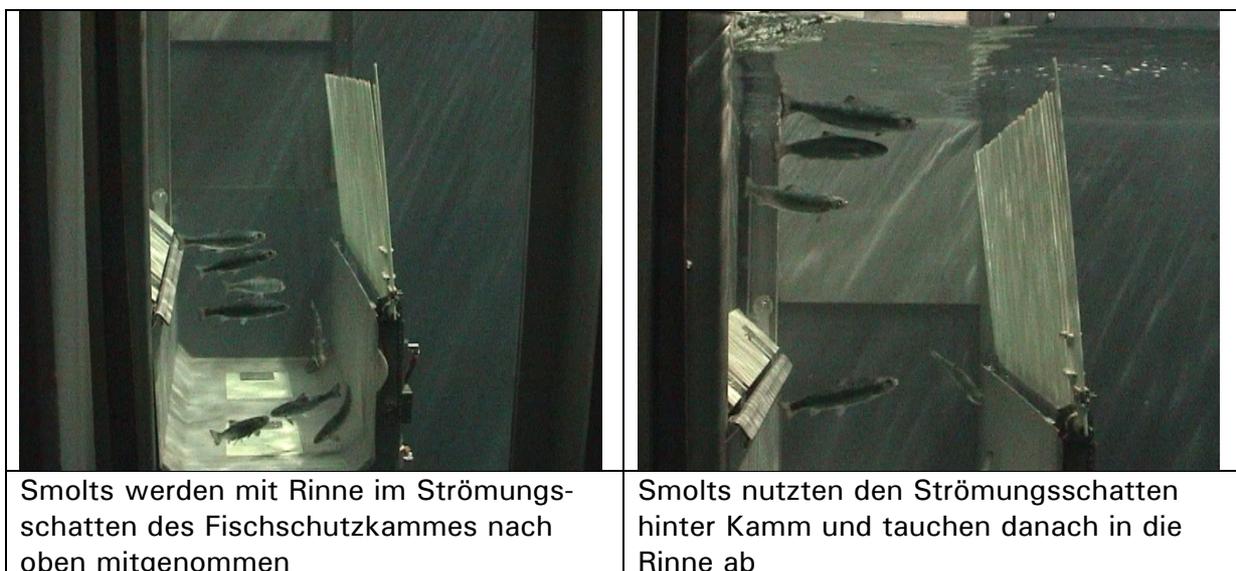


Bild 9: Transport der Fische (Lachs-Smolts) im Fischhebetrog

Als der Fischschutzkamm die Wasseroberfläche durchbrochen hatte und sich langsam als Deckel über die Rinne absenkte, schwammen alle Lachse hinter dem Kamm langsam nach unten in Richtung Rinne. Kein Tier versuchte den Kamm zu durchschwimmen oder aus der Rinne zu hüpfen.

### 6.3.3.2 Aale

Die Aale waren in der Rinne deutlich bodenorientiert. Einige lagen auf dem Boden der Rinne und bewegten sich kaum. Andere schwammen ruhig knapp über dem Boden mit dem Kopf nach unten. Teilweise bildeten die Tiere ein Knäuel, wenn sie zu mehreren in der Rinne waren. Bis auf den einen Fall, wo ein Aal bei 0,8 m/s Anströmgeschwindigkeit im 15-mm-Rechen steckenblieb, wurden keine Tiere bei der Auffahrt durch den Fischhebetrog von der Rechenoberfläche abgesammelt. Dennoch war bei diesem Fall bemerkenswert, dass der Aal nicht passiv durch die Abstreifleiste vom Rechen gelöst wurde. Er war vielmehr in der Lage sich aktiv vom Rechen zu befreien, sobald der Strömungsschatten des Fischschutzkammes wirksam war. Danach tauchte er in den Strömungsschatten der Rinne ab und lies sich mit dem Lift nach oben transportieren. Kein Aal verließ während des Transports die Rinne. Auch als sich der Fischschutzkamm über die Rinne legte hatte, änderte sich das Verhalten der Aale nicht und sie schwammen weiterhin ruhig in der Rinne umher.

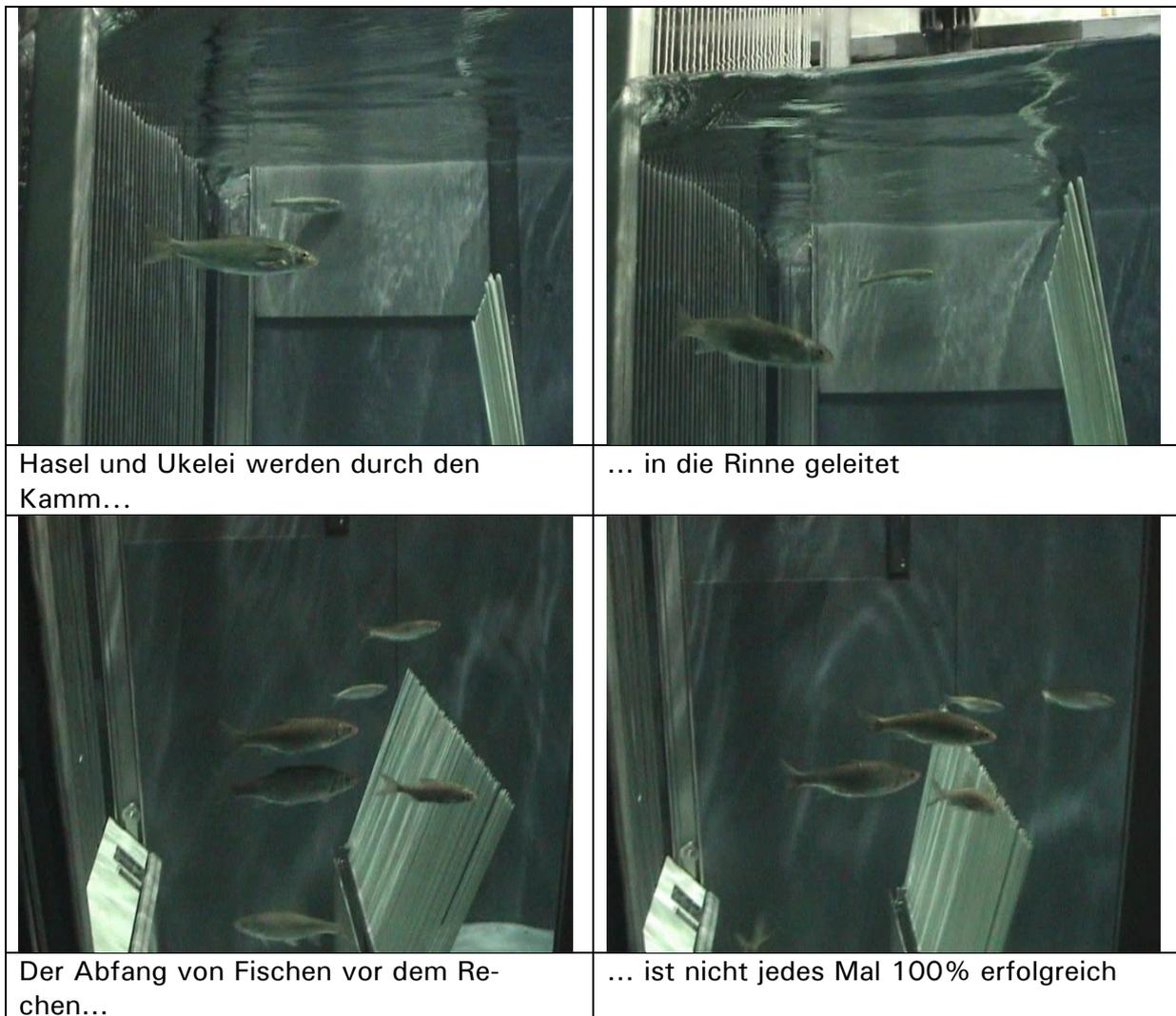


*Bild 10: Transport der Aale im Fischhebetrog*

### 6.3.3.3 Rotauge, Hasel, Ukelei und Gründling

Im Bereich der Beruhigungszone in der Rinne befindlich schwammen die meisten Tiere umher und bildeten nicht wie die Smolts einen Schwarm oder blieben ruhig liegen wie einige Aale. Nur der Gründling war deutlich weniger schwimmfreudig. Dennoch verließen selten Fische die Rinne auf dem Weg zur Oberfläche. So schwammen während der Auffahrt lediglich in einem Versuch bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s und in einem anderen Versuch bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,8 m/s zwei Hasel aus der Rinne nach oben in den Bereich des Strömungsschattens des Fischschutzkammes.

Bei der Auffahrt ließen sich in 3 von 4 Fällen alle vor dem Rechen stehenden Rotaugen, Hasel und Ukelei vollständig vom Fischhebetrog absammeln. In den anderen Fällen wurden die Tiere teilweise durch den Lift erfasst. Die Häufigkeit war unabhängig von der Anströmgeschwindigkeit. Die Tiere nutzten sofort den angebotenen Strömungsschatten hinter den Fischschutzkamm. Entweder sie tauchten sofort in die Rinne ab oder sie blieben hinter dem Kamm und folgten ihm bis zur Wasseroberfläche. Spätestens wenn sich der Kamm auf die Rinne senkte, tauchten auch diese Tiere bis zum Grund der Rinne ab. Lediglich eine Ukelei schlüpfte bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,8 m/s durch eine kleine Lücke im Fischschutzkamm. Diese war im ersten Versuch noch vorhanden. Im Folgeversuch wurde sie geschlossen, was zur Folge hatte, dass kein Tier mehr den Kamm beim Schließen der Rinne durchschwamm.

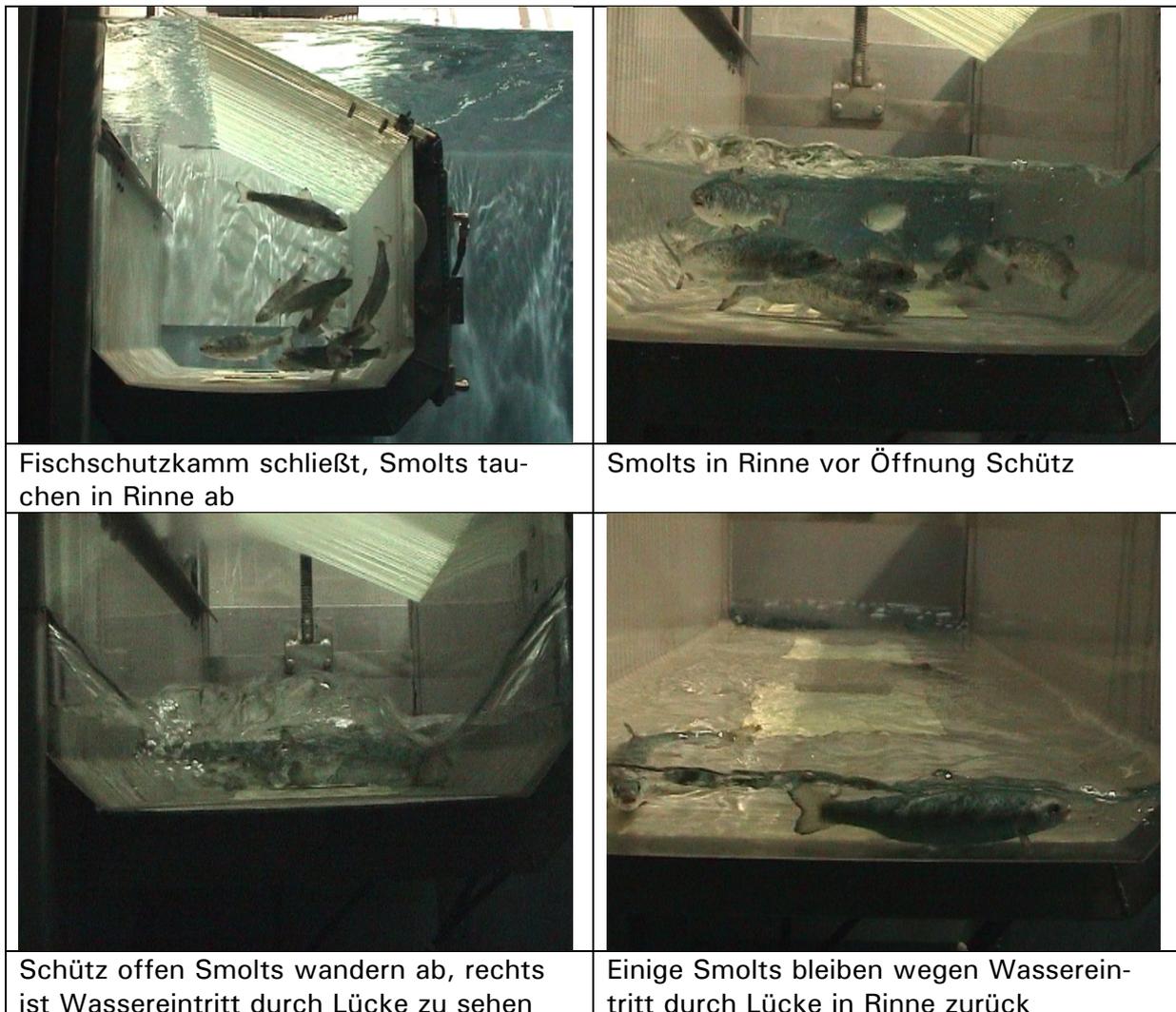


*Bild 11: Abfang von Cypriniden vor dem Rechen durch den Fischhebetrog*

### 6.3.4 Abschwemmung der Fische aus dem Fischhebetrog in das Unterwasser

#### 6.3.4.1 Lachssmolts

Beim Spülvorgang öffnete sich das Schütz der Seitenwand durch Absenken, worauf der Wasserspiegel im Trog schnell absank. Meist konnten die Smolts dem abfließenden Wasser folgen und gelangten so in den Auffangbehälter. In der Natur an Wasserkraftanlagen folgt hier eine glatte Bypassrinne, die mit wenig Gefälle in das Unterwasser führt. Zur besseren Beobachtung der Fische in der Rinne fehlte die Seitenwand, die gegenüber dem Spülschütz liegt. Dadurch floss Wasser im Spalt zwischen der Glaswand der Versuchsrinne und der Vorderseite des Troges nach. Dieses nachfließende Wasser wirkte in einigen Fällen als Lockstrom (positive Rheotaxis) und führte dazu, dass einige Tiere nicht dem abfließendem Wasser durch das Schütz folgten, sondern an der entgegengesetzten Seite versuchten durch den Spalt aus der Rinne zu entkommen. Aufgrund des geringen Spaltmaßes von einigen Millimetern war dies den Fischen nicht möglich. Dies hatte zur Folge, dass einige Fische in dem wenige Zentimeter tiefen Wasser der Rinne zurückblieben.



*Bild 12: Abschwemmung der Smolts aus dem Fischhebetrog*

Der geringe Wasserstand löste bei den Tieren ein unruhiges Umherschwimmen in der Rinne aus. Einige Lachse sprangen bei wenig Wasser auch in Panik nach oben gegen den Fischschutzkamm und fielen wieder in die Rinne zurück. Erst als sich der Fischhebetrog absenkte und die Rinne sich durch das einströmende Wasser aus den Rückschlagklappen am Boden füllte, beruhigten sich die Tiere wieder. Bei der Abwärtsfahrt des Fischhebetroges in die Ausgangsposition blieben einige Lachse in der Rinne, während andere den Lift verließen, wenn dieser unten angekommen war und der Kamm zur Sohle geklappt wurde.

#### 6.3.4.2 Aale

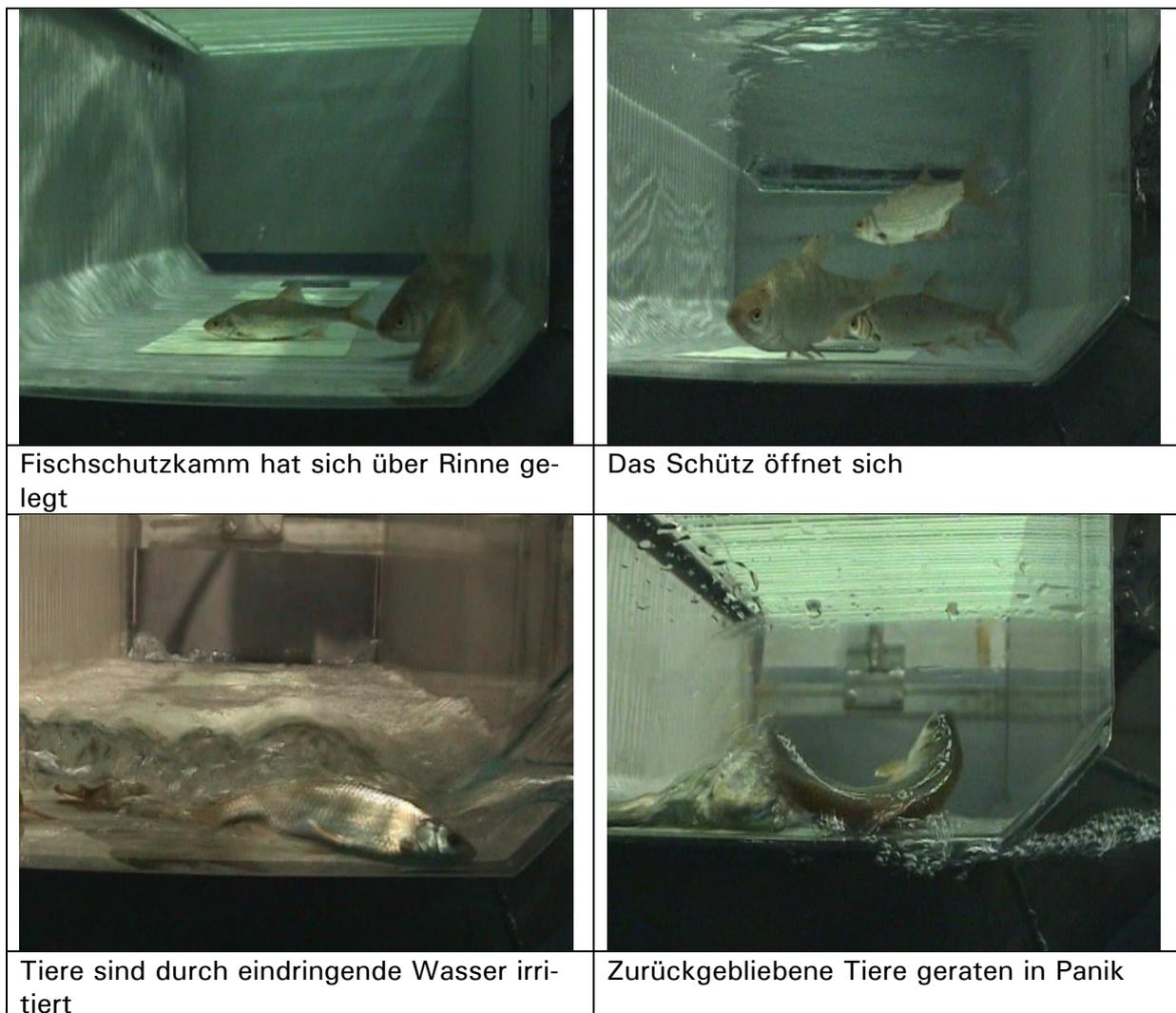
Die meisten Aale folgten dem abfließenden Wasser über die Kante des Absenkschützes in der Seitenwand. Dabei kam den Aalen zugute, dass er sich ohne große Mühe durch das wenige Zentimeter tiefe Wasser in der Rinne bewegen konnte. Sie konnten so die Zeit bis zum Schließen des Schützes besser für ihre Abwanderung nutzen. Deshalb blieben nur wenige Tiere am Ende des Ausspülvorgangs in der Rinne zurück. Alle nicht aus der Rinne abgewanderten Tiere ließen sich danach wieder nach unten mitnehmen, ohne den Fischhebetrog zu verlassen.



*Bild 13: Abschwemmen der Aale aus dem Fischhebetrog*

### 6.3.4.3 Rotauge, Hasel, Ukelei und Gründling

Alle vier Arten zeigten ein identisches Verhalten wie die Lachssmolts. Viele Tiere, die sich nicht zufällig unmittelbar an der Seitenwand des Spülschützes befanden und dadurch mit dem abfließenden Wasser mitgerissen wurden, schwammen rheotaktisch orientiert gegen die Entleerungsströmung (Bild 14). Sie wurden von dem Wasserstrahl angezogen, der durch die Lücke zwischen Sichtscheibe und Lift in die Rinne floss. Dort bleiben sie so lange, bis das Wasser nahezu vollständig aus der Rinne abgeflossen war. Die einsetzende Panik führte zu Sprüngen, die es manchen Tieren erlaubte durch die Öffnung des Spülschützes aus der Rinne zu fliehen. Allerdings wurde die Rinne nie vollständig entleert und beim Absenken durch die Rückschlagöffnungen am Boden sofort wieder mit Wasser gefüllt. Demzufolge blieben relativ viele Tiere in der Rinne und fuhren wieder mit nach unten (Im Mittel 7% der Gründlinge und Rotaugen und 3% der Ukelei bei den Versuchen mit Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s und durchschnittlich 17% der Rotaugen und 23% der Gründlinge bei Versuchen mit 0,8 m/s).



*Bild 14: Abschwemmen von Rotauge und Gründling aus dem Lift*

### 6.3.5 Fische unter dem Fischhebetrog

#### 6.3.5.1 Vorbemerkungen

Der Fischschutzkamm schloss seitlich nicht dicht an die Seitenwand an. Da Fische besonders häufig entlang der Wand schwimmen, gelangten sie durch diese vergrößerten Spalte in den Raum unter dem Trog. Auch wenn durch den auf der Sohle aufliegenden Kamm mit 18 mm Lichtabstand nur sehr wenige Fische die Bodenrinne durch Passage des Kammes erreichten, ist es nicht zu verhindern, dass Fische unter den Fischhebetrog in die Bodenrinne gelangen. Dieses Problem ist bei den Naturanlagen zu berücksichtigen.

#### 6.3.5.2 Lachssmolts

Bei fast allen Versuchen wurden auch Lachse unterhalb des Fischhebetroges beobachtet, wenn er am Boden in Ausgangsposition stand. Die Tiere nutzten dabei am Rechenfuß den Strömungsschatten hinter der Rampe im Versuchsaufbau bzw. die geplante Bodenvertiefung für den Fischhebetrog im Gelände. Die Tiere gelangten auf zweierlei Weise dorthin. Zum einen durchschwammen die Lachse den am Boden liegenden Fischschutzkamm, insbesondere an den seitlichen Lücken. Dies war vor allem bei einem Versuch mit der Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s der Fall. Zum anderen sammelten sich Lachse vor dem Rechen, wenn der Fischhebetrog sich an der Oberfläche befand. Bei der Abfahrt des Lifts zum Boden schwammen die Tiere unterhalb des Troges mit nach unten und standen damit in Ruheposition des Liftes ebenfalls unter dem Fischhebetrog. Alle Tiere hatten unter der Rinne jedoch ausreichend Platz und wurden nicht eingequetscht. Bei der nächsten Auffahrt des Lifts verließen viele Fische die Vertiefung vor dem Rechen und entkamen wieder stromaufwärts.

#### 6.3.5.3 Aale

Einige Aale gelangten vor dem Anheben des Troges unter diesen, indem sie den Fischschutzkamm seitlich passierten. Unter der Rinne fanden sie problemlos Platz und nutzten den Strömungsschatten der Rampe vor dem Rechenfuß zum Ruhen. Einige Aale schwammen auch am Rechenfuß entlang und suchten dort nach einem Abwanderweg. Bei Hub des Liftes blieben die Aale hinter der Rampe liegen oder schwammen, nachdem sich die Rinne ein Stück vom Boden entfernt hatte, am Rechen auf und ab. Einige der aufschwimmenden Tiere verließen dabei noch während der Hubphase des Lifts den Bereich vor dem Rechen und schwammen in Richtung Oberwasser. Insgesamt zweimal wurde beobachtet, wie ein Tier bei hohen Anströmgeschwindigkeiten von 0,8 m/s beim Aufschwimmen an den Rechen geschleudert wurde. Danach rollten beide Aale mehrmals über die gesamte Rechenfläche von einer Seite zur anderen Seite (s.o.). Nur mit Mühe konnten sich die Tiere schließlich vom Rechen lösen und tauchten zurück zum Grund in den Strömungsschatten der Rampe.

#### 6.3.5.4 Rotauge, Hasel, Ukelei und Gründling

Bereits vor Hub des Fischhebetroges wanderten regelmäßig Gründlinge und Rotaugen durch den Fischschutzkamm und suchten Strömungsschatten unter dem Trog. Hasel und Ukelei taten dies nicht. Die Tiere unter der Rinne konnten sich problemlos bewegen, da genug Abstand zum Bodengrund vorhanden war. Selbst wenn der Fischlift sich in Bewe-

gung setzte, verließen viele Tiere (v.a. Gründlinge) ihren Platz nicht und schwammen im Strömungsschatten der Rampe umher. Allerdings wurden bei hohen Anströmgeschwindigkeiten von 0,8 m/s insgesamt 2 Rotaugen an den Rechen gedrückt.

#### 6.4 Quantitative Ergebnisse

Die Effizienz des Fischhebetrogs war bei den einzelnen Arten sehr unterschiedlich und hing in erster Linie von der Wanderstimmigkeit der Tiere ab (s.o.). Nur wanderbereite Fische standen innerhalb der Versuchszeit (45 min) früher oder später vor dem Rechen und gelangten damit in den Wirkungsbereich des Rechens.

Die höchste Effizienz (Bild 15) wurde bei den Lachssmolts festgestellt. Bei den Versuchen mit einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s konnten mithilfe des Fischhebetroges im Mittel 71% der Lachssmolts erfolgreich absteigen. Bei den Versuchen mit 0,8 m/s Anströmgeschwindigkeit (Bild 16) wanderten durchschnittlich 77% der eingesetzten Lachse ab.

Die zweithöchste Abwanderung über den Fischhebetrog erfolgte bei den Aalen. Bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s nutzten durchschnittlich 48% aller eingesetzten Aale den Fischhebetrog für eine Abwanderung. Bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,8 m/s verringerte sich die Abwanderrate um 10% (Mittelwert 38%).

Das Rotauge erreichte eine durchschnittliche Abwanderrate von 37% bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s und durchschnittlich 23% bei Strömungen von 0,8 m/s.

Bei Anströmgeschwindigkeiten von 0,5 m/s wanderten durchschnittlich 27% der Hasel über den Fischhebetrog ab. Bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0,8 m/s betrug die Rate ein knappes Viertel davon und lag im Mittel bei 7%.

Die Abwanderrate über den Fischhebetrog blieb beim Gründling bei beiden Anströmgeschwindigkeiten gleich hoch und lag im Durchschnitt bei 17%.

Bei der Ukelei wanderten im Mittel bei Geschwindigkeiten von 0,5 m/s 13% der eingesetzten Tiere über den Fischhebetrog ab. Bei Anströmgeschwindigkeiten von 0,8 m/s halbierte sich der Wert beinahe und lag bei 7%.

Zu den in den Bildern 15 und 16 festgehaltenen Abstiegsraten ist aber noch einmal klar festzuhalten, dass sie sich auf alle eingesetzten Tiere bezogen, von denen ein mehr oder weniger großer Anteil nicht oder innerhalb der Versuchszeit noch nicht wanderbereit war. Es war leider nicht möglich, die Abstiegszahlen auf die Tiere zu beziehen, die vor dem Rechen im Wirkungsbereich des Fischhebetrogs auftauchten, da diese Anwesenheit oft nur vorübergehend war. Aus den Beobachtungen ergab sich aber das klare Ergebnis, dass die Fische, die sich im Moment der Räumfahrt vor dem Rechen befanden, zu einem hohen Prozentsatz mitgenommen wurden.

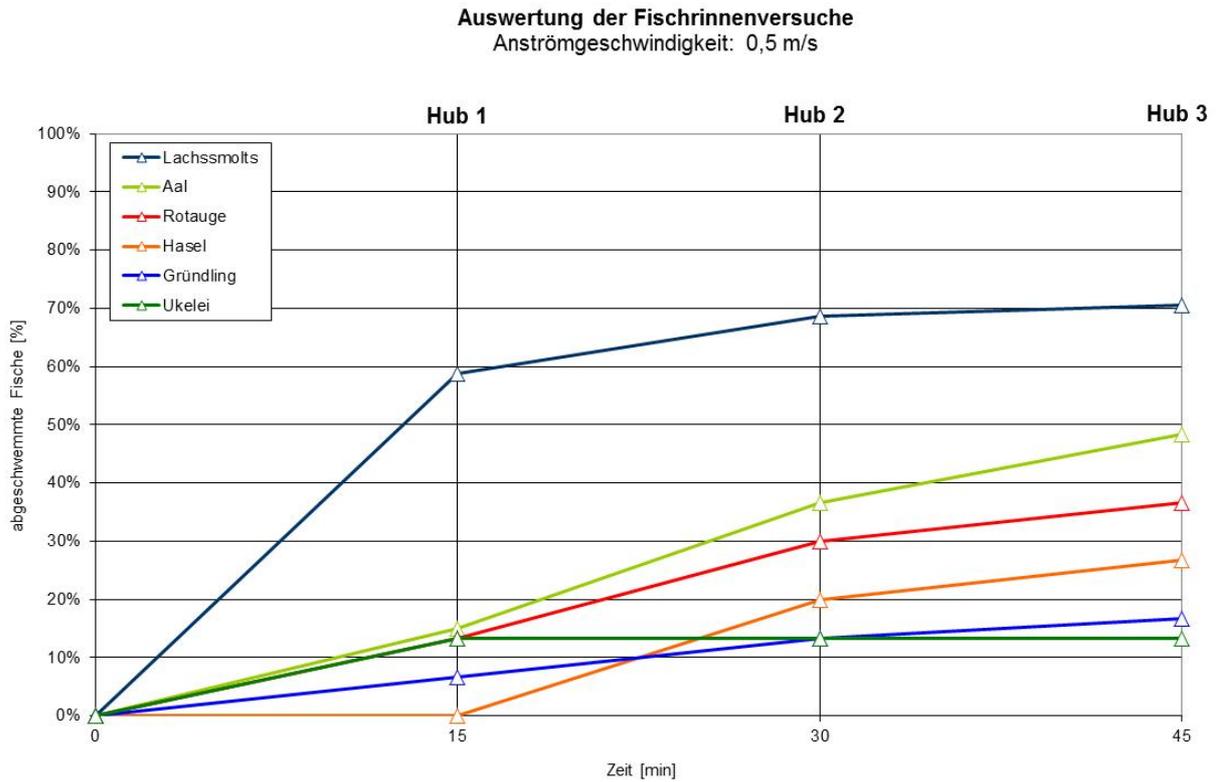


Bild 15: Kumulierte Abstiegsraten bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,50 m/s

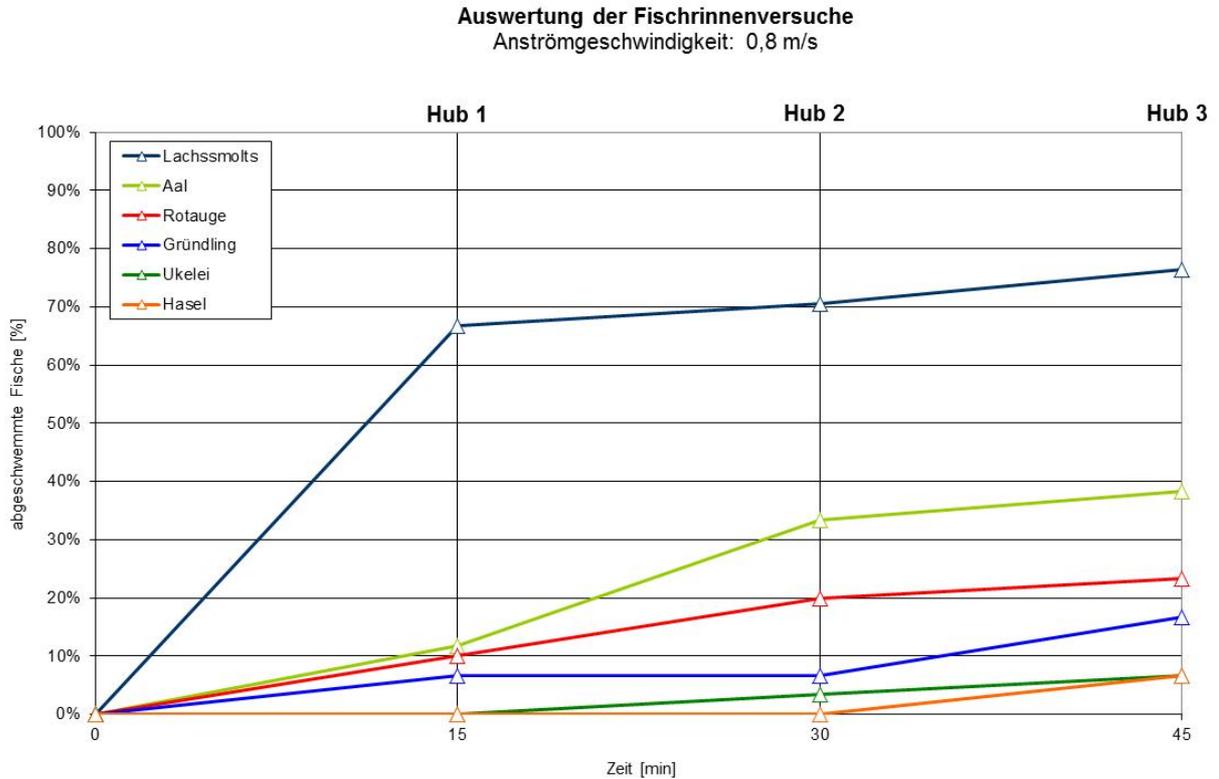


Bild 16: Kumulierte Abstiegsraten bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,80 m/s

## 6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Laborergebnisse zeigen, dass das Prinzip des Fischhebetroges grundsätzlich funktioniert. Alle abwandernden Fische standen in einem geringen Abstand von wenigen Zentimetern vor dem Rechen und gelangten so in den Wirkungsbereich des Fischhebetroges. Selbst Aale, die nach Rechenkontakt in Richtung oberstrom flohen, schwammen auf ihrer Suche nach einem Abwanderweg wieder zurück an den Rechen. Dort suchten sie, wie schon bei anderen Laborversuchen beobachtet (Hassinger u. Hübner 2009), zuerst am Rechenfuß und zogen sich, die Strukturen nutzend, deshalb in den am Boden befindlichen Trog oder in die Bodenrinne darunter zurück.

Für die Auffindbarkeit des Fischhebetrogs war für bodenorientierte Arten wie Aal und Gründling die Leitfunktion des am Boden liegenden Fischschutzkamm entscheidend. Andernfalls war ihnen eine Nutzung des Lifts nicht möglich, da sie nicht wie andere Arten vor dem Rechen stehen. Die Annahme, dass Fische den Kamm problemlos überschwimmen werden, erfüllte sich nur zum Teil. Die meisten Aale und Gründlinge schwammen tatsächlich problemlos über den Kamm. Sie hielten dabei genügend Abstand zu Kammborsten und benutzten ihn als Rampe bzw. als Übergangsstruktur. Dies war ihnen aufgrund ihrer relativ starken Schwimmkapazität möglich. Dennoch schwammen regelmäßig einige Tiere durch den am Boden liegenden Kamm hindurch. Sie gelangten dadurch in die Bodenrinne unter dem Fischhebetrog. Dies war nicht nur für die am Boden lebenden Arten der Fall, sondern zeitweise auch für Lachs-Smolts und Rotaugen.

Es ist anzunehmen, dass eine Passage des auf die Sohle abgelegten Fischschutzkammes unter Realbedingungen auch bei anderen Arten vorkommen wird, wenn dessen Stababstände zu groß sind. Besonders häufig dürften auch schwimmschwache und stark bodenorientierte Kleinfischarten wie Groppe (*Cottus gobio*), Schmerle (*Barbatula barbatula*) und Süßwassergrundeln durch den Kamm schwimmen. Zwar ist in den Versuchen kein Tier wegen des großen Abstandes zwischen Rinne und Boden unter der Rinne verletzt worden, dennoch war der Standort unter der Rinne eine zeitweilige Sackgasse für abwandernde Fische. Sie konnten ihren Platz erst dann verlassen, indem sie durch den Kamm zurückschwammen oder während der Hubphase des Lifts nach oberstrom entwichen. Dieser Vorgang ist immer mit einem gewissen Zeit- und damit Energieverlust verbunden. Um diesen Verlust für die abwandernden Tiere zu minimieren gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder das Unterschwimmen der Rinne wird durch einen noch dichteren Fischschutzkamm unterbunden oder es wird den Fischen direkt ein Abwanderweg unterhalb der Rinne angeboten. Bei der ersten Möglichkeit kann trotz enger stehender Borten ein Durchschwimmen durch kleine Fische niemals ausgeschlossen werden. Deshalb erscheint die zweite Möglichkeit praktischer, zumal der Abwanderweg auch für den Abtransport der Sedimente unterhalb der Rinne benutzt werden könnte (siehe Abschnitt zu hydraulisch-technischen Ergebnissen).

Ein unerwartetes Ergebnis war die Tatsache, dass sich viele Tiere (v.a. Smolts) durch den aufstellenden Kamm und den damit verbundenen Strömungsschatten problemlos in den Fischhebetrog leiten ließen. Möglich war dies nur durch die langsame und ruckfreie Bewegung des Kamms. Deshalb muss unbedingt bei der weiteren Entwicklung des Fischhebetrogs darauf geachtet werden. Andernfalls sind Fluchtreaktionen der Fische sehr wahrscheinlich und damit das ganze Prinzip des Lifts hinfällig.

Die sehr langsame und ruckfreie An- und Auffahrt des Fischhebetrogs am Rechen war auch der Hauptgrund für die weitgehend fehlende Fluchtreaktion der Fische vor dem Rechen. Unter realen Bedingungen fällt allerdings bei der Auffahrt gleichzeitig Rechengut in die Rinne. Inwieweit dies zu Fluchtreaktionen der Fische in der Rinne und der Tiere vor den Rechen führt, kann nur durch Freilandbeobachtungen beantwortet werden. In den Laborversuchen verhielten sich die meisten Fische relativ ruhig in der Rinne. Desgleichen war auch bei Tieren beobachtbar die den Lift im Strömungsschatten des aufgestellten Fischschutzkamms nach oben folgten.

Entscheidend für das Absammeln der Fische vor den Rechen durch den Fischhebetrog war das sehr langsame Auftauchen des Fischschutzkamms vor den Tieren. Deshalb flohen die Fische nicht und behielten weiterhin ihre Position. Alle Fischarten, die in mittlere Wassertiefe oder nahe der Wasseroberfläche vor den Rechen standen, nutzten sofort den angebotenen Strömungsschatten und ließen sich vom Lift hinter dem Kamm oder in der Rinne mitführen. Selbst Tiere, die durch die hohen Anströmgeschwindigkeiten an den Rechen gepresst wurden, konnten sich im Strömungsschatten des Kamms aktiv vom Rechen lösen und wurden dann vom Lift mitgeführt. Damit hat der Fischhebetrog seine wichtigste Funktion, das Absammeln aller abwandernden Fische auf der gesamten Rechenfläche, im Labor erfolgreich bewiesen. Die verhältnismäßig geringen Abwanderungsraten bei den Cypriniden sind auf die mangelnde Abwanderbereitschaft zurückzuführen. Unter realen Umständen wird eine weitaus höhere Effizienz erwartet, da die Verhaltensbeobachtungen im Labor gezeigt haben, dass das Prinzip des Fischhebetrogs bei allen eingesetzten Arten, die stellvertretend für viele andere stehen, funktioniert hat. Desgleichen gilt auch für den Lachssmolt und den Aal. Zwar wurden in Laborversuchen bei einem speziellen Aalabstieg um 42% höhere Abstiegswahrscheinlichkeiten festgestellt (Hassinger & Hübner 2009), es ist aber davon auszugehen, dass mit Einbau eines Abwanderweges unter der Rinne (s.o.) ähnlich gute Raten in der selben Zeit erreicht werden können.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Effizienz des Fischhebetroges abhängig von der Anströmgeschwindigkeit vor dem Rechen ist. In der Regel war die Abwanderrate bei einer Geschwindigkeit von 0,8m/s deutlich niedriger als bei 0,5m/s. Bei 0,8m/s war der Aktionsradius der meisten Arten stark eingeschränkt. Ihre kritische Schwimmggeschwindigkeit war überschritten und sie konnten nicht so intensiv nach einem Abwanderweg suchen. So wurde der Aal, nach erfolgloser Suche am Rechenfuß, beim Aufschwimmen am Rechen stark angepresst und über den Rechen gerollt. Auch die Lachse zeigten deutlich weniger vertikale Auf- und Ab- Bewegungen vor dem Rechen als bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0,5m/s. Viele Fische suchten Strömungsschutz in Bodennähe. Allerdings bewegten sie sich dort bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0,8m/s deutlich weniger als bei 0,5m/s. Dadurch wurde der Fischhebetrog außerhalb der Hubphase öfter verfehlt. Nur der Gründling zeigte bei jeder Strömungsgeschwindigkeit ein identisches Verhalten. Wahrscheinlich entging er dem hydraulischen Stress am besten dadurch, dass er niemals aufschwamm bzw. sich ausschließlich am Bodenrund aufhielt. Demzufolge blieb die Abwanderungsrate beim Gründling bei beiden Strömungsgeschwindigkeiten gleich.

Bemerkenswert ist auch, dass bereits nach kurzer Zeit (ab der 5. Minute) bei einer Geschwindigkeit von 0,5m/s bei einigen Arten massive Probleme am Rechen auftraten. Auch wurden schon bei dieser Geschwindigkeit Rechenpassagen beobachtet. Erstaunlicherweise waren davon auch die schwimmstarken Lachssmolts betroffen. Dieser Befund steht in

Übereinstimmung mit anderen Laborergebnissen (Hübner et al. 2011) und zeigt, dass abwandernde Fische an Wasserkraftanlagen möglichst schnell vom Oberwasser in das Unterwasser gelangen müssen. Dieser Zeitaspekt ist beim Fischhebetrog steuerbar und deshalb ein große Vorteil gegenüber anderen Abwanderkonzepten. Die Fische werden vor dem Rechen eingesammelt und müssen nicht ihren Abwanderwegen mit einem gewissen Zeitverlust selbstständig suchen (s.o.). Denkbar wäre deshalb, die Hubfrequenz des Lifts in Zeiten der Fischabwanderungen zu erhöhen.

Das Auflegen des Fischschutzkammes auf die Rinne am Ende der Auffahrt führte weder zu Panikreaktionen der Fische noch versuchten Tiere den Fischkamm zu durchschwimmen oder aus der Rinne zu hüpfen. Wie sich das Verhalten der Fische im Freiland bei einer mit Treibgut gefüllten Rinne verändern wird, lässt sich ohne Freilandversuche nicht vorhersagen. Mit Sicherheit muss jedoch in Zeiten mit starkem Laubfall (Herbst) der Lift so oft laufen, damit die Rinne nicht vollständig mit Treibgut gefüllt ist und Platz bzw. ein Wasserpolster für die Fische übrigbleibt.

Das Abschwemmen der Fische aus dem Fischhebetrog war bei allen Arten mehr oder minder problematisch, wobei ein Teil der Probleme versuchsbedingt auftrat. Durch den Spalt zwischen Beobachtungsscheibe und Fischhebetrog floss bei sinkendem Wasserstand im Fischhebetrog das Wasser nach. Dadurch schwammen viele Fische in diese Richtung und folgten nicht dem ablaufenden Wasser das durch die Abstiegsöffnung auf der entgegengesetzten Seite floss. Die zurückgebliebenen Tiere reagierten panisch auf den sinkenden Wasserstand und hüpfen in der Rinne umher. Bei Absenken des Lifts beruhigten sie sich schnell wieder, da das Wasser durch die Rückschlagklappen schnell nachfloss und die Rinne wieder füllte. Im Freilandbetrieb gibt es keinen Spalt, denn die fehlende Seitenwand des Liftes ist dann vorhanden. Auch sind die großen Randeffekte des Fischhebetroges versuchsbedingt. Im Freiland wird die Rinne aufgrund der größeren Rechenbreiten viel länger als ein Meter sein. Die Fische werden damit in einem viel größeren Wasserpolster aus der Rinne geschwemmt. Andererseits zeigen die Versuche, dass die Abschwemmphase mit 30 Sekunden zu kurz war oder es hätte noch mehr Wasser nachlaufen müssen, um die Fische schneller aus der Rinne zu spülen. Da es besser ist die Abschwemmphase kurz zu halten und damit die Frequenz der Hubphasen zu erhöhen, wird empfohlen, zusätzlich Wasser in die Rinne zu geben. Dies könnte durch eine Pumpe oder durch ein gegenüber der Abstiegsöffnung liegendes Schütz erfolgen.

## **7 Zusammenfassung der Ergebnisse für Laboranlage**

### **7.1 Mechanischen Auslegung**

Die Beobachtungen im Labor haben hinsichtlich der mechanischen Auslegung gezeigt, dass das System dann Probleme bekommt, wenn die Anströmgeschwindigkeiten groß werden. Das betrifft die Verluste, die Kräfte für das Verfahren, die Belastung des Fischschutzkammes und das Reinigungsverhalten des Rechens. Bei der derzeit üblichen Grenzgeschwindigkeit von 0,50 m/s ist die mechanische Auslegung unproblematisch.

Da sowohl der Fischschutzkamm als auch die Abstreifleiste in der Endlage des Wartezustandes elastisch auf der jeweiligen Fläche (Sohle beim Kamm, Rechenoberfläche bei der Abstreifleiste) aufliegen sollen, bietet es sich an, die hydraulischen Antriebe dieser Elemen-

te mit einer gefederten Rückstellung auszulegen. Dann würde nur eine Ölzuleitung erforderlich werden. Die Auslenkung aus der Ruhestellung würde durch Öldruck bewirkt. Die Rückstellung würde durch eine Feder in den Antrieben bewirkt, wobei dann die Hydraulikflüssigkeit von der Feder ausgepresst würde.

Beim Bau des Rechens ist darauf zu achten, dass die Montage so erfolgt, dass die Rechenoberfläche exakt eben ist. Nur dann kann erwartet werden, dass eine glatte Abstreifleiste den Rechen sauber reinigt.

## 7.2 Antrieb und Steuerung

Infolge der Tatsache, dass die Steuerung der Laboranlage so angelegt wurde, dass sie mit leichten Modifikationen auch in Prototypen verwendet werden kann, erlaubt es, genauere Angaben zu den Abläufen zu machen:

1. Die Kombination von hydraulischen und elektromechanischen Antrieben ist möglich und sollte genutzt werden, um für die jeweilige Antriebsaufgabe die am besten anpassbare und wirtschaftliche Lösung zu realisieren.
2. Elektromechanische Antriebe empfehlen sich insbesondere dort, wo bestimmte Stellungen genau anzufahren sind.
3. Die im Programm vorgesehenen Variablen sind alle nötig, da diese Parameter an die jeweiligen Anforderungen anzupassen sind.
4. Die am häufigsten veränderte und damit wichtigste Variable dürfte die Spülzeit bei der Trogentleerung sein.
5. Die Tatsache, dass das System den schwankenden Wasserspiegeln folgt, hat sich bereits im Labor bewährt.
6. Eine Modifikation im Betriebssystem wird sein, dass es neben dem normalen Betrieb, der auf optimale Funktion für den Fischschutz ausgelegt ist, noch einen Sonderbetrieb für starken Laubanfall im Herbst geben sollte. Bei diesem Sonderbetrieb wird der Ablauf so optimiert, dass die Zykluszeit kurz genug ist, um dem bei Feinrechen extremen Laubanfall Herr zu werden. Es ist damit zu rechnen, dass dann der Rinnenantrieb permanent läuft. Deshalb muss der Antrieb des Fischhebetroges auf Dauerlauf ausgelegt sein.
7. Es muss für jede einzelne Funktion ein Handbetrieb möglich sein. Diese erlaubt es, alle Systemkomponenten in bestimmte Positionen zu fahren, um Kontroll- und Wartungsarbeiten durchzuführen.
8. Von besonderem Vorteil ist ein Programmmodus, bei dem der Trog am Wasserspiegel angehalten wird, der Fischschutzkamm aufgeklappt wird und dann alle Funktionen verriegelt werden. Dann kann eine Person in den Trog einsteigen und die dort enthaltenen Fische mit einem speziellen Kescher, der an den Querschnitt des Troges angepasst ist, herausfangen.

### 7.3 Fischverhalten

Zum Fischverhalten kann als Ergebnis zusammengefasst werden, dass die konzeptionelle Grundidee, die vor dem Rechen stehenden Fische mit einem Strömungsschatten zu binden und dann behutsam in einen langsam bewegten Trog einzufangen, bei unterschiedlichen Fischarten funktioniert. Auch das Mitnehmen von Fische, die bereits auf dem Rechen liegen, erfolgt behutsam, da im Moment des Abstreifens der Strömungsschatten zu einer Verringerung der Anpresskräfte führt.

Einzig schwierigerer Punkt ist die Entleerung des Troges. Die Fische orientieren sich in der Entleerungsströmung positiv rheotaktisch und schwimmen gegen diese Strömung an. Weitere Versuche dazu können nur mit den in der Natur möglichen langen Rinnen durchgeführt werden. Strategie muss es sein, die richtige Abstimmung zwischen Entleerungsströmung, Wassertiefe und Nachlaufzeit zu finden.

Wenn die Fische den Fischhebetrog verlassen haben, werden sie in der glatten Rinne in Richtung Unterwasser geschwemmt. Diese Rinne wird wenig Gefälle aufweisen, so dass der größte Teil der Höhendifferenz zum Unterwasser durch einen Absturz zu überwinden ist. Die Praxis muss zeigen, wie dieser Teil des Wanderkorridors so geschützt werden kann, dass Räuber keinen Zugriff auf die in ihrer Mobilität beeinträchtigten Fische haben. Im Unterwasser kann die Überlebenschance der abgestürzten Fische eventuell durch ein spezielles Strukturangebot rund um die Absturzstelle verbessert werden.

### 7.4 Bodenrinne und Raum unter dem Fischhebetrog

Die Versuche haben gezeigt, dass ein Eindringen der Fische in den Raum unter dem Hebetrog nicht verhindert werden kann. Manchen Fischarten (z.B. den Aalen) kommen die dort vorhandenen Strukturen sehr entgegen. Wenn ein Fisch sich dorthin zurückgezogen hat, besteht keine Gefahr für ihn, denn der Raum unter dem Trog muss immer reichlich bemessen sein ( $> 10$  cm). Allerdings kann ein Zeitverzug eintreten.

Da dieser Bereich ohnehin mit einer speziellen Spüleinrichtung von Sand und Ablagerungen freigehalten werden muss, liegt es auf der Hand, diese Spüleinrichtung so auszulegen, dass sie als permanent offener und mit mäßigen Geschwindigkeiten laufender Bypass fungieren kann. Hierfür gibt es bereits konkrete Lösungen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass eine Verbindung von der Bodenrinne zur Abschwemmrinne hergestellt wird, durch die wegen der geringen Druckhöhendifferenz nur wenig Wasser läuft. Die Fische würden durch diese Leitung aus der Bodenrinne in den oben liegenden Abspülkanal geleitet werden. Durch die mit einem solchen Bypass verbundene Längsströmung würden Fische in der Bodenrinne einen solchen Abwanderkorridor schnell erreichen.

Zur Räumung von Sand würde eine Verbindung zum Unterwasser geöffnet werden, so dass durch eine starke Strömung der abgelagerte Sand ausgespült würde.

## 8 Vor- und Nachteile des Fischhebetroges

### 8.1 Vorteile

Die im Verlauf des Projektes erkannten Vorteile des Fischhebetroges im Vergleich zu anderen Konzepten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Geringer Wasserverbrauch
- Für alle Fischarten von der Sohle bis zum Wasserspiegel geeignet. Insbesondere ist für Aale kein separater Bypass erforderlich
- Voller Zugriff auf den zeitlichen Ablauf. Von den Abstiegskonzepten, die auf dem Prinzip des Leitens der Fische beruhen, ist bekannt, dass die Abstiegszeit mitunter viele Stunden bis zu mehreren Tagen betragen kann (Blasel, 2010; Calle et al. 2008, Neitzel et.al. 1985; Johnson et. al. 2005). Dies ist nach Fachmeinung deutlich zu lang, da die Fische möglicherweise die ganze Zeit in der Strömung stehen und dann erschöpft im Unterwasser ankommen, wo sie leichte Beute von Räubern werden. Beim Fischhebetrog beträgt die mittlere Wartezeit etwa die Hälfte des Fahrtintervalles, also ca. 8 bis 15 min.
- Geringstmögliche Fläche des Rechens
- Behutsamer Umgang mit den Fischen, die auf dem Rechen liegen. Die Fische werden durch das mechanische System und die Rechenreinigung nicht gefährdet.
- Die gesetzlichen Bedingungen für das Weiterleiten des Rechengutes in das Unterwasser (im Wasser belassen, nicht über das Oberwasser anheben) werden in vollem Umfang erfüllt.
- Der Fischabstieg ist direkt an die wichtige Funktion der Rechenreinigung gekoppelt. Das bedeutet, dass diese Funktion durch den Betreiber nicht vernachlässigt wird, denn zur Sicherstellung eines effektiven Betriebes muss die Rechenreinigung gut unterhalten und mit wenig und kurzen Unterbrechungen betrieben werden.
- Wegen der geringen Baulänge und des geringen Höhenbedarfes gute Nachrüstbarkeit in bestehenden Anlagen z.B. unterstrom eines vorhandenen Rechens
- Entleerungsfunktion wird permanent und automatisch an schwankende Oberwasserspiegel angepasst. Damit ist die Funktion weitgehend unabhängig vom Oberwasserspiegel.
- Gute Kontrollierbarkeit der ökologischen Funktion, denn vor dem Entleeren sind die Fische sichtbar. Funktionskontrollen können mit wenig Aufwand durchgeführt werden, denn der angehobene Trog kann mit einem Kescher leergefischt werden.
- Vergleichsweise geringer baulicher und konstruktiver Aufwand und damit geringe Nachrüstkosten

### 8.2 Nachteile

Einziger zu erwähnender Nachteil ist die Notwendigkeit, den Fischhebetrog mit einem Grob- rechen vor grobem Treibzeug zu schützen. Somit werden Auffangen, Herausnehmen und

Entsorgung von grobem Treibzeug von dem Abschwemmen von Fischen und Feinrechengut klar getrennt. Für den Grobrechen kann eine halbautomatische Reinigung die Anforderungen voll erfüllen. Die Feinrechenreinigung mit Fischhebetrog sollte im Schutz des Grobrechens sehr zuverlässig, energie- und wassersparend und betriebssicher arbeiten.

Da aber alle Feinrechensysteme mit sich anschließenden Ableitsystemen ihre Probleme mit Treibholz haben, ist es gerechtfertigt, eine getrennte Grobrechenanlage vorzusehen, deren Reinigung dann auf die ganz spezifischen Anforderungen für Treibholz ausgelegt werden kann.

Der vermeintliche Nachteil einer aufwendigeren maschinentechnischen Ausstattung relativiert sich bei genauerer Betrachtung, denn der alternativ vielfach geplante horizontale Schrägrechen besitzt ebenfalls 4 bewegliche Komponenten (Rechenreiniger Linearbewegung, Rechenreiniger Schwenkarm; Bypass-Tür; Klappe im Bypass). Auch entspricht das Argument nur eines einzigen Rechenreinigers nicht der Realität, denn bei den Schrägrechenanlagen wird mitunter eine weitere Reinigungseinheit in Form eines Hydraulik-Baggers zum Entnehmen großer Treibhölzer aufgestellt.

## 9 Information der Öffentlichkeit

Zur Erklärung der Funktionsweise des Fischhebetroges wurde eine Animation erstellt, die auf der Website der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau verfügbar ist.

Insbesondere die bei den Laborversuchen gewonnenen Filmaufnahmen dienten bereits mehrfach dazu, das dem DBU-Projekt zugrunde liegende Funktionskonzept in Vorträgen und Informationsveranstaltungen vorzustellen. Zu erwähnen ist hier unter Anderem eine Vorführung der Versuchseinrichtung im Rahmen der Tagung „Gewässerökologische Verbesserungsmaßnahmen an Wasserkraftanlagen“ am 8. Bis 9. Nov. 2010 an der Universität Kassel. Weiterhin sind folgende Vorträge zu nennen:

Hassinger & Hübner (2011): Aktuelle Entwicklung bei der Kombination von Rechenreinigung und Fischabstieg. Tagung "Ökologische Durchgängigkeit in Fließgewässern" vom 06.-07.04.2011 in Lebus Brandenburg

R. Hassinger: Umsetzungsprobleme bei der ökologischen Verbesserung von Wasserkraftanlagen. Vortrag beim ad-hoc-Seminar „Fischschutz und Fischdurchgängigkeit“ am 14.05.2012 an der ETH Zürich

R. Hassinger: Hochwertiger Fischschutz: Kombination von modernem Feinrechen mit raschem und schonendem Fischabstieg. Beitrag bei der SVK-Tagung im Mai 2012 in Künzell/Fulda

D. Hübner: Probleme und Lösungsansätze zum Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. Tagungsband 15. Betreuertagung der GFG (Gewässer-Nachbarschaften Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland) im Juni 2011 in Wiesbaden

D. Hübner: Neue Ergebnisse zum Verhalten von Fischen vor Kraftwerksrechen und zum Fischabstieg. Vortrag beim ad-hoc-Seminar „Fischschutz und Fischdurchgängigkeit“ am 14.05.2012 an der ETH Zürich

Es fand auch eine Fülle von Ortsterminen, Informationsveranstaltungen und Besprechungen statt, die überwiegend das Ziel hatten, die im Projekt entwickelte Technologie in Pilotanlagen einzusetzen. An einigen Standorten läuft der Prozess der Lösungsfindung noch, so dass mehrere Chancen bestehen, den Fischhebetrog in absehbarer Zeit zur Anwendung zu bringen.

Eine Veröffentlichung ist nach der Fertigstellung dieses Berichtes geplant.

## 10 Ausblick

Alle einschlägigen Veranstaltungen (z.B. Workshop zum Forum „Fischschutz und Fischabstieg“ am 23. + 24. 01.2013 in Karlsruhe) und Erfahrungsaustausche haben gezeigt, dass das zugrunde liegende Problem mit dem aktuellen Stand der Technik nicht gelöst ist. Bei kleineren Anlagen müssen die alternativen Konzepte noch ihre Effizienz nachweisen, was nach allen Erfahrungen schwierig wird, wenn der Zeitfaktor entsprechend berücksichtigt wird. Im Bestand sind diese alternativen Konzepte in vielen Fällen nicht wirtschaftlich umsetzbar.

Bei großen Wasserkraftanlagen ist überhaupt noch keine Technologie verfügbar, mit der effektiver mechanischer Fischschutz möglich wäre. Hier könnte nach Vorliegen von Erfahrungen an kleineren Anlagen eine entsprechende Weiterentwicklung des Fischhebetroges aussichtsreich sein.

Die von der DBU dankenswerterweise geförderten Versuche werden trotz des Abbruchs des Projektes nach der Laborphase bei der weiteren Entwicklung und Anwendung des Fischhebetroges helfen. Mit diesem Material wird es früher oder später gelingen, Pilotanlagen zu realisieren, die dann die Erkenntnisse liefern könnten, die aus Projektphase 2 erwartet wurden. Die Tatsache, dass die Genehmigungsbehörden wegen der Neuheit des Konzeptes zur Funktionskontrolle Monitoringprogramme fordern werden, unterstützt die Gewinnung von Naturdaten aus diesen Pilotanlagen.

Die Versuche waren so überzeugend, dass der Prozess der Patentierung und Lizenzierung weiter vorangebracht wurde. So konnte auch ohne Pilotanlage ein Kooperationspartner gewonnen werden, an den eine Lizenz vergeben wurde. Dieser hat mit der technischen Entwicklung und Vermarktungsanstrengungen bereits begonnen. Ein Infoblatt dieses Lizenznehmers ist in Anhang 2 abgedruckt.

Das neue Wasserkraftwerk in Kostheim am Main mit einem zur Planungszeit als fortschrittlich angesehenen Fischabstiegskonzept muss leider wegen fehlgeschlagener Nachweise über einen ausreichenden Fischschutz ökotechnisch ertüchtigt werden (Schneider et. al. 2012). Die Ergebnisse aus dem DBU-Projekt führten zur Erarbeitung eines Konzepts für eine Sanierung, die auf dem Prinzip des Fischhebetroges basiert. Hierüber wurde kürzlich eine Master-Arbeit verfasst (Klose, 2012). Ohne die Erkenntnisse aus den Laboruntersuchungen wäre dieser Lösungsvorschlag nicht möglich gewesen.

## 11 Danksagung

Die Projektleitung und die Projektpartner bedanken sich bei der Bundesstiftung Umwelt für die Unterstützung und die Förderung dieses Projektes. Auch für die Flexibilität im Projektmanagement, die aufgrund der mehrfachen Veränderungen im Projektablauf unterstützend und motivierend wirkte, sei der Bundestiftung Umwelt herzlich gedankt.

## Literaturverzeichnis

- Adam, B.; Schwevers, U. Gumpinger, C. 1997:** Verhaltensbeobachtungen zur Abwanderung von Aalen (*Anguilla anguilla*) und Lachsen (*Salmo salar*) unter Laborbedingungen. Inst. f. angewandte Ökologie, Kirtorf-Wahlen (im Auftrag des RP Kassel, Obere Fischereibehörde, unveröffentlicht)
- Adam, B.; Lehmann, B. 2011:** Etohydraulik. Springer 2011
- ATV-DVWK 2006:** Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen. Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. DWA Hennef.
- Berthold, H. 2009:** Untersuchung zur Umsetzung der Hessischen Fischereiverordnung im Hinblick auf die Installation von Feinrechen mit 15 mm Stababstand und den Fischabstieg. Diplomarbeit am FB Bauingenieurwesen (unveröffentlicht), Kassel 2009
- Blasel, K. 2010:** Beobachtung von Lachssmolts an Fischabstiegsanlagen unterschiedlichen Bautyps in Baden-Württemberg. 21. SVK-Tagung 15. + 16. März 2010, Künzell (Fulda), 2010
- BMU 2009:** Erneuerbare Energien 2008 in Deutschland - Aktueller Sachstand - Mai 2009. 5. 2009. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Referat Öffentlichkeitsarbeit.
- Boes, R. 2012:** Mini-Symposium: Durchgängigkeit von Wasserbauwerken. Diskussionsbeitrag und Schlusswort, ETH Zürich, 14. Mai 2012
- Calles, O.; Karlsson, S.; Hebrand, M.; Comogleo, C. 2012:** Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant. Ecological Engineering vol. 48 November 2012, p. 30-37
- Courret, D.; Larinier, M. 2008:** Guide pour la conception de prises d'eau "ichtyocompatibles" pour les petites centrales hydroelectriques. Rapport GHAAPE RA.08.04, Novembre 2008 (Groupe d'Hydraulique appliquée aux Aménagement Piscicoles et à la protection de l'Environnement)
- Ebel, G. 2010** Vermeidung turbinenbedingter Fischschäden durch Fischschutz und Fischabstiegssysteme. 21. SVK-Fischereitagung 15.03.2010, Künzell (Fulda), 2010
- EG 2007:** Verordnung 1100/2007 des Rates vom 18. September 2007 mit Maßnahmen zu Wiederauffüllung des Bestandes des Europäischen Aals. Amtsblatt der Europäischen Union L 248/17 (22.11.2007)
- Gluch, A. 2007:** Kombiniertes Fisch- und Treibgutableiter für Wasserkraftanlagen. Wasser und Abfall, 2007, Heft 7-8, S. 38
- Hadderingh RH. 1979:** Fish intake mortality at power stations the problem and its remedy. Aquatic Ecology 13: 83-93.

- Hammer C. 1995:** Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 112: 1-20.
- Hassinger, R. 2009:** Neuartiger Fisch schonender Rechen für Wasserkraftanlagen. Dresdener Wasserbauliches Kolloquium, 12. + 13.03.2019, Dresden 2009
- Hassinger, R. & Hübner D. 2009:** Entwicklung eines neuartigen Aal-Abstiegssystems mit Hilfe von Laborversuchen. *Korrespondenz Wasserwirtschaft (KW)* 2 Nr. 5: 276-281
- Hassinger, R. 2012:** Hochwertiger Fischschutz: Kombination von modernem Feinrechen mit raschem und schonendem Fischabstieg. 23. SVK-Tagung Künzell, März 2012
- Hessische Fischereiverordnung HFO 2008.** Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen Nr.25 Teil I 30 Dez. 2008
- Holzner, M. 2000:** Untersuchungen über die Schädigung von Fischen bei der Passage des Mainkraftwerks Dettelbach, Diss. TU München, München 2000
- Hübner, D.; Menzel, Ch.; Fricke, R.; Hassinger, R.; Rahn, S. 2011:** Laboruntersuchungen zur Auswirkung von Kraftwerksrechen auf Rotaugen (*Rutilus rutilus*) und Brassen (*Abramis brama*) in Abhängigkeit von Stababstand und Anströmgeschwindigkeit. Bericht zu einer Untersuchung im Auftrag des Regierungspräsidiums Kassel, Kassel August 2011 (im Internet unter [www.uni-kassel.de/fb14/vpuw/Download/Fisch-SchonRechen/Stababstand\\_Anströmgeschwindigkeit.pdf](http://www.uni-kassel.de/fb14/vpuw/Download/Fisch-SchonRechen/Stababstand_Anströmgeschwindigkeit.pdf))
- Johnson, G.E.; Anglea, S.M.; Adams, N.S.; Wik, T.O. 2005:** Evaluation of a Prototype Surface Flow Bypass for Juvenile Salmon and Steelhead at the Powerhouse of Lower Granite Dam, Snake River, Washington, 1996–2000. *North American Journal of Fisheries Management* 25:138–151, 2005
- Klose, D. 2012:** Ertüchtigung der Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen an einer Wasserkraftanlage am Main. Masterarbeit im Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen, Uni Kassel, Kassel 2012 (unveröffentlicht)
- Larinier M, Travade F. 2002.** Downstream migration: Problems and facilities. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture* 181-207.
- McMichael GA, Vucelick JA, Abernethy CS, Neitzel DA. 2004.** Comparing fish screen performance to physical design criteria. *Fisheries* 29: 10-16.
- Moyle PB, Israel JA. 2005.** Untested assumptions: effectiveness of screening diversions for conservation of fish populations. *Fisheries* 30: 20-28.
- MUNLV 2005** Handbuch Querbauwerke. Hrsg: Ministeriums für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, S. 180- 192).
- MUNLV 2006** Wanderfischprogramm Nordrhein-Westfalen – Phase 2007 bis 2010. Herausgeber: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, 40190 Düsseldorf.

- Neitzel, D.A.; Abernethy, C.S.; Lusty, E.W (1985)** Fisheries Evaluation of the Westside ditch and Wapato Canal Fish Screening Facilities Spring 1989. U. S. Department of Energy, Bonneville Power Administration, Division of Fish and Wildlife, Project No.1985-62, Contract No. DE-AC06-76RL01830, 94 electronic pages (BPA Report DOE/BP-01830-8)
- NMFS-SW. Fish Screening Criteria for Anadromous Salmonids. 1-13. 1997.** Nat. Marine Fisheries Service - Southwest Region, NMFS – Hydraul. Engineerg. Staff.
- Ojanguren, A.F.; Brana, F. 2003:** Effects of size and morphology on swimming performance in juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecology of Freshwater Fish* 12: 241-246.
- Pavlov, D.S. 1989:** Structures assisting the migration of non-salmonid fish: USSR. *FAO Fisheries Technical Paper* 308: 1-97
- Rhein-Sieg-Anzeiger 2012:** Millionen für den Schutz der Fische. Artikel vom 05.06.2012, Bonn 2012 (<http://www.ksta.de/obere-sieg/unkelmuehle-millionen-fuer-den-schutz-der-fische,15189214,16305144.html>)
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft - Referat Fischerei 1997:** Notwendigkeit der Begrenzung der lichten Stabrechenweite vor Turbinen von Wasserkraftanlagen auf 20 mm. Fuellner, G. 1-20. 1997. Koenigswartha, Sachsen, Germany, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Schneider, J., Hübner, D. & E. Korte (2012):** Funktionskontrolle der Fischaufstiegs- und Fischabstiegshilfen sowie Erfassung der Mortalität bei Turbinendurchgang an der Wasserkraftanlage Kostheim am Main. Im Auftrag der WKW Staustufe Kostheim Main GmbH & CO. KG.
- Swanson, C.; Young, P.S.; Cech, J.J. 1998:** Swimming performance of delta smelt: Maximum performance, and behavioral and kinematic limitations on swimming at submaximal velocities. *Journal of Experimental Biology* 201: 333-345.
- Swanson, C.; Young, P.S.; Cech J.J. 2005:** Close encounters with a fish screen: integrating physiological and behavioral results to protect endangered species in exploited ecosystems. *Transactions of the American Fisheries Society* 134: 1111-1123.
- Turpenny, A.W.H.; Blay, S.R.; Jeffreys, K.; Lawton, K. 1998:** Trial of a "SPA" acoustic barrier to reduce fish entrainment at Farmoor raw water intake, River Thames, Summer 1998. Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd. Client Research Report the Enviroment Agency and Thames Water plc, No FCR 299/98 zitiert nach DWA ATV 2005.
- Weber, S. 2011:** Untersuchung der Verluste an einer neuartigen Rechenanlage mit Fischabstiegsfunktion, Diplomarbeit I an der Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen, Kassel 2011
- White, D.K.; Swanson, C.; Young, P.S.; Cech, J.J.; Chen, Z.Q.; Kavvas, M.L. 2007:** Close encounters with a fish screen II: Delta smelt behavior before and during screen contact. *Transactions of the American Fisheries Society* 136: 528-538.

# Anhang 1

Tab. A1: Übersicht Totallängen der Versuchstiere in Zentimeter

TL / Art	Lachs	Aal	Rotaugen	Hasel	Grübling	Ukelei
Mittelwert	16,5	68,7	17,5	20,9	14,2	14,0
Max	18,4	94,9	21,5	25,6	15,6	16,2
Min	14,6	52,2	13,9	16,8	11,8	10,1

Tab. A2: Versuchsergebnisse bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s vor dem Rechen

Lachs

	Anzahl Versuchstiere	Abgeschwemmte Tiere						Gesamt	
		Hub1 Anzahl [-]	Anteil [%]	Hub 2 Anzahl [-]	Anteil [%]	Hub 3 Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	17	7	41,2	1	5,9	0	0,0	8	47,1
Versuch 2	17	9	52,9	2	11,8	0	0,0	11	64,7
Versuch 3	17	14	82,4	2	11,8	1	5,9	17	100,0
Gesamt/Mittelwert	51	30	58,8	5	9,8	1	2,0	36	70,6

Aal

	Anzahl Versuchstiere	Abgeschwemmte Tiere						Gesamt	
		Hub1 Anzahl [-]	Anteil [%]	Hub 2 Anzahl [-]	Anteil [%]	Hub 3 Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	20	3	15,0	6	30,0	1	5,0	10	50,0
Versuch 2	20	1	5,0	3	15,0	4	20,0	8	40,0
Versuch 3	20	5	25,0	4	20,0	2	10,0	11	55,0
Gesamt/Mittelwert	60	9	15,0	13	21,7	7	11,7	29	48,3

Rotaugen

Abgeschwemmte Tiere

	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	10	1	10,0	3	30,0	1	1,0	5	50,0
Versuch 2	10	2	20,0	1	10,0	0	0,0	3	30,0
Versuch 3	10	1	10,0	1	10,0	1	10,0	3	30,0
Gesamt/Mittelwert	30	4	13,3	5	16,7	2	6,7	11	36,7

#### Hasel

##### Abgeschwemmte Tiere

	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	5	0	0,0	1	20,0	0	0,0	1	20,0
Versuch 2	5	0	0,0	2	40,0	0	0,0	2	40,0
Versuch 3	5	0	0,0	0	0,0	1	20,0	1	20,0
Gesamt/Mittelwert	15	0	0,0	3	20,0	1	6,7	4	26,7

#### Gründling

##### Abgeschwemmte Tiere

	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	10	1	10,0	2	20,0	0	0,0	3	30,0
Versuch 2	10	1	10,0	0	0,0	0	0,0	1	10,0
Versuch 3	10	0	0,0	0	0,0	1	10,0	1	10,0
Gesamt/Mittelwert	30	2	6,7	2	6,7	1	3,3	5	16,7

#### Ukelei

##### Abgeschwemmte Tiere

	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	10	2	20,0	0	0,0	0	0,0	2	20,0
Versuch 2	10	1	10,0	0	0,0	0	0,0	1	10,0
Versuch 3	10	1	10,0	0	0,0	0	0,0	1	10,0
Gesamt/Mittelwert	30	4	13,3	0	0,0	0	0,0	4	13,3

Tab. A3: Versuchsergebnisse bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,8 m/s vor dem Rechen

Lachs

	Abgeschwemmte Tiere								
	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	17	16	94,1	0	0,0	0	0,0	16	94,1
Versuch 2	17	9	52,9	0	0,0	2	11,8	11	64,7
Versuch 3	17	9	52,9	2	11,8	1	5,9	12	70,6
Gesamt/Mittelwert	51	34	66,7	2	3,9	3	5,9	39	76,5

Aal

	Abgeschwemmte Tiere								
	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	20	1	5,0	6	30,0	1	5,0	8	40,0
Versuch 2	20	5	25,0	4	20,0	0	0,0	9	45,0
Versuch 3	20	1	5,0	3	15,0	2	10,0	6	30,0
Gesamt/Mittelwert	60	7	11,7	13	21,7	3	5,0	23	38,3

Rotauge

	Abgeschwemmte Tiere								
	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	10	1	10,0	0	0,0	0	0,0	1	10,0
Versuch 2	10	1	10,0	1	10,0	0	0,0	2	20,0
Versuch 3	10	1	10,0	2	20,0	1	10,0	4	40,0
Gesamt/Mittelwert	30	3	10,0	3	10,0	1	3,3	7	23,3

Hasel

	Abgeschwemmte Tiere								
	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	5	0	0,0	0	0,0	1	20,0	1	20,0
Versuch 2	5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Versuch 3	5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gesamt/Mittelwert	15	0	0,0	0	0,0	1	6,7	1	6,7

Gründling

	Abgeschwemmte Tiere								
	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	10	1	10,0	0	0,0	1	10,0	2	20,0
Versuch 2	10	1	10,0	0	0,0	1	10,0	2	20,0
Versuch 3	10	0	0,0	0	0,0	1	10,0	1	10,0
Gesamt/Mittelwert	30	2	6,7	0	0,0	3	10,0	5	16,7

Ukelei

	Abgeschwemmte Tiere								
	Anzahl Versuchtie- re	Hub1		Hub 2		Hub 3		Gesamt	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]	Anzahl [-]	Anteil [%]
Versuch 1	10	0	0,0	0	0,0	1	10,0	1	10,0
Versuch 2	10	0	0,0	1	10,0	0	0,0	1	10,0
Versuch 3	10	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gesamt/Mittelwert	30	0	0,0	1	3,3	1	3,3	2	6,7

## Der Fischlift

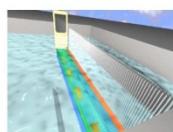
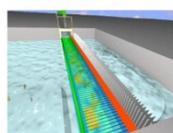
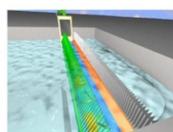
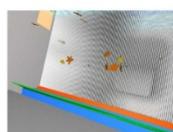
### Wasserkraft und Schutz der Fische - ein Gegensatz wird aufgehoben

Köster produziert seit über 150 Jahren die technische Ausrüstung für die Wasserwirtschaft: Die Pumpen, die Armaturen, den Stahlwasserbau. Jetzt kommt ein neues Produkt dazu, das ein - lange bekanntes, - immer drängender werdendes, - bis heute nicht befriedigend gelöstes Problem anpackt: Wasserkraftturbinen kosten 30 bis 90 Prozent der passierenden Fische - das Leben.

Wie bekommt man die Fische um die Turbinen herum?

- a) **konventionell**, mit fischleitenden Schrägrechen, schräg im Grundriss oder schräg im Längsschnitt: Extrem materialaufwändig, platzverschwendend, mit ungewissem Erfolg. Besser deshalb
- b) mit dem **KÖSTER Fischlift**. Der versucht gar nicht erst, die Fische zu leiten, sondern sammelt sie ein. Zum Patent angemeldet von den Entwicklern der Prüfanstalt für Wasserbau der Universität Kassel mit ihrem Fachwissen der Fischereibiologie und der Hydraulik, konstruiert und produziert von Köster.

Verblüffend einfach das Prinzip: Ein Feinrechen - bereits vorhanden oder neu mit hydraulisch optimiertem Stabprofil (fast verlustfrei, ebenfalls patentiert von der Universität Kassel) lässt die Fische vor dem Rechen in der Strömung stehen, Blickrichtung gegen die Anströmung. Das machen die Fische von allein, sie können nicht anders.



Dann wird regelmäßig eine große, speziell geformte, verschließbare Rinne vor dem Rechen hochgezogen, sammelt die Fische ein und zieht sie bis auf Wasserspiegellhöhe, wo sich dann ein seitlicher Umlauf öffnet und die Fische in einem Gerinne um die Turbinen nach Unterstrom wandern, mit vernachlässigbar geringem Wasserverbrauch. Der Rechen bleibt blitzsauber und das Rechengut geht auch den Weg der Fische - ganz legal und ohne Entsorgungskosten.

Konform zu EU- und nationalen Richtlinien, nachrüstbar, genehmigungssicher, klimaschützend, fischschonend und in der sprichwörtlichen **KÖSTER** - Qualität: Eine Lösung, die Ökologie und Ökonomie in Einklang bringt. Zur Zeit läuft bereits ein begleitendes Vorhaben der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, und wer als Kraftwerksbetreiber vorweggehen will: Der setzt den **KÖSTER-Fischlift** ein.

Kontakt:

Universität Kassel:  
Dr.-Ing. Reinhard Hassinger,  
vpw@uni-kassel.de

**KÖSTER:**  
Dr.-Ing. Christian Bendzuck,  
dr.bendzuck@koester-heide.de

