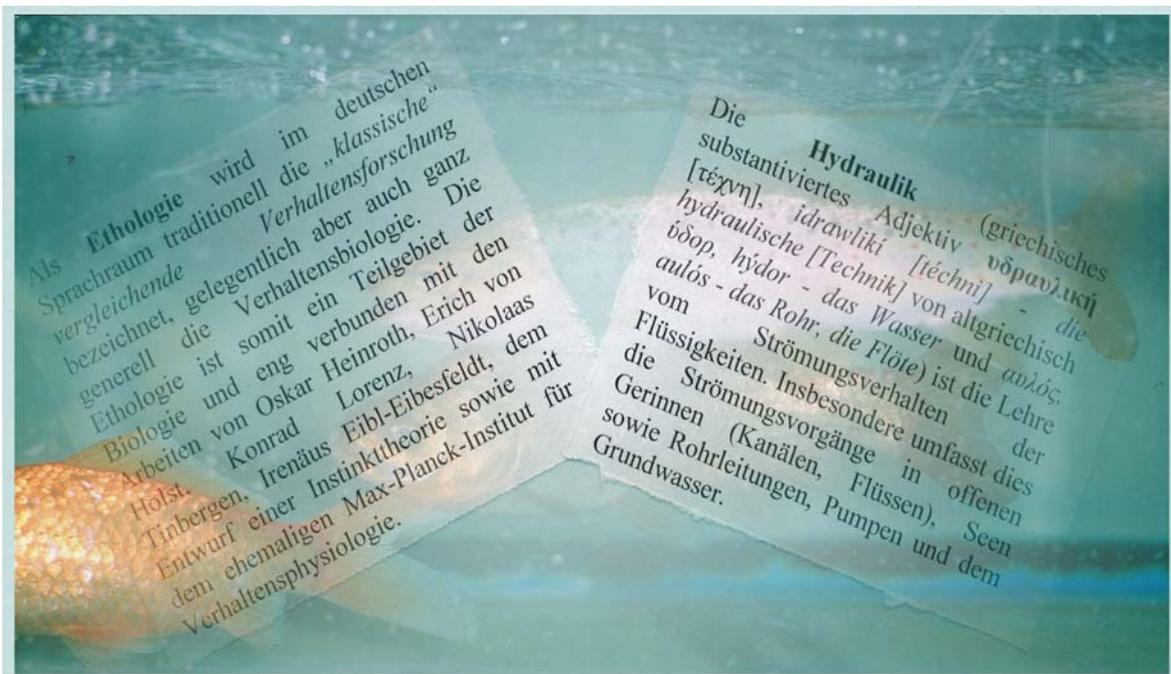


# Ethohydraulik

Eine Grundlage für naturschutzverträglichen Wasserbau

Projektnr. 25429 – 33/2 / Laufzeit 01.04.2008 bis 30.06.2009 (15 Monate)

## Abschlussbericht



### Projektbearbeitung



Universität Karlsruhe (TH)

Forschungsuniversität • gegründet 1825

Institut für angewandte Ökologie



Karlsruhe, im November 2009

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Anlass, Zielsetzung und Berichtgliederung.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Methodentheorie.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Notwendige Infrastruktur.....</b>	<b>9</b>
3.1. <i>Rechtliche Voraussetzungen.....</i>	9
3.2. <i>Technische Infrastruktur - Der ethohydraulische Versuchsstand .....</i>	10
3.3. <i>Wasserkreislauf, Steuer- und Regeltechnik.....</i>	15
3.4. <i>Fischrelevante Einbauten.....</i>	17
3.4.1. <i>Ethohydraulische Modelleinbauten .....</i>	17
3.4.2. <i>Fluchtsperre .....</i>	18
3.4.3. <i>Startkäfig .....</i>	18
3.5. <i>Erfassung der hydraulischen Signatur .....</i>	19
3.6. <i>Biologische Infrastruktur .....</i>	21
3.6.1. <i>Beschaffung von Fischen.....</i>	21
3.6.2. <i>Artenspektrum .....</i>	26
3.6.3. <i>Größenspektrum .....</i>	30
3.6.4. <i>Anzahl der Fische .....</i>	31
3.6.5. <i>Hälterung .....</i>	31
3.7. <i>Wasserqualität und Versuchsbedingungen .....</i>	34
3.7.1. <i>Sauerstoff.....</i>	34
3.7.2. <i>Trübung .....</i>	34
3.7.3. <i>Temperatur.....</i>	35
3.7.4. <i>Licht.....</i>	36
<b>4. Praktische Durchführung ethohydraulischer Tests .....</b>	<b>37</b>
4.1. <i>Durchführung und Interpretation von Verhaltensbeobachtungen .....</i>	39
4.1.1. <i>Umgang mit lebenden Fischen .....</i>	40
4.1.2. <i>Versuchsdauer.....</i>	43
4.2. <i>Datenaufnahme .....</i>	43
4.2.1. <i>Ad libitum-Protokolle .....</i>	43
4.2.2. <i>Dokumentation der ethohydraulischen Tests.....</i>	44
4.2.3. <i>Hydraulische Messungen .....</i>	48
4.3. <i>Auswertung .....</i>	50
4.4. <i>Wissenschaftlichkeit ethohydraulischer Befunde .....</i>	54
4.5. <i>Praxisrelevanz ethohydraulischer Tests.....</i>	58
<b>5. Methodendiskussion .....</b>	<b>64</b>

<i>5.1. Interdisziplinarität</i> .....	64
5.1.1. Optimierung des ethohydraulischen Versuchsstands .....	65
5.1.2. Umgang mit lebenden Tieren im interdisziplinären Forscherteam .....	65
<i>5.2. Auswertung und Testdesign</i> .....	66
<b>6. Ausblick</b> .....	<b>68</b>
<b>7. Literatur</b> .....	<b>69</b>

# 1. Anlass, Zielsetzung und Berichtgliederung

## Anlass:

Im vorliegenden Abschlussbericht sind die im Zeitraum April 2008 bis Juni 2009 erzielten Ergebnisse des DBU Projektes *“Ethohydraulik – Eine Grundlage für naturschutzverträglichen Wasserbau“* zusammengefasst.

## Zielsetzung des Projektes:

Das Projekt hat die Aufgabe, eine fundierte Methode zu entwickeln, mit deren Hilfe es möglich ist, das Verhalten einheimischer Fische mit Blick auf ihre Reaktionen bei hydraulischen Situationen, die durch wasserbauliche Anlagen oder Maßnahmen ausgelöst werden, zu verstehen. Das Verständnis der Fische ist wiederum eine Voraussetzung für die Ableitung fischrelevanter Anforderungen und Grenzwerte, die es in einer gewässerökologisch orientierten, ingenieurlichen Praxis zu berücksichtigen gilt.

Das Konzept fußt dabei auf Lebedntierbeobachtungen (Ethologie = Verhaltensforschung) unter situativ ähnlichen Strömungsbedingungen (Hydraulik = Strömungslehre) wie sie auch im Freiland auftreten und in großmaßstäblichen wasserbaulichen Modellen simuliert werden.

## Berichtgliederung:

Der hier vorliegende Abschlussbericht baut auf die Dokumentationen und Diskussionen der beiden Zwischenberichte auf und erläutert mit der Darstellung der Methode für ethohydraulische Untersuchungen einen wesentlichen Forschungserfolg des Projektes (**Kapitel 2**). Die zur Durchführung ethohydraulischer Untersuchungen benötigte Infrastruktur wird in **Kapitel 3** vorgestellt. **Kapitel 4** dokumentiert die im Rahmen der im Spätherbst 2008 und Frühling 2009 durchgeführten Lebedntierbeobachtungen erzielten Erfahrungen und Ergebnisse zur ethohydraulischen Untersuchungsmethodik. In **Kapitel 5** werden Schwierigkeiten der Methode diskutiert für die zukünftig tiefergehende Lösungsstrategien entwickelt werden müssen. Eine zusammenfassende Einschätzung der Nützlichkeit und Belastbarkeit ethohydraulischer Untersuchungen ist in **Kapitel 6** dargestellt.

Institut für Wasser und Gewässerentwicklung  
Abt. Wasserbau und Gewässerentwicklung  
Universität Karlsruhe (TH)  
Kaiserstraße 12  
76128 Karlsruhe

Dr.-Ing. Boris Lehmann  
Dipl.-Ing. Wolfgang Kampke

Institut für angewandte Ökologie  
Neustädter Weg 25  
36320 Kirtorf-Wahlen

Dr. Ulrich Schwevers  
Dr. Beate Adam  
Dipl.-Biol. Cosima Lindemann



## 2. Methodentheorie

Vor dem Hintergrund der bestehenden Wissenslücken über das Fischverhalten bei unterschiedlichen hydraulischen Situationen ist es das Ziel des Forschungsprojektes, eine Methode zur Durchführung von Lebedtierbeobachtungen bei komplexen hydraulischen Situationen zu erarbeiten und exemplarisch anzuwenden. Damit wird es für viele Situationen möglich, konkret-anlagenspezifische und/oder allgemein-übertragbare Planungskriterien, beispielsweise in Hinblick auf Fischaufstiegs-, sowie Fischschutz und Fischabstiegsanlagen zu erarbeiten. Es handelt sich dabei um die Methode der Ethohydraulik.

Die Grundidee ethohydraulischer Versuche lässt sich zurückführen auf ein Zitat aus dem Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Hierin schreibt der Autor GERHARDT (1912):

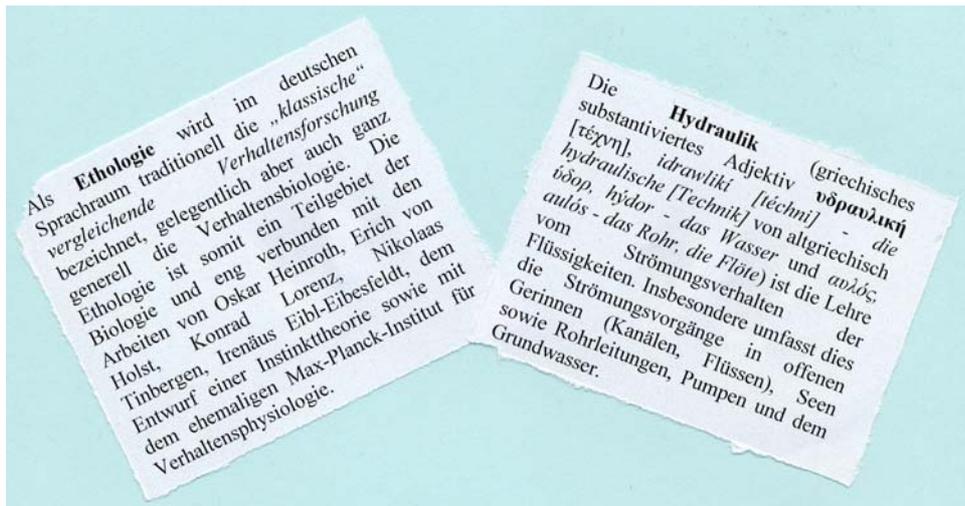
*„Wenn man bauliche Anlagen, die Fischereizwecken dienen sollen, richtig entwerfen will, so muss man mit den Gewohnheiten der Fische vertraut sein. [...] Man muss von dem Fisch ausgehen, den man führen will, seine Gewohnheiten studieren, dann die Örtlichkeit ins Auge fassen und endlich erst nach beiden das Bauwerk errichten.“*

Aus diesem Zitat lässt sich die Wortschöpfung Ethohydraulik wie folgt erläutern (vgl. Abbildung 2.1):

- Als Ethologie wird im deutschen Sprachraum die klassische vergleichende Verhaltensforschung bezeichnet.
- Die Hydraulik ist die Lehre vom Strömungsverhalten der Flüssigkeiten.
- Die Ethohydraulik behandelt quasi das methodische Vorgehen zur Beobachtung und Interpretation des Verhaltens von Fischen unter bestimmten wasserbaulichen Randbedingungen und Strömungssituationen. Hiermit wird es möglich, grundsätzliche Reaktionsweisen und -muster von Fischen auf bestimmte hydraulische Bedingungen als Grundlage für die fischökologische Planung und Optimierung wasserbaulicher Maßnahmen und Anlagen durchzuführen.

Dabei nutzt die Ethohydraulik die hybride Verschneidung bereits erprobter und bewährter methodischer Ansätze aus

- fischökologische Freilanduntersuchungen,
- Laborbeobachtungen von Fischen und
- klassischen wasserbaulichen Modellversuchen.



**Abbildung 2.1:** Zur Definition der Begriffe Ethologie und Hydraulik (Quelle: MEYERS LEXIKON DER NATURWISSENSCHAFTEN 2002)

Folgende Vor- und Nachteile sind zu den einzelnen bislang verwendeten Methoden bekannt (vgl. hierzu auch Zwischenbericht 1):

- Die Erfahrungen der Observierung von Fischen in ihrem natürlichen Lebensraum zeigen, dass insbesondere im Fluss kaum direkte Beobachtungsmöglichkeiten bestehen. Die Fische besitzen eine hohe Mobilität und einen großen Aktionsradius, woraus sich letztendlich inkonstante Untersuchungsbedingungen durch multivariable Einflüsse ergeben.
- Laboruntersuchungen zum Studium des Fischverhaltens, bei denen konventionell einstellbare Abflussrinnen verwendet werden, besitzen aufgrund der Rinnenabmessungen nur begrenzte Möglichkeiten zur hydraulischen Modellierung anlagenspezifischer Strömungsmuster. Zudem kann aufgrund der Laborinfrastruktur nur ein begrenztes Abflussspektrum erzeugt werden, was letztendlich dazu führt, dass viele Tests nur mit eher kleinen Fischen durchgeführt werden. Ob und in wie weit das Verhalten kleiner Fischarten oder Jungfische auf das Verhalten größerer Fischarten, adulter Exemplare und realer Gemischtartenschwärme im Gewässer übertragen werden kann, ist unklar.
- Der Ansatz klassischer wasserbaulicher Modellversuche verfolgt das Ziel, den zu untersuchenden Prozess bzw. die zu untersuchenden Parameter mit dem Modell möglichst pragmatisch und realitätsnah abzubilden. Unter Wahrung ähnlichkeitsmechanischer Modellgesetze wird es möglich, im Modell physikalisch gemessene Parameter auf die Natursituation umzurechnen. Aus Kostengründen wird dabei der Modellmaßstab so kleinskalig gewählt, dass die Anwendung der Modellgesetze und damit die Übertragbarkeit von Messwerten auf die Natur gerade noch möglich sind. In der Praxis haben sich Maßstäbe von 1:10 bis 1:80 bewährt. Für Fischbeobachtungen scheiden diese klassischen wasserbaulichen Modelle auf Grund ihrer kleinen Maßstäblichkeit aus.

Für die zu entwickelnde ethohydraulische Methode werden die unbestreitbaren Vorteile der genannten Methoden so miteinander hybrid gekoppelt, dass eine Erweiterung des klassischen wasserbaulichen Versuchswesens um den Aspekt der Lebtierbeobachtungen einerseits möglich ist, und andererseits die im Labor gewonnenen Ergebnisse auf die Realität im Freiland übertragen werden können. Dazu wird analog der Verfahrensweise in der abstrakten Modellierung vorgegangen: Ein Pre- und Postprocessing klammert den eigentlichen ethohydraulischen Test ein und gewährleistet eine hybride Modellierung mit Aussagen zu fischverhaltensrelevanten Strömungssignaturen.

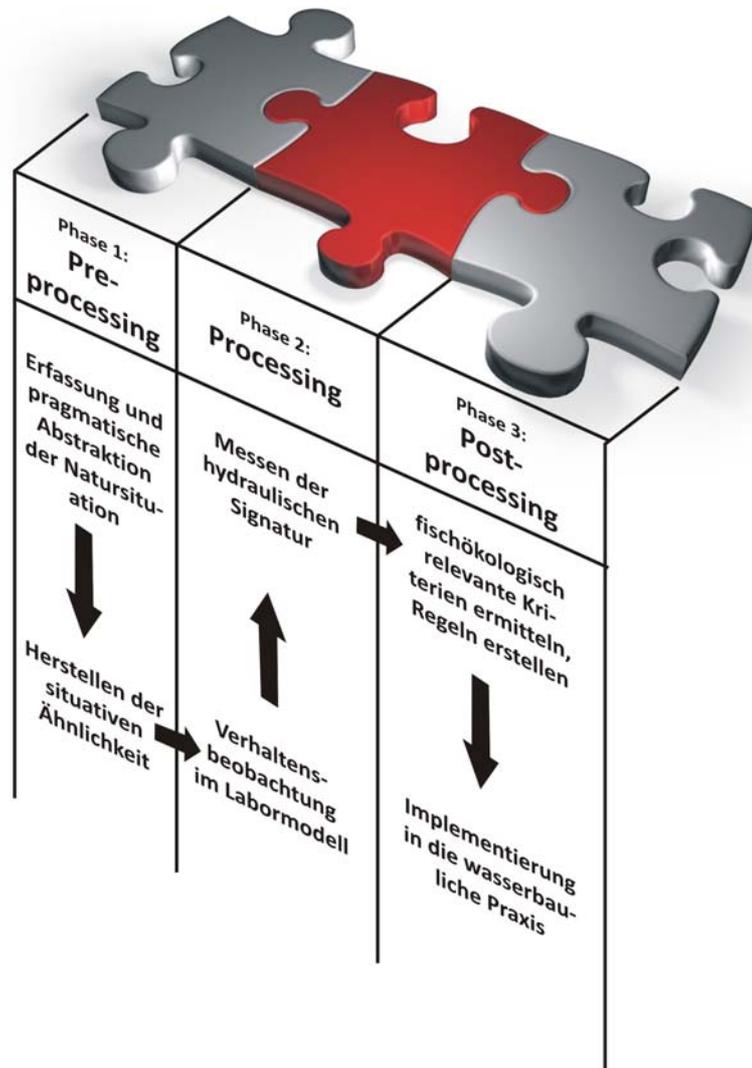
Kern bei diesem hybriden Ansatz ist die Gewährleistung einer sogenannten situativen Ähnlichkeit im Sinne der Übertragbarkeit der Verhaltensbeobachtung vom abstrakt-pragmatischen Versuch auf die Natursituation.

Zum Erzeugen der situativen Ähnlichkeit wurde im Rahmen des Projektes ein dreistufiges methodisches Vorgehen angewandt. Gegenstand dieser neuen Methode ist dabei die Verknüpfung biologischer Verhaltensbeobachtungen mit einem konventionellen wasserbaulichen Modellversuch.

Um diese Methode überhaupt pragmatisch, kurzfristig und vor allem ökonomisch praktizieren zu können, bedarf es an der Forschungsanstalt einer fest installierten Basiseinrichtung: Benötigt wird primär eine leistungsfähige, einsehbare Laborrinne mit Zu- und Ablauf, Steuer- und Regelarmaturen sowie ausreichender und zudem partiell variabler Querschnittsgröße. Diese Basiseinheit sollte derart aufgebaut sein, dass modulare Einbauten installiert werden können, um entsprechende bauliche/hydraulische Situationen zu erzeugen. Hierzu ist es im Gegensatz zu konventionellen wasserbaulichen Modellen notwendig, mit größeren Abflussleistungen bis ca. 700 l/s zu arbeiten. Nur unter solchen Voraussetzungen lassen sich Untersuchungen im Ausschnittsmodell derart großskalig abstrakt abbilden, dass eine Übertragbarkeit des Verhaltens der Fische vom Laborversuch auf die Natur belastbar möglich wird. Mit solch großskaligen Basiseinrichtungen können z. B. folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

- Die Antworten von Fischen im Sinne ihrer Reaktionen auf hydraulische Reize, z. B. Strömungen unterschiedlichen Charakters und Stärke.
- Die Orientierung und das Verhalten von Fischen in komplexen hydraulischen Situationen, wie sie z. B. in Tosbeckenbereichen, bei der Füllung von Schiffsschleusen, vor Turbineneinläufen sowie hinter Turbinenauslässen, im Bereich von Wasserentnahmen etc. herrschen.
- Die Wirkung von Fischaufstiegsanlagen sowie Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen in Abhängigkeit von ihrer Konstruktion und Bemessung z. B. hinsichtlich der Auffindbarkeit und Passierbarkeit von Fischen sowie einer eventuellen Art- oder Größenselektivität.
- Die Ableitung fischrelevanter Anforderungen an Geometrien z. B. minimale Wassertiefen, minimale Öffnungsgrößen, Störsteinanordnungen.

Scheidet zwar aufgrund der räumlichen Ausdehnung des zu untersuchenden Szenarios ein 1:1-Versuch aus, aber ist eine solche Basiseinrichtung verfügbar, so bieten sich im Rahmen ethohydraulischer Tests die folgenden aufeinander aufbauenden und miteinander gekoppelten Bearbeitungsphasen an (Abbildung 2.2).



**Abbildung 2.2:** Grundelemente einer ethohydraulischen Untersuchung

### Phase 1: Preprocessing zur Abbildung der hydraulischen Situation

In der Phase des Preprocessings wird die Gesamtsituation vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung analysiert. Solch eine Analyse kann mittels Naturmesskampagnen, hydrodynamisch-numerischer Strömungsmodelle oder herkömmlicher wasserbaulicher Modelle erfolgen. Dabei wird der Ausschnitt des in der nächsten Phase 2 erforderlichen Modells festgelegt und es werden alle notwendigen geometrischen und hydraulischen Parameter zum Aufbau und zur Kalibrierung des Modells erfasst. Um dieses wasserbauliche Modell

gemäß den Ähnlichkeitsgesetzen nicht nur für physikalische, sondern auch ethohydraulische Untersuchungen realisieren zu können, liegt, mit Hinblick auf das Verhalten der Tiere, der Fokus allerdings auf solchen Parametern, die einen möglichen Einfluss auf die Orientierung, das Schwimm- und das Manövrierungsvermögen oder die Leistung der Probanden erwarten lassen, Meide- oder Fluchtverhalten auslösen oder sogar eine attraktierende Wirkung entfalten. Hierbei sei darauf verwiesen, dass neben den bisher bekannten und untersuchten Parametern im Zusammenhang mit der Entwicklung der Methode der Ethohydraulik im Rahmen einer Dissertation weitere fischrelevante Strömungsparameter identifiziert und quantifiziert werden sollen.

In der Regel ist es nicht möglich den Gegenstand bzw. die Fragestellung der Untersuchung im gleichen Maßstab wie im Freiland in das Labor zu überführen, daher ist es für ethohydraulische Studien entscheidend, dass in einem Modell nur die für den Fisch bzw. sein Verhalten relevanten Kräfte und Faktoren sorgfältig nachgebildet werden, wie sie unter realen Bedingungen im Gewässer auftreten. Voraussetzung für ethohydraulische Untersuchungen bildet also die Herstellung einer situativen Ähnlichkeit, auf die Fische quasi natürlich reagieren können.

Allerdings wird es in einer Basiseinrichtung bzw. dem Modell in dem die Fischbeobachtungen durchgeführt werden, niemals möglich sein, alle (!) geometrischen und hydraulischen Parameter maßstabsgerecht abzubilden. Beispielsweise sei es in einem Versuchstand möglich, Wassertiefen von maximal 2 Metern mit einer Fließgeschwindigkeit von bis zu 1 Meter pro Sekunde zu bewerkstelligen. Zu Erzeugung einer situativen Ähnlichkeit mit real existierenden Gegebenheiten wird zunächst in der Laborrinne die Anbindung der Fischaufstiegsanlage im Maßstab 1:1 an das Hauptgewässer nachgebaut. Nun lässt es die Wasserversorgung des Modells nicht zu, dass bei einer Wassertiefe von ca. 2 Metern im Modell eine naturähnliche Strömungsgeschwindigkeit, so wie im Preprocessing ermittelt, eingestellt werden kann. Deshalb wird der Versuchsaufbau derart modifiziert, dass bei eingestelltem maximal möglichem Durchfluss die Fließtiefe so weit verringert wird, bis sich in der Laborrinne dieselbe Fließgeschwindigkeit wie in der Natur einstellt. Der Parameter „Wassertiefe“ lässt sich nun nicht mehr direkt vom ethohydraulischen Versuch auf die Natur übertragen, doch sind die Werte für die Fließgeschwindigkeit naturidentisch. Unter der Annahme, dass der Geschwindigkeitsunterschied zwischen der zugeleiteten Leitströmung und der in der Laborrinne erzeugten Hauptströmung für das Verhalten der Fische bzw. für die Auffindbarkeit des Einstiegs in eine Fischaufstiegsanlage maßgebend ist, können nun bei reduzierter Wassertiefe entsprechende Fischbeobachtungen durchgeführt werden. Aus einer Vielzahl von Tests können anhand dieses Modells signifikante

Verhaltensmuster abgeleitet werden. Alle Aspekte zur Reaktion von Fischen bei größeren Wassertiefen müssen allerdings in separaten Tests untersucht werden.

#### Phase 2: Processing - Fisch- bzw. Lebedtierbeobachtungen im ethohydraulischen Test

Im eigentlichen Processing werden dann aus dem Freiland entnommene Fische unterschiedlicher Art und Größe mit der jeweiligen baulichen und/oder hydraulischen Situation konfrontiert, um ihre Reaktionen zu beobachten. In aufeinander folgenden Tests werden sodann solche Faktoren variiert, welche die dargebotene Situation geometrisch und hydraulisch prägen, um durch den Vergleich der Reaktionsweisen der Fische die spezifischen Reize zu identifizieren, die ein charakteristisches z. B. Scheu- oder Fluchverhalten auslösen. Als charakteristisch und damit aussagekräftig gelten nur solche Verhaltensweisen, die in stets gleicher Weise und quasi als Reaktions-Antworten auf einen Reiz oder eine Reiz-Konstellation reproduzierbar ablaufen. Ist eine solche Reiz-Reaktions-Konstellation einmal erkannt, gilt es in einem nächsten Arbeitsschritt, die geometrischen und hydraulischen Parameter messtechnisch zu erfassen, die im Sinne einer so genannten hydraulischen Signatur das jeweilige charakteristische Fischverhalten ausgelöst haben.

#### Phase 3: Postprocessing

Im Rahmen des darauf folgenden Postprocessings werden schließlich die aus den Verhaltensbeobachtungen in Kombination mit den Messungen der hydraulischen Signatur gewonnenen Erkenntnissen für die Anwendung in der wasserbauliche Praxis aufbereitet. So können beispielsweise fischrelevante Grenz- bzw. Bemessungswerte oder Regeln erstellt werden, Planungen von Neubauten - beispielsweise Wasserentnahmebauwerke oder Fischwege - auf die Bedürfnisse von Fischen abgestimmt werden und die fischökologische Wirkung bestehender Anlagen als Grundlage für eventuelle Optimierungen beurteilt werden.

## 3. Notwendige Infrastruktur

### 3.1. Rechtliche Voraussetzungen

Im Rahmen des DBU-Projekts wurden zunächst die rechtlichen Voraussetzungen für die Durchführung ethohydraulischer Vorhaben recherchiert. Eine wesentliche Frage war hierbei, ob ethohydraulische Tests unter das Tierschutzgesetz (TierSchG 2006) fallen, dessen Zweck darin besteht: *„[...] aus der Verantwortung des Menschen für das Tier als Mitgeschöpf dessen Leben und Wohlbefinden zu schützen. Niemand darf einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zufügen.“*

Nach § 7 des TierSchG bedarf die Durchführung ethohydraulischer Projekte mit Fischen grundsätzlich einer tierschutzrechtlichen Genehmigung, d. h. dass Verhaltensbeobachtungen von Fischen in Laborrinnen vergleichbar toxikologischen Versuchen oder operativen Eingriffen als Tierversuche zu betrachten sind. Wenngleich allerdings Ausnahmen von einer Genehmigungspflicht für Forschungsprojekte im Auftrag der Europäischen Gemeinschaft oder den Bundesländern erteilt werden können, müssen im Rahmen von Projekten, z. B. der DBU, durchgeführte Verhaltensbeobachtungen genehmigt sein. Von einer Genehmigungspflicht entbundene ethohydraulische Vorhaben sind gemäß § 8 Abs. 7, Nr. 1 lediglich bei der Genehmigungsbehörde anzuzeigen. Der Antrag auf Erteilung einer Genehmigung für die Durchführung eines ethohydraulischen Vorhabens im Sinne eines Tierversuchs, ist bei der Veterinärbehörde zu stellen, die für die Örtlichkeit an der die Tests durchgeführt werden sollen, zuständig ist. In Deutschland sind die zuständigen Veterinärbehörden zumeist bei den Regierungspräsidien bzw. Bezirksregierungen angesiedelt. Das für die Beantragung zu verwendende bundeseinheitliche Antragsformular ist vom Tierschutzbeauftragten der durchführenden Institution zur Genehmigung einzureichen. Der Antrag muss detaillierte Ausführungen u. a. zu folgenden Aspekten enthalten:

- Dauer, Zweck und Unerlässlichkeit des Vorhabens
- Herkunft, Art und Anzahl der vorgesehenen Tiere
- detaillierte Darlegung über die Art und Weise des Umgangs mit den Tieren, ob und in wie weit sie Schmerzen, Leiden oder Betäubungen differenziert nach Intensität und Dauer erfahren
- Nachweis der Qualifikation derjenigen Personen, die mit den Tieren umgehen und für ihre Hälterung und Gesundheit verantwortlich sind

Die Genehmigungsbehörde erteilt eine befristete Genehmigung nur mit dem Einverständnis einer beigeordneten Ethikkommission, die über den vorgelegten Antrag berät. Grundsätzlich dürfen ethohydraulische Tests nur von biologisch oder veterinärmedizinisch ausgebildeten und beruflich erfahrenen Personen durchgeführt werden.

Schließlich bedarf auch die Hälterung von Fischen zu wissenschaftlichen Zwecken nach § 2 TierSchG einer Genehmigung von der vor Ort zuständigen Veterinärbehörde.

### 3.2. Technische Infrastruktur - Der ethohydraulische Versuchsstand

Zur Durchführung von ethohydraulischen Untersuchungen mit Lebewesen werden leistungsfähige wasserbauliche Versuchseinrichtungen benötigt, die modular auf unterschiedliche Testkonstellationen eingerichtet und flexibel betrieben werden können.

Aus den bisher durchgeführten Untersuchungen zum Verhalten von Fischen, die in die Thematik der Ethohydraulik eingeordnet werden können, hat sich die Verwendung von großen verglasten Versuchsrinnen in entsprechend ausgestatteten Wasserbaulaboratorien herauskristallisiert (vgl. Abbildung 3.1 und 3.2).



**Abbildung 3.1:** Versuchsrinne des Conte Lab in Turners Falls (USA)



**Abbildung 3.2:** Versuchsstand der Universität Darmstadt

Die Arbeit an solchen Laborrinnen macht Verhaltensbeobachtungen, im Gegensatz zu Freilanduntersuchungen, unabhängig von der Witterung und die für hydraulische Messungen oder eine Dokumentation von Verhaltensweisen erforderliche Technik ist in einem geschützten Raum sicher untergebracht.

Aufbauend auf der Gestaltung der bisher verwendeten Versuchseinrichtungen wurde im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen an der Universität Karlsruhe ein wasserbaulicher Versuchsstand als Basiseinrichtung für die ethohydraulischen Tests errichtet.

Die angewandte Untersuchungsmethodik, basierend auf der Kopplung von klassischen wasserbaulichen Modellversuchen mit Verhaltensbeobachtungen von Lebewesen, insbesondere Fische bedingt eine großskalige Versuchseinrichtung, da alle relevanten baulichen oder hydraulischen Anlagenkonfigurationen im halbtechnischen Maßstab von 1:1 bis 1:5 modelliert werden müssen.

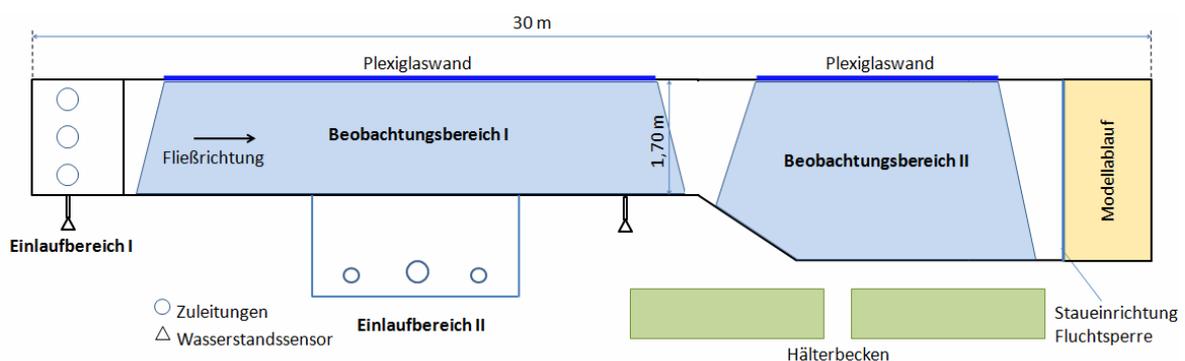
Die ethohydraulische Versuchsrinne des IWG weist deshalb eine Gesamtlänge von 30 m, eine maximale Breite von 2,75 m und eine Höhe von 2,00 m auf (Abbildung 3.3).

Entscheidend für die Eignung des Versuchsstandes für ethohydraulische Untersuchungen ist die zumindest teilweise Ausführung der Rinnenwände in Glas. Nur so kann das Verhalten der Tiere bei unterschiedlichen Strömungsbedingungen in naturähnlicher Umgebung beobachtet, dokumentiert und analysiert werden.

Die ethohydraulische Laborrinne im Theodor Rehbock Laboratorium (TRL) ist des Weiteren modular aufgebaut, so dass verschiedenartige Fragestellungen und Anlagenkonfigurationen wie z.B. Bypasseinrichtungen an Querbauwerken, Positionierung von Fischaufstiegsanlagen, Studien zu Fischverhalten an Rechenanlagen von Wasserkraftanlagen o. ä. untersucht werden können.

Um entsprechend situativ ähnliche Strömungsbedingungen in der Laborrinne erzielen zu können, wie sie die Fische in der Naturkonstellation vorfinden, ist außerdem noch eine vergleichsweise große Durchflussmenge erforderlich. In der Laborrinne des TRL können bei Wassertiefen von maximal 1,90 m von Gesamtabflussmengen bis zu 700 l/s dotiert werden, die abhängig von der zu untersuchenden Anlagenkonstellation ebenfalls modular in unterschiedliche Bereiche der Rinne aufgeteilt und zugegeben werden können.

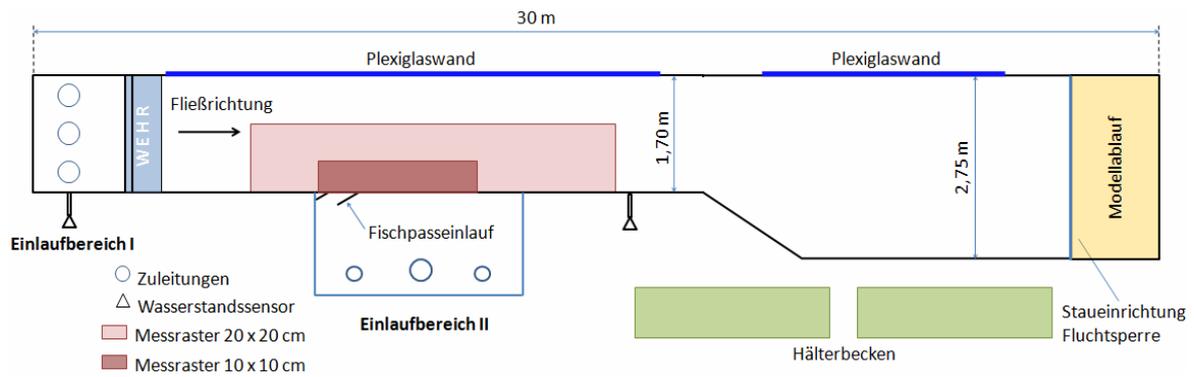
Aus Abbildung 3.3 werden die unterschiedlichen Einlauf- und Beobachtungsbereiche des Versuchsstandes ersichtlich. So können z. B. seitliche Zuströmungen in ein Gewässer, Konkurrenzströmungen oder auch Bypässe und Gerinneaufweitungen durch entsprechende Bauteile und Wasserzugaben simuliert und untersucht werden.



**Abbildung 3.3:** Schemaskizze des ethohydraulischen Versuchsstands

Aufgrund der hohen hydrostatischen und hydrodynamischen Belastung ist ein massiver Aufbau mit gemauerten und betonierten Seitenwänden, Einsatz von hochfestem Plexiglas, Einbindung von Stahlprofilen, Abstützung durch Schwergewichtselemente und einer betonierten Sohle erforderlich. Dieser solide Aufbau der Rinne ermöglicht jedoch auch eine stabile Fixierung der verschiedensten Untersuchungsmodule.

Exemplarisch ist in folgendem Abschnitt die Konfiguration des Versuchsstandes zur Untersuchung einer Fischaufstiegsanlage unterhalb eines Wehres dargestellt (Abbildung 3.4). Ziel der Untersuchungen war es, mittels ethohydraulischer Tests das Verhalten der aufwanderungswilligen Fische bei unterschiedlichen relevanten Strömungsbedingungen unterhalb der Wehranlage zu beobachten und zu analysieren, um die Position des Einstieges der Fischaufstiegsanlage im Hinblick auf die Wahrnehmbarkeit und Auffindbarkeit für die aquatische Organismen zu optimieren.



**Abbildung 3.4:** Versuchsstand zur Untersuchungen der Auffindbarkeit des Einstieges in eine Fischaufstiegsanlage

Entsprechend dem methodischen Vorgehen aus Kapitel 2 wird in der ethohydraulischen Basiseinrichtung ein Teilbereich der zu untersuchenden Natursituation im Maßstab 1:5 modelliert (Abbildung 3.5). Hierzu wurde ein detailliertes Modell der Wehranlage mit allen relevanten Betriebseinrichtungen (Abbildung 3.6), die seitliche Uferbegrenzung mit dem Auslauf des Fischaufstiegsanlage (Abbildung 3.7) sowie der entsprechenden Sohlengeometrie des Naturzustandes (Abbildung 3.8) in der Laborrinne nachgebildet.



**Abbildung 3.5:** Ethohydraulischer Versuchsstand im Betrieb mit Hälterbecken



**Abbildung 3.6:** Hakendoppelschütz-Wehr im Maßstab 1:5



**Abbildung 3.7:** Untersuchungsbereich bei Beaufschlagung



**Abbildung 3.8:** Untersuchungsbereich mit natürlicher Sohlengeometrie

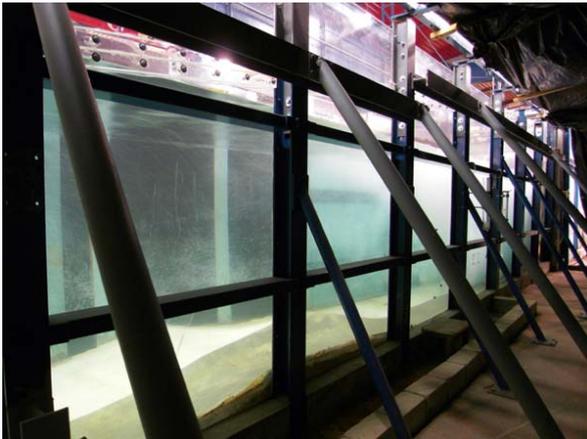
Bei dieser Anlagenkonfiguration werden beide Rinnenzuläufe genutzt: Der Abfluss in der Laborrinne selbst simuliert die Strömung über die Wehranlage, wohingegen der seitlich in die Laborrinne einmündende Abfluss den Auslauf der Fischaufstiegsanlage darstellt.

Auf eine komplette Nachbildung der Fischaufstiegsanlage muss in diesem Test aus räumlichen Gründen verzichtet werden, zumal im Rahmen dieser Studie lediglich die Auswirkung der Position und unterschiedlicher Auslaufgeometrien sowie Abflussszenarien auf das Verhalten von Fischen zu untersuchen sind. Durch die Gestaltung in Modularbauweise ist eine Veränderung der Auslaufgeometrie und der Positionierung des Auslaufs zum Wehr möglich (Abbildung 3.9). Entsprechend montierte Leitbleche am Auslauf ermöglichen mittels Scharnieren die Einstellung von beliebigen Einmündungswinkeln des Fischaufstiegsanlage in die Laborrinne. Das Becken der FAA ist mit drei Leitungen an den Wasserkreislauf angeschlossen und kann mit maximal 190 l/s beaufschlagt werden, um so die unterschiedlichen Strömungssituationen nachzustellen.



**Abbildung 3.9:** Zu und Auslauf der simulierten Fischaufstiegsanlage

Der gesamte Beobachtungsausschnitt ist durch eine Wand aus Plexiglas einsehbar (Abbildung 3.10). Die Beobachtung des Verhaltens erfolgt von der Seite, da Fische ein seitlich neben sich stattfindende Bewegungen besser tolerieren, als Silhouetten, die sie über der Wasseroberfläche wahrnehmen. Diese können Fluchtreaktionen auslösen, was die Beobachtung nachhaltig stört. Der Beobachtungsbereich ist abgedunkelt, um störende Einflüsse der Beleuchtung und Reflexionen durch das Plexiglas zu minimieren (Abbildung 3.11).



**Abbildung 3.10:** Blick in den Beobachtungsausschnitt der Laborrinne



**Abbildung 3.11:** Abgedunkelter Beobachtungsstand

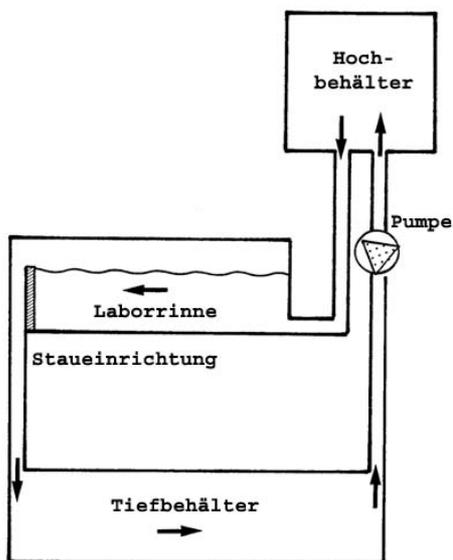
Für die Regulierung des Wasserstandes sind am Auslauf der Laborrinne Staulamellen installiert (Abbildung 3.12). Über die Lamellenstellung wird der Einstau in der Rinne reguliert, so dass verschiedene hydraulische Situationen, z. B. Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten eingestellt werden können. Da im ethohydraulischen Gerinne Wassertiefen von bis zu 1,90 m eingestellt werden können, ist der Rahmen der Lamellen durch stabile Stahlträger am Hallenboden abgestützt.



**Abbildung 3.12:** Staulamellen am Auslauf der Laborrinne

### 3.3. Wasserkreislauf, Steuer- und Regeltechnik

Die Speisung der Laborrinne erfolgt durch Pumpen, die den Wasserkörper in einem Kreislauf bewegen (Abbildung 3.13). Unter dem Hallenboden des Theodor-Rehbock Wasserbaulabors befindet sich ein ca. 300 m<sup>3</sup> großer Tiefbehälter, aus dem das Wasser entweder zunächst in einen Hochbehälter, oder direkt über Tiefpumpen in den jeweiligen Einlaufbereich des Versuchsstandes gepumpt wird. Das Wasser aus dem Hochbehälter wird durch den Höhenunterschied einem Druck ausgesetzt und über Rohrleitungen dem Modell zugeführt. Da sich im Bereich der Wasserzuleitungen hohe Turbulenzen ausbilden, werden diese anhand von strömungsberuhigenden Einbauten minimiert (Abbildung 3.14). Dadurch wird auch der Eintrag trübungsverursachender Luftblasen reduziert. Nach dem Durchfließen der Rinne strömt das Wasser in den Tiefbehälter zurück und der Kreislauf wird geschlossen.



**Abbildung 3.13:** Skizze des Wasserkreislaufs über einen Hochbehälter



**Abbildung 3.14:** Einbau zur Beruhigung der Strömung

Insgesamt kann die ethohydraulische Untersuchungseinrichtung mit ca. 700 l/s beaufschlagt werden. Je nach Untersuchungsaufbau kann die Abflussmenge auf die beiden vorhandenen Einlaufbereiche aufgeteilt werden, wobei im Einlaufbereich I bei Einzelbetrieb maximal 540 l/s und im Bereich II maximal 190 l/s erzielt werden können.

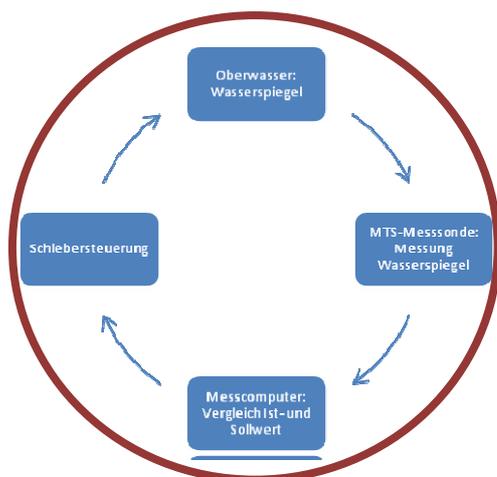
Für spezielle Untersuchungen stehen des Weiteren mobile Tauchpumpen zur Verfügung, die bei geringen Einleitungsmengen zugeschaltet werden können.

## Steuer- und Regeltechnik

Der große Maßstab des Modells und die Gewährleistung konstanter Strömungsparameter wie Wasserstand und Abflussmenge machen eine computerbasierte automatisierte Modellregelung erforderlich.

Häufig muss in der Laborrinne gemäß der Naturkonstellation im Einlaufbereich ein konstanter Wasserspiegel gehalten werden. Da eine stetige Kontrolle des Wasserspiegels und eine darauffolgende Regelung des Rinnenzuflusses manuell kaum umsetzbar sind, wurde der Wasserstand im Einlaufbereich an einen Regelkreislauf angeschlossen (Abbildung 3.15). Über eine Benutzeroberfläche am Messcomputer (Abbildung 3.16) wird ein Sollwert für den Oberwasserspiegel eingegeben. Eine im Oberwasser installierte und mit dem Messcomputer gekoppelte Messsonde erfasst kontinuierlich den Wasserstand. Dabei vergleicht der Messrechner den Istwert des Wasserstandes mit dem Sollwert. Liegt der Istwert unter dem Sollwert, so regelt der Computer über einen Schieber in der Zuleitung das zugeführte Wasservolumen nach. Übersteigt der Istwert den Sollwert, so regelt der Computer gleichermaßen über den Schieber den Zufluss und senkt diesen.

Störgrößen, wie zum Beispiel Pumpenschwankungen, verändern stetig den Oberwasserstand, wodurch der Regelkreislauf immer aufs Neue durchlaufen wird.



**Abbildung 3.15:** Beispielhafte Ablaufskizze der Modellregelung



**Abbildung 3.16:** Mess-Computer für die Modellregelung

Die Pumpenschwankungen haben entsprechend auch Einfluss auf den Durchfluss der Leitungen. Bei manchen Modelluntersuchungen ist es relevant, dass ein konstanter Durchfluss sichergestellt wird. Zu diesem Zweck sind in die Modellzuleitungen sogenannte induktive Durchflussmesser (IDM) integriert, welche über einen Regelkreis an die Schieber der Leitung gekoppelt sind.

Das Funktionsprinzip eines IDM basiert auf dem Faraday'schen Induktionsgesetz, welches besagt, dass durch die Bewegung eines Leiters in einem Magnetfeld eine elektrische Spannung induziert wird. Das IDM erzeugt innerhalb der Rohrleitung ein Magnetfeld und

benutzt das Wasser als Leiter. Die Geschwindigkeit des strömenden Wassers ist proportional zu der am IDM induzierten Spannung, so dass aus diesen Spannungsimpulsen letztendlich der Durchfluss ermittelt werden kann.

Über die Benutzeroberfläche am Messcomputer wird ein Sollwert für den Durchfluss der Leitungen eingegeben. Der Durchfluss wird stetig über das IDM gemessen und dem Computer übermittelt. Liegt der Durchfluss der Leitung unterhalb des Sollwerts, so regelt der Computer automatisch nach und vergrößert diesen, indem er den Schieber öffnet. Liegt der Abfluss unterhalb des Sollwerts, so regelt der Computer ebenso über den Schieber nach und verringert diesen.

### **3.4. Fischrelevante Einbauten**

Grundsätzlich gilt für alle Bauteile, Anlagekomponenten und Strukturen, die für ethohydraulische Untersuchungen verwendet werden, dass von diesen keine Verletzungsgefahr für die Fische ausgehen darf. Bei der Anfertigung und Installation aller Rinnenelemente ist darauf zu achten, dass keine scharfen Kanten, Grate oder vorspringende spitze Teile in den Untersuchungsbereich hineinragen dürfen, in dem sich die Fische befinden. Außerdem ist darauf zu achten, dass durch die Modelleinbauten keine Spalten entstehen in denen sich Fische verstecken können und so nach Abschluss eines Tests nicht mehr gefunden werden.

#### **3.4.1. Ethohydraulische Modelleinbauten**

Vorrangiges Ziel des ethohydraulischen Versuchsstandes ist die Untersuchung verschiedenster fischrelevanter wasserbaulicher Anlagen und Strömungskonstellationen. Im Hinblick auf die Herstellung der situativen hydraulischen Ähnlichkeit spielt die Modellabbildung der zu untersuchenden Anlagenkomponenten, die maßgebend das Fischverhalten beeinflussen, eine übergeordnete Rolle. Neben den bereits dargestellten maßstäblich modellierten Einbauten wie die Wehranlage in Form eines Hakendoppelschützes oder dem Auslauf einer Fischaufstiegsanlage kamen bei anderen ethohydraulischen Untersuchungen beispielsweise Fischschutzrechen zum Einsatz. Hierfür wurden Originalbauteile eines Rundstabrechens mit einer lichten Weite von 10 mm in die Laborrinne eingebaut (Abbildung 3.17).



**Abbildung 3.17:** Untersuchung eines schwenkbaren, so genannten Chan-Bar-Rechen, der dem Schutz abwandernder Fische dient

### 3.4.2. Fluchtsperre

Sowohl der Einlauf, als auch der Auslauf der Laborrinne sind gegen das Entweichen von Fischen durch Gitter oder Rechen abgesperrt. Da in der Regel mindestens 1-jährige Entwicklungsstadien bzw. Individuen mit einer Körperlänge von mindestens 5 cm in eine Laborrinne eingesetzt werden, dürfen diese Fluchtsperren aus Gittern keine gröbere Maschenweite als 10 x 10 mm besitzen oder Rechen dürfen keinen größeren Stababstand als 10 mm aufweisen. Die Fluchtsperren sind stabil zu fertigen, um auch bei hohen Fließgeschwindigkeiten sicher verankert zu sein und einen dichten Abschluss mit den Wänden und am Boden der Rinne realisieren zu können (Abbildung 3.18).



**Abbildung 3.18:** Feinmaschige Fluchtsperre vor den Auslauflamellen der Laborrinne

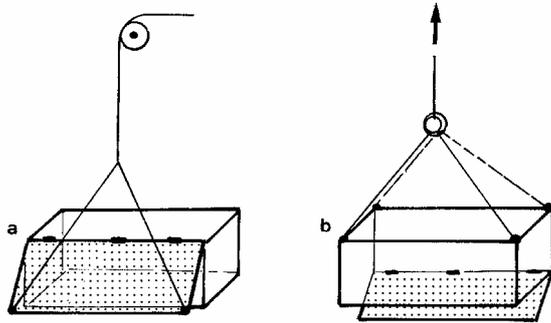
### 3.4.3. Startkäfig

Damit die in die Laborrinne gesetzten Fische sich in Ruhe an die Testbedingungen gewöhnen können und sich nicht unkontrolliert verteilen, kommt ein Startkäfig zum Einsatz. Während zu klein dimensionierte Käfige den Fischen unnötig Stress verursachen, hat sich

eine Konstruktion bewährt, die die gesamte Rinnenbreite einnimmt, eine Länge von etwa 1 m und eine Höhe von über 0,5 m besitzt.

Die Grundkonstruktion des Startkäfigs besteht aus einem Metallrahmen, der von Maschendraht einer Maschenweite kleiner als 10 x 10 mm umgeben ist.

Da der Startkäfig durchaus auch starker Strömung ausgesetzt ist, muss zum einen eine stabile Bauweise vorliegen, zum anderen jedoch ein leichtgängiger Öffnungsmechanismus zur Verfügung stehen. Bei diesen Untersuchungen hat sich zudem die Verkettung an einem in der Halle befindlichen Kranwagen bewährt. Die Mobilität des Hallenkrans erleichtert des Weiteren den Transport der Fische aus den Halterbecken über den Startkäfig bis hin zum Versuchsstandort.



**Abbildung 3.19:** Mechanismen zum Öffnen des Startkäfigs



**Abbildung 3.20:** Startkäfig im halb geöffneten Zustand

Auf der Oberseite des Käfigs befindet sich eine große verschließbare Öffnung, durch die die Fische bei eingestauter Rinne hineingesetzt werden. Ferner ist ein Öffnungsmechanismus installiert, der auch bei maximalem Einstau und hohen Fließgeschwindigkeiten, d.h. hohem Druck problemlos geöffnet werden kann, ohne Fische einzuklemmen (Abbildung 3.19). Besonders bewährt hat sich das Anheben eines möglichst schweren Startkäfigs, da durch die Öffnung der Bodenplatte alle Fische sicher in die Rinne entlassen werden (Abbildung 3.20). Der Käfig ist so konstruiert, dass die Fische den Startkäfig aus jeder Position verlassen können und nicht durch tote Winkel darin behindert werden.

### 3.5. Erfassung der hydraulischen Signatur

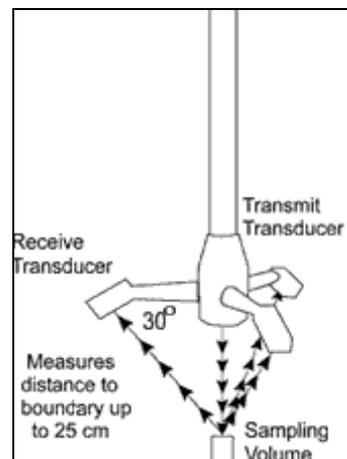
Lässt sich aus den ethohydraulischen Tests ein bestimmtes, reproduzierbares Verhalten der Fische auf eine hydraulische Situation oder Parameterkonstellation identifizieren, das als zielführend für die Problemstellung eingestuft werden kann, so ist für diesen Zustand

die hydraulische Signatur zu erfassen. Die verhaltensrelevanten Parameter wie Fließgeschwindigkeit, -richtung, Geschwindigkeitsvarianz, Turbulenzgrad, turbulente kinetische Energie usw. sowie maßgebende Geometrien werden direkt durch geeignete Messverfahren erfasst, bzw. aus gemessenen Strömungsparametern abgeleitet.

Die Geschwindigkeitsmessungen werden in der Laborrinne mit Hilfe eines Acoustic-Doppler-Velocimeter (ADV) durchgeführt (Abbildung 3.21). Das Messprinzip des ADV basiert auf dem Dopplereffekt. Von einer Quelle in der Mitte des Gerätes wird eine akustische Welle ausgesandt, die durch kleinste Partikel im Wasserkörper reflektiert wird. Die reflektierte Welle wird über drei äquidistante Empfänger aufgenommen (Abbildung 3.22). Aus den Phasenverschiebungen der drei empfangenen Signale und ihrer Laufzeit lässt sich die Geschwindigkeit des Partikels in alle drei Raumrichtungen bestimmen. Da davon ausgegangen werden kann, dass die Geschwindigkeit des Partikels gleich der Geschwindigkeit des ihn umgebenden Wassers ist, erhält man den dreidimensionalen Geschwindigkeitsvektor des Wassers im Messpunkt. Der Messpunkt liegt etwa 5 cm unter der akustischen Quelle, somit wird das zu erfassende Strömungsgeschehen durch das Messgerät nicht beeinflusst. Das ADV kann Geschwindigkeiten bis zu einer Frequenz von 200 Hz messen. Diese hohe Abtastrate begünstigt zudem die Ermittlung genauer Werte für Turbulenzparameter wie zum Beispiel der turbulenten kinetischen Energie oder dem Turbulenzgrad.



**Abbildung 3.21:** ADV-Messsonde



**Abbildung 3.22:** Messprinzip des Acoustic-Doppler-Velocimeter

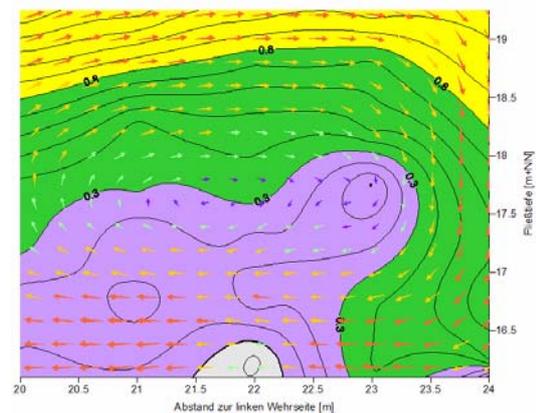
Die Größe des Untersuchungsbereiches und das Prinzip der punktuellen Messung erfordern einen möglichst automatisierten Messbetrieb. Zu diesem Zweck kommt ein computergesteuerter Messwagen zum Einsatz, der jeden Punkt der Laborrinne anfahren kann (Abbildung 3.23). Über das am Messwagen installierte ADV erfolgt die punktuelle Geschwindigkeitsmessung über ein Zeitintervall von 30 Sekunden. Um die Strömungssituation möglichst genau zu erfassen, ist ein engmaschiges Messraster nötig. Für den Kom-

promiss aus Messgenauigkeit und Zeitaufwand kommen Messraster mit unterschiedlichen Rasterweiten zum Einsatz. Ein höher aufgelöstes Raster wird im Nahbereich der Fischaufstiegsanlage verwendet, während das gröbere Raster den weitläufigeren Strömungsraum abdeckt.

Die Analyse und Verarbeitung der Geschwindigkeitsmessdaten liefert dann ein hochaufgelöstes Bild der Strömungssituation, in Abbildung 3.24 dargestellt als Geschwindigkeits-Querprofil.



**Abbildung 3.23:** Messwagen



**Abbildung 3.24:** Darstellung der Messergebnisse in einem Querprofil

### 3.6. Biologische Infrastruktur

#### 3.6.1. Beschaffung von Fischen

Je nach Fragestellung werden für ethohydraulische Tests Fische unterschiedlicher Arten, Größen sowie ggf. auch Herkünfte benötigt. Grundsätzlich lassen sich Fische aus natürlichen Gewässern fangen. In Frage kommen auch Fischzuchten, in denen die Tiere erbrütet werden und in Teichanlagen quasi domestiziert heranwachsen. Bisher ist unklar, ob die hinsichtlich z. B. des Futterangebotes oder der Bewegungsmöglichkeiten unter verschiedenen Bedingungen aufwachsenden Tiere ein vergleichbares Verhaltensrepertoire und Leistungsvermögen entwickeln. Um dies zu untersuchen, müssten vergleichende Verhaltenstests mit Fischen der selben Art und Größe, jedoch unterschiedlicher Herkunft durchgeführt werden.

Solange jedoch noch keine Befunde über Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede vorliegen, kamen für die ethohydraulischen Tests im Rahmen des DBU-Projekts in erster Linie Wildfische aus natürlichen Gewässern zum Einsatz. Die Beschaffung von Wildfischen ist nur unter Anwendung fischereilicher Methoden wie der Elektrofischerei oder mit Reusen möglich. In Hinblick auf ethohydraulische Vorhaben wiesen die im Rahmen des Projekts ge-

nutzten Bezugsmöglichkeiten allerdings mehr oder weniger große Nachteile auf, weshalb ein ausschließlicher Einsatz von Wildfischen nicht möglich war.

So war ursprünglich vorgesehen, die für die ethohydraulischen Tests benötigten Probanden aus Fließgewässern im nahen Umkreis des IWG per Elektrofischerei zu beziehen. Bei dieser nur zu wissenschaftlichen Zwecken oder gezielten fischereilichen Hegemaßnahmen zulässigen Methode wird mittels Gleichstrom ein elektrisches Feld im Wasserkörper erzeugt, in dem die Fische aktive Schwimmbewegungen zur Anode hin ausführen (Galvanotaxis) und hier kurzzeitig betäubt werden (Galvanonarkose). Auf diese Weise sind eine qualitative und halbquantitative Erfassung des Fischbestandes sowie eine gezielte Entnahme von Fischen möglich. Schädigungen der Fische sind bei regulärer Anwendung von Elektrofangeräten weitgehend auszuschließen. Die benötigte Erlaubnis zur Durchführung von Elektrobefischungen gemäß § 6 der Baden-Württembergischen Landesfischereiverordnung sowie die Entnahme von Fischen war von der Oberen Fischereibehörde des Regierungspräsidiums Karlsruhe für das rechte Rheinufer zwischen Stromkilometer 356 bis km 360 erteilt worden (Az: 33-92222.14.1-1/Schwevers).

Aufgrund lang anhaltender, viel zu hoher Wasserstände waren jedoch effiziente Elektrobefischungen während des gesamten Jahres 2008 nicht möglich (Abbildung 3.25). Um dennoch die für die ethohydraulischen Tests erforderlichen Probanden zu beschaffen, musste alternativ auf die hessische Lahn ausgewichen werden, wofür wiederum das Einverständnis des Fischereipächters sowie die Genehmigung durch die vor Ort zuständige Obere Fischereibehörde des Regierungspräsidiums Gießen erforderlich war (AZ: V/53.2-J52-Schwevers). Zudem mussten die Fische einen längeren Transportweg bis zum IWG nach Karlsruhe ertragen. Doch selbst in der gegenüber dem Rhein mit nur etwa  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  sehr viel kleineren Lahn waren an 3 Tagen im Jahr 2008 die Fangbemühungen aufgrund widriger Umstände, wie starke Trübung, erhöhter Abfluss und zu niedrige Wassertemperaturen gegen Ende Oktober vergeblich.



**Abbildung 3.25:** Wegen anhaltend hoher Pegelstände im Rhein musste auf die Barbenregion der Lahn ausgewichen werden, um das erforderliche Artenspektrum zu fangen

Unmittelbar nach dem Fang wurden die Fische in einen mit Sauerstoff belüfteten etwa 1.000 l fassenden Transportbehälter (Abbildung 3.26) in einer etwa 1,5-stündigen Fahrt am IWG in Karlsruhe in die dort installierte, tierschutzkonforme Hältereinrichtung umgesetzt. Die Umsetzung der Fische in die Hälterbecken erfolgte nach vorheriger, langsamer Anpassung an die Wassertemperatur im Labor, d. h. in den Hälterbecken. Während ein sofortiges Umsetzen von Fischen in bis zu 5 °C kälteres Wasser unkritisch ist, musste im Falle höherer Temperaturunterschiede eine behutsamere Anpassung der Fische vorgenommen werden, in dem die Wassertemperatur um jeweils +2 °C pro 30 Minuten erhöht wurde (RAPP 2000, SIMON & BRÄMICK 2006).



**Abbildung 3.26:** Belüfteter Transportbehälter

Ergänzend zu den Elektrofischungen in der Lahn wurden im Projektjahr 2008 auch Fische beschafft, die über die Fischaufstiegsanlage am Wasserkraftwerk Iffezheim am Rhein aufgestiegen und in die am Ausstieg exponierte Kontrollreuse eingeschwommen waren. Im April waren etwa 350 Fische mit Körperlängen über 0,4 m in der Kontrollreuse gefangen, von denen viele bedeutende äußere Verletzungen, wie großflächige Schuppenverluste und Schürfwunden aufwiesen. Von diesem Fang wurden 60 äußerlich unverletzte Exemplare der Arten Rapfen (*Aspius aspius*), Barbe (*Barbus barbus*), Brachsen (*Abramis brama*), Nase (*Chondrostoma nasus*), Döbel (*Leuciscus cephalus*) sowie eine Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) in dem oben beschriebenen Transportbehälter innerhalb einer halben Stunde an das IWG nach Karlsruhe gebracht und in die Hälterbecken umgesetzt.

Obgleich die permanent kontrollierten Wassertemperaturen, chemisch-physikalischen Werte und die Sauerstoffversorgung in den Hälterbecken keine Beanstandungen erkennen ließen, verendeten über 50 % der Fische aus der Reuse binnen 48 Stunden (Abbildung 3.27). Um das fortschreitende Sterben der bis dahin noch lebenden Individuen einerseits nicht hilflos miterleben zu müssen und andererseits den Tieren eine minimale Überlebenschance zu erhalten, wurden die Fische am 2. Tag nach dem Fang in der Reuse wieder an den Rhein transportiert und in das Gewässer entlassen.



**Abbildung 3.27:** Der Aufstieg über die Fischaufstiegsanlage in Iffezheim ist so beschwerlich und die Raummaße der Kontrollreue sind zu klein, so dass viele Fische aus Stress sterben

Insgesamt ergaben die Arbeiten für das DBU-Projekt, dass die Beschaffung von Fischen aus natürlichen Gewässern für ethohydraulische Tests anspruchsvoll und zeitaufwändig ist. So mussten Elektrofischungen wiederholt mangels Fangerfolg abgebrochen und die Durchführung der Teststaffeln entsprechend verschoben werden, was den Projektablauf behinderte und organisatorische Probleme aufwarf. Der Vorteil dieser Art der Beschaffung von Fischen ist, dass die Individuen bei regulärem Einsatz der Fangmethode in sehr guter Verfassung sind und vor allem auch Klein- und Jungfische zur Verfügung gestellt werden können. Der Nachteil besteht darin, dass sich sehr große Exemplare und Vertreter der Gilde der Freiwasserbewohner, sogenannter pelagialer Arten dieser Fangmethode zu meist entziehen. Diese Arten sind entsprechend vergleichsweise schwierig, bzw. nur sehr zeitintensiv zu beschaffen.

Fische, die mit Reusen gefangen werden, sind nach den vorliegenden Erfahrungen ungeeignet. Da sie in dem Fanggerät starkem Stress ausgesetzt waren, war ihr Mortalitätsrisiko drastisch erhöht. Zudem wird das gefangene Größenspektrum durch die Lochweite des Netzes oder des Maschendrahtes, die die Reuse umgeben auf solche Fische begrenzt, die zu groß sind, um zu entweichen. Unter Umständen wäre die Beschaffung von Fischen mit Reusen möglich, wenn sicher gestellt wäre, dass das Gerät aufgrund seiner Konstruktion und Größe einen schonenden Fang von Fischen ermöglicht und die Aufenthaltszeit der gefangenen Fische in der Reuse so kurz wie möglich gehalten werden kann.

Weder durch Elektrofischerei, noch mit Reusen kann allerdings sicher gestellt werden, dass das für die ethohydraulischen Tests erwünschte Spektrum von Arten und Größen bereit gestellt wird. Zudem birgt ein längerer Transportweg der Tiere an den Ort des Geschehens Risiken durch zusätzlichen Stress, einer unzureichenden Sauerstoffversorgung

oder einer den Fischen unzuträglichen Erwärmung des Transportwasser durch Sonneneinstrahlung.

So musste trotz aller Bemühungen aufgrund der niedrigen Wassertemperaturen im März 2009 und einer sehr kurzen Planungszeit im Mai 2009 für diese Versuche auf Fische aus einer Fischzucht zurückgegriffen werden (Abbildung 3.28). Zwar bleibt den Tieren in dieser Variante der aufwändige Transport nicht erspart (Abbildung 3.29), die Verwendung von stets verfügbaren Tieren aus Fischteichen erleichtert jedoch die zeitliche Planung ethohydraulischer Tests. Neben den in der Fischzucht aufgezogenen Bachforellen (*Salmo trutta f. fario*), Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*), Goldfischen (*Carassius auratus auratus*) und Störartigen (*Acipenser ruthenus*, *Acipenser ruthenus x Huso huso* und *Acipenser baerii*) stammten alle anderen in der Fischzucht gekauften Exemplare aus Abfischungen von Seen in Mecklenburg-Vorpommern.



**Abbildung 3.28:** Die für die Tests benötigten Probanden wurden von einer Fischzucht bezogen



**Abbildung 3.29:** Sortieren und Verladen der Fische

Trotz der Vorteile im Bezug auf die Planbarkeit bringt auch das Beschaffen der Tiere aus einer Fischzucht Probleme mit sich. So entstehen nicht nur zusätzliche Kosten durch den Ankauf, häufig sind diese auch nicht in dem gesundheitlichen Zustand, wie es Wildfische nach einem Elektrofang sind und es für ethohydraulische Tests vonnöten wäre. So starben bei den Untersuchungen im Mai etwa 50 % der Brachsen (*Abramis brama*) an unbekanntem Vorschädigungen. Außerdem kann auch durch eine Fischzucht nicht das gesamte Artenrepertoire das für ethohydraulische Tests benötigt wird abgedeckt werden, da die meisten Arten nicht von wirtschaftlichem Interesse sind und folglich nicht vorgehalten werden. Insgesamt erwies sich im Projekt, dass gerade die Beschaffung der Probanden mit einem enormen Aufwand verbunden ist, der zumeist weit unterschätzt wird. Die Verfügbarkeit von Fischen stellt damit einen stark limitierenden Faktor für ethohydraulische Tests dar, wofür bislang noch keine zufrieden stellende Strategie gefunden werden konnte.

### 3.6.2. Artenspektrum

Während für die Beantwortung artspezifischer Fragestellungen natürlich nur diejenigen Zielarten zu beschaffen sind, deren Verhalten es zu untersuchen gilt, werden für etho-hydraulische Tests mit einer allgemeineren Fragestellung unterschiedliche Arten benötigt.

Um dabei ein breites Spektrum möglicher Verhaltensweisen beobachten zu können, werden Gemischtartengruppen so zusammengestellt, dass möglichst verschiedene ökologische Gilden durch mindestens eine Art vertreten sind. Eine ökologische Gilde umfasst dabei jeweils solche Arten, die die gleichen z. B. morphologischen Eigenschaften, ein ähnliches Leistungsvermögen, Verhaltensmuster oder Lebensraumsprüche aufweisen (Tabelle 3.1). Oft lässt sich eine Art mehreren Gilden zuordnen, je nach dem welche Eigenschaften betrachtet werden. So zählt beispielsweise der Zander nicht nur zu den großen Arten, da er eine Körperlänge bis zu 1 m erreichen kann, sondern auch zu der Gilde der pelagialen Arten, deren Vertreter sich bevorzugt im freien Wasserkörper aufhalten.

**Tabelle 3.1:** Für Gemischtartengruppen geeignete einheimische Fischarten

<b>ökologische Gilde</b>	<b>Art</b>
Bodenlebende	Barbe, Nase, Aal
Freiwasserbewohner	Plötze, Döbel, Hasel
oberflächennah Lebende	Zander, Ukelei
Hochrückige	Brachsen, Giebel, Karpfen
Leistungsfähige	Bachforelle, Äsche
Leistungsschwache	Groppe, Gründling, Ukelei, Jungfische
große Arten	Rapfen, Hecht, Lachs, Zander
kleine Arten	Gründling, Schneider
juvenile Entwicklungsstadien	1-jährige oder mindestens 5 cm lange Exemplare aller Arten - außer Stichling und Moderlieschen

Im Rahmen des DBU-Projekts wurden insgesamt 430 Fische aus den in Abbildung 3.30 dargestellten 28 Arten beobachtet. Die Fische wurden in der Regel über maximale Zeiträume von 10 Tagen gehältert.



Aal (*Anguilla anguilla*)



Aland (*Leuciscus idus*)



Bachforelle  
(*Salmo trutta f. fario*)



Barbe (*Barbus barbus*)



Bester (*Huso huso x Acipenser ruthenus*)



Bitterling  
(*Rhodeus amarus sericeus*)



Brachsen (*Abramis brama*)



Flussbarsch (*Perca fluviatilis*)



Döbel (*Squalius cephalus*)



Der Giebel (*Carassius gibelio*) (links) ist die Stammform  
des Goldfischs (*Carassius auratus*) (rechts)



Gründling (*Gobio gobio*)



Güster (*Blicca bjoerkna*)



Hasel (*Leuciscus leuciscus*)



Hecht (*Esox lucius*)



Karpfen (*Cyprinus carpio*)



Kaulbarsch  
(*Gymnocephalus cernuus*)



Rapfen (*Aspius aspius*)



Rotfeder  
(*Scardinius erythrophthalmus*)



Regenbogenforelle  
(*Oncorhynchus mykiss*)



Schleie (*Tinca tinca*)



Schneider  
(*Alburnoides bipunctatus*)



Sibirischer Stör  
(*Acipenser baeri*)



Sterlet (*Acipenser ruthenus*)



Plötze (*Rutilus rutilus*)



Ukelei (*Alburnus alburnus*)



Wels (*Silurus glanis*)



Zährte (*Vimba vimba*)

**Abbildung 3.30:** Galerie der im Rahmen der ethohydraulischen Tests eingesetzten Fischarten

Grundsätzlich sind hinsichtlich der Unterschiede sowohl im Verhalten als auch der Leistungsfähigkeit zwischen Wildfischen und Tieren aus der Fischzucht dringend weiterführende Untersuchungen nötig, um zu klären, ob Erkenntnisse, die anhand von Zuchtfischen getroffen wurden, überhaupt auf Wildfische übertragbar sind.

Einzig ein direkter Vergleich zwischen einem, aus dem Teich des Kurparks in Bad Nauheim stammenden Goldfisches (*Carassius auratus*) und den zeitgleich beobachteten aus einem Fließgewässer entnommenen Giebeln (*Carassius carassius*), die Stammform des als Farbvarietät anzusprechenden Goldfisches, lieferte immerhin erste Anhaltspunkte dafür, dass zumindest bei diesen beiden Arten weder hinsichtlich des Verhaltens, noch der Leistungsfähigkeit Unterschiede zwischen Wildfisch und Zuchtfisch bestehen. Die auffällige Färbung des Goldfisches erwies sich allerdings als sehr vorteilhaft, da dieses Individuum selbst unter schlechten Sichtbedingungen, wie bei Trübung oder in hochturbulenten Bereichen sehr gut erkennbar und von den anderen Fischen zu unterscheiden war (Abbildung 3.31). Aus diesen Gründen wurden auch in nachfolgenden Tests Goldfische eingesetzt, auch wenn diese reine Zuchtfische sind.



**Abbildung 3.31:** Vergleich des Goldfisches mit seiner weniger farbenprächtigen Stammform, dem Giebel, in der Laborrinne

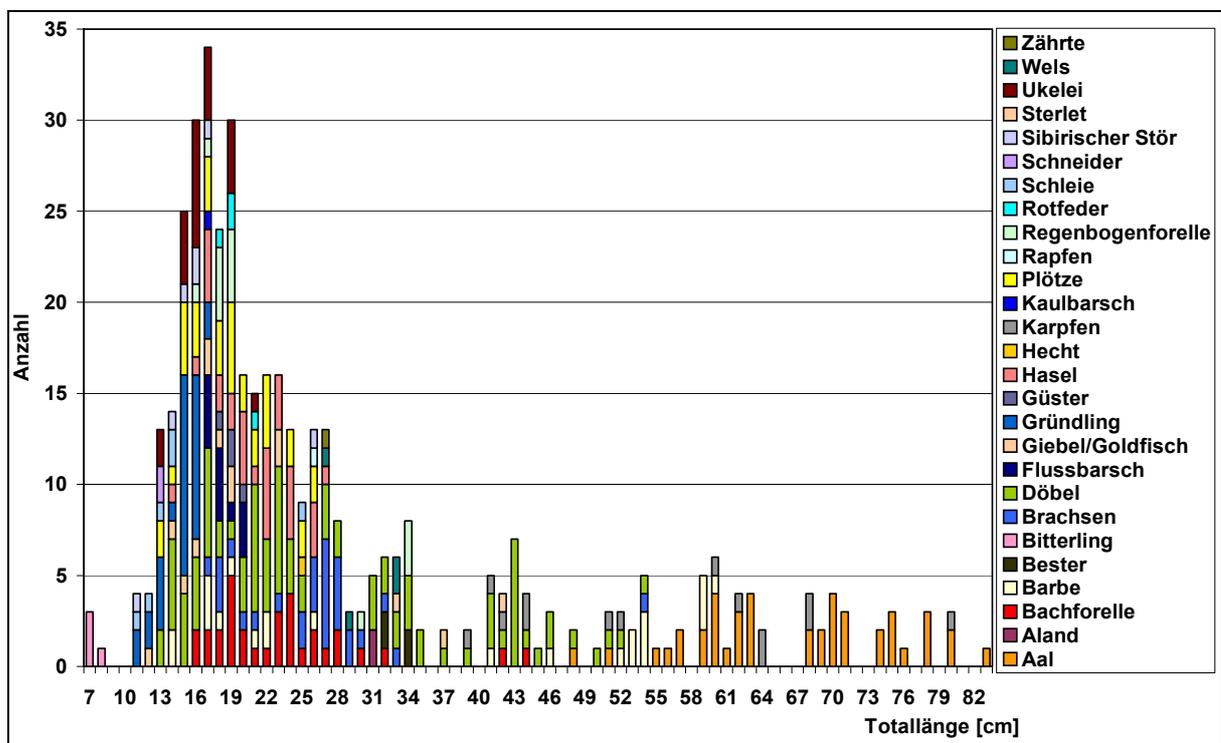
In Hinblick auf die Hälterung von Gemischtartenschwärmen erwies es sich als wenig zielführend den Gemischtartengruppen auch fischfressende Raubfische hinzu zu setzen. So dezimierte im Rahmen des DBU-Projekts die Anwesenheit von nur drei 27 bis 33 cm kleinen Welsen die Anzahl kleiner Ukelei, Plötzen und Haseln täglich. Sofern also Raubfische im Rahmen ethohydraulischer Tests eingesetzt werden sollen, müssen diese separat gehalten werden.

Doch auch von kapitalen Friedfischen wie Döbeln und Karpfen geht ein gewisser Stress- und Raubdruck auf Kleinfischarten und Jungfische aus. Um diesen Druck in den Hälterbecken zu mindern, empfiehlt sich eine Bestückung mit untergetauchten Röhren, in die sich kleineren Arten vor einer Nachstellungen in Sicherheit bringen können.

### 3.6.3. Größenspektrum

Für die Beobachtungen wurden nicht nur verschiedene Arten, sondern auch Individuen unterschiedlicher Größe genutzt.

In Hinblick auf die Notwendigkeit das Entweichen von Fischen am Ein- und Auslauf der Laborrinne zu verhindern, wurden Fluchtsperren mit einer Maschenweite von 10 x 10 mm bzw. einem Stababstand von 10 mm installiert. Entsprechend dieser Vorgabe einer lichten Weite, die von Fischen nicht passiert werden darf, konnten nur mindestens 1-jährige Fische mit einer Mindestgröße von 5 cm eingesetzt werden. Dementsprechend wiesen die kleinsten Exemplare, bei denen es sich um Bitterlinge handelte, eine Totallänge von 7 cm auf (Abbildung 3.32).



**Abbildung 3.32:** Größenverteilung der im Rahmen der ethohydraulischen Tests am IWG beobachteten Fischarten

Bezüglich der Maximalgröße ergaben sich durch die Ausstattung und Größe der Laborrinne selbst zwar keine Limits, doch zeigte es sich bei der Handhabung der Probanden, z. B. beim Umsetzen aus dem Hälterbecken in den Startkäfig, dass lebhaftere Exemplare über 70 cm nur mit Mühe gebändigt werden konnten, was sowohl die Biologen, als auch die Fische einem erheblichen Stress aussetzte (Abbildung 3.33). Aus solchen praktischen Erwägungen heraus empfiehlt es sich im Rahmen ethohydraulischer Tests möglichst auf allzu kapitale Exemplare zu verzichten.



**Abbildung 3.33:** Dieser leistungsstarke Schuppenkarpfen von 80 cm Länge und etwa 6,5 kg Gewicht erwies sich im Rahmen ethohydraulischer Tests nicht nur als kaum mehr handhabbar, sondern seine Ausbruchversuche demolierten die Abdeckungen des Hälterbeckens

#### 3.6.4. Anzahl der Fische

Sowohl bei einer Beobachtung von Ein-, als auch von Gemischtartengruppen ist eine Auswertung des Verhaltens jedes einzelnen Individuums kaum möglich, zumal nicht jeder Fisch an jedem Testlauf gleichermaßen motiviert teilnimmt. Um trotz einer größeren Anzahl von Fischen dennoch einen guten Überblick über das Geschehen in der 2 m breiten Laborrinne des IWG zu behalten, hat sich die Beobachtung von Gruppen mit 30 bis maximal 40 Individuen als sinnvoll erwiesen. Eine Erhöhung der Individuenzahl pro Test ist zwar möglich, doch nimmt die Aufmerksamkeit und Wahrnehmungsfähigkeit der Beobachter bei größeren Fischgruppen deutlich ab. Einzig dann, wenn die eingesetzten Fische eine sehr geringe Aktivität zeigen, kann eine Erhöhung der Fischzahl sinnvoll sein, um die Ereignisfrequenz zu erhöhen. Dies ist allerdings nur im Rahmen von qualitativen Untersuchungen möglich, in einem quantitativen Versuch scheidet diese Möglichkeit aus.

Um Lerneffekte bei den Probanden auszuschließen bzw. zu minimieren, wurde pro Teststaffel mit mindestens zwei Fischgruppen gearbeitet, die zwischen den einzelnen Tests ausgetauscht wurden. Die Fischgruppen müssen grundsätzlich getrennt voneinander gehalten und über die Dauer der Tests, wenn möglich in unveränderter Zusammensetzung belassen werden, da jedes Sortieren der Individuen mit unnötigem Stress verbunden ist.

#### 3.6.5. Hälterung

Für die tierschutzkonforme Hälterung der Fische waren im Flussbaulabor des IWG zwei mit einer Länge von jeweils 4,2 m, einer Breite von 1,1 m und einem Wasserstand von etwa 0,8 m geräumige Langstrombecken mit einem Füllungsvolumen von 3,6 m<sup>3</sup> aufgestellt (Abbildung 3.34). Die mit Deckeln gegen ein Herausspringen der Fische gesicherten Becken waren mit Reinwasser aus dem Tiefbehälter des Wasserkreislaufes befüllt und wurden permanent mit Druckluft belüftet.



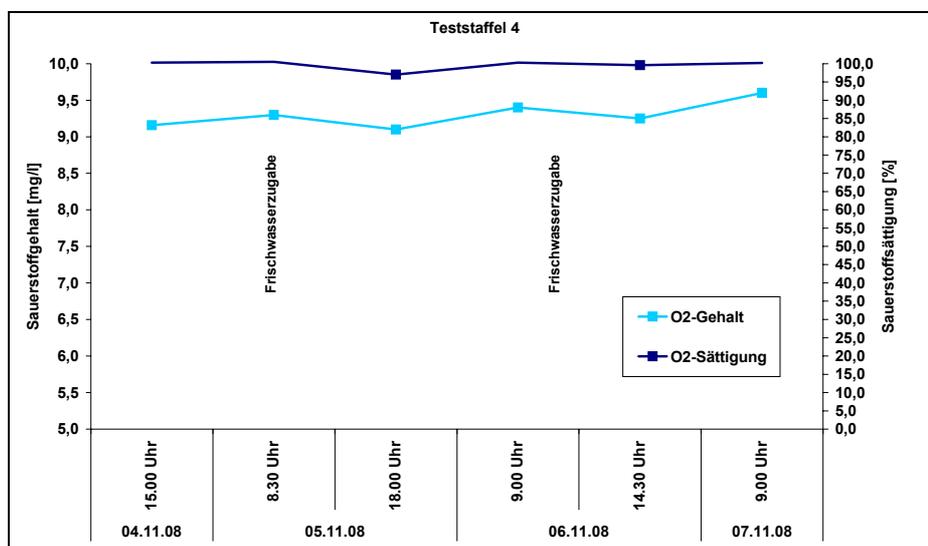
**Abbildung 3.34:** Hälterbecken

Es erwies sich im Rahmen des DBU-Projekts als sehr praktisch und sinnvoll, die Langstrombecken mittels Tauchpumpen kontinuierlich mit frischem Wasser aus dem Tiefbehälter zu durchströmen. Hierdurch erübrigte sich einerseits der Einsatz von Filterpumpen zur Klärung des Wassers in den Hälterbecken (Abbildung 3.35), zum anderen wurden die Fische beim Umsetzen aus den Hälterbecken in die Laborrinne in einen Wasserkörper mit den selben chemischen Eigenschaften überführt. Insgesamt waren die Hälterbedingungen für die Fische offenbar so kommod und stressfrei, dass weder Parasitosen, noch Infektionen ausbrachen und entsprechend keine medikamentösen Behandlungen erforderlich waren. Die Fütterung der Fische erfolgte täglich am Abend mit gefrosteten Mückenlarven (Chironomiden) und Flohkrebse (Gammariden).

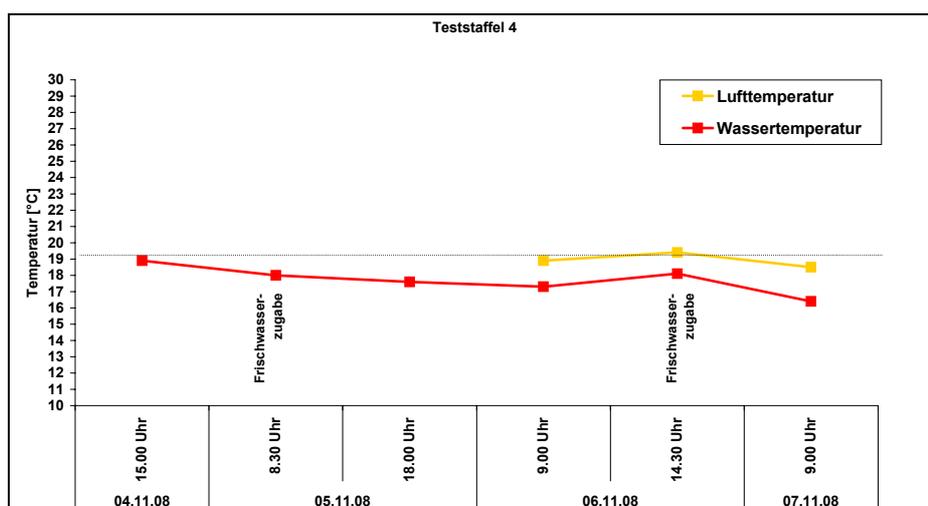


**Abbildung 3.35:** Langstrombecken mit Abdeckung und Ausläufen in den Tiefbehälter

Während der in der Regel 1-wöchigen und im November 2008 sogar 20-tägigen Hälterung von Fischen wurden täglich morgens und abends die Parameter Wasser- und Lufttemperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffsättigung und -gehalt sowie pH-Wert gemessen. Alle Parameter bewegten sich hierbei in einem für Fische günstigen Bereich: Der pH-Wert schwankte zwischen 7,5 und 8, die Leitfähigkeit lag bei etwa 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und die Sauerstoffsättigung betrug mit geringen Schwankungen annähernd 100 % (Abbildung 3.36). Regungsbedarf ergab sich allerdings bei der Wassertemperatur, die sich infolge von Sonneneinstrahlung in die Versuchshalle und vor allem den Betrieb der Pumpen für den Pumpenkreislauf kontinuierlich erhöhte. Sobald eine Überschreitung von 19,0 °C drohte, wurde deshalb dem Wasserkreislauf so lange kaltes Trinkwasser aus der städtischen Trinkwasserversorgung zugeführt, bis die Temperatur wieder auf etwa 17,0 °C abgesunken war (Abbildung 3.37).



**Abbildung 3.36:** Beispiel für die Entwicklung von Sauerstoffgehalt und -sättigung während der letzten Teststaffel im Jahr 2008



**Abbildung 3.37:** Beispiel für die Entwicklung von Luft- und Wassertemperatur während der letzten Teststaffel im Jahr 2008

### 3.7. Wasserqualität und Versuchsbedingungen

Nicht nur für eine problemlose Hälterung der Fische, sondern auch als Voraussetzung für normale Verhaltensweisen in der Laborrinne ist die Beschaffenheit des Wassers von entscheidender Bedeutung. Entsprechend wird dafür Sorge getragen, dass die Werte der wichtigsten Wasserparameter sowohl des Wasserkörpers in der Modellrinne, als auch des Wassers der Hälterbecken nicht von den optimalen Werten in Tabelle 3.2 abweichen. Die Hälterbecken stehen über Pumpen im ständigen Kreislauf mit dem Tiefbehälter. Dadurch finden die Fische bei der Umsetzung aus den Hälterbecken in die Modellrinne die gleiche Wasserqualität vor, womit die Umgewöhnung erleichtert wird. Um den hohen Kriterien der Wasserqualität gerecht zu werden, wird vor jeder Versuchsstaffel mit Fischen eine sorgfältige Untersuchung der Wasserparameter durchgeführt.

Über die Zeit lagern sich Rost-, Sinter, und andere Trübstoffe im Wasserreservoir und im Leitungssystem ab. Da die Trübung die Verhaltensbeobachtungen einschränken können, wird unabhängig von den physikalisch/chemischen Wasserparametern nach einer Spülung des Rohrleitungssystems das Wasser im Tiefbehälter ausgetauscht.

Auch ist das Wasser auszutauschen, wenn zwischen den ethohydraulischen Versuchen rein wasserbauliche Versuche stattfinden, bei denen Tracerstoffe zur Veranschaulichung der Strömung zum Einsatz kommen. Ihre Inhaltsstoffe reduzieren den Sauerstoffgehalt im Wasser und können eine Gefahr für die Fische darstellen.

**Tabelle 3.2:** Grenzwerte der wichtigsten chemisch/physikalischen Wasserparameter

Parameter	zulässige Werte
Wassertemperatur	< 20 °C
pH	6,5 - 8,0
Sauerstoffsättigung	> 70 %
Sauerstoffsättigung	> 5,0 mg/l

#### 3.7.1. Sauerstoff

Durch die Pumpentätigkeit und die Strömung wird der Wasserkörper in der Laborrinne während der Tests in der Regel in ausreichendem Maß mit Sauerstoff angereichert. Die Hälterbecken werden jedoch zusätzlich durch Sprudelsteine mit Sauerstoff angereichert, damit der Sättigungswert von 70% über die Nacht nicht unterschritten wird.

#### 3.7.2. Trübung

Für die Verhaltensbeobachtung und ggf. fotografische und filmische Dokumentation ist die Sichttiefe in der Laborrinne entscheidend. Infolge von Korrosionsprozessen und Abrieb in den Zu- und Ableitungen sowie Ablagerungen von Sinterstoffen und vor allem Eisenocker im Reservoir kann das Wasser in der Rinne so stark eingetrübt werden, dass

eine Beobachtung von Fischen unmöglich wird. Zudem können Trübstoffe die Kiemen der Fische reizen und damit ihr Wohlbefinden beeinträchtigen.

Wenngleich für Fische nicht relevant, aber für die Beobachtungen und Dokumentation außerordentlich störend ist die nach einiger Versuchszeit einsetzende Bildung von Gasbläschen im Wasser, die zunehmende Eintrübung verursachen. Um diesen Effekt zu minimieren empfiehlt es sich, die im Einlauf der Rinne entstehenden Turbulenzen, die diese Gasblasenbildung fördern, mit einer Beruhigung der Wasseroberfläche durch Schwimmkörper zu reduzieren. Hierfür eignen sich gegen ein Verdriften gesicherte flächige Holzgatter oder Styroporplatten.

### **3.7.3. Temperatur**

Ein vollständiger Austausch des Wasservolumens im Wasserreservoir der Laborrinne kann insbesondere in wärmeren Jahresperioden problematisch sein, wenn sich die Temperatur des Wassers aus dem speisenden Leitungssystem stark von der Temperatur in natürlichen Oberflächengewässern unterscheidet. Hieraus können Komplikationen bei der erforderlichen Überführung der Fische in die Hälterbecken und auch in die Laborrinne resultieren.

Ein weitaus größeres Problem ist die sukzessive Erwärmung des im Kreislauf geführten Wasserkörpers durch die Pumpen, bei der ein erheblicher Anteil der von potentieller Lageenergie des Wassers in kinetische Energie umgewandelten Energie als Wärme dem Wasser zugeführt wird. Durch diesen Effekt wird ein Temperaturanstieg verursacht, der bei einer Versuchslaufzeit von 14 Tagen – je nach Ausgangstemperatur des Wassers – etwa 6 °C betragen kann. Somit können die Optimalwerte von 10 bis 16 °C für die Wassertemperatur leicht überschritten werden.

Da sich diese Temperaturerhöhungen nur durch sehr aufwändige und teure Kühltechniken kompensieren lassen, werden vor der Durchführung ethohydraulischer Tests sowohl die Temperaturerhöhung als auch die Abkühlungszeiten für die Laborrinne genau untersucht und für die Tests mit Fischen ein auf dieses Temperaturregime abgestimmter Zeitplan erarbeitet.

Die Wassertemperatur wird vor der Durchführung ethohydraulischer Tests täglich kontrolliert und dokumentiert. Mit dem Überschreiten einer Wassertemperatur von 18 °C werden die Beobachtungen in Hinblick auf die Gesundheit der Tiere unverzüglich eingestellt, zumal damit gerechnet werden muss, dass sich die Fische abnormal verhalten. So mussten im Mai 2009 Untersuchungen zur Schlitzpassagestrategie bereits nach zwei Tagen abgebrochen werden, da die Wassertemperatur aufgrund einer Hitzewelle nicht dauerhaft unter 18 °C gehalten werden konnte und sich Wassertemperaturen um 20 °C einstellten.

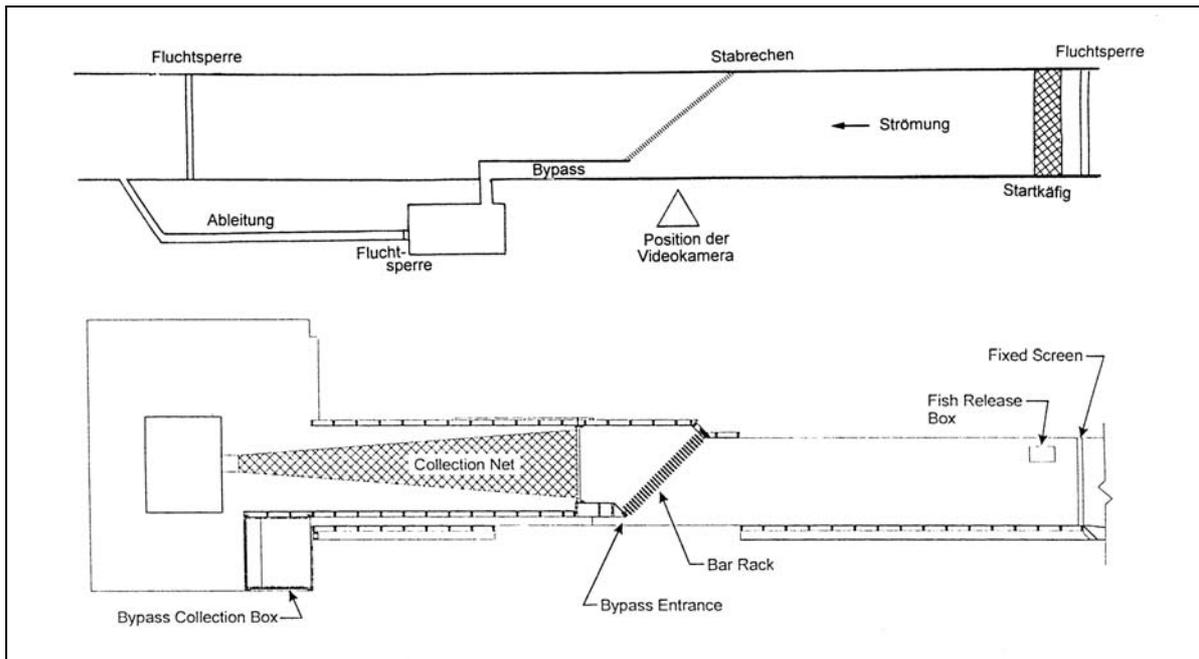
#### **3.7.4. Licht**

Ebenfalls entscheidend für die Wahrnehmung des menschlichen Auges und optischer Systeme sind die Lichtverhältnisse in der Versuchshalle. Da die Fische durch künstliches und/oder helles Licht stark irritiert werden, sind direkte Verhaltensbeobachtungen nur zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang oder bei indirekter Beleuchtung der Laborrinne möglich. Diese Restriktionen begrenzen das Tagespensum für ethohydraulische Untersuchungen natürlicherweise. Einige Verhaltensbiologen nutzen zur Beobachtung von Fischen Infrarotlicht, da dieses nicht von Fischen wahrgenommen werden kann (z. B. MEAGER et al. 2006). Es ist allerdings zu prüfen, ob diese Art der Beleuchtung für ethohydraulische Tests geeignet ist, da die kurzwelligen Lichtstrahlen unter stark turbulenten Fließbedingungen möglicherweise bereits nach wenigen Zentimetern Wassertiefe absorbiert werden.

## 4. Praktische Durchführung ethohydraulischer Tests

Weltweit wurden bislang nur einige Projekte durchgeführt, deren Ziel es war anhand von Verhaltensbeobachtungen von Fischen in Laborrinnen Erkenntnisse über die Fischrelevanz wasserbaulicher Anlagen und durch solche verursachte hydraulische Situationen in Gewässern zu gewinnen (STOTT & BUCKLEY 1979; SIGLER et al. 1984; HUNTINGFORD et al. 1988; CHRISP & HURLEY 1991; BARDONNET 1993; BARBIN & KRUEGER 1994; ADAM & SCHWEVERS 1997a, 1997b, 1998, ADAM et al. 1999; LEMCKE & WINKLER 1998; VORDERMEIER & BOHL 1999; AMARAL et al. 2000; HAYES et al. 2000; HÜBNER 2000; STROBL & GÖHL 2001; ADAM et al. 2002a, 2002b; NESTMANN et al. 2004). Im Rahmen dieser Arbeiten wurde weder das Vorgehen und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Situationen im Freiland hinterfragt, noch eine einheitliche Methode für die Durchführung und insbesondere die Auswertung ethohydraulischer Tests entwickelt.

Die fehlende Basis für Verhaltensbeobachtungen mit Fischen in Laborrinnen kann in Hinblick auf die Interpretation von Verhaltensbeobachtungen allerdings zu schweren Fehlern führen, wie das nachfolgende Beispiel konkretisiert: Vollkommen unabhängig voneinander wurden von ADAM et al. (1999) und AMARAL et al. (2000) ethohydraulische Tests mit nahezu identischem Versuchsaufbau durchgeführt, um zu ermitteln, ob ein schräg zur Anströmung angeordneter Stabrechen eine leitende Wirkung für Aale in Richtung auf einen im spitzen Winkel positionierten Bypass entfaltet (Abbildung 4.1). Die mit diesem methodischen Ansatz von beiden Arbeitsgruppen erarbeiteten und bedauerlicher Weise auch publizierten Ergebnisse widersprechen sich diametral: Während ADAM et al. die getestete Bypassanordnung für wirkungslos erklärten, schrieben AMARAL et al. dem schräg gestellten Rechen hingegen eine eindeutige Leitwirkung zu.



Eckpunkte der Tests	ADAM et al. (1999)	AMARAL et al. (2000)
Testfische:	60 Europäische Aale ( <i>Anguilla anguilla</i> )	388 Amerikanische Aale ( <i>Anguilla rostrata</i> )
Winkel des Stabrechens:	18 °	15 °
Stababstand:	20 mm	25 mm
Fließgeschwindigkeit in der Laborrinne:	0,3 bis 0,6 m/s	0,3 bis 0,6 m/s
Bypaß:	seitlich im spitzen Winkel	seitlich im spitzen Winkel
Breite des Bypaß:	0,5 m	0,5 m
Dokumentation:	Beobachtung der Aale im gesamten Gerinne durch 2 Personen Videoaufzeichnungen	Fang der Aale in Reusen hinter dem Rechen und im Bypaß Videoaufzeichnungen
Beobachtungsdauer:	10 Testläufe a 30 Minuten	über Nacht

**Abbildung 4.1:** Vergleichbarer Versuchsaufbau mit einem schräg gestelltem Rechen und seitlichem Bypaß von ADAM et al. (1999) (oberes Schema) und AMARAL et al. (2001) (unteres Schema)

Eine im Jahr 2000 von beiden Untersuchungsteams am ALDENLAB in Boston gemeinsam vorgenommene Sichtung der Ergebnisse sowie Sichtung des von beiden Arbeitsgruppen angefertigten Videomaterials erbrachte schließlich Klarheit und deckte auf, dass die Ursache für die widersprüchlichen Ergebnisse in der Art und Weise der Versuchsdurchführung begründet sind:

- ADAM et al. waren während der Tests physisch anwesend. Sie verfolgten die Reaktionen der Fische in der Laborrinne am Rechen sowie im Bereich des Bypasses ohne in das Schwimmverhalten einzugreifen. Dies bedeutete, dass die Fische den Rechen und den Bypaß in beide Richtungen passieren konnten, ohne abgefangen zu werden. Die

Beobachtungen ergaben, dass die den Rechen anschwimmenden Aale in der Regel auf der Rechenfläche eine der Anströmung diametral entgegen gerichtete Umkehrreaktion durchführen und deshalb nicht dem schrägen Verlauf des Rechens in den Bypaß folgen. Lediglich solche Fische schwammen in den Bypaß hinein, deren stromabwärts gerichtete Schwimmroute zufällig auf dessen Öffnung zuhielt.

- Hingegen starteten AMARAL et al. die Tests am Abend, verließen die Versuchshalle und zählten am anderen Morgen die Aale, die in der Reuse hinter dem Bypaß ( $N_{\text{Bypaß}}$ ) und in jener hinter dem Rechen ( $N_{\text{Rechen}}$ ) gefangen waren. Sie stellen gemäß der Formel ( $L = N_{\text{Bypaß}} / (N_{\text{Bypaß}} + N_{\text{Rechen}})$ ) eine Differenz fest und betrachteten damit die Leitwirkung des schräg gestellten Rechens als erwiesen.

Die Sichtung der Videoaufzeichnungen deckte allerdings auf, dass die amerikanischen Aale genau wie ihre europäischen Verwandten vor einem Rechen die gleichen Umkehrreaktionen ausführen. Aufgrund dieser Umkehrreaktionen hatte aber jeder amerikanische Aal bei einem erneuten Anlauf des Rechens eine neuerliche Chance, zufällig in den Bypaß hinein zu gelangen, wo er durch Fang in einer Reuse weiteren Anläufen entzogen wurde. Entsprechend der Anzahl der Umkehrreaktionen fanden die amerikanischen Kollegen am anderen Morgen mehr Aale in der Bypassreuse, als in der Reuse hinter dem Rechen. Die nachträgliche Analyse der Videoaufzeichnungen bewies, dass ein schräg zur Anströmung gestellter Rechen weder in Europa, noch in Amerika eine leitende Wirkung auf Aale ausübt. Wenngleich dieses Resultat für die Realität vor Kraftwerkseinläufen oder Wasserentnahmestellen von großer Bedeutung ist, wurde die Publikation von AMARAL et al. (2000) nie korrigiert, so dass die darin ausgeführte Falschinterpretation eines ethohydraulischen Versuches nach wie vor in der Fachwelt umher geistert.

Das Beispiel führt mit allem Nachdruck auf, dass die Wahl des methodischen Vorgehens im Rahmen ethohydraulischer Tests einen bedeutenden Einfluss auf die Daten hat, die der Auswertung sowie schließlich der Interpretation von Verhaltensbeobachtungen zu Grunde gelegt werden. Als weitere Erkenntnis zeigt sich, dass die Durchführung, Auswertung und Interpretation ethohydraulischer Tests nie von Personen übernommen werden sollte, die nicht über eine verhaltenbiologische Grundausbildung mit dem dafür erforderlichen methodischen Grundwissen verfügen.

#### **4.1. Durchführung und Interpretation von Verhaltensbeobachtungen**

Die Auswertung bisher durchgeführter ethohydraulischer Tests lässt bei den verschiedenen Arbeitsgruppen bis auf die in der Regel übliche Verwendung eines Startkäfigs kaum Gemeinsamkeiten bei der Durchführung und Auswertung von Verhaltensbeobachtungen mit Fischen in Laborrinnen erkennen. So erwies sich bei den meisten Tests die inhaltliche Durchdringung sowohl des zur Untersuchung anstehenden Problems, als auch des methodischen Vorgehens zumeist als oberflächlich und, sofern überhaupt eine nähere Beschreibung des Vorgehens vorliegt, war kein stringentes Vorgehen erkennbar. Angesichts dieser heterogenen Ausgangslage, können nur die vom Institut für angewandte Ökologie

im Laufe der vergangenen 15 Jahren gesammelten und systematisierten Erfahrungen mit ethohydraulischen Tests die Basis für die Entwicklung des Methodenstandards bilden. Die ersten Arbeiten zu Aspekten der Gestaltung von Fischaufstiegsanlagen fanden dabei am Zentrum für Agrarnutzungs- und Landnutzungsforschung in Müncheberg im Rahmen eines BMBF+T Projekts statt (INSTITUT FÜR ANGEWANDTE ÖKOLOGIE 1991-1993, ADAM & SCHWEVERS 1997a, 1997b, 1998). Es folgten verschiedene Untersuchungen zum Verhalten abwandernder Aale und anderer Fischarten am wasserbaulichen Versuchslabor der Universität Darmstadt (ARBEITSGEMEINSCHAFT GEWÄSSERSANIERUNG 1998, ADAM & et al. 1999). Ergänzt werden diese Erfahrungen durch jüngste Forschungen am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe, die vom Land Nordrhein-Westfalen zu Fragen des Fischab- und -aufstiegs beauftragt worden waren (KAMPKE et al. 2008, ADAM et al. 2009a) und durch Arbeiten für das vorliegende DBU-Projekt ergänzt wurden. Die nachfolgenden Ausführungen erfolgen in chronologischer Abfolge der einzelnen Schritte, die es im Rahmen ethohydraulischer Tests abzuarbeiten gilt.

#### **4.1.1. Umgang mit lebenden Fischen**

Die Aussagekraft ethohydraulischer Tests hängt maßgeblich von der Motivation der Fische ab, auf die ihnen in der Laborrinne gebotene hydraulische Situation zu reagieren. Oberstes Prinzip für den Umgang mit den Fischen ist, dass die Tiere möglichst wenig gestresst werden. Ob ein Fisch gestresst ist, lässt sich recht zuverlässig an einer gesteigerten Atmungsfrequenz, einem hektischen Umherschwimmen gepaart mit dem Bestreben, sich zu verstecken erkennen.

In Konsequenz hat beispielsweise das Umsetzen der Fische aus dem Hälterbecken in die Laborrinne und retour schonend und so zügig wie möglich zu erfolgen, wobei die Fische mit dem Kescher nicht gejagt und nicht zu lange außerhalb des Wassers transportiert werden dürfen, laute Geräusche zu vermeiden sind und jegliche Form grober Behandlung ebenso zu unterbleiben hat, wie jegliches überflüssige Hantieren mit den Fischen (Abbildung 4.2).

Das Einsetzen von Fischen sollte in jedem Fall immer erst dann vorgenommen werden, wenn alle Einbauten definitiv in der Laborrinne installiert und alle erforderlichen Einstellungen zur Erzeugung der zu testenden hydraulischen Situation vorgenommen sind. Erst dann ist eine aus etwa 30 Individuen bestehende Fischgruppe in einen Startkäfig umzusetzen, wofür die Laborrinne allerdings eingestaut sein muss (Abbildung 4.3).



**Abbildung 4.2.:** Umsetzen eines Fisches vom Hälterbecken in eine abdeckbare Transportwanne



**Abbildung 4.3:** Umsetzen von der Transportwanne in den Startkäfig in der eingestauten Rinne

Der Startkäfig dient dazu, den Bewegungsradius der Fische während der Eingewöhnungszeit zu begrenzen und eine unkontrollierbare Verteilung in der Rinne vor Beginn der Beobachtungszeit zu verhindern (Abbildung 4.4). Am IWG in Karlsruhe wurde zu diesem Zweck ein Rohrgestell geschweißt, dessen Breite die gesamte Rinne einnahm, der 0,5 m lang und 0,5 m tief war. Zur Vermeidung von Verletzungen der Fische war das Gestell mit knotenlosem Netzmaterial mit einer Maschenweite  $< 5$  mm umstrickt. Das Entlassen der Fische aus dem Startkäfig erfolgte durch sein Anheben mit dem Hallenkran, wodurch sich die Bodenplatte öffnete (Abbildung 4.5). Der Startkäfig wird entweder im Bereich der Hältereinrichtung mit Fischen beschickt und von dort mit dem Hallenkran zu der Position in der Laborrinne verfahren, von der aus die Fische mit der auszutestenden hydraulischen Situation konfrontiert werden sollen. Oder aber, der Startkäfig wird an der Stelle in der eingestauten Laborrinne positioniert, von der aus die Fische mit der Testskonstellation konfrontiert werden sollen. In letzterem Fall müssen die Fische in einer Transportwanne zum Startkäfig gebracht werden (Abbildung 4.2).

Alternativ zu einem Startkäfig wurde im Rahmen des DBU-Projekts auch ein Startabteil getestet, das einerseits durch ein festes Gitter sowie andererseits durch ein Starttor von der übrigen Rinne abgetrennt war (Abbildung 4.6). Um die Fische in die Laborrinne zu entlassen, wurde das Starttor angehoben. Diese Lösung erwies sich im Gegensatz zu einem mobilen Startkäfig als nachteilig, da die Position des Startabteils mehr oder weniger fixiert ist. Darüber hinaus war eine Anhebung des Starttores mit zunehmender Fließgeschwindigkeit und Abfluss in der Laborrinne schwierig.



**Abbildung 4.4:** Sicht auf den mit Netzmaterial umkleideten Startkäfig



**Abbildung 4.5:** Öffnen der Bodenplatte des Startkäfigs durch Anheben



**Abbildung 4.6:**  
Startabteil mit anhebbarer Starttor

Um die Fische an die Strömung in der Laborrinne zu gewöhnen werden sie 30 Minuten im Startkäfig der jeweilig auszutestenden Fließsituation ausgesetzt. Mit dem Entlassen der Fische aus dem Startkäfig oder Startabteil begann der jeweilige Test.

Nach Beendigung eines Tests müssen die Fische wieder mit dem Kescher aus der Laborrinne heraus gefangen werden, was dem Fänger ein erhebliches Maß an Geduld und Geschicklichkeit abverlangt. Zudem gilt es bei diesem Arbeitsschritt das Hantieren mit den Fischen und die durch Berührungen unvermeidlichen Verletzungen ihrer Schleimschicht auf ein unabdingbares Maß zu begrenzen.

Hat die Testkonstellation die Fische infolge hoher Fließgeschwindigkeiten oder Turbulenzen ermüdet, werden sie nach Beendigung des Tests unverzüglich aus der Laborrinne, ggf. mit einer Transportwanne in ihr Hälterbecken umgesetzt und gegen die zweite Fischgruppe ausgetauscht. Sofern der Fischgruppe jedoch keine besonderen Leistungen abverlangt wurden, können sie für einen weiteren Test in der Rinne verbleiben. Um den Tieren keinen unnötigen Stress zuzumuten werden sie, wenn für den anschließenden Test nur solche Faktoren wie die Fließgeschwindigkeit verändert werden, für die keine Umbauten in der Rinne nötig sind, nicht zurück in den Startkäfig gesetzt. In diesem Fall werden also mehrere Tests direkt nacheinander gefahren ohne die Tiere dazwischen zu fangen.

#### 4.1.2. Versuchsdauer

Im Laufe zahlreicher ethohydraulischer Tests hat sich gezeigt, dass binnen der ersten 30 Minuten nach dem Öffnen des Startkäfigs die Fische entweder eine Reaktion auf die ihnen gebotene Situation zeigen oder auch in den folgenden Stunden kein interpretierbares Verhalten erkennen lassen (Abbildung 4.7). Natürlich kann es entsprechend der Fragestellung erforderlich werden, die Beobachtungszeit zu verkürzen, z. B. wenn die Gefahr besteht, dass Fische verletzt werden (Abbildung 4.8), oder zu verlängern, wenn begründet davon auszugehen ist, dass sich bei unveränderter Testeinstellung noch überraschende Reaktionsweisen ergeben. In der Regel ist eine Beschränkung der Beobachtungsdauer von 30 Minuten nicht zuletzt deshalb geboten, um die Probanden keinen unnötigen Belastungen auszusetzen oder Leistungen abzuverlangen.



**Abbildung 4.7:**

Eine Gruppe Lachs-Smolts verharrete 3,5 h vor dem schräg in Fließrichtung geneigten 20 mm-Rechen, ohne zu ermüden oder ihre Position zu verändern

**Abbildung 4.8:**

Ein vorzeitiger Abbruch eines 30-minütigen Tests wurde vorgenommen, als ein kleiner Schneider durch die hohe Anströmgeschwindigkeit an den Chan-Bar-Rechen angepresst wurde



## 4.2. Datenaufnahme

### 4.2.1. Ad libitum-Protokolle

Die Erfassung der observierten Verhaltensweisen sollte grundsätzlich in Form sogenannter Ad libitum-Protokolle erfolgen, in denen alle Ereignisse in chronologischer Reihenfolge deskriptiv und quasi stenographisch vom Beobachter notiert werden. Solche Protokolle sollten so detailliert wie möglich aufgenommen werden. Diese handschriftlichen Originalaufzeichnungen müssen in einem nächsten Arbeitsschritt in Reinschrift übertragen werden. Ad libitum-Protokolle vermitteln einen umfassenden Überblick über die Geschehnisse.



vom Typ Nikon D300 verwandt, deren Verschlusszeit im Vergleich zu den vorher verwendeten Modellen deutlich verkürzt ist (Abbildungen 4.10 und 4.11). Dennoch gelingt es anhand von Einzelbildern kaum schnelle und vor allem komplexe Verhaltensweisen aussagekräftig darzustellen. Trotz alledem kann auf diese Art der Dokumentation nicht verzichtet werden, da z. B. die Aussagen in Berichten, wie diesem, nur anhand von Fotos veranschaulicht werden können.



**Abbildung 4.10:** Mit der Digitalkamera können nicht nur anschauliche Bilder von Fischschwärmen gemacht werden,...



**Abbildung 4.11:** ... es sind auch solche Verhaltensweisen festzuhalten, die nur wenige Millisekunden dauern, wie eine Schlitzpassage

Neben der Bilddokumentation fand auch eine filmische Dokumentation statt. Die mit einem PANASONIC NV-MS4E Camcorder im S-VHS Format gemachten Filmaufnahmen waren grundsätzlich besser geeignet, Bewegungsabläufe der Fische zu dokumentieren (Abbildung 4.12). So ließen sich auch im Nachhinein noch Verhaltensmuster analysieren und differenziert für eine Auswertung aufarbeiten, die aufgrund schneller Bewegungsabläufe der Fische bei der direkten Beobachtung nicht zu sehen waren.

Die analogen Videosignale wurden zudem mit einem Konverter (DVD XPress DX2) zeitgleich auf einem Computer abgespeichert, um für eine digitale Bildbearbeitung (ArcSoft ShowBiz DVD), z. B. zwecks Einbettung aufschlussreicher Filmsequenzen für POWERPOINT Präsentationen zur Verfügung zu stehen. So hat sich nicht zuletzt auf dem Expertenseminar im Rahmen des DBU-Projekts im Dezember 2008 gezeigt, dass die vorgeführten Videosequenzen mehr zu einem Verständnis des Verhaltens von Fischen auf bestimmte hydraulische Situationen beigetragen haben, als alle bisher zu diesen Themen erschienenen Berichte und Publikationen. Als besonders aufschlussreich haben sich für die Betrachter Unterwasseraufnahmen erwiesen, die den Eindruck vermitteln, als würde

der Betrachter quasi auf dem Rücken der Fische reiten (Abbildung 4.13). Da allerdings bisher für die Anschaffung einer tauglichen Unterwasserkamera kein Budget zur Verfügung stand, wurde im Rahmen des DBU-Projekts eine schlichte Digitalkamera im Filmmodus verwendet, die in ein wasserdichtes Plexiglasgehäuse eingebaut worden war. Auf diese Weise war natürlich keine gezielte Kameraführung möglich und die Qualität der Aufnahmen war sehr bescheiden, doch zeigte sich bei dem Experimentieren mit dieser improvisierten Unterwasserkamera, dass sich die Fische durch das Kameragehäuse in keiner Weise gestört fühlten, sondern sich normal verhielten und keinerlei Fluchtbestreben erkennen ließen.

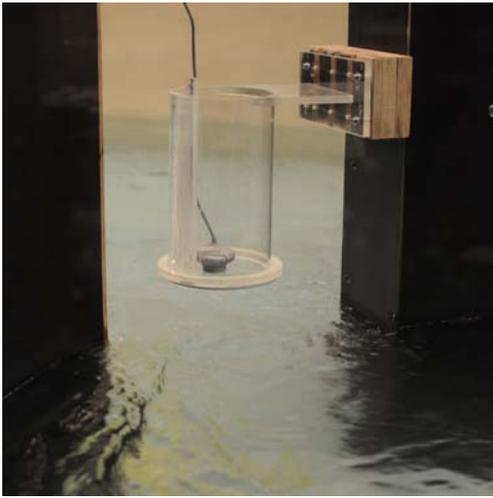


**Abbildung 4.12:** Der im Rahmen des DBU-Projekts eingesetzte Camcorder wurde vor 15 Jahren für die ersten Verhaltensbeobachtungen mit Fischen am ZALF in Müncheberg angeschafft (QUAST et al. 1997)



**Abbildung 4.13:** Qualitativ nur mäßige, aber sehr aufschlussreiche Unterwasseraufnahmen mit einer eingehausten Digitalkamera

Ein weiterer Versuch Unterwasseraufnahmen anzufertigen, wurde unternommen, um die Schlitzpassagestrategie von Fischen nicht nur frontal, sondern auch von oben zu betrachten (Abbildung 4.14). Diese Aufnahmen wurden mit einer ebenfalls von Plexiglas umhauften Webcam gemacht. Sie ermöglichten im Gegensatz zu der Beobachtung von vorne eine relative genaue Bestimmung der horizontalen Position der Tiere im Schlitz, da die starke Brechung und damit einher gehende Positionsverzerrung beim Blick durch eine Scheibe in einen Wasserkörper auf diese Weise minimiert werden konnte. Somit konnte durch diese Methode der filmischen Dokumentation ein präzises Bild von den Passagestrategien der Tiere abgebildet werden.



**Abbildung 4.14:** Oben links: Mit Plexiglas-Zylinder umhauste Webcam; links: Standbildaufnahme der eingetauchten Webcam; oben: Standbildaufnahme des S-VHS-Camcorders frontal

Daneben wurde auch mit einem Unterwassersichtbeobachtungsgerät (RIDGID SEASNAKE) mit einer verlängerten Linse experimentiert (Abbildung 4.15). Dieses Gerät erwies sich allerdings so lange als nicht hilfreich, wie die Rinnensohle betonfarben war und damit einen nur geringen Kontrast zur Färbung der Fische bot. Deshalb wurde versuchsweise ein Streifen der Rinnensohle weiß getüncht. Während die Fische nicht erkennbar eine der beiden Rinnenseiten unterschiedlicher Färbung bevorzugten, war das Unterwassersichtbeobachtungsgerät nur punktuell im Bereich mit sehr eingeschränkter Sicht tauglich, um Fische nachzuweisen, die sich in hoch turbulenten Zonen aufhielten. Zu Dokumentationszwecken ist der Bildausschnitt, der mit solchen Geräten abgedeckt werden kann, viel zu eingeschränkt.



**Abbildung 4.15:** Das Unterwassersichtbeobachtungsgerät mit verlängerter Linse war erst dann nutzbar, als der Boden der Laborrinne weiß gestrichen in diesem Bereich ein größerer Kontrast zu den zu beobachtenden Fischen gegeben war

Die im Rahmen des DBU-Projekts gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Dokumentation der Verhaltensweisen von Fischen belegen die Notwendigkeit, bereits bei den Planungen für ethohydraulische Projekte weit intensiver die Möglichkeiten für eine filmische Dokumentation in Betracht zu ziehen. Dies betrifft nicht nur die Wahl des Kamertyps und deren Vermögen unter ungünstigen Beleuchtungssituationen Aufnahmen machen zu können, sondern vor allem auch die Perspektive und Größe des Rinnenabschnittes, unter dem das Fischverhalten filmisch dokumentiert werden soll. Unter Umständen werden nämlich mehrere Aufzeichnungsgeräte mit unterschiedlichen Eigenschaften benötigt.

Die unzweifelhaft größere Anschaulichkeit und didaktische Sinnhaftigkeit von Videoaufzeichnungen hat jedoch gegenüber Standbildern einen eklatanten Nachteil: Während in Berichten und Publikationen eingebettete Photographien einer vergleichsweise breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, hat sich in den vergangenen Jahren im Zuge der verschiedenen ethohydraulischen Projekte des Instituts für angewandte Ökologie mittlerweile Filmmaterial über außerordentlich wichtige Aspekte des Verhaltens einheimischer Fische angesammelt. Dieses wird der interessierten Fachwelt jedoch mangels professioneller Aufarbeitung bestenfalls auszugsweise in Präsentationen vorgestellt werden können.

#### **4.2.3. Hydraulische Messungen**

Im Rahmen ethohydraulischer Tests geht es nicht allein um das Verhalten von Fischen, sondern auch darum, dieses in Beziehung zum Charakter von Strömungen zu setzen. Im klassischen wasserbaulichen Versuchswesen werden zur Darstellung von Strömungen und Turbulenzen Tracerfarbstoffe eingesetzt. Um die Gesundheit der Fische durch Verwendung des im wasserbaulichen Versuchswesen zwar üblichen, für aquatische Organismen jedoch giftigen Kaliumpermanganats nicht zu gefährden, wurde im Rahmen des

DBU-Projekts nach ungiftigen Alternativen gesucht (Abbildung 4.14). Der Versuch einen konzentrierten Auszug von Rote-Beete-Saft zu nutzen schlug fehl, da zur Einfärbung des in der Laborrinne bewegten Wasservolumens vergleichsweise sehr viel Farbstoff zugegeben werden müsste. Zudem setzt augenblicklich nach der Zugabe eine Verwirbelung und Verdünnung des Tracers ein, die eine Dokumentation der eingefärbten Strömungen verhindert. Das gleiche Problem einer vorzeitigen Ausdünnung trat bei der Verwendung von Lebensmittelfarbstoffen auf, von denen hochkonzentrierte Lösungen von E 123 Amaranth (rot), E 132 Indigotin (blau) und E 104 Chinolingelb (gelb) angesetzt worden waren (Abbildung 4.17).



**Abbildung 4.16:** Rote-Beete-Saft anstelle von Kaliumpermanganat als fischverträgliche Alternative



**Abbildung 4.17:** Einsatz von Amaranth als Tracerfarbstoff

Schließlich wurde auf eine konventionelle Fadenharfe zurück gegriffen, die aus mehreren Quer- und Längsstäben hergestellt wurde, an die abwechselnd etwa 20 cm lange rote und schwarze Wollfäden geknüpft waren (Abbildung 4.18). Anhand der Auslenkung der Wollfäden können selbst kleine Teilströme unterschiedlicher Ausprägung erkannt und ihre Richtung sowie Stärke photographisch dokumentiert werden (Abbildung 4.19).



**Abbildung 4.18:** Fadenharfe

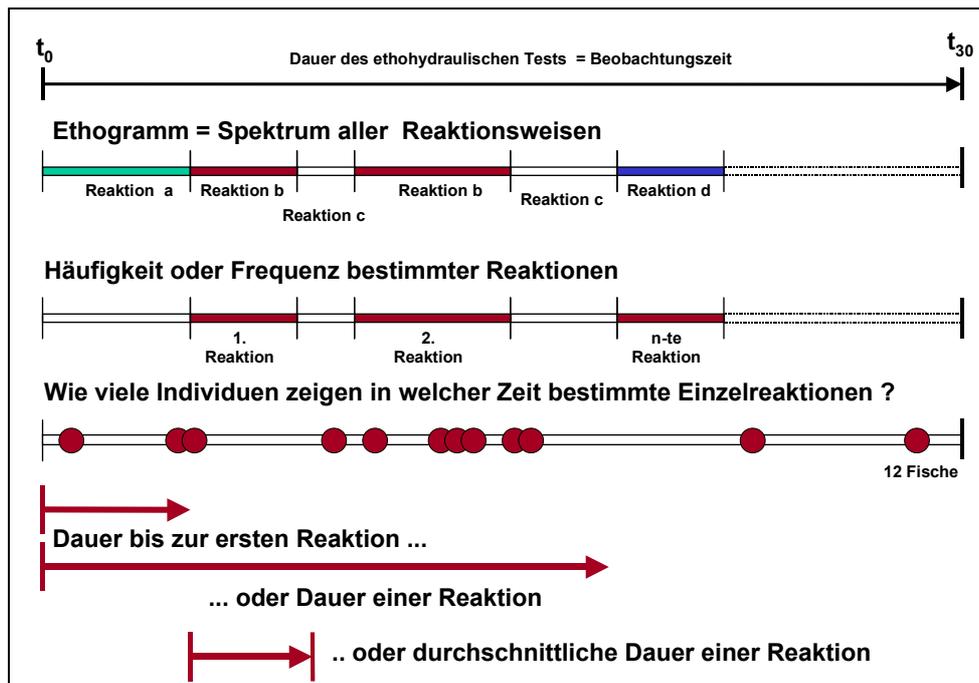


**Abbildung 4.19:** Entsprechend der Strömungsgradienten ausgelenkte Fäden einer einfachen Fadenharfe vor einem sohlennah verschlossenen Bypasseinlauf

### 4.3. Auswertung

Grundsätzlich bestehen in der Verhaltensbiologie verschiedene Methoden zur Auswertung von Tierbeobachtungen zur Verfügung (MARTIN & BATESON 2007), aus deren Spektrum die für die Durchführung ethohydraulischer Tests geeignetsten auszuwählen sind (Abbildung 4.20).

- So kann im Rahmen des für die Beobachtung von Fischen als sinnvoll erkannten Beobachtungszeitraums von 30 Minuten z. B. ein Ethogramm aufgenommen werden, d. h. das Spektrum aller Reaktionsweisen, die die Fische in der ihnen gebotenen hydraulischen Situation gezeigt haben, u. a. Such-, Meide- oder Fluchtverhalten, desinteressiertes Verharren, Schwimmen in unterschiedlichen Geschwindigkeiten als Hinweis auf den Leistungsmodus, inner- oder zwischenartliche Interaktionen, Interesse oder Desinteresse an bestimmten Bereichen.
- Auch kann die Häufigkeit oder Frequenz bestimmt werden, mit der eine bestimmte Einzelreaktion oder auch komplexe Abläufe stattfinden, die als Antworten auf einen gebotenen Reiz oder eine hydraulische Situation gewertet werden können.
- Die Frage wie viele Fische in welcher Zeit eine ihnen gebotene Einstiegsöffnung annehmen, stand im Zentrum des Interesses ethohydraulischer Tests zur Auffindbarkeit von Fischeaufstiegsanlagen.
- Auch kann die Zeit bis zum Auftreten einer bestimmten Reaktion oder aber die Dauer einer Verhaltensweise wichtige Hinweise bezüglich der Akzeptanz oder aber Ablehnung einer bestimmten hydraulischen Situation geben.



**Abbildung 4.20:** Schema der Messung von Latenzen, Frequenzen, Dauer und Intensität von Verhaltensweisen

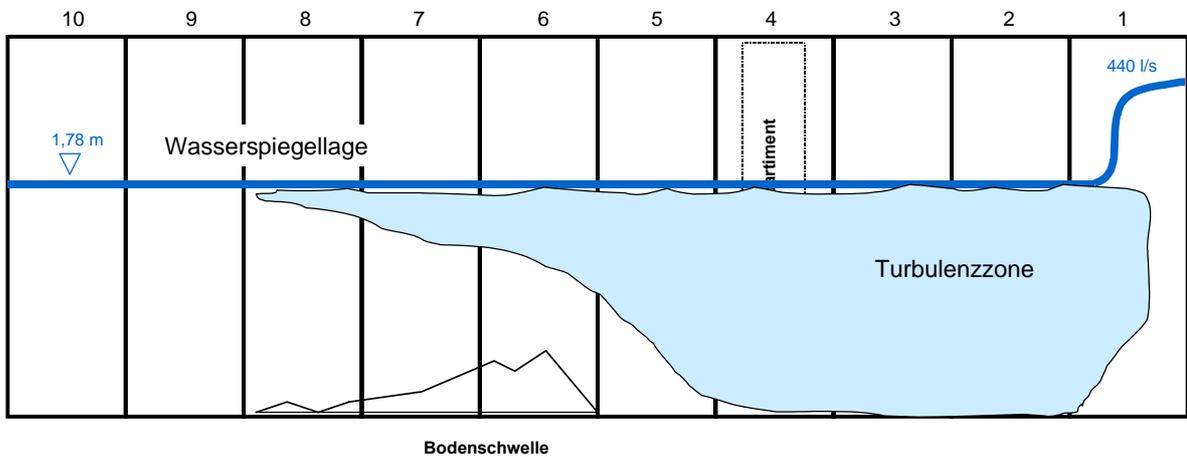
Grundlage für die Auswertung der im Rahmen des DBU-Projekts genutzten Verhaltensbeobachtungen bilden die Ad libitum-Protokolle (Kap. 4.2.1). Es zeigte sich, dass eine Auswertung dieser Aufzeichnungen z. B. nach folgenden drei Verfahren möglich war:

1. Verbale Beschreibung sowohl kleinskalig ablaufender, als vor allem auch großräumig zu beobachtender Reaktionen. Verbale Beschreibungen des Verhaltens von Fischen erfordern ein erhebliches Maß an semantischem Geschick, ermöglichen aber z. B. den Vergleich verschiedener Tests in Hinblick darauf, ob Fische eine gebotene hydraulische Situation akzeptierten oder ablehnten:

*Beispiel: Bei Fließgeschwindigkeiten  $< 0,2$  m/s bewegen sich Fische mit dem Kopf in alle Himmelsrichtungen orientiert, ungeordnet im Gerinne umher. Sie schwimmen dabei mal langsam stromauf-, mal stromab. Ab  $0,2$  m/s richten sich die Individuen zunehmend positiv rheotaktisch, d. h. mit dem Kopf voran gegen die Anströmung aus.*

2. Bildlich: Zur Darstellung großräumiger Verhaltensweisen wurde zunächst eine schematische Skizze des Aktionsraumes in der Laborrinne angefertigt. In diese können sodann für den jeweiligen Test z. B. Schwimmwege, typische Verteilungen oder Aufenthaltsorte von Fischen eingetragen werden. Obgleich diese schematischen Darstellungen nur einen statisch fixierten Zustand dokumentieren, wird ein Vergleich der Verteilung von Fischen möglich und lassen sich qualitative Aussagen über erfolgreiche/positive resp. erfolglose/negative Testkonstellationen in Hinblick auf die jeweils betrachtete Fragestellung belegen.

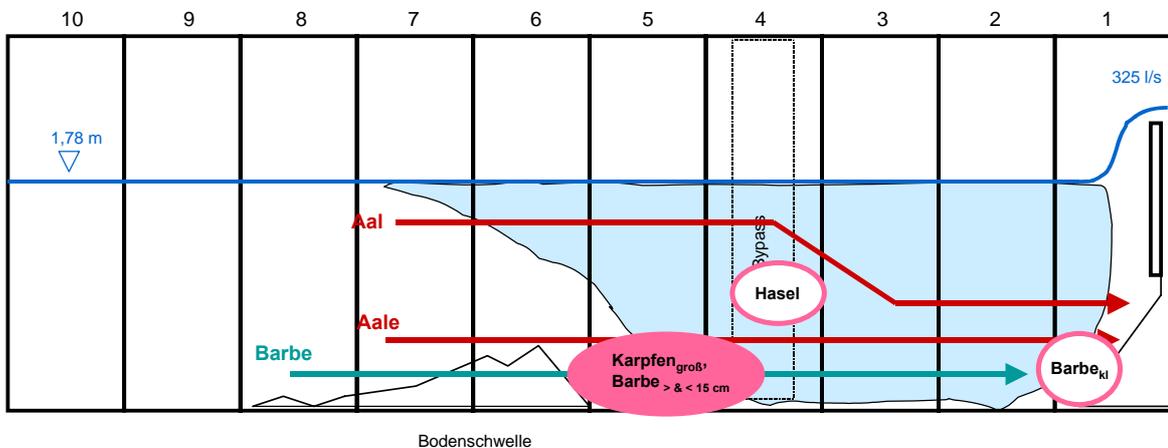
Beispiel: Schema der strukturellen Ausstattung einer Laborrinne, Lage der Einstiegsöffnung in eine simulierte Fischauftiegsanlage, der Wasserspiegellage und die Ausdehnung der Turbulenzzone (Abbildung 4.21). Hinzugesetzt sind ferner Informationen zur Wassertiefe, der Art des Wehrabflusses und die Beaufschlagung.



**Abbildung 4.21:** Schemaskizze der Ausbreitung der Turbulenzzone

In dieses Rohschema können die Schwimmwege der Fische eingezeichnet werden (Abbildung 4.22). Die Länge der oft mit Fischnamen beschrifteten Pfeile gibt an, in welchen Bereichen diese Arten ihre Aufwanderung in der Laborrinne unterbrachen. Ovale Signaturen lokalisieren die Orte, an denen sich Fische der angegebenen Arten und Größen bevorzugt aufhielten. Die Farbigkeit von Pfeilen und Signaturen dient der besseren Unterscheidbarkeit dieser Informationen.

**Test-4**      Abfluss:      325 l/s ( $Q_{MW}$ )  
                   Wasserstand: 1,78 m ( $h_{330}$ )  
                    $V_m$ Rinne: 0,11 m/s

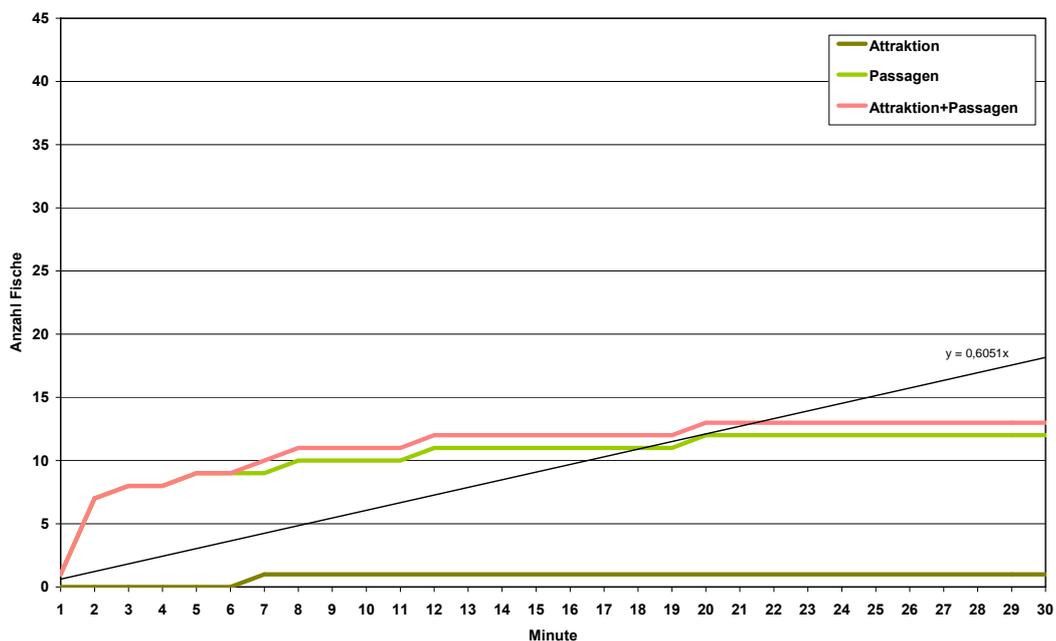


**Abbildung 4.22:** Aufenthaltsbereiche der verschiedenen Fischarten

3. Graphisch: Darstellung der Häufigkeit definierter Verhaltensweisen und/oder ihres Auftretens im zeitlichen Verlauf. Im vorliegenden Projekt wurden folgende Reaktionen im Verlauf der 30-minütigen Beobachtungszeit in einer kumulativen Graphik dargestellt (Abbildung 4.23):

- „Fisch schwimmt in die simulierte Fischaufstiegsanlage hinein“. Die Passage eines Fisches durch die Öffnung ist eine zählbare Reaktion.
- „Fisch hält sich mit dem Kopf in Richtung Öffnung ausgerichtet, schwimmt aber nicht hinein, obgleich er dies problemlos tun könnte“. Auch diese Information ist eine zählbare Reaktion der Fische auf die aus der simulierten Fischaufstiegsanlage austretende Leitströmung.
- Da sowohl die Passage einer Öffnung, als auch eine offenkundige Attraktion der simulierten Fischaufstiegsanlage Ausdruck einer positiven Auffindbarkeit ist, wurden beide Reaktionsweisen nicht nur einzeln, sondern auch mit einer Gesamtkurve [Attraktion & Passage] graphisch dargestellt.

Diese Form der zeitlichen und zahlenmäßigen Auswertung definierter Reaktionsweisen erlaubt den Vergleich verschiedener Tests untereinander sowie quantitativ/statistische Aussagen über günstige bzw. ungünstige Testkonstellationen.



**Abbildung 4.23:** Beispiel: Eine 3,5 m unterhalb des Wehres im Winkel von 45° und mit einer Öffnungsbreite von 0,4 m einmündende Fischaufstiegsanlage wurde in 30 Minuten 14 Mal von Fischen erfolgreich aufgefunden, wobei 13 Mal die Öffnung tatsächlich passiert wurde, während sich 1 Individuum lediglich davor aufhielt, aber nicht einschwamm. Die Graphik verdeutlicht, dass die meisten Einschwimmereignisse in der ersten Hälfte der Versuchszeit statt fanden, was als zusätzliches Maß für die Auffindbarkeit genutzt werden kann

#### 4.4. Wissenschaftlichkeit ethohydraulischer Befunde

Grundsätzlich gilt für einen wissenschaftlichen Versuch, dass er auf der Grundlage von Hypothesen durchgeführt wird, um mittels Messungen und Experimenten eine Beschreibung und Erklärung für die unbelebte und belebte Welt zu finden. Damit auf diese Weise erarbeitete Erkenntnisse als wissenschaftlich gelten können, müssen sie nicht nur überprüfbar, sondern auch reproduzierbar sein. Vor diesem Hintergrund war im Rahmen des DBU-Projekts u. a. zu klären, in wie weit die Ergebnisse ethohydraulischer Tests reproduzierbar ist. Nachfolgend wird an verschiedenen Befunden, die einerseits aktuell und andererseits vor einigen Jahren an anderen Forschungseinrichtungen vom Institut für angewandte Ökologie erarbeitet wurden, der Nachweis der Wissenschaftlichkeit des ethohydraulischen Ansatzes erbracht.

##### **Beispiel 1: Zur Auffindbarkeit der Einstiegsöffnung von Fischaufstiegsanlagen in Abhängigkeit vom Winkel**

Es ist davon auszugehen, dass der Winkel, mit dem die Leitströmung in das Unterwasser einmündet in Hinblick auf die Wahrnehmbarkeit für aufwanderwillige Fische eine wichtige Rolle spielt. Vor diesem Hintergrund wurde in ethohydraulischen Tests zur Auffindbarkeit eines simulierten FAA-Kompartiments der Winkel der Einstiegsöffnung von  $0^\circ$ , d. h. parallel zum Wehrabfluss über  $45^\circ$  bis  $90^\circ$ , d. h. orthogonal zum Wehrabfluss variiert. Diese Tests waren einerseits im Jahr 1995 am ZALF in Müncheberg (ADAM & SCHWEVERS 1998) und andererseits 2008 an der Universität in Karlsruhe (ADAM et al. 2008) durchgeführt worden. Die Testanordnung sowie auch die kumulativen Einschwimmereignisse sind in Tabelle 4.1 gegenüber gestellt.

**Tabelle 4.1:** Gegenüberstellung der Ergebnisse ethohydraulischer Test aus dem Jahr 1995 an der ZALF in Müncheberg sowie aus dem Projekt von 2008 bis 2009 am IWK in Karlsruhe

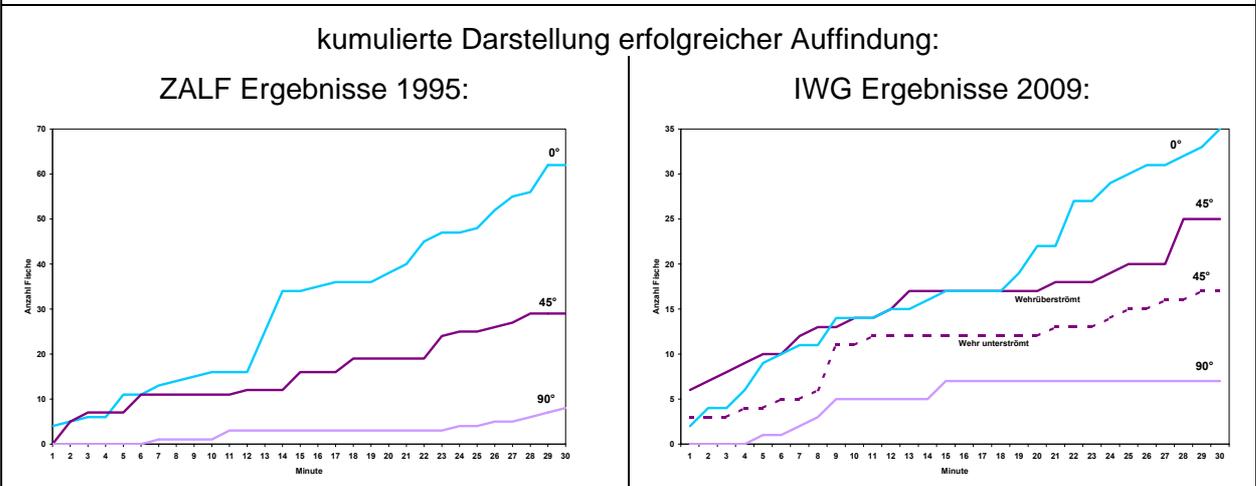
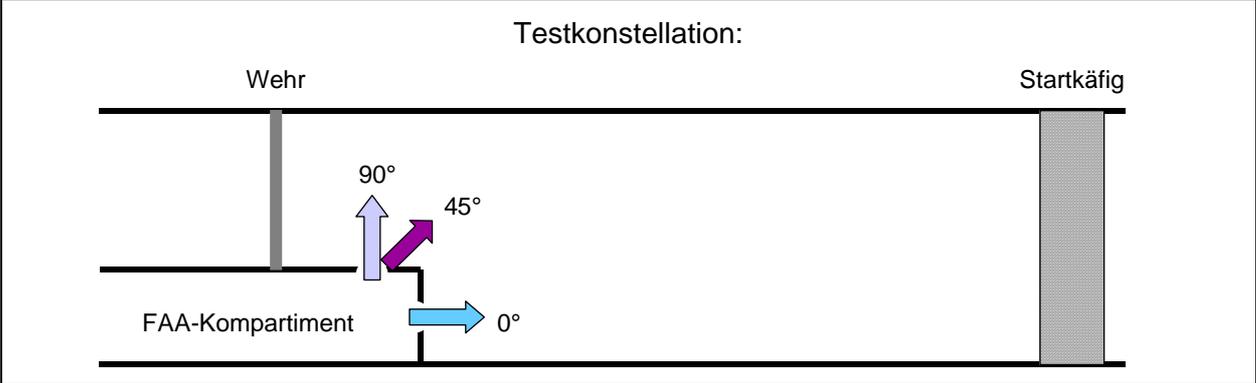


Laborrinne an der ZALF in Müncheberg:  
Länge: 18,0 m  
Breite: 1,5 m  
Einstautiefe: 0,3 m



Laborrinne am IWG in Karlsruhe:  
Länge: 17,0 m  
Breite: 1,75 m  
Einstautiefe: 1,0 m

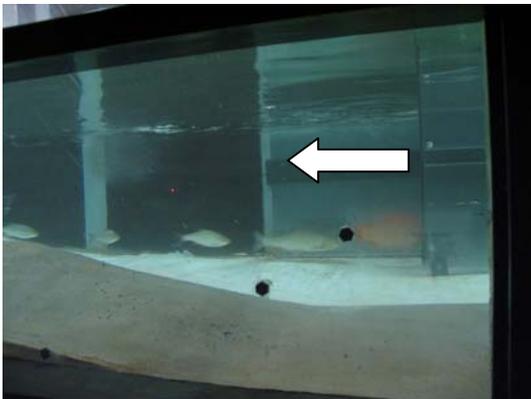
Abfluss <sub>Wehr</sub> :	300 l/s	Abfluss <sub>Wehr</sub> :	440 l/s
Abfluss <sub>FAA</sub> :	50 l/s	Abfluss <sub>FAA</sub> :	80 l/s
Winkel:	0°, 45°, 90°	Winkel:	0°, 45°, 90°



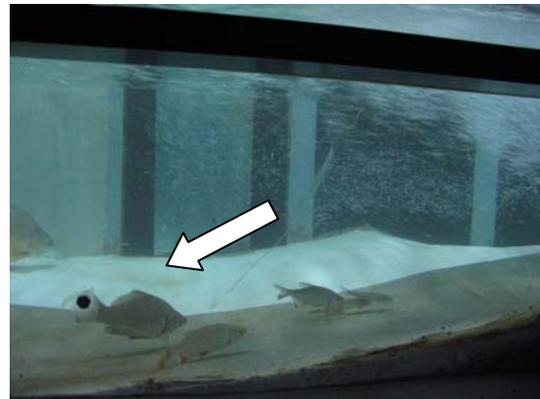
Als Gewissheit aus beiden Untersuchungen ergibt sich, dass ein Auslaufwinkel des FAA-Kompartiments von 0°, d. h. eine parallel zur Hauptströmung im Unterwasser einmündende Fischaufstiegsanlage, eindeutig die günstigste Anordnung zur Gewährleistung der Auffindbarkeit ist. Demgegenüber wird eine orthogonal angeordnete Einstiegsöffnung mit Abstand am schlechtesten von den Fischen angenommen. Eine Einmündung der Fischaufstiegsanlage von 45° lässt eine intermittierende Wirksamkeit erwarten, wobei dies unabhängig davon ist, ob das Wehr über- oder unterströmt ist. Als reproduzierbares Ergebnis ethohydraulischer Tests mit verschiedenen Mündungswinkeln der Fischaufstiegsanlage zeigt sich zweifelsfrei, dass eine parallel zum Wehrabfluss angeordnete Einstiegsöffnung (Winkel 0°) von wesentlich mehr Fischen aufgefundene und passiert wird, als dies bei anderen Winkeln der Fall ist. Auch die bei beiden Kumulationsgraphen zu erkennende starke Steigung belegt eine zeitlich vergleichsweise schnelle und damit gute Auffindbarkeit. Damit ist klar, dass es zu einer parallel zur Strömung im Unterwasser eines Aufwanderhindernisses angeordneten Einstiegs keine Alternative gibt.

Anhand des dokumentierten Verhaltens lässt sich dieser Effekt auch erklären: Die Fische schwimmen grundsätzlich positiv rheotaktisch ausgerichtet, d. h. mit dem Kopf voran ge-

gen eine Strömung an. Im Falle einer parallel im Unterwasser eines Wanderhindernisses angeordneten Einstiegsöffnung müssen die ebenfalls strömungsparallel ausgerichteten Fische keine Korrektur ihrer Bewegungsrichtung und damit ihrer Orientierung in der Strömung vornehmen. Dies unterstützt maßgeblich die Auffindbarkeit einer Fischaufstiegsanlage (Abbildung 4.24). Bei einem im Winkel von  $45^\circ$  angeordneten Auslauf müssen die Fische hingegen ihre Körperachse schräg und bei einem  $90^\circ$ -Austrittswinkel sogar orthogonal zur Anströmung ausrichten, um in die Fischaufstiegsanlage einschwimmen zu können (Abbildung 4.25). Insbesondere letztere Konstellation erforderte dabei hochrückigen Arten einen höheren Kraftaufwand und mehr Lagekorrekturen ab, da diese mit ihrer größeren Körperflanke der Anströmung eine größere Angriffsfläche bieten und entsprechend leichter verdriftet werden. Insgesamt scheinen Fische danach zu streben, eine Ausrichtung ihrer Körperachse schräg oder gar quer zum Hauptabfluss zu vermeiden.



**Abbildung 4.24:** Ein Gemischtartenschwarm schwimmt zügig in den strömungsparallel (Winkel  $0^\circ$ ) angeordneten Einstieg des FAA-Kompartiments hinein (der Pfeil verdeutlicht die Strömungsrichtung)

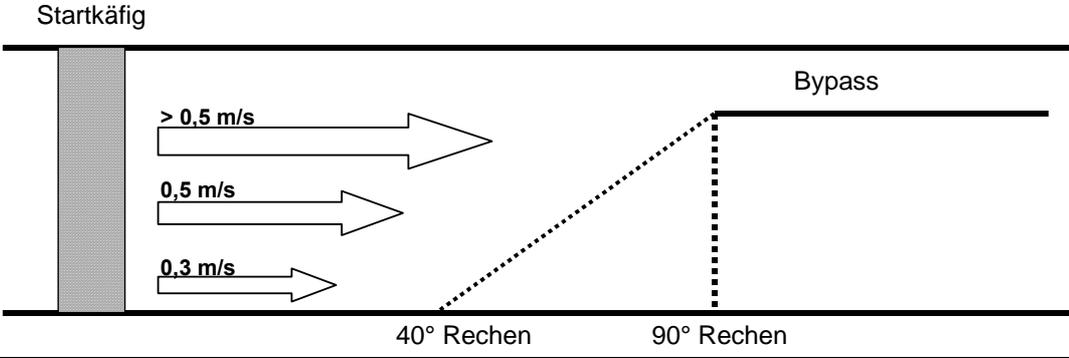


**Abbildung 4.25:** Gemischtartenschwarm ist am  $45^\circ$  Einstieg des FAA-Kompartiments nicht interessiert und schwimmt zügig daran vorbei (der Pfeil verdeutlicht die Strömungsrichtung)

### **Beispiel 2: Zur Bedeutung der Anströmgeschwindigkeit von Rechen zum Schutz abwandernder Fische**

Ethohydraulische Tests aus dem Jahr 1998 deckten auf, dass konventionelle Flachstabrechen mit geringer lichter Weite zu einer Falle für abwandernde Fische werden, wenn diese von einer für sie zu hohen Anströmung im Einlaufbereich einer Turbine oder Pumpe an den Rechen gepresst werden und nicht leistungsfähig genug sind, sich dieser Situation durch eine stromaufwärts orientierte Flucht zu entziehen. Die aktuell durchgeführten Tests bestätigten den immer wieder angezweifelte Grenzwert für eine maximal zulässige Fließgeschwindigkeit von  $0,5 \text{ m/s}$  über die gedachte senkrechte Fläche vor dem Rechen. Die aktuellen Tests bestätigen, dass mit einer Überschreitung dieses Grenzwertes die beschriebene fischgefährdende hydraulische Situation unabhängig von der Art, Fertigung und Anordnung des Rechens eintritt (Tabelle 4.2).

**Tabelle 4.2:** Gegenüberstellung ethohydraulischer Untersuchungen an der Universität Darmstadt und an der Universität Karlsruhe (TH)

	
<p>Laborrinne am Wasserbaulabor der Universität Darmstadt:</p> <p>Länge: 30,0 m          Breite: 2,0 m          Abfluss<sub>Rinne</sub>: 950 l/s          Rechentyp: 20 mm-Flachstabrechen          Einbau: senkrecht stehend,          90° zur Strömung          Anströmgeschwindigkeit: 0,3 m/s, 0,5 m/s,          &gt; 0,5 m/s</p>	<p>Laborrinne am IWG in Karlsruhe:</p> <p>Länge: 17,0 m          Breite: 1,75 m          Abfluss<sub>Rinne</sub>: 540 l/s          Rechentyp: 10 mm-Chan-Bar          Einbau: senkrecht stehend,          40° zur Strömung          Anströmgeschwindigkeit: 0,3 m/s, 0,5 m/s,          &gt; 0,5 m/s</p>
<p style="text-align: center;">Testkonstellation:</p> 	
<p style="text-align: center;">Verhaltensbefunde:</p> <p style="text-align: center;">Darmstadt Ergebnisse (1998)   IWG Ergebnisse (2008)</p>	



Ab einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s sind Aale und andere Fische nicht mehr in der Lage Fluchtreaktionen auszuführen. Sofern ihnen ein Rechen mit ausreichend geringer lichter Weite eine Passage verwehrt, werden sie bis zu Erschöpfung daran angepresst.



Die Tests mit einem Chan-Bar bestätigen die 10 Jahre alten Befunde und zeigten auf, dass Aalen ab einer Anströmgeschwindigkeit von 0,8 m/s nicht einmal dann mehr die Flucht gelingt, wenn ihre vordere Körperhälfte bereits frei in einen Bypaß hinein ragt.

#### 4.5. Praxisrelevanz ethohydraulischer Tests

Zwar ist Praxisrelevanz kein zwingendes Merkmal wissenschaftlicher Forschung, dennoch ist der umfängliche Praxisbezug ein Alleinstellungsmerkmal der Ethohydraulik. Aus diesem Grund soll anhand der nachfolgenden Beispiele die praktische Bedeutung ethohydraulischer Tests verdeutlicht werden.

##### **Beispiel 1: Rheoaktives Verhalten**

Herr Prof. Bleckmann von der Universität Bonn stellte anlässlich des Expertenseminars im Dezember 2008 im Rahmen des DBU-Projekts fest, dass aus seiner Sicht nicht hinreichend geklärt sei, wie sich Fische in Strömungen fortbewegen.

Zu diesem Aspekt wurden allerdings diverse ethohydraulische Tests durchgeführt, die belegen, dass sich Fische in fließenden Gewässern permanent aktiv voran bewegen, und zwar nicht nur um stromaufwärts zu schwimmen, sondern auch um ihre Position gegen die Anströmung zu behaupten und damit Terrainverluste durch Verdriftung zu vermeiden. Hierzu richten Fische zur Verringerung ihres Körperwiderstandes grundsätzlich gegen die Strömung aus. Dieses Verhalten wird als positive Rheotaxis bezeichnet und ist erkennbarer Ausdruck, wenn Fließbedingungen herrschen, auf die der Fisch instinktgemäß aktiv reagiert (Abbildung 4.26 und Abbildung 4.27).



**Abbildung 4.26:** Bei fehlender rheoaktiver Strömung (hier:  $< 0,1$  m/s) richten sich Fische im Wasserkörper beliebig aus und schwimmen ungerichtet umher



**Abbildung 4.27:** Positiv rheotaktisches Verhalten verschiedener Arten ab einer Fließgeschwindigkeit von  $0,23$  m/s

Unbekannt war bisher allerdings, ab welcher Fließgeschwindigkeit und damit Reizstärke Fische diese ausgerichtete Haltung einnehmen, d. h. positiv rheotaktisch reagieren. Recht vage Angaben zur rheoaktiven Fließgeschwindigkeit lagen bislang aus russischen Arbeiten von PAVLOV et al. (1998) vor. Um diese Wissenslücken zu schließen wurde im Rahmen ethohydraulischer Tests für das DBU-Projekt die rheoaktive Strömung für weitere Arten bzw. Entwicklungsstadien genauer ermittelt. Hierzu wurden Fischgruppen, bestehend aus mehreren Arten unterschiedlicher Größe zunächst bei fehlender Strömung in die eingestaute Laborrinne des IWG eingesetzt; sodann wurde die Fließgeschwindigkeit langsam und sukzessive erhöht. Als Maß für die rheoaktive Strömung galt jeweils die Fließgeschwindigkeit, bei der sich die Fische eindeutig positiv rheotaktisch ausrichteten. Die auf diese Weise gewonnenen Befunde reihen sich in die bisher bekannten Werte ein (Tabelle 4.3).

Die Kenntnis der rheoaktiven Fließgeschwindigkeit ist beispielsweise deshalb von praktischer Bedeutung, um im Zuge von Renaturierungen dafür zu sorgen, dass die Geschwindigkeit nicht großräumig durch Aufstau oder eine Querschnittserweiterung so weit reduziert wird, dass der fließgewässertypische Charakter für Fische verloren geht. Dies betrifft auch die Strömung in Ruhebecken oder im Einstiegsbereich von Fischaufstiegsanlagen: Hier darf die Fließgeschwindigkeit niemals so langsam sein, dass die Fische aufgrund einer fehlenden rheoaktiven Strömung die Orientierung verlieren. Letztere Situation ist bei vielen Fischaufstiegsanlagen zu beobachten, die durch schwankende Unterwasserstände z. B. infolge eines Tideeinflusses oder den Abflüssen eines Hauptgewässers eingestaut werden.

**Tabelle 4.3:** Bekannte rheoaktive Fließgeschwindigkeit

Art	Entwicklungsstadium / Größe	rheoaktive Fließgeschwindigkeit	Quelle
Bitterling	bis 8 cm	0,1 m/s	ADAM et al. 2009b
Sibirischer Stör	bis 26 cm	0,1 m/s	
Hecht	juvenil	0,1 m/s	
Groppe, Schmerle, Elritze 3-stachliger Stichling	juvenil	0,15 m/s	ADAM & SCHWEVERS 1997
Äsche, Bachforelle, Hasel	bis 12 cm	0,15 m/s	ADAM & SCHWEVERS 1997
Aal, Barbe, Brachsen, Döbel, Giebel/Goldfisch, Güster, Gründling, Hasel, Karpfen, Plötze, Rotfeder, Schleie, Ukelei, Wels, Bachforelle	adult	0,2 m/s	ADAM et al. 1999 ADAM et al. 2009a ADAM et al. 2009b KAMPKE et al. 2008 PAVLOV 1989
Flussbarsch, Schleie	bis 20 cm	0,2 m/s	ADAM et al. 2009b
Lachs-Smolts	12 bis 15 cm	0,3 m/s	ADAM et al. 1997
anadrome Salmoniden	adult	> 0,3 m/s	PAVLOV 1989
„die meisten Arten“	adult	0,2 m/s	PAVLOV 1998

### **Beispiel 2: Sedimentpräferenz von leistungsschwachen Fischarten und kleinen Individuen**

Wie bereits im Sonderbericht (ADAM et al. 2009b) dargelegt, wurde im Rahmen des DBU-Projekts ein ethohydraulischer Test zur Substratpräferenz kleiner und leistungsschwacher Fische durchgeführt. Dieser wurde vor dem Hintergrund durchgeführt, dass im Hinblick auf das Wanderbedürfnis makrozoobenthaler Invertebraten, aber auch mit Blick auf die geringere Leistungsfähigkeit kleiner Fischarten und Individuen stets gefordert wird, Fischaufstiegsanlagen mit einer rauen Sohle auszustatten. So wird bei Fischen angenommen, dass sie im Bedarfsfall auf der Lee-Seite größerer Steine Ruheplätze vorfinden in denen sie sich der Strömung entziehen können. Diese Ruheplätze werden häufig als „Strömungsschatten“ bezeichnet. Dieses angenommene Rückzugsbedürfnis und die nach einschlägigen Regelwerken (DVWK 1996) postulierte Empfehlung für die Gestaltung einer Sohle die diesem angeblichen Bedürfnis nachkommt wurde mit Hilfe einer abschnittsweise mit unterschiedlichen Sohlenrauigkeiten belegten Laborrinne untersucht (Tabelle 4.4).

**Tabelle 4.4:** Darstellung des Versuchsablaufs

<b>Sohlentypen:</b>			
			
<b>Typ A</b>	<b>Typ B</b>	<b>Typ C</b>	
Höhe Stützstein <sub>min</sub> : 8 cm	Höhe Stützstein <sub>min</sub> : 18 cm	Höhe Stützstein <sub>min</sub> : 11 cm	
Höhe Stützstein <sub>max</sub> : 16 cm	Höhe Stützstein <sub>max</sub> : 29 cm	Höhe Stützstein <sub>max</sub> : 40 cm	
Besatzdichte: bis 5 Steine/m <sup>2</sup>	Besatzdichte: bis 7 Steine/m <sup>2</sup>	Besatzdichte: bis 9 Steine/m <sup>2</sup>	
Abstand <sub>min</sub> : ca. 40 cm	Abstand <sub>min</sub> : ca. 20 cm	Abstand <sub>min</sub> : ca. 10 cm	
Abstand <sub>max</sub> : ca. 100 cm	Abstand <sub>max</sub> : ca. 50 cm	Abstand <sub>max</sub> : ca. 25 cm	
<b>Testläufe:</b>			
Fisch- gruppe	mittlere Fließgeschwin- digkeit	Beobachtungsdauer	Abfolge der Sohlenauf- bautypen ( ← Fließrichtung )
A	sukzessive um 0,1 m/s v <sub>m</sub> von 0,1 bis 0,9 m/s erhöhend	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ von 0,1 bis 0,4 m/s jeweils 10 Minuten</li> <li>▪ ab 0,4 m/s jeweils 30 Minuten</li> </ul>	A – B – C
B			A – B – C
A			C – A – C
B			C – A – C

Im Verlauf der Tests zeigte sich, dass leistungsschwache Fische bereits bei mittleren Fließgeschwindigkeiten ab 0,4 m/s die Lee-Seite von Rauheitselementen meiden (Abbildung 4.28), um sich Wirbelstraßen zu entziehen, die sich dort an den Konturenkanten ablösen. In den Abschnitten mit wenigen Rauheitselementen von maximal 15 cm Höhe (Typ A) sammeln sich die Fische und bilden große Schwärme (Abbildung 4.29). Dabei scheinen sie solche Steine zu bevorzugen, die ihre Körperhöhe nicht überragen.



**Abbildung 4.28:** Ausgeprägte Rauigkeiten werden bei Fließgeschwindigkeiten ab 0,4 m/s von leistungsschwachen Fischen gemieden, ...



**Abbildung 4.29:** ... während sie in Abschnitte mit wenigen, maximal 15 cm über die Sohle aufragenden Rauigkeitselementen ausweichen

Demnach bestätigen die Tests zwar die zuvor angenommene Notwendigkeit die Rauigkeit der Sohle von Durchlässen und in Fischaufstiegsanlagen an die Bedürfnisse leistungsschwacher Fischarten anzupassen. Allerdings konnte deutlich gezeigt werden, dass die bisherigen Vorstellungen darüber wie diese Bedürfnisse beschaffen sind ausschließlich auf Theorien beruhten, die nicht in der Praxis überprüft wurden. Es konnte also gezeigt werden, dass die Rauigkeit der Sohle nicht wie bisher angenommen ausgebaut, sondern vielmehr im Hinblick auf die tatsächlich nachweisbaren Bedürfnisse leistungsschwacher und kleiner Fische auf ein verträgliches Maß begrenzt werden muss. Diese Erkenntnis ist jedoch letztendlich noch durch Freilandversuche im Rahmen eines Postprocessings zu überprüfen. Hierfür bieten sich Fischbeobachtungen mittels Transpondertechnologie an. Diese Untersuchungen sind Gegenstand eines beabsichtigten Nachfolgeprojektes.

### **Beispiel 3: Ausbildung von Wirbelzöpfen in einem Schlitzfischpass**

Ein weiteres Beispiel verdeutlicht, dass während der Verhaltensbeobachtungen auch Erkenntnisse gewonnen werden können, die in zwar von hydraulischer Bedeutung sind, jedoch durch herkömmliche Messmethoden nicht oder nur per Zufall aufgedeckt werden können.

Während eines Test zur Passagestrategie von Fischen durch Schlitze fiel auf, dass einige wenige Tiere, die entweder aktiv in den Schlitz einschwammen oder passiv durch ihn verdriftet wurden, die Kontrolle über ihre Körperlage im Raum verloren, so dass sie mehrfach sehr schnell um ihre eigene Längsachse gewirbelt wurden. Die Tiere waren dieser Strömung so lange hilflos ausgeliefert, bis sich offensichtlich die einwirkenden Kräfte soweit abgeschwächt hatten, so dass sie ihre Körperkontrolle wiedererlangen konnten und gerichtet davon schwammen. Bei der späteren Auswertung des Filmmaterials stellte sich heraus, dass es sich hierbei um das Phänomen der so genannten „Wirbelzöpfe“ oder „Wirbelschleppen“ gehandelt hat, das anhand der verwirbelten Fischkörper, die quasi als „Tracer“ wirkten, sichtbar wurde.

Bei Wirbelzöpfen handelt es sich um horizontal ausgerichtete, korkenzieherartige Strömungen, die z. B. durch die Konturen eines Schlitzes in Kombination mit den Strömungsverhältnissen hervorgerufen werden. Während die Ausbildung von Wirbelzöpfen in Saugrohren von Wasserkraftturbinen, insbesondere des Francis-Typs bekannt und auch Gegenstand von Forschungsarbeiten ist, wurden bisher in Schlitzfischpässen weder bei wasserbaulichen Modellversuchen noch in Freilanduntersuchungen ähnliche Phänomene beobachtet. Da diese Besonderheit aber durchaus Einfluss auf das Verhalten von aquatischen Organismen in Fischpass und demzufolge auch auf die Funktionalität der wasserbaulichen Anlage haben kann, besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

## 5. Methodendiskussion

Einige Schwierigkeiten, die im Rahmen des Projekts heraus kristallisierten, wurden bereits an passender Stelle in den vorhergehenden Kapiteln behandelt. So wurde die Problematik der Probandenbeschaffung bereits ausführlich in Kapitel 3.6.1 dargelegt. Es traten jedoch auch andere Schwierigkeiten auf, die im vorliegenden Bericht bisher noch nicht ausreichend berücksichtigt wurden, aber im Rahmen der Entwicklung einer neuen Fachdisziplin nicht verschwiegen werden dürfen.

### 5.1. Interdisziplinarität

In einem Gespräch mit Prof. P. Goodwin vom „Center for Ecohydraulic Research“ (Idaho / USA) am 28. Juli 2009 an der Universität Karlsruhe hat sich gezeigt, dass die Interdisziplinarität des Forschungsteams „Ethohydraulik“ eine weltweite Besonderheit darstellt. Wie Herr Prof. Goodwin glaubhaft machte, wird der Begriff der „Interdisziplinarität“ nicht zuletzt an seinem eigenen Institut für Ökohydraulik allzu oft ohne eine entsprechende fachliche Verzahnung unterschiedlicher Disziplinen verwendet.

Zumeist basiert die Zusammenarbeit zwischen den Ingenieur- und Ökowienschaften nur auf einer rein formalistischen additiven Betrachtung von Sachverhalten, ohne eine inhaltliche Durchdringung. Auffälligstes Merkmal eines „Nebeneinanders“ anstelle eines Miteinanders von Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen ist das Fehlen einer gemeinsamen sprachlichen Basis und eines entsprechenden semantischen Vokabulars.

Auch im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde die Ausbildung und Entwicklung einer gemeinsamen Sprache als Ausdruck einer gemeinsamen Gedankenwelt als wesentlicher Prozess erkannt. Dieser Prozess benötigt nicht nur ein stetiges Arbeiten an den gleichen Themen, sondern vor allem gemeinsame Zeit. Im Rahmen der vorliegenden Konstruktion einer intensiven, wenngleich nur projektweisen Zusammenarbeit der Ingenieure des IWG mit den Biologen des IfÖ hat sich auch die für die ethohydraulischen Projekte zur Verfügung stehende Zeit als nicht ausreichend erwiesen. Nach den vorliegenden Erfahrungen innerhalb des Projektzeitraumes ist zu erwarten, dass die Entwicklung der Ethohydraulik in dem interdisziplinären Klima eines speziellen Instituts wesentlich schneller und effizienter voranschreiten würde. Ziel wäre es ein Zentrum zu schaffen, an dem echte interdisziplinäre Zusammenarbeit gelehrt und erlernt werden kann anstelle einer bloßen Addition fachspezifischen Wissens. Es gilt eine immer wiederkehrende Schwierigkeit für beide Parteien zu überwinden, ihre eigene wissenschaftliche Herkunft partiell zu verlassen und sich gegenüber einem anderen Gebiet vorurteilsfrei und offen einzulassen. Dabei müssen beide Seiten bereit sein bisherige „Wahrheiten“ aufzugeben, um sie möglicherweise durch neue Erkenntnisse des Anderen zu ersetzen. Nur die Verschmelzung der Fachgebiete der Biologie und der Hydraulik lässt ein neues Verständnis für die belebte Umwelt und Einsichten für einen schonenderen Umgang in der wasserwirtschaftlichen Praxis mit den natürlichen Ressourcen des Menschen erwarten.

Um eine Optimierung der interdisziplinären Forschung zu erreichen, wird aus der Erfahrung des Projekts erforderlich, kontinuierlich jene Aspekte zu verklären, die es zu verbessern gilt. In diesem Punkt fiel im Rahmen des Projektes auf, dass der genutzte Versuchsstand mit der Laborrinne trotz vielfältiger Anpassungen und einem hohen personellen Engagement weitergehender Verbesserungen bedarf, um den Ansprüchen einer schonenden Lebedntierbeobachtung gerecht zu werden. Dies wird in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

#### **5.1.1. Optimierung des ethohydraulischen Versuchsstands**

Ein Problem, das aus der Tatsache heraus entsteht, dass in einem ursprünglich nicht darauf ausgelegten wasserbaulichen Versuchslabor verhaltensbiologische Beobachtungen durchgeführt werden, ist die Wasserkühlung der Pumpenanlage, wodurch die entstehende Abwärme direkt an den Wasserkörper abgegeben wird. Dadurch erwärmt sich das Wasser, was für einen wasserbaulichen Modellversuch kein Problem darstellt. Für den Einsatz von Fischen ist diese Temperaturerhöhung jedoch kritisch, da so besonders an sehr warmen Tagen für die Tiere keine artgerechten Bedingungen mehr gewährleistet werden können. Das Einhalten optimaler Werte für alle Wasserparameter, einschließlich der Temperatur, ist jedoch die zwingende Voraussetzung dafür, dass sich die Fische möglichst natürlich verhalten. Zur Optimierung des ethohydraulischen Versuchsstandes wäre also ein externes Kühlsystem dringend nötig.

Ein weiteres Problem bei der Fischbeobachtung entsteht dadurch, dass wasserbauliche Versuchsstände in der Regel nach hydraulischen Kriterien erbaut wurden. Aus diesen Gründen sowie zur Kostenreduktion werden Laborrinnen zumeist nur partiell verglast. Dies ist insbesondere für raumgreifende ethohydraulische Studien nicht ausreichend. Das Ideal wäre eine vollverglaste, ringförmige Laborrinne, mit der sich auf kompaktem Raum eine potentiell unendliche Teststrecke herstellen ließe. Eine kontinuierliche Strömung hoher Fließgeschwindigkeit ließe sich z. B. mit seitlich und bodennah angeordneten Düsen erzeugen. Ein solcher moderner und tieroptimierter Versuchsstand einschließlich der zugehörigen Hältereinrichtungen und Zugangsmöglichkeiten ist allerdings kostenintensiv.

#### **5.1.2. Umgang mit lebenden Tieren im interdisziplinären Forscherteam**

Da ohne das nötige Fachwissen auch ein Verhaltensversuch als Tierquälerei enden kann, ist es nicht zuletzt aus tierschutzrechtlichen Gründen nur ausgebildetem Fachpersonal erlaubt, Tierversuche durchzuführen. Ungeachtet der formellen Erlaubnis, ist es aber keinesfalls sicher gestellt, dass die notwendige ethisch-moralische Sensibilität im Umgang mit Fischen ausgeprägt ist. Vor diesem Hintergrund wurde von unserer Arbeitsgruppe bereits in der Vergangenheit bei ethohydraulischen Tests streng darauf geachtet, dass das Hantieren mit Fischen nur solchen Personen vorbehalten war, denen das Wohl der Fische ein persönliches Anliegen ist.

Dennoch bestehen in den herkömmlichen wasserbaulichen Versuchseinrichtungen zahlreiche Verbesserungsmöglichkeiten, den Aufenthalt der Tiere schonender und stressfreier zu gestalten: Nicht nur der Fang sondern insbesondere auch der Transport der Fische mit Keschern, der von den Tieren als lebensbedrohlich empfunden wird, ist zu minimieren. Um dies zu ermöglichen ist eine Reduktion der Transportwege anzustreben, in dem z. B. die Hälterbecken in die Laborrinne integriert werden. Auf diese Weise könnten die Fische zu Beginn des Versuchs direkt in die Rinne entlassen werden. Das Hälterbecken würde somit den Startkäfig ersetzen. Nach Ende des Versuchs könnten die Fische in dieses zurückgeschleucht werden, ohne dem Wasser entnommen werden zu müssen.

Neben den, durch das notwendige Handling der Tiere während der ethohydraulischen Tests entstehenden Stresssituationen werden auch durch die äußeren Rahmenbedingungen Irritationen verursacht. In den Laborhallen wird in der Regel nicht nur an ethohydraulischen Tests, sondern auch anderen Projekten gearbeitet. Der hierdurch und durch Besucher erzeugte Durchgangsverkehr stört in erheblichem Maße die Verhaltensbeobachtungen und erzeugt für die Fische Stress, da ein hoher Lärmpegel und besonders neugierige Blicke von oben auf die Hälterbecken und auf die Laborrinne von den Tieren als Bedrohung empfunden werden. Wenngleich universitäre Institutionen der Öffentlichkeit und den Studenten zugänglich sein sollten (Abbildung 5.1), muss während ethohydraulischer Tests der Durchgangsverkehr unterbunden werden.



**Abbildung 5.1:** Während einzelne Besucher keine Störung des Testablaufs verursachen, stellen große Gruppen ein Problem dar.

Zudem ist es kaum zu vermeiden, dass neben dem Lärmpegel durch die werkstattähnliche Atmosphäre in der Laborhalle in erheblichem Umfang Staub und Dreck entstehen. Da im Umgang mit lebenden Tieren jedoch ein gewisses Maß an Sauberkeit geboten ist, wäre es auch hier sinnvoll, eine ausschließlich für ethohydraulische Zwecke genutzte Halle oder zumindest einen Hallenabschnitt abzutrennen.

## **5.2. Auswertung und Testdesign**

Es hat sich als Manko erwiesen, dass es den bisherigen Auswertungsverfahren ethohydraulischer Tests an methodenkonformen statistischen Auswertungs- und weiterfüh-

renden Analyseverfahren mangelt. Die statistische Validierung der bislang rein qualitativ-deskriptiven Auswertung ist jedoch dringend erforderlich, um aus dem Gesamtrepertoire möglicher Verhaltensweisen der Fische solche Reaktionen zu identifizieren, bei denen es sich um signifikante Antworten auf die ihnen angebotenen hydraulischen Situationen handelt. Da bei der Anwendung statistischer Methoden auf verhaltensbiologische Befunde generell die Schwierigkeit besteht, die Beobachtungen nachvollziehbar zu kategorisieren, gilt es einen dafür geeigneten Verfahrenskatalog zu entwickeln. Dabei spielt die Art und Weise der Datenerfassung eine zentrale Rolle: Diese muss nämlich bereits im Vorfeld ethohydraulischer Tests so geplant werden, dass eine statistische Bearbeitung der beobachteten Reaktionen möglich ist. Diesem Ziel muss demzufolge bereits das Testdesign angepasst werden (MARTIN et al. 2007).

Vor diesem Hintergrund soll in den nächsten Jahren im Rahmen einer Dissertation ein Verfahrenskatalog zur statistischen Absicherung ethohydraulischer Befunde, einschließlich der dazu benötigten Datenaufnahme und -aufbereitung, erarbeitet werden.

## 6. Ausblick

Die im Rahmen des DBU-Projekts erarbeiteten Befunde zum Fischverhalten haben gezeigt, dass mit Hilfe ethohydraulischer Tests, wertvolle Erkenntnisse über das Verhalten von Fischen gegenüber bestimmten hydraulischen Situationen oder wasserbaulichen Anlagen gewonnen werden können. Dies ermöglicht die Ableitung ökologisch angepasster Gestaltungskriterien, Regeln sowie Grenz- und Bemessungswerte für die wasserbauliche Praxis. Die Einsichten die mit Hilfe der Ethohydraulik gewonnen werden erweitern darüber hinaus die bislang nur spärlich vorhandenen Kenntnisse über die Lebensraumanforderungen der Fischfauna bzw. ihre Reaktionen auf Störeinflüsse.

Diesbezüglich sollen im Rahmen einer Dissertation weitere fischrelevante hydraulische Parameter identifiziert und quantifiziert werden, um somit die Methode der Ethohydraulik im Hinblick auf die erforderlichen Charakteristika der situativen Ähnlichkeit zu erweitern und zusätzliche Empfehlungen für die Gestaltung von wasserbaulichen Anlagen zu entwickeln.

Für die Durchführung ethohydraulischer Tests werden allerdings großskalige Laborrinnen benötigt, in denen nicht nur wasserbauliche Strukturen, hydraulische Zustände oder mit beiden zusammenhängende Erscheinungen simuliert werden können, sondern die auch geeignet sind die grundsätzlichen Reaktionsweisen aquatischer Organismen auf diese simulierten Situationen zu beobachten. Die Größe ethohydraulischer Versuchsstände, wie vor allem auch der Umgang mit lebenden Fischen erfordert zudem einen nicht zu unterschätzenden Aufwand.

Mit ihrer Reproduzierbarkeit erbringen ethohydraulische Tests bereits ein wichtiges Kriterium der Wissenschaftlichkeit. Zur weiteren Validierung der Ergebnisse soll im Rahmen einer Dissertation ein statistischer Verfahrenskatalog und damit verbunden ein geeignetes Testdesign erarbeitet werden, um die quantitative Auswertbarkeit ethohydraulischer Test zu gewährleisten.

Die Ethohydraulik hat sich im Rahmen des DBU-Projekts in allen Punkten als echte Alternative erwiesen, um aufwändige, kostenintensive und deshalb in Deutschland bisher weitgehend unterbliebene Freilanduntersuchungen zu ergänzen. Um die Ergebnisse der Tests dennoch im Freiland überprüfen zu können und so die bislang fehlende Verbindung zwischen Laborversuch und Natur herzustellen bemüht sich das Institut für angewandte Ökologie zur Zeit um den Einsatz einer neuen Markierungs- und Detektionsmethode mit Hilfe so genannter TI-RFID Transponder. Mit dieser bislang nur in den USA und einigen wenigen Nachbarstaaten Deutschlands eingesetzten Technologie kann es möglich werden, eine große Anzahl von Fischen schonend und ein Fischleben-lang individuell zu markieren. Mit Hilfe von bis zu 10 m<sup>2</sup> großen Antennen, die an neuralgischen Engstellen in den Wanderkorridoren der Tiere installiert werden, kann die Akzeptanz und Passierbarkeit von Gewässerabschnitten und/oder wasserbaulichen Anlagen kontinuierlich und über einen langen Zeitraum hinweg überprüft werden.

## 7. Literatur

- ADAM, B. & U. SCHWEVERS (1997a): Das Verhalten von Fischen in Fischaufstiegsanlagen. - Österr. Fischerei 50, 82 - 87.
- ADAM, B. & U. SCHWEVERS (1997b): Aspekte des Schwimmverhaltens rheophiler Fischarten. - Österr. Fischerei 50, 256 - 260.
- ADAM, B. & U. SCHWEVERS (1998): Zur Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen - Verhaltensbeobachtungen von Fischen in einem Modellgerinne. - Wasser und Boden 50/4, 55 - 58.
- ADAM, B., U. SCHWEVERS & U. DUMONT (1999): Beiträge zum Schutz abwandernder Fische - Verhaltensbeobachtungen in einem Modellgerinne. - Solingen (Verlag Natur & Wissenschaft), Bibliothek Natur und Wissenschaft 16, 63 S.
- ADAM, B., U. SCHWEVERS & U. DUMONT (2002a): Konsequenzen aus dem Verhalten abwandernder Fische für die Gestaltung funktionsfähiger Fischschutz- und -abstiegsanlagen. - VAW-Mitt. 175, 327 - 336.
- ADAM, B., U. SCHWEVERS & U. DUMONT (2002b): Rechen- und Bypaßanordnungen zum Schutz abwandernder Aale. - Wasserwirtschaft 92/4+5, 43 - 46.
- ADAM, B., O. ENGLER, W. KAMPKE & B. LEHMANN (2009a): Anbindung einer Fischaufstiegsanlage an das Unterwasser beim Ruhrwehr Duisburg-Ruhrort-Ruhrort. - Im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf, Außenstelle Duisburg (in Arbeit).
- ADAM, B., W. KAMPKE, O. ENGLER & C. LINDEMANN (2009b): Ethohydraulische Tests zur Substratpräferenz. - Im Rahmen des DBU-Projekt „Ethohydraulik - eine Grundlage für naturschutzverträglichen Wasserbau“, Universität Karlsruhe, 32 S., (unveröff.)
- AMARAL, S. V., F. C. WINCHELL, B. J. MCMAHON & D. A. DIXON (2000): Evaluation of an angled bar rack and a louver array for guiding silver American eels to a bypass. - 1st International Catadromous Eel Symposium, St. Louis/Missouri, 20. - 24. August 2000, Symposium Pre-Prints, 8 S.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT GEWÄSSERSANIERUNG (1998): Wiederherstellung der Durchwanderbarkeit der Staustufe Wahnhausen in der Fulda. - Im Auftrag des Regierungspräsidiums Kassel, 2 Bände, zus. 382 S. ATV-DVWK (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL e.V.) (2004): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen / Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle - ATV-DVWK Themen WW-8.1, Hennef, 256 S.
- BARBIN, G. P. & W. H. KRUEGER (1994): Behaviour and swimming performance of elvers of the American eel, *Anguilla rostrata*, in an experimental flume. - J. Fish Biol. 45, 111 - 121.
- BARDONNET, A. (1993): Use of visual landmarks by young trout (*Salmo trutta*) during their diel downstream post-emergence displacement in experimental channels. - J. Fish Biol. 43, 375 - 384.
- CRISP, D. T. & M. A. HURLEY (1991): Stream channel experiments on downstream movement of recently emerged trout and salmon. - I. Effect of four different water velocity treatments upon dispersal rate & II. Effects of constant and changing velocities and of day and night upon dispersal.. - J. Fish Biol. 39, 347 - 361 & 363 - 370.
- DWA (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V.) (2006): Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen / Auswertung durchgeführter Untersuchungen und Diskussionsbeiträge für Durchführung und Bewertung. - DWA-Themen, Hennef, 123 S.

- DVWK (DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V.) (1996): Fischaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. - Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH), Merkblätter zur Wasserwirtschaft 232, 120 S. - Übersetzt in Japanisch (1997), Finnisch (1999) und Englisch (2002).
- HAYES, D. E. ET AL. (2000): Fish screen velocity criteria development using a screened, circular swimming channel. - In: Odeh, M. (Hrsg.): Advances in fish passage technology, Bethesda/Md. (American Fisheries Society), 137 - 147.
- HÜBNER, D. (2000): Ichthyologische Funktionskontrolle eines Fisch-Kanu-Passes im Versuchsgerinne. - Lahntal, im Auftrag der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, GhK Kassel, 40 S.
- HUNTINGFORD, F. A., N. B. METCALFE & J. E. THORPE (1988): Choice of feeding station in Atlantic salmon, *Salmo salar*, parr: effects of predation risk, season and life history strategy. - J. Fish Biol. 33, 917 - 924.
- INSTITUT FÜR ANGEWANDTE ÖKOLOGIE (1991 - 1993): Modellhafte Erarbeitung eines ökologisch begründeten Sanierungskonzeptes für kleine Fließgewässer am Beispiel der Lahn, Teilprojekt Fischökologie. - Im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie.
- JORDE, K. & M. SCHNEIDER (1998): Einsatz des Simulationsmodells PHABSIM zur Festlegung von Mindestwasserregelungen. - Wasser & Boden 50/4, 45 - 49.
- KAMPKE, W., B. ADAM, O. ENGLER, B. LEHMANN & U. SCHWEVERS (2008): Etho-hydraulische Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit des Chan-Bar-Systems. - Im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf, Außenstelle Duisburg, 52 S.
- LEMCKE, R. & H. M. WINKLER (1998): Überwindung von Hindernissen durch wandernde Flußneunaugen. - Wasser & Boden 50/3, 15 - 17.
- MARTIN, P. & P. BATESON (2007): Measuring behaviour. - Cambridge University Press, New York, 176 S.
- MEAGER, J. J., P. DOMENICI, A. SHINGLES & A. C. UTNE-PALM (2006): Escape responses in juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* L.: the effects of turbidity and predator speed. - The Journal of Experimental Biology 209, 4174 - 4184.
- NESTMANN, F., B. LEHMANN & F. KÖNIG (2004): Wanderverhalten von Fischen durch einen Borstenfischpaß. - Karlsruhe (Universität Karlsruhe, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik), 24 S.
- QUAST, J., A. RITZMANN, V. THIELE & K. TRÄBING (1997): Ökologische Durchgängigkeit kleiner Fließgewässer - Biologische und ingenieurwissenschaftliche Grundlagen für nachhaltig wirkende Fischaufstiegsanlagen. - Handbuch Angewandte Limnologie VI-3.5, 1 - 58.
- SCHNEIDER, M., J. GIESECKE & F. ZÖLLNER (2001): CASIMIR - Hilfsmittel zur Mindestwasserfestlegung unter Berücksichtigung von Ökologie und Ökonomie. - Wasserwirtschaft 91, 486 - 490.
- SCHWEVERS, U. & B. ADAM (1999): Gewässerstrukturgüte und Fischfauna. - Natur und Landschaft 74, 355 - 360.
- SIGLER, J. W., T. C. BJORNEN & F. H. EVEREST (1984): Effects of chronic turbidity on density and growth of Steelheads and Coho salmon. - Trans. Am. Fish. Soc. 113, 142 - 150.

- SMUKALLA, R. (1994): Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern. - Essen (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen), LUA-Materialien 7, 462 S..
- STOTT, B. & B. R. BUCKLEY (1979): Avoidance experiments with homing shoals of minnows, *Phoxinus phoxinus* in a laboratory stream channel. - J. Fish Biol. 14, 135 - 146.
- STROBL, T. & C. GÖHL (2001): Modellversuch für eine Fischabstiegsanlage für Aale. - ATV-DVWK Landesverband Bayern Mitglieder-Rundbrief 2/2001, 26 - 2
- VORDERMEIER, T. & E. BOHL (1999): Biologische Toleranz- und Grenzwerte im Wanderverhalten von Kleinfischen. - Kriterien für die Renaturierung kleiner Fließgewässer. - Referat 13. SVK-Fischereitagung Potsdam, 15 S.