



**Bauingenieur- und Um-  
weltingenieurwesen**

Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik  
und Wasserbau, Universität Kassel  
Dr.-Ing. R. Hassinger  
34109 Kassel

Bürogemeinschaft für fisch- und gewässerökolo-  
gische Studien  
Marburg – Frankfurt  
Büro Marburg Dr. rer.nat. D. Hübner  
Über dem Grund 1, Marburg

**Ethohydraulische Untersuchungen zur Funktionalität und Fisch-  
freundlichkeit einer neuentwickelten Fangkammer unter beson-  
derer Berücksichtigung von Bodenfischen**

**Kurztitel: Fangkammer für verbesserten Fischaufstieg**

dbu Projekt Aktenzeichen 34316/01-32

**Abschlussbericht (Stand 23.09.2019)**

Projektsteuerung:

Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Dr.-Ing.  
R. Hassinger

Projektpartner:

Dipl.-Ing. Hermann Henkel, Rauschenberg

Fischbiologische Versuche:

Dipl.-Biol. R. Fricke

Autoren:      Dipl.-Biol. Roman Fricke (bfs)  
                  Dr. rer. Nat. Dirk Hübner (bfs)  
                  Dr.-Ing. Reinhard Hassinger (VPUW UniKS)  
                  Dipl.-Ing. Hermann Henkel

## Inhalt

1	Einleitung.....	5
1.1	Grundlegende Problematik .....	5
1.2	Aufgabenstellung.....	6
2	Lösungsidee.....	7
2.1	Grundfunktionen .....	7
2.2	Kombinationsmöglichkeiten dieser Grundfunktionen .....	8
3	Versuchsanlage .....	10
3.1	Grundlegende Festlegungen .....	10
3.2	Geometrische Vorgaben und Versuchsgerinne.....	11
3.3	Aufbau der Fangkammer.....	11
3.4	Aufbau der rauen Sohle.....	12
3.5	Einstellung der hydraulischen Größen .....	12
3.6	Hydraulische Randbedingungen.....	13
4	Untersuchungen zur Durchströmung des Systems .....	14
4.1	Grundlegende Fragestellung .....	14
4.2	Vorgehensweise .....	14
4.3	Verzeichnis Begriffe und Abkürzungen .....	14
4.4	Vorversuche zu den Rechenwiderständen.....	15
4.4.1	Versuchsaufbau und Durchführung .....	15
4.4.2	Ergebnisse zu den Widerständen.....	15
4.5	Untersuchung der Abflussverteilung zwischen Fangkammer und Leitrechen-Korridor .....	16
4.5.1	Versuchsaufbau und Durchführung .....	16
4.5.2	Ergebnisse und Auswertung.....	17
4.6	Fazit und Ausblick zu den Einflüssen auf die Abflussverteilung.....	19
5	Ethohydraulische Untersuchungen.....	20
5.1	Grundlagen zu ethohydraulischen Untersuchungen der Fangkammer .....	20
5.2	Design der Versuchsdurchführung in 3 Phasen .....	21
5.2.1	Phase 1: Test der quasi-natürlichen Sohlgestaltung .....	21
5.2.2	Phase 2: Test der Verdichtungsvarianten.....	22
5.2.3	Phase 3: Test für Freiwasserarten .....	22
5.3	Hydraulische Versuchsbedingungen .....	23
5.4	Versuchstiere.....	23
5.5	Beschreibung der Versuche.....	25
5.5.1	Sohlgestaltung – Einwanderung von Kleinfischarten in eine künstliche Sohle (Phase 1) 25	
5.5.2	Vergleich der Scheuchvarianten zur Verdichtung der Kleinfischarten in der Fangkammer (Phase 2).....	28

5.5.3	Validierung der Ergebnisse zur Verdichtung bodenlebender Fischarten und einer Freiwasserart in der Fangkammer (Phase 3).....	32
5.5.4	Durchführung der Sequenzen Einschwimm- und Verdichtungsphase.....	36
5.5.5	Verhalten der Fische im Hebetrog:	41
6	Erkundung und Vermessung eines Pilotstandortes .....	43
6.1	Einführung .....	43
6.2	Standortdaten .....	43
6.3	Abflusswerte.....	43
7	Pflichtenheft für die Steuerung der Fangkammer .....	45
7.1	Vorbemerkung.....	45
7.2	Beschreibung der Steuerung der Anlage.....	45
7.3	Betriebsabläufe .....	45
7.4	Übersicht über die Systemfunktionen.....	49
7.4.1	Musskriterien .....	49
7.4.2	Wunschkriterien .....	49
7.5	Einsatzfeld des Produktes .....	49
7.6	Produktübersicht.....	49
7.7	Funktionen.....	50
7.8	Daten .....	51
7.9	Leistungen .....	52
7.10	Anforderungen an die Qualität .....	53
7.11	Benutzeroberfläche .....	53
7.12	Nichtfunktionale Spezifikationen .....	53
7.13	Technische Produktumgebung.....	53
7.14	Spezielle Anforderungen .....	53
7.15	Ergänzungen/ Sonstiges .....	53
8	Zusammenfassung und Bewertung.....	54
8.1	Bewertung der ethohydraulischen Versuche.....	54
8.2	Bewertung der Ergebnisse zur Hydraulik .....	55
8.3	Ausblick.....	56
9	Literaturverzeichnis.....	57

## Anhänge

Anhang 1: Skizzen zum Versuchsstand

Anhang 2: Projektkennblatt

**Verzeichnis der Abbildungen:**

Abb. 2.1: Schema zur Kombination der Komponenten einer Fangkammer	9
Abb. 4.1: Verlustbeiwerte bei zunehmender Verlegung. Der Verbauungsgrad durch den Fischeschonrechen wurde in dieser Darstellung nicht abgebildet.	16
Abb. 5.1: Substrate. Links: künstliche Sohle mit Störsteinen. Rechts: Flusskies zur Simulation einer natürlichen Sohle	25
Abb. 5.2: Startkäfig mit Schmerlen und Groppen für Migrationsversuche von natürlicher Sohle auf natürlicher Sohle und von natürlicher auf künstliche Sohle	26
Abb. 5.3: Einwanderung in die Varianten der Substrate	27
Abb. 5.4: Anteil der Groppen und Schmerlen, welche aus dem Bereich der natürlichen Sohle stromaufwärts in einen verschieden gestalteten Sohlbereich eingewandert sind	28
Abb. 5.5: Scheuchvariante Wasserstrahl	29
Abb. 5.6: Scheuchvariante Vibration	30
Abb. 5.7: Scheuchvariante Borsten	30
Abb. 5.8: Anteil d. durch d. 3 Scheuchvarianten erfolgreich gescheuchten Groppen u. Schmerlen	31
Abb. 5.9: Anteil der mittels Borsten erfolgreich gescheuchten Fische nach Fischarten	33
Abb. 5.10: Oben links: Durchwandern der künstlichen Sohle in Fangkammer ohne Scheuchwirkung des Unterwasserrechens	34
Abb. 5.11: Durchschnittliche Anzahl der auf die Verdichtung zurückzuführenden Scheuchreaktionen je Individuum nach Fischarten	35
Abb. 5.12: Anteil d. Berührung. durch Borsten beim Hervorrufen einer Scheureakt. n. Fischarten	35
Abb. 5.13: Betriebszustände	36
Abb. 5.14: Schwimmverhalten	38
Abb. 5.15: Anteile der im Unterwasser eingesetzten Fische, die nach 15 Minuten Einschwimmphase und anschließender Verdichtung im Hebetrog gesammelt waren	39
Abb. 5.16: Aufenthaltsorte von Gründlingen in 5-Minuten-Intervallen während der Einschwimmphase (im Versuch 15 Minuten) und nach der anschließenden Verdichtung	39
Abb. 5.17: Aufenthaltsorte von Barben in 5-Minuten-Intervallen während der Einschwimmphase (im Versuch 15 Minuten) und nach der anschließenden Verdichtung	40
Abb. 5.18: Aufenthaltsorte von Döbeln in 5-Minuten-Intervallen während der Einschwimmphase (im Versuch 15 Minuten) und nach der anschließenden Verdichtung	40
Abb. 5.19: Links: Einwandern von Döbeln i. d. Hebetrog ohne Scheuchwirkung des UW-Rechens	41
Abb. 5.20: Fischverhalten im Bereich des Hebetroges	42
Abb. 7.1: Ablaufdiagramm Verdichten, Entnehmen und Transport der Fische	46
Abb. 7.2: Ablaufschema Reinigung des Leitrechens	47
Abb. 7.3: Ablaufschema Reinigung des OW-Rechens	48
Abb. 7.4: Übersicht der Steuerungsumgebung	50

# 1 Einleitung

## 1.1 Grundlegende Problematik

In Fließgewässern kommen Hindernisse in Form sogenannter Querbauwerke vor, welche für abwandernde und aufwandernde Fische die Passage erschweren oder ganz verhindern. Um die Aufwanderung der Fische zu ermöglichen, werden Fischaufstiegsanlagen (FAA) errichtet. Aufstiegswillige Fische suchen gegen die Strömung nach Aufstiegsmöglichkeiten, wobei die stärkste Strömung dabei die größte Leitwirkung ausübt. Die Fischaufstiegsanlagen müssen jedoch so attraktiv sein, dass die Fische diese leicht und schnell auffinden. Im Fischpass angekommen, müssen sie den darin enthaltenen Wanderkorridor ohne Mühe und schnell nutzen können.

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert die Herstellung der Durchgängigkeit an allen Staustufen und Wanderhindernissen in Fließgewässern sowohl für Fische als auch für andere Lebewesen im Wasser. Diese Forderung wurde inzwischen mit den §§ 33 - 35 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) in Deutschland in geltendes Recht umgesetzt. Das hat zur Folge, dass an tausenden von Wehrstandorten in Deutschland mit und ohne Wasserkraftnutzung Fischaufstiegsanlagen zu bauen oder bestehende mit Funktionsmängeln ersetzt oder mit dem Stand der Technik entsprechenden FAA nachgerüstet werden müssen.

Obwohl Fischwanderhilfen für die Aufwanderung seit mehr als 100 Jahren gebaut werden und obwohl für deren Auslegung mit dem DWA-Merkblatt DWA-M 509 (DWA 2014) eine ausführliche Dimensionierungshilfe zur Verfügung steht, kann das Problem des Fischaufstiegs derzeit noch nicht als gelöst betrachtet werden. Ein Grund ist, dass der Fischpassausstrom, der die Fische in den Fischpass locken soll, in der Regel mit einem vielfach stärkeren Strom aus der Wasserkraftanlage oder über ein Wehr konkurriert. In kleinen Anlagen liegt merkblattgemäß das Verhältnis Lockstrom zu Konkurrenzstrom bei 1:10 bis 1:20, bei großen um 1:100. Infolge der in diesem deutlich stärkeren Konkurrenzstrom enthaltenen intensiven Makroturbulenz wird der schwache Strahl aus dem Fischpass auf kurzem Weg „zerschlagen“ und kann seine Leitwirkung nur im engsten Nahbereich des Fischpasseinstiegs entfalten. Darunter leiden Auffindbarkeit und Effizienz vieler Fischpässe.

Wegen dieser Konkurrenzströmung soll der Einstieg zu einer FAA möglichst nahe am Wanderhindernis angeordnet werden (Merkblatt DWA-M 509). Je weiter der Einstieg stromab liegt, desto schlechter ist die Auffindbarkeit. Besonders nachteilig wirkt sich dabei die Positionierung des Einstieges stromab vom Wanderhindernis aus, weil die Fische, die den Einstieg zum Fischaufstieg verpasst haben, am Hindernis nicht mehr weiter kommen und aufgrund der Wanderstimmigkeit gegen den Strom nicht wieder umdrehen, statt weiter unterstrom nach einer alternativen Aufstiegsmöglichkeit suchen.

Zur Kompensation dieser Einschränkungen bei der Auffindbarkeit wird ein erheblicher Aufwand mit Zusatzdotationen, Zugabebauwerken, Mehrfacheinstiegen und Lockstromturbinen betrieben. Diese Maßnahmen wirken extrem kostentreibend. In den meisten Fällen wird durch die Dimensionierung des Lockstroms auch noch die Energieerzeugung beeinträchtigt, was auf Dauer die Stromerträge mindert.

Ein weiterer Grund für die nicht zufrieden stellende Situation ist, dass bei der Bemessung von Fischpässen nach derzeit üblichen Bauarten gemäß der aktuellen Richtlinie entsprechend Merkblatt DWA-M 509 ein kostentreibender Effekt wirksam wird, der alle beckenartigen Fischpässe extrem aufwändig und kostenintensiv macht. Dieser Effekt besteht darin, dass zur Einhaltung der Maximalgeschwin-

digkeiten im System, die an den Schlitzen oder Durchlässen auftreten und die sich an der Schwimmleistung kleiner und schwimmschwacher Fische orientieren, nur geringe Höhenabstufungen von Becken zu Becken zugelassen werden können. So bewegen sich diese zulässigen Höhenstufen im Flachland typischerweise im Bereich von 9 bis 12 cm, was Geschwindigkeiten von 1,33 bis 1,53 m/s entspricht, die von den Fischen zu überwinden sind. Dies führt dazu, dass die zu überwindende Gesamtfallhöhe in eine Vielzahl kleiner Stufen zu unterteilen ist, so dass der Fischpass aus einer großen Zahl von Becken zusammengesetzt sein muss. Auf der anderen Seite orientiert sich die Beckengröße an den Abmessungen der großen erwarteten Fische, wobei z.B. ein im Merkblatt M 509 verankerter Faktor 3 für das Verhältnis von Beckenlänge zu Fischlänge dafür sorgt, dass die einzelnen Becken entsprechend lang werden. Im Zusammenwirken beider Bemessungsregeln führt dies dazu, dass viele große Becken zu bauen sind, was den Flächenbedarf und die Kosten in die Höhe treibt. Im Flachlandbereich müsste beispielsweise ein Fischpass an einer Stauanlage mit 2,50 m Fallhöhe 25 Trennwände mit Schlitzen oder Schlupflöchern mit jeweils einer Fallhöhe von 0,10 m erhalten, die dann 24 Becken bilden würden. Da in solchen Gewässern beispielsweise auch Fische mit bis zu 1,10 m Länge erwartet werden, müssten die Becken eine lichte Länge von 3,30 m und eine Konstruktionslänge von 3,40 m erhalten. In der Summe ergibt sich eine Anlage mit einer Gesamtlänge von rund 82 m. Dass ein solcher Fischpass nur mit hohem Aufwand realisiert werden kann und seine räumliche Unterbringung erhebliche Probleme bereiten kann, ist einleuchtend.

Um diesem kostentreibenden Effekt zu entgehen, werden in letzter Zeit Alternativen gesucht, indem Fischlifte und Fischschleusen konstruiert und gebaut werden. Beispiele sind die doppelte Fischliftschleuse am Baldeneysee (Gewässer Ruhr) oder die in Planung befindliche Borstenrampen-Fischschleuse an der Lieberoser Mühle (Gewässer Lieberoser Mühlenfließ). Diese kostengünstigen Alternativen haben jedoch den Nachteil, dass sie nicht stetig offen sind, sondern nur intermittierend arbeiten. Mit dem doppelten Lift an der Ruhr wurde versucht, dieses Problem der zeitweisen Unterbrechung des Wanderkorridors durch eine Verdopplung zu entschärfen. Die Akzeptanz dieser erheblich kostengünstigeren Alternativen könnte gesteigert werden, wenn es gelingt, die annähernd mit einer stetigen Wanderung ankommenden Fische solange in einem bestimmten Bereich zu halten, dass sie sich bis zur Öffnung des Wanderweges nicht mehr entfernen können. Dies ist die Grundidee und die Grundaufgabe der Fangkammer.

## 1.2 Aufgabenstellung

Der nicht-stetige Betrieb des eigentlichen Wanderkorridors kann kompensiert werden, wenn im direkten Unterstrom der Aufstiegsanlage im Gewässer ein Bereich bereitgestellt wird, in den die Fische unter der Lockwirkung einer starken Leitströmung einwandern. Diese Lockströmung soll aber nicht oder nur zu einem kleinen Teil aus dem Oberwasser entnommen werden.

In der Fangkammer angekommen sollen die Fische eine gewisse Zeit durch die Lockwirkung dieser starken Strömung zum Bleiben motiviert werden. Die Lockströmungen aus der eigentlichen Aufstiegsanlage reichen dazu nicht aus. Es müssen größere Durchflüsse bereitgestellt werden, um die Fische aus der konkurrierenden Strömung anzulocken. Die Fische sollen sich dann in dieser Fangkammer ansammeln.

Um das Wegschwimmen aus der vermeintlichen Sackgasse aufgrund eines Suchverhaltens zu vermeiden, sollte diese Fangkammer nach einer gewissen Zeit verschlossen werden. Hierzu bietet sich die Verwendung von sehr gut durchlässigen Feinrechen an.

Danach ist für den Ablauf und die Effizienz des Systems sehr förderlich, wenn die Fische durch Bewegung dieses Verschlussrechens soweit in einen engeren Raum zusammengeschoben bzw. verdichtet werden, dass sie nach der Öffnung des eigentlichen Einstiegs zum Fischaufstieg der aus dieser Öffnung austretenden Strömung direkt ausgesetzt sind. Dann kann erwartet werden, dass die Fische in den Sammelraum einer Fischschleuse einschwimmen und aus dieser auch nicht mehr herauskommen können.

Dieses Konzept ist an amerikanischen Fischliften bereits seit langer Zeit im Einsatz und dort unter dem Begriff „crowder“<sup>1</sup> bekannt. Diese Anlagen sind aber für frei schwimmende große Fischarten ausgelegt. Die Wirkungen und Vorgänge in Sohlhöhe bleiben dort völlig unbeachtet.

Die in Deutschland gültigen Richtlinien streben aber eine möglichst geringe Selektivität an. Somit schließt das Anforderungsprofil die kleinen sohlorientierten Fische mit ein, was z.B. auch bedeutet, dass die Sohlstrukturen bis in den Fangbereich hinein natürlich oder naturähnlich sein müssen. Somit muss sich der Focus auf die Vorgänge im Scherbereich zwischen einer verschieblichen Rechengitterwand und einer rauen Sohle liegen.

Die Kernaufgabe bei dieser Verschiebung einer für Wasser durchlässigen Absperrung ist es, diese an der Unterkante so auszustatten, dass sie auch Fischarten, die sich in rauen Sohlstrukturen aufhalten, wie z.B. Schmerlen (*Barbatula barbatula*) oder Groppen (*Cottus gobio*) ohne Verletzung oder übermäßige Irritation zum Weiterwandern motivieren. Wenn es gelingt, alle Fischarten mit einer Verschiebeeinrichtung ohne Verletzung aus einem großen Fangbereich zu Wanderkorridor im engeren Sinn zu verfrachten, können auch intermittierende alternative Fischaufstiegsanlagen eine hohe Effizienz erreichen.

Der effizienzsteigernde Effekt einer doppelten Anlage mit doppelter Betriebsfrequenz wird somit durch das zeitlich optimierte Zusammenwirken der Fangkammer und dem eigentlichen Fischaufstieg ersetzt, sofern diese Funktion nicht durch die Fangkammer selber bereitgestellt wird.

## 2 Lösungsidee

### 2.1 Grundfunktionen

Die Grundzüge des im Projekt untersuchten Konzepts wurden bereits oben skizziert. Es basiert auf der Kombination von 6 Grundfunktionen:

1. **Bereitstellung von hohem Lockstrom:** Ausnutzung eines hohen Durchflusses aus dem Unterwasser der Turbine als Lockstrom. Dies wird bewirkt durch 2 Merkmale:
  - a. Durchleitung eines Teils des Turbinenabstroms durch die Fangkammer, deren ober- und unterwasserseitige Begrenzungen wasserdurchlässig sind (Bild 1).
  - b. Anordnung eines schrägen Leitrechens, der diagonal in das Unterwasser hineinragt oder bis zum anderen Ufer durchgeht (Bild 1)

---

<sup>1</sup> Dokument zu St. Stephen-Fischlift: <http://dnr.sc.gov/fish/fishlift/images/fishlift.pdf>

2. **Leiten der Fische zu einem schmalen Migrationskorridor.** Dies geschieht durch die Leitwirkung des schrägen Rechens sowie durch die Tatsache, dass aus der Fangkammer ein spürbarer Lockstrom herauskommt. Das Einwandern von sohlorientierten Fische wird dabei dadurch unterstützt, dass die Sohle der Fangkammer in dem Bereich, der vom Verdichtungselement überstrichen wird, rau gestaltet wird. Diese Sohlstruktur sorgt dafür, dass wanderstimmige Fische der genannten Arten nur aufgrund des Strömungsreizes in die Kammer einwandern.
3. **Fangen der Fische in einer Fangkammer.** Diese Funktion wird bewirkt durch das Zusammenspiel zweier beweglicher Rechen, die beide zumindest vertikal verfahren werden können. Somit können diese Rechen Querschnitte für die Fische öffnen oder schließen. Für das Wasser sind sie immer durchlässig.
4. **Verdichtung der Fische in dieser Fangkammer bzw. Hinleiten zum Aufstiegskorridor:** Diese Funktion wird dadurch bewirkt, dass einer der Rechen auch horizontal verfahrbar ist. Vorzugsweise ist dies der unterwasserseitige Rechen; es sind aber auch Konfigurationen denkbar, wo der oberwasserseitige Rechen verfahren wird. Der bewegliche Rechen motiviert die sohlorientierten Fische, sich weiter in Richtung zu einem Migrationskorridor, z.B. zu einer Transporteinrichtung oder einem Fischpasseinstieg zu bewegen. Dabei kann es für die weitere Funktion von Vorteil sein, wenn die Sohle in diesem Verdichtungsbereich glatt ist.
5. **Aufnahme in ein Transportgefäß oder Übergang in einen Aufstiegskorridor:** Durch die unter 4. genannte Verdichtung gelingt es, die Fische in einem kleinräumigen Bereich so zu konzentrieren, dass sie fast zu 100 % den nächsten Migrationsschritt mitmachen müssen. Dies kann zum Beispiel die Aufnahme in ein Transportgefäß sein (Hebetrog, Schöpfgefäß) oder die Passage eines Einstiegsquerschnitts in eine Fischaufstiegsanlage z.B. Einstieg in einen Fischlift, eine Fischschleuse oder einen herkömmlichen Fischpass.
6. **Strömungsaufbereitung:** Versuche in der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau an der Uni Kassel haben gezeigt, dass der Fischeschonrechen, der vorzugsweise für die Fangkammer Verwendung finden soll, eine starke Wirkung als Strömungsgleichrichter und als Strömungsberuhiger hat (Schmitt, 2016<sup>2</sup>). Diese Dämpfung der Makroturbulenz führt im Unterwasser der Fangkammer und auch des Leitrechens zu einem ruhigeren Strömungsbild, so dass die Fische ein angenehmeres Umfeld zum Wandern haben. Die Fahne dieser beruhigten Strömung reicht sehr weit in das Unterwasser, da die Makroturbulenz erst wieder durch grobe Wand- oder Sohlstrukturen oder durch Wechselwirkung mit der unbeeinflussten Strömung generiert werden muss. Es kann erwartet werden, dass die Fische, die auf dieser Uferseite wandern, diese günstigeren Strömungsbedingungen nutzen und keine Neigung zeigen werden, die Flussseite zu wechseln.

## 2.2 Kombinationsmöglichkeiten dieser Grundfunktionen

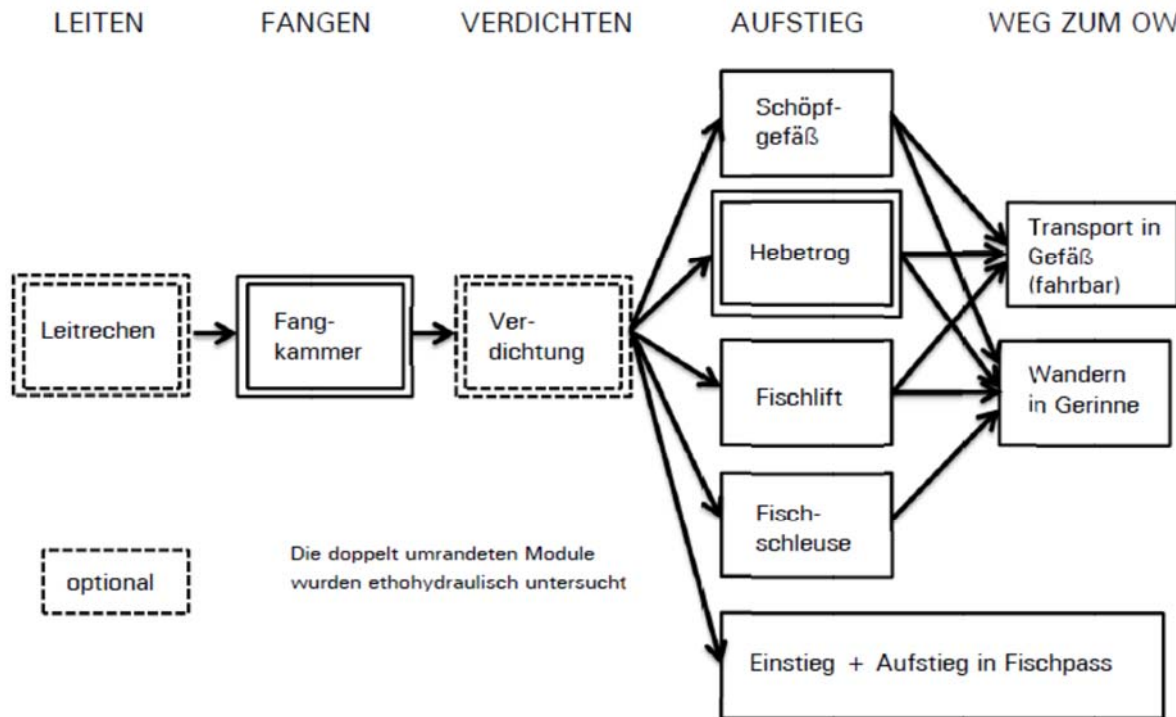
Von den oben genannten Grundfunktionen gehören die der Bereitstellung einer erhöhten Lockströmung, die Aufbereitung dieser Strömung durch die Gleichrichterwirkung der Feinrechen, die Aufnahme der Fische in eine Fangkammer und die Übergabe in den nächsten Abschnitt des Wanderkorridors zu den immer vorhandenen Basisfunktionen. Allein dies dürfte nach allem, was über die Kriterien für eine gute Auffindbarkeit bekannt ist, positiv wirken. Die weiteren Funktionen, wie

---

<sup>2</sup> Schmitt, Daniel: Untersuchung der Wirkung von Feinrechen auf die Turbulenz in Kraftwerkszuläufen. Bachelorprojekt an der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Uni Kassel, 2015



zusätzliches Leiten der Fische und die Verdichtung hin zum Korridor können die Effizienz noch deutlich steigern. Somit sind unterschiedliche Konfigurationen denkbar, wie die genannten Funktionen mit den jeweiligen Bauteilen im jeweiligen Unterwasser einer Stauanlage kombiniert sein können (Abb. 2.1).



**Abb. 2.1: Schema zur Kombination der Komponenten einer Fangkammer**

Das Schema zeigt, wie die Grundfunktionen bzw. die Bauelemente zusammenwirken können und wie diese in Kombination den Fisch zum Oberwasser bringen. Dabei folgt aus dem weiter oben ausgeführten, dass die im hier dokumentierten Versuch untersuchten Funktionen Leiten, Fangen und Verdichten für die Aufstiegsarten Schöpfgefäß, Hebetrog, Fischlift oder Fischschleuse essentiell sind, weil diese nur intermittierend arbeiten, während für die Aufstiegsart Fischpass diese Funktionen bisher weggelassen wurden. Es ist aber klar, dass die Effizienz von herkömmlichen Fischpässen erheblich gesteigert werden kann, wenn Auffindbarkeit und Einstieg durch das Fangkammersystem unterstützt werden. Deshalb hat das untersuchte System Relevanz für alle Arten von Fischaufstiegen mit Ausnahme der gerinneartigen FAA (raue Rampen), die über die volle Gewässerbreite reichen.

Somit kann die Funktionsweise der Fangkammer wie folgt beschrieben werden:

Der Betrieb durchläuft zyklisch vier Phasen:

- In der **Einschwimmphase** ist der hintere Rechen herausgenommen und erlaubt aufsteigenden Fischen, in die Fangkammer einzuschwimmen. Der vordere ist dagegen eingesetzt und versperrt das Aufschwimmen der Fische über die Fangkammer hinaus.
- In der **Verdichtungsphase** bleibt der hintere Rechen weiterhin eingesetzt und sperrt die in der Fangkammer befindlichen Fische ein. Anschließend werden die Fische

innerhalb der Fangkammer mit dem hinteren Rechen entgegen der Strömung verdichtet und in einem Hebetrog unterhalb des oberen Rechens der Kammer geschoben. Eine andere Möglichkeit der Verdichtung innerhalb der Fangkammer besteht mittels einer verschiebbaren Seitenwand (Verschiebetafel). Diese Variante wurde in dieser Untersuchung nicht geprüft.

- In der **Transportphase ins Oberwasser** wird der Hebetrog angehoben und in einem Kanal auf Oberwasserniveau der Wasserkraftanlage entleert, vom dem sie in das Oberwasser einschwimmen können.
- Nach Entladung der gefangenen Fische in den Oberwasserkanal wird während der **Rücklauf- und Reinigungsphase** der Hebetrog wieder in Ausgangsposition am Grund der Fangkammer abgesenkt. Weiterhin wird der vordere Rechen aus dem Abflussquerschnitt kurz herausgezogen, damit mögliche Belegungen entfernt werden. Nach dem Wiedereinsetzen des vorderen Rechens wird der hintere Rechen wieder geöffnet. Der Zyklus beginnt erneut.

Das Grundprinzip dieser Fangkammer kann je nach Anforderungen und Gegebenheiten vor Ort in unterschiedlichen Ausführungen realisiert werden. So kann die neuartige Fangkammer beispielsweise mit einem horizontalen Schrägrechen kombiniert werden, der sich über den vollen Abflussquerschnitt hinter der Wasserkraftanlage erstreckt. Damit kann das gesamte Betriebswasser als Leitströmung für die Fischaufstiegsanlage genutzt werden. Mit der zum Patent angemeldeten Fangkammer werden die beiden Kernprobleme von herkömmlichen FAA vollständig beseitigt, da die Lockströmung durch die Rechen der Fangkammer immer maximal ist, nie unterbrochen wird, und die Auffindbarkeit immer gegeben ist, da sie unmittelbar im Wanderweg der Fische (dem Weg der Hauptströmung) positioniert ist.

### 3 Versuchsanlage

#### 3.1 Grundlegende Festlegungen

Generell gilt, dass neuere Wasserkraftwerke automatisch arbeiten und nicht ständig mit Personal besetzt sind. Somit ist es unverzichtbar, dass das im Projekt untersuchte System mit beweglichen Rechen und ggf. Hebetrog automatisch arbeitet. Deshalb und wegen der Komplexität der zeitlichen Abläufe ist in der Realität eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) unumgänglich. Im Labor können aufgrund der Anwesenheit mehrerer Personen die einzelnen Funktionen händisch gesteuert werden. Daher genügen bei den Antrieben drehzahlgeregelte Bedienteile, mit denen die beweglichen Elemente mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fein positioniert werden können

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

Die Komponente mit der kürzesten Lebensdauer dürfte die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) sein, die im Mittel etwa 15 Jahre hält. Diese vergleichsweise kurze Lebensdauer trifft aber auch für die anderen elektronischen Komponenten der Wasserkraftanlage zu (Turbinenregler, etc.), so

dass hier durch die Steuerung der Fangkammer kein außergewöhnlich kurzlebiges Bauteil in die Anlage eingebracht wird.

### 3.2 Geometrische Vorgaben und Versuchsgerinne

Die Versuchsanlage wurde in die große Kipprinne der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau an der Uni Kassel eingebaut (Anhang 1). Diese Versuchsrinne ist 30 m lang, 2,00 m breit und maximal 1,00 m tief. Sie kann bis zu 4% geneigt werden. Die Durchflüsse werden durch Regelung der Pumpen bestimmt. Diese Pumpen fördern alle in den Hochbehälter, aus dem die benötigten Volumenströme über Leitungen mit Durchflussmessern und Schiebern abgezogen werden.

Zusammengefasst gelten die folgenden technischen Daten:

- Länge: ca. 30 m,
- Breite: 2,00 m,
- Höhe: 1,00 m,
- max. nutzbare Wasserhöhe in der Rinne: 0,80 m,
- max. nutzbare Wassertiefe in Versuchsbereich: 0,60 m
- max. möglicher Volumenstrom: 1,00 m<sup>3</sup>/s

Die wichtigsten Baugruppen der Versuchseinrichtung sind:

- zweite Sohle mit Trennwand,
- OW-Rechen, UW-Rechen, Leitrechen,
- Verdichtungsstrecke mit künstlicher Sohle,
- Hebetrog,
- Auffangvorrichtung für Fische.

Die Seitenwände der Versuchsrinne sind im mittleren Bereich verglast. Die Sohle ist aus Edelstahlblech.

Der Versuchsstand nimmt eine Länge von insgesamt ca. 8,22 m ein. Die Skizzen in Anhang 1 zeigen die Geometrie. Die Rinne ist in der Mitte mit einer Trennwand in zwei gleiche Kanäle unterteilt. Der in Strömungsrichtung gesehen links liegende Kanal führt zum Leitrechen an dessen Ende. Der rechte Kanal führt durch den OW-seitigen Rechen in die Fangkammer. Diese besteht etwa zur Hälfte aus einem Abschnitt mit Hebetrog in der Sohle und zur anderen Hälfte aus einem Rechteckkanal mit künstlich hergestellter, rauer Sohle.

### 3.3 Aufbau der Fangkammer

Die Labor-Fangkammer besteht aus einem fest eingebauten OW-Rechen und einem horizontal und vertikal verschiebbaren UW-Rechen. Die Rechenstäbe aller Rechen weisen Abstände von 10 mm auf, ihre Form entspricht dem sehr strömungsgünstigen Rechenprofil nach Oppermann. Der UW-Rechen kann vertikal komplett aus dem Wasser herausgehoben werden (mit Handseilwinde). Sein kleinster Abstand zur Sohle beträgt 50 mm. An seiner Unterseite können unterschiedliche

Scheuchvorrichtungen (Borsten, Wasserstrahl, Vibration, etc.) angebracht werden, die geringere lichte Abstände zur Sohle einnehmen, jedoch die Fische nicht verletzen sollen.

Die Verdichtungsstrecke, in welcher der UW-Rechen horizontal verschoben werden kann, liegt unmittelbar hinter dem Hebetrog, sie beträgt ca. 2,35 m. Die Vorschubgeschwindigkeit des UW-Rechens innerhalb der Verdichtungsstrecke kann über eine drehzahlgesteuerte Regelung variabel eingestellt werden.

Der Hebetrog besteht aus einer 0,24 m tiefen und 2,58 m langen Edelstahlwanne. Seine Sohle weist oberwasserseitig eine Neigung von 30° und unterwasserseitig von 9° auf. In der linken Seitenwand (zur Trennwand hin) befindet sich eine Öffnung, welche durch eine Klappe verschlossen werden kann.

### **3.4 Aufbau der rauen Sohle**

Auf einer Länge von 1,80 m ist eine definierte, raue Sohle angeordnet, die eine natürliche Sohle imitieren soll. Den sohlorientierten Fischen soll sie Strukturen bieten, die ihnen den gewohnten Schutz vor Strömungsbelastung und auch vor Räubern bieten. Dazu wurden Fliesen mit Steinen beklebt. Die künstliche Sohle in der Verdichtungsstrecke besteht aus flächig aufgebrachtem Kies (Körnung 15/25) mit Störsteinen (Körnung ca. 45/60, Anordnungsdichte ca. 25 Stk./m<sup>2</sup>). Sowohl die Kiesauflage als auch die Störsteine sind auf der Sohle fixiert, so dass sie von der Strömung nicht bewegt bzw. ausgespült werden können. Die Fliesen wurden dann flächendeckend auf die Sohle des Versuchsstandes gelegt.

### **3.5 Einstellung der hydraulischen Größen**

Die Durchflüsse in der Versuchsanlage werden durch die Schieberstellungen in den Zuleitungen bestimmt. Durch Regelung der benutzten Förderpumpe im Hallenkreislauf wurde der Wasserstand im Hochbehälter konstant gehalten. Von den 3 existierenden Pumpen werden die für den benötigten Durchfluss erforderlichen Pumpen eingeschaltet. Diese Pumpen fördern alle in den Hochbehälter, aus dem die benötigten Durchflüsse über Leitungen mit Durchflussmessern und Schiebern abgezogen werden. Im vorliegenden Fall wurde der Versuchsvolumenstrom über eine Leitung DN 600 zum Versuchsstand geführt und in der Leitung mit einem magnetisch induktiven Durchfluss-Messer DN 600 gemessen. Maximal sind um 1000 l/s möglich. Die kleinste Pumpe kann über einen Frequenzumrichter stufenlos verstellt werden, so dass in der Summe die gewünschten Durchflüsse recht genau eingestellt werden können. Die nicht durch den Versuch abgenommenen Anteile des geförderten Wasserstromes fließen aus dem Hochbehälter über eine Überlaufvorrichtung wieder in den Pumpensumpf zurück. Im vorliegenden Fall erwies es sich als ausreichend, nur die mittlere Pumpe mit einer Förderleistung von um 150 l/s laufen zu lassen.

Die Wasserstände und damit die Strömungsgeschwindigkeiten im zu untersuchenden System werden bei gegebenem Durchfluss durch Rückstau bestimmt. Dazu ist am Ende der Rinne eine elektrisch verstellbare Überfallklappe vorhanden. Im Fangkammer-Versuch wurde in der Kipprinne nur minimales Gefälle eingestellt, da die Wasserspiegelgefälle für die benötigte Strömung ausreichen.

In Anhang1 ist die Versuchsanlage in Grundriss und Längsschnitt dargestellt.

### **3.6 Hydraulische Randbedingungen**

Die eingestellten hydraulischen Parameter wurden so gewählt, dass die Strömungsgeschwindigkeiten ähnlich waren, wie sie in der Natur zu erwarten sind. Die Wassertiefe war natürlich erheblich geringer als in der Natur, was jedoch versuchstechnisch auf der sicheren Seite liegt, weil bei flachem Wasser die Fische sich noch fester in die Sohlstrukturen schmiegen. Das heißt, dass bei tieferem und trüberem Wasser mit einer leichteren Mobilisierung der Fische gerechnet werden kann.

## 4 Untersuchungen zur Durchströmung des Systems

### 4.1 Grundlegende Fragestellung

Im Fangkammersystem werden im Abstrom von Wasserkraftanlagen feine Rechen angeordnet, wobei prinzipiell zwei unterschiedliche Fließwege zur Verfügung stehen. Ein Fließweg geht durch die Fangkammer, wobei je nach momentanem Betriebszustand einer oder zwei Rechen in der Strömung stehen. Alternativ dazu kann das Wasser frei neben der Fangkammer vorbei fließen oder teilweise oder ganz durch einen Leitrechen hindurchfließen. Wenn der alternative Fließweg durch einen Leitrechen geht, befindet sich hier auch ein zusätzliches verlustbringendes Bauteil in der Strömung. Das heißt, dass je nach Betriebszustand bzw. nach Belegungsgrad der Rechen auf den Fließwegen unterschiedliche Strömungswiderstände wirksam werden. Dies könnte zu einer Ungleichverteilung führen. Zu klären war diesbezüglich die Frage, ob die typischen Widerstände der zum Einsatz kommenden Rechen hier zu einer Ungleichverteilung führen, die die Funktion der Fangkammer negativ beeinflusst.

Zur Untersuchung dieser Frage wurde mit dem Fangkammer-Versuchsstand eine umfangreiche Bachelor-Studie (Trabert, 2019) durchgeführt. Diese Arbeit und ihre Ergebnisse sind nachfolgend in Kapitel 4 zusammengefasst.

### 4.2 Vorgehensweise

Der Untersuchung an diesem neuartigen Prinzip der Fangkammer liegt die Bestimmung der Abhängigkeit der Abflussverteilung von verschiedenen Verlustbeiwerten der einzelnen Rechenelemente an beiden Fließwegen (durch die Fangkammer und durch den Leitrechen) zugrunde. Dafür wurden zunächst drei Beiwerte bestimmt, welche anschließend am Modell der Fangkammer in verschiedenen Kombinationen zwischen beiden Fließwegen eingesetzt wurden. Die Erfassung der Einflüsse dieser Kombinationen erfolgte mittels Pegel- und Geschwindigkeitsmessungen an beiden Rechen bzw. an den unterstrom liegenden Fließquerschnitten beider Kammern. Daraus können anschließend die Einflüsse durch verschiedene Stabformen oder Verlegungen infolge Treibgut und damit der Rechenreinigung abgeleitet werden.

### 4.3 Verzeichnis Begriffe und Abkürzungen

Fangkammer	FK	
Fischschonrechen	FSR	
Fischschonrechen und feines Lochblech	feLB	
Fischschonrechen und grobes Lochblech	grLB	
Leitrechen	LR	
resultierende Fließgeschwindigkeit	$v_r$	m/s
spezifischer Abfluss	$q$	$m^2/s$
Stababstand	$d$	mm
Verlustbeiwert	$\zeta$	-

Wie die Durchflussverhältnisse sind, wenn ein Fließweg ohne zusätzliche Verluste offen ist, weil der Leitreechen nicht zum anderen Ufer durchgeht, wurde nicht untersucht. Es kann aber auf der Basis hydraulischer Überlegungen geschlossen werden, dass auch dann die Durchflüsse durch die Rechen ausreichend hoch bleiben, weil die dann nötige Umlenkung der Strömung um die Konstruktion herum so große Wasserspiegeldifferenzen erfordert, dass diese antreibende Kraft für eine nennenswerte Durchströmung des Rechens ausreicht.

#### 4.4 Vorversuche zu den Rechenwiderständen

##### 4.4.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Die drei beispielhaften Verlustbeiwerte wurden an der kleinen Kipprinne der Versuchsanstalt und Prüf-  
stelle für Umwelttechnik und Wasserbau der Universität Kassel (VPUW) erhoben. Sie bestanden zum  
einen aus dem alleinigen Fischeschonrechen (FSR) mit einem Stababstand von 10 mm, welcher dem  
Stababstand am Modell der Fangkammer entsprach, dem Fischeschonrechen mit einem vorgesetzten  
groben Lochblech (grLB) und dem Fischeschonrechen mit einem vorgesetzten feinen Lochblech (feLB).  
Die Rechenelemente und die vorgesetzten Lochbleche standen senkrecht zur Strömung in horizonta-  
ler, wie in waagerechter Richtung. Es wurden verschiedene Durchflüsse in der waagrecchten Rinne ein-  
gestellt und anhand der sich einstellenden Wasserspiegellagen vor und nach dem Rechenaufbau die  
Verlustbeiwerte mittels Kontinuitätsgleichung und Energiegleichung nach Bernoulli hergeleitet. Die  
Wasserstände wurden mittels Stechpegeln im noch weitgehend durch die Rechen unbeeinflussten Be-  
reich oberhalb und unterhalb gemessen.

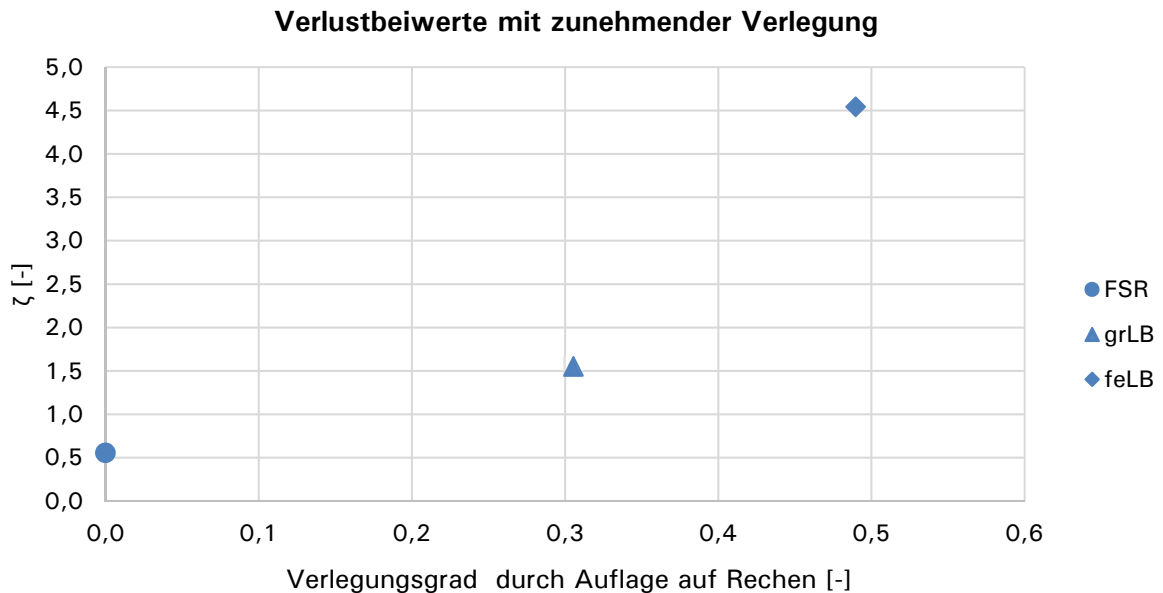
##### 4.4.2 Ergebnisse zu den Widerständen

Der Verlustbeiwert eines Rechens nimmt entsprechend der Querschnittsverengung, die durch einen  
Einschnürungsfaktor (Einschnürungsgrad = Verhältnis der verbauten Fläche zur Gesamtfläche) be-  
schrieben wird, zu. Die nachstehende Tabelle zeigt die ermittelten Verlustbeiwerte  $\zeta$  für die verschie-  
denen Kombinationen aus FSR und den vorgesetzten Lochblechen.

Tabelle 4.1: Ergebnisse der Beiwertbestimmung

Untersuchte Variante	$\zeta$ [-]
Fischeschonrechen mit $d = 10$ mm (FSR)	0,557
Fischeschonrechen mit grobem Lochblech (grLB)	1,553
Fischeschonrechen mit feinem Lochblech (feLB)	4,543

Die Abb. 4.1 zeigt die mit der Verlegung des Rechens mittels Lochblechen zunehmenden Verlustbeiwerte. Es ist hierbei darauf zu achten, dass dem Verlegungsgrad noch die durch die Rechenkonstruktion verbaute Fläche im Fließquerschnitt hinzuzurechnen ist. Diese bleibt jedoch über den Versuchsverlauf konstant.



**Abb. 4.1:** Verlustbeiwerte bei zunehmender Verlegung. Der Verbaugungsgrad durch den Fischschonrechen wurde in dieser Darstellung nicht abgebildet.

Die Studie liefert das positive Resultat, dass die Abflussverteilung nicht besonders stark von den Fließwiderständen in den Fließwegen abhängt. Das bedeutet einerseits, dass sich der Durchfluss durch die Fangkammer nur wenig verringert, wenn der zweite Rechen in die Strömung abgelassen wird. Zudem ändert sich damit auch die Abflussverteilung zwischen diesen beiden Fließwegen nur wenig.

## 4.5 Untersuchung der Abflussverteilung zwischen Fangkammer und Leitrechen-Korridor

### 4.5.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Die Untersuchung des Einflusses verschiedener Verlustbeiwerte auf die Abflussverteilung erfolgte am Modell der Fangkammer in der großen Kipprinne der VPUW. Diese bestand aus zwei Gerinneteilen. Eine Kammer repräsentierte die Fangkammer und war nach oberstrom mit einem Fischschonrechen abgeschlossen. Sie verfügte über einen Hebetrog, der jedoch in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurde. Die Fahrschienen des Troges ragten stark in den Fließquerschnitt hinein. Die andere Kammer stellte den alternativen Strömungsweg dar und war nach unterstrom mit einem schrägen Leitrechen abgeschlossen, um ein Einschwimmen aufwandernder Fische an der Fangkammer vorbei zu unterbinden, bzw. diese in die Fangkammer zu leiten. Die verschiedenen Varianten aus Rechen und Lochblechen wurden dafür zum einen am Rechen der Fangkammer und zum anderen am Leitrechen im Unterwasser der Anlage eingesetzt, sodass beide Strömungswege unabhängig voneinander beeinflusst wurden.

Für die Erfassung der Umverteilung des Abflusses wurde ein Messraster für die Messung der Fließgeschwindigkeiten in 30 Punkten angelegt. Diese waren jeweils gleichmäßig auf den unterseitigen



Einstieg der Fangkammer und auf den Leitreechen aufgeteilt mit jeweils fünf Lotreechen und drei Ebenen in rd. 10 cm Entfernung parallel zum jeweiligen Querschnitt.

Die Geschwindigkeitsmessungen wurden zudem für die Bestimmung des Durchflusses der Fangkammer verwendet. Mithilfe der Kontinuitätsgleichung wurden Teildurchflüsse für die verschiedenen Punkte ermittelt, welcher zu einem Gesamtdurchfluss zusammenaddiert wurde. Der Durchfluss des Leitreechens ergab sich aus der Differenz der Fangkammer und dem Gesamtdurchfluss des Versuchstandes.

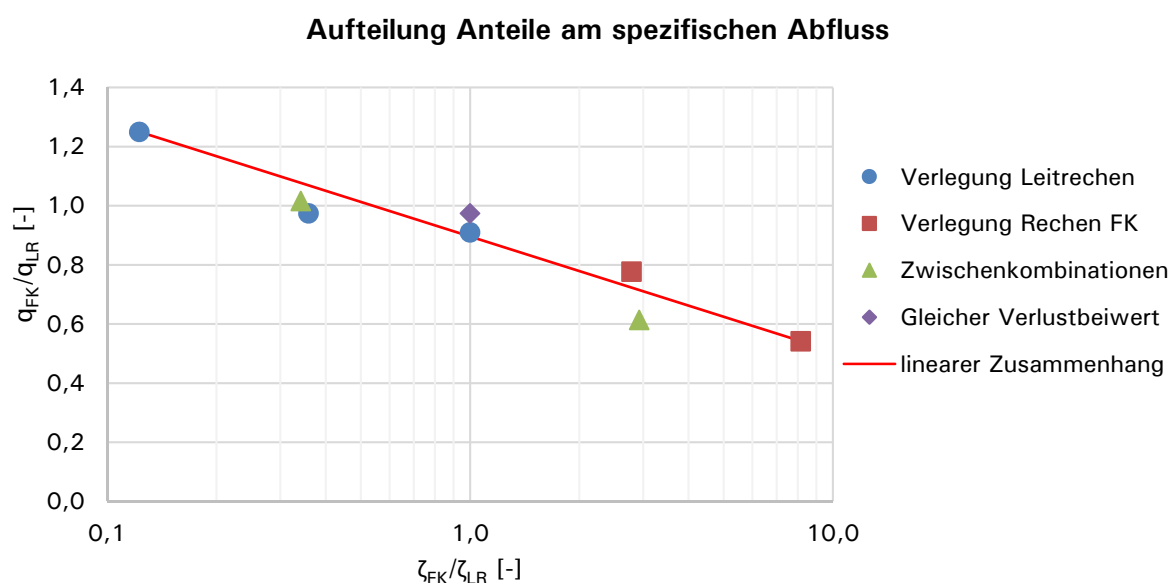
Aus den Geschwindigkeitsmessungen, welche vektoriell die Einzelkomponenten in allen drei Raumrichtung abbildete, konnte zusätzlich die Strömungsrichtung unterstrom des Leitreechens bestimmt werden. Dies wurde nur auf die waagrechte Umlenkung angewendet.

Die Pegelmessungen wurden für die größten Differenzen der Verlustbeiwerte zwischen beiden Kammer und bei gleichen Beiwerten durchgeführt. Auch hier wurde ein Raster angelegt. Das Raster am Rechen der Fangkammer bestand aus jeweils drei Punkten im Oberwasser und Unterwasser und am Leitreechen aus neun Punkten im Ober- und Unterwasser.

Die allgemeine Erfassung des Einflusses verschiedener Fließwiderstände erfolgte bei einem konstanten Durchfluss. Anschließend wurde zudem der Einfluss des Gesamtabflusses bei drei verschiedenen Durchflüssen für ein festes Beiwertverhältnis ermittelt. Für die verschiedenen Durchflüsse wurde der Wasserstand im Unterwasser konstant gehalten, indem die Rinnenklappe am Ablauf der Versuchsrinne verstellt wurde.

#### 4.5.2 Ergebnisse und Auswertung

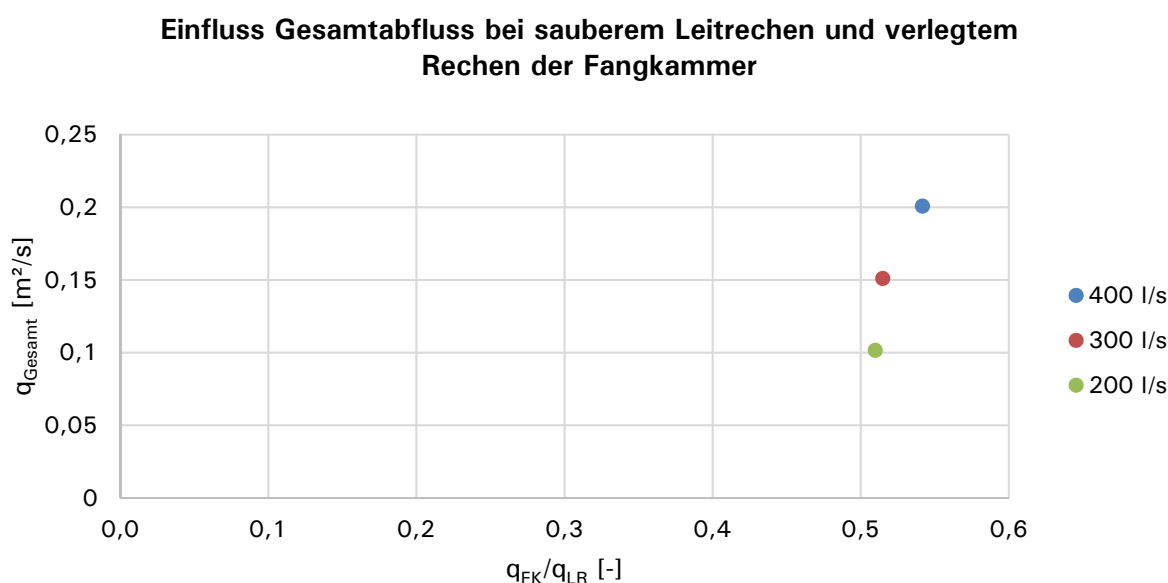
Die Auswertung der Abflussverteilung ergab, dass sich im gemessenen Bereich von Beiwerten von 0,55 (FSR) bis 4,54 (feLB) nur eine geringe Umverteilung einstellte. Bei der Bildung der Verhältnisse zwischen beiden Teilabflüssen und den zugehörigen Beiwerten stellte sich der in 4.2 dargestellte Zusammenhang ein.



**Bild 4.1:** Zusammenhang zwischen spezifischem Abflussverhältnis zwischen beiden Fließwegen und dem zugehörigen Widerstands-Beiwertverhältnis.

Unter der Annahme, dass aus baulicher Sicht keine solchen Beiwertverhältnisse durch verschiedene Rechen einstellen, kann davon ausgegangen werden, dass die Umverteilung des Abflusses zu vernachlässigen ist. Bei einer kontinuierlichen Rechenreinigung beider Rechen ist dies ebenfalls anzunehmen. Der Unterschied des Abflussverhältnisses bei gleichen Beiwerten ergab sich aus dem geringen Zuflussquerschnitt der Fangkammer durch Verbauung unabhängig vom Rechen und seiner Verlegung. Das sich einstellende Verhältnis ist somit unabhängig von dieser Untersuchung. Daraus konnte geschlossen werden, dass es grundsätzlich innerhalb der Versuchsdurchführung zu einer baulich bedingten Umverteilung des Abflusses hin zum Leitrechen kam. Aus diesem konstanten Einfluss ist jedoch keine Beeinträchtigung der Ergebnisse zu erwarten.

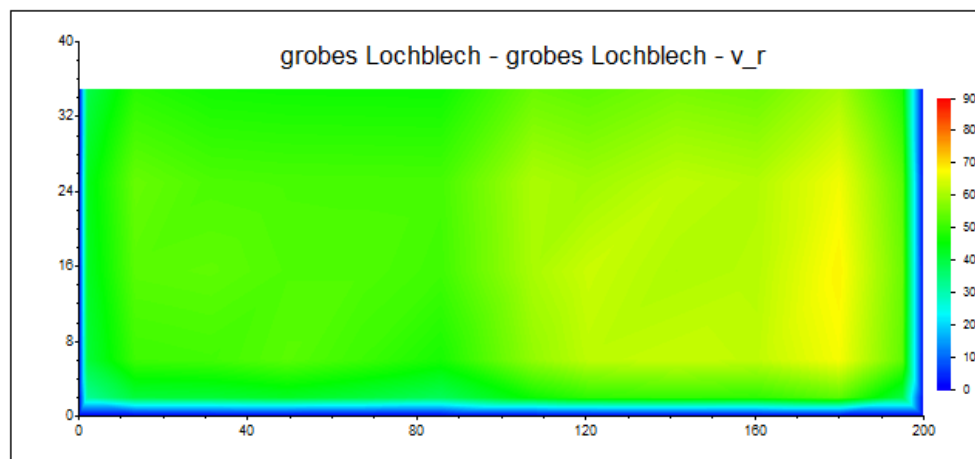
Der Einfluss des Gesamtabflusses ergab, dass sich auch hier keine nennenswerten Änderungen der Abflussaufteilung aufgrund verschiedener Durchflüsse einstellen. Der Zusammenhang ist in Bild 4.3 abgebildet.



**Bild 4.2: Abflussverhältnisse bei verschiedenen Durchflüssen**

Bei der Auswertung der Geschwindigkeitsverteilung wurde die resultierende Geschwindigkeit aus allen drei Raumrichtungen berücksichtigt. Diese bildete die verschiedenen Abflussverteilungen infolge verschiedener Fließwiderstände durch höhere und niedrigere Fließgeschwindigkeiten naturbedingt ab. Auch wurde der Einfluss des Gesamtabflusses im erwartbaren Rahmen erfasst. In **Bild 4.3.4** ist das sich einstellende Geschwindigkeitsbild für gleiche Widerstände am Rechen der Fangkammer und am Leitrechen zu sehen. Es fällt auch hier die sich einstellende Differenz zwischen beiden Fließquerschnitten bei gleichen Widerständen auf, welche auf die baulich bedingten unterschiedlichen Durchflüsse zurückgeführt wird.

Die Analyse der Strömungsumlenkung ergab, dass es zu einer Umlenkung am Leitrechen kam. Diese war jedoch innerhalb der erhobenen Größenordnungen weitgehend abgekoppelt von verschiedenen Beiwertverhältnissen oder Durchflüssen.



**Bild 4.3:** Projektion der Geschwindigkeitsverteilung unterstrom der Fangkammer (links) und des Leitrechens (rechts) bei gleichen Beiwerten.

Die Erfassung der Wasserspiegellagen ergab ebenfalls die erwartbaren Resultate. Geringere Widerstände hatten geringere Wasserspiegeldifferenzen vor und nach den Rechen zur Folge und umgekehrt. Auch stellte sich das voraussagbare Bild bei verschiedenen Durchflüssen ein. Bei hohen Widerständen kam es an der Fangkammer im Oberstrom zu einem Abfall des Wasserspiegels hin zur Fangkammer. Dieser ist auf das geringere Wasserstands-niveau im Fließquerschnitt des alternativen Strömungsweges hin zum Leitrechen zurückzuführen. Im Unterstrom dieses Rechens wurde dieses Phänomen nicht nennenswert erfasst.

#### 4.6 Fazit und Ausblick zu den Einflüssen auf die Abflussverteilung

Die Rechen im Fließquerschnitt bilden einen Fließwiderstand, welcher durch Verlegungen infolge von Treibgut weiter erhöht wird. Es wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Widerstände an beiden Fließwegen des Modells einer Fangkammeraufstiegsanlage untersucht. Dabei wurde kein nennenswerter Einfluss in den untersuchten Bereichen von Verlustbeiwerten und Durchflüssen festgestellt. Es kam zu einer geringen, aber vernachlässigbaren Umverteilung, da solche Widerstandsdifferenzen bei normalem Betrieb der Anlage, im Sinne des Rechenaufbaus sowie der Rechenreinigung, nicht zu erwarten sind. Auch die Ergebnisse für die Geschwindigkeitsverteilung lagen in einem daraus ableitbaren Rahmen. Weiter konnte kein Einfluss auf die Strömungsumlenkung im Unterwasser des Leitrechens erfasst werden.

Bei der Ableitung von Bemessungshinweisen für die Rechenanlage, ist davon auszugehen, dass standardmäßig verwendete Rechen bei ungleichmäßigem Einbau zwischen der Fangkammer und dem Leitrechen keine nennenswerte Umverteilung zur Folge haben. Auch bei einem gleichmäßig parallelen Betrieb der Rechenanlage an Fangkammer und Leitrechen kommt es nicht zu einer solchen. Dafür ist noch zu berücksichtigen, dass sich die gesamte Aufstiegsanlage im Unterstrom einer Wasserkraftanlage befindet. Dies hat zur Folge, dass grobes Treibgut schon abgefangen wurde und an den Rechen der Aufstiegsanlage von vornherein mit einem verminderten Treibgutanteil zu rechnen ist. Dies hat allenfalls eine vermindert frequentierte Rechenreinigung zur Folge.

## 5 Ethohydraulische Untersuchungen

### 5.1 Grundlagen zu ethohydraulischen Untersuchungen der Fangkammer

Aufgrund der eingangs erläuterten bio-physikalischen Rahmenbedingungen in Bezug auf Auffindbarkeit der Fangkammer ist anzunehmen, dass schwimmstarke Fischarten mit hoher Wahrscheinlichkeit in die Fangkammer einschwimmen. Dennoch musste für einen effektiven, nicht selektiven Betrieb geklärt werden, wie die in der Fangkammer gefangenen Fische am besten und sichersten in der Kammer verdichtet werden können, ohne sie dabei durch Quetschen oder Scheren zu schädigen. Um diese Frage zu klären, wurde ein Forschungsvorhaben an der Wasserbauversuchsanstalt der Universität Kassel geplant und im Jahr 2018 begonnen, dessen Ziel es war, die Funktionalität und Fischfreundlichkeit der Fangkammer zu untersuchen und zu optimieren.

Die hier dokumentierte und von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte Untersuchung wurde vom Büro Marburg der Bürogemeinschaft für fisch- und gewässerökologische Studien (BFS Marburg) mit lebenden Fischen durchgeführt, wobei besonderes Augenmerk auf bodennah lebende, schwimmschwache Kleinfische gelegt wurde, weil deren spezifisches Bewegungsverhalten von allen heimischen Fischarten die größte Herausforderung für ein Einschwimmen und sicheres Verdichten innerhalb der Kammer darstellt. Diese Fischarten können aufgrund ihrer geringen Schwimmgeschwindigkeit herkömmliche FAA besonders schlecht überwinden. Der Nachweis, dass mit der Fangkammer auch diese Fischarten gut und schnell ins Oberwasser gebracht werden können, würde einen weiteren Vorteil der Fangkammer gegenüber allen herkömmlichen FAA darstellen.

Grundsätzlich wurde die Fischfreundlichkeit und Funktionalität der Fangkammer für fünf Fischarten geprüft, von denen vier zu den Bodenfischen zählen. Dies sind die Groppe (*Cottus gobio*) und die Bachschmerle (*Barbatula barbatula*) als solitär lebende Arten mit der Tendenz zum Verstecken unter Steinen bei Störungen (McKENZIE & GREENBERG 1998) einerseits und der Gründling (*Gobio gobio*) und die Flussbarbe (*Barbus barbus*) andererseits, die als schwarmbildende Arten bei Störung in Bodennähe fliehen. Als typische Freiwassersart wurde der Döbel (*Squalius cephalus*) in die Untersuchung einbezogen, um die erwartete Eignung der Fangkammer für Fische im freien Wasserkörper zu prüfen.

#### Kompetenz der Fischereibiologischen Begleitung

Die ethohydraulischen Untersuchungen wurden vom fisch- und gewässerökologischen Büro bfs in Marburg (Dr. Dirk Hübner) durchgeführt. Dieses Büro hat langjährige Erfahrungen mit ethohydraulischen Versuchen. Es erledigt alle Formalitäten für den elektrischen Fang der Fische und für die Durchführung der Verhaltensbeobachtungen.

Bei Versuchen mit Fische im Labor stellt sich immer wieder die Frage, ob es sich um genehmigungspflichtige Tierversuche handelt. Im vorliegenden Fall wurde das Vorgehen mit der Veterinärbehörde am Regierungspräsidium Kassel abgestimmt. Die Verhaltensbeobachtungen sind aufgrund folgender Umstände einzuschätzen:

1. Die Tiere werden fachmännisch mit geprüften Geräten von Personen mit Befähigung und mit vorhandener Elektrofischgenehmigung gefangen.
2. Die Tiere werden fachmännisch transportiert, gehältert und an die Bedingungen im Labor adaptiert.
3. Es werden an den Tieren keine Manipulationen, wie sonst übliche Farbmarkierungen, Transponderimplantation, etc. vorgenommen.
4. Die Fische werden von Fachpersonal in den Versuchsstand eingesetzt und beobachtet.
5. Die Tiere werden aus dem Versuchsstand wieder vorsichtig herausgenommen.
6. Die Zahl der Versuche wird allein dadurch begrenzt, dass eine Anpassung an die Situation (Lernverhalten) nicht erfolgt (max. 2 Einsätze)
7. Die Tiere werden nach Abschluss wieder in ein geeignetes Gewässer zurückgesetzt.

Im Grund werden die Tiere somit eher besser und kontrollierter behandelt als solche, die gefangen und im Zoohandel an Aquarianer verkauft werden.

Unter der Voraussetzung, dass mit den Fischen auf die geschilderte Weise umgegangen wird, wurden die Versuche vom Regierungspräsidium Kassel als Verhaltensbeobachtungen eingeschätzt, die nicht den strengen Anforderungen von Tierversuchen unterliegen.

## 5.2 Design der Versuchsdurchführung in 3 Phasen

### 5.2.1 Phase 1: Test der quasi-natürlichen Sohlgestaltung

Die Funktionalität der Fangkammer hängt unter anderem davon ab, ob die Fische in die Fangkammer einwandern und dort schonend verdichtet werden können, bevor die Fangkammer im letzten Schritt flussaufwärts der Wasserkraftanlage entleert wird. Um bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten flussaufwärts zu wandern sind insbesondere die schwimmschwachen Kleinfische, wie bspw. die Groppe, auf Strömungsschatten bietende Deckungen (natürlicherweise große Steine etc.) angewiesen, da deren kritische Schwimmggeschwindigkeit nur zwischen  $0,15$  und  $0,34 \text{ ms}^{-1}$  liegt (PAVLOV 1989, KNAEPKENS et al. 2006). Aus technischen Gründen wird zur Verdichtung jedoch eine weitgehend ebene, künstliche Sohle benötigt. Eine natürliche Sohle bliebe nach Hochwasserereignissen nicht eben, dies ist für eine Verdichtung der Tiere mittels eines Rechens jedoch notwendig. Es würden Erhebungen und Vertiefungen entstehen, so dass Fische unter dem Rechen hindurchschwimmen könnten. Daher musste in einer **ersten Versuchsphase** geprüft werden, in welcher Weise die Sohle in der Anlage so gestaltet werden kann, dass die Fische auch tatsächlich in die Anlage einwandern und die dennoch potentiell geeignet ist, um bodenlebende Fische in der Fangkammer zu verdichten. Dabei wurde davon ausgegangen, dass Gründling, Barbe und Döbel ausreichend schwimmstark sind, um in eine für Gropfen und Schmerlen geeignete Anlage einzuschwimmen. In dieser ersten Versuchsphase beschränkten sich die ethohydraulischen Versuche dementsprechend auf

Schmerlen und Gropfen. Als Referenzwert wurde experimentell die Einwanderung innerhalb von naturnahem Substrat quantifiziert und mit der Einwanderung in eine künstlich gestaltete Sohle verglichen.

### 5.2.2 Phase 2: Test der Verdichtungsvarianten

Nachdem in der ersten Phase die Eignung der Sohlgestaltung bestätigt werden konnte, wurde in einer **zweiten Versuchsphase** geprüft, in welcher Weise die Fische innerhalb der Fangkammer möglichst schonend auf der Strecke hin zum Hebetrog am oberen Ende der Kammer verdichtet werden können. Dabei wurden drei Verdichtungsvarianten untersucht. Bei zwei Varianten wurde ein Kontakt der Anlagenteile mit dem Fisch vermieden. Als potentiell geeignete Maßnahmen wurden zum einen die Vibration des Unterwasserrechens, zum anderen ein Scheuchen mittels vom unteren Ende des Unterwasserrechens ausgestoßenen Wasserstrahlen untersucht. Beide Varianten sollten berührungslos ein Fluchtverhalten der Fische in Richtung Hebetrog auslösen. Die dritte untersuchte Scheuchvariante war der Einsatz weicher Borsten, wobei ein Kontakt der Tiere zum Verscheuchen auf der künstlichen Sohle in Kauf genommen wurde. Auf die in der Projektskizze noch vorgesehene Verscheuchung der Fische durch Lichtblitze wurde verzichtet, weil Erfahrungen aus Vorversuchen weniger effektive und sinnvolle Ergebnisse dieser Variante versprachen.

Auch in dieser Phase wurden die Versuche lediglich mit Schmerlen und Gropfen durchgeführt, unter Verwendung des in der ersten Phase als geeignet bewerteten Sohlentyps. Schmerle und Groppe haben eine solitäre Lebensweise und neigen dazu, sich eher in Spalten im Substrat zu verstecken als im Freiwasser zu fliehen. Diese Verhaltensweise hätte eine Verdichtung erschweren bzw. die Verletzungsgefahr für die Tiere während der Verdichtung drastisch erhöhen können. Darüber hinaus stand bei Gropfen und Schmerlen zu befürchten, dass sie aufgrund ihrer geringen Körpergröße die zum Sperren und Verdichten der Fangkammer genutzten Fischechonrechen (Stabweite 10 mm) passieren können. Das Hauptziel in der zweiten Phase war daher, einen Ausschluss dieser Gefahren durch den Einsatz eines geeigneten Bodensubstrates und einer fischechonenden Maßnahme zur Verdichtung der bodenlebenden Kleinfische zu finden.

### 5.2.3 Phase 3: Test für Freiwasserarten

Nachdem eine geeignete Verfahrensweise zur Verdichtung der bodenlebenden Kleinfische ermittelt wurde, musste in einer **dritten Versuchsphase** nachgewiesen werden, dass jene für die vermeintlich empfindlicheren Fischarten geeignete Sohlgestaltung und das geeignete Verdichtungsverfahren auch für die anderen bodenlebenden und schwarmbildenden Fischarten sowie Freiwasserfischarten geeignet ist. Da die Versuche der ersten beiden Versuchsphasen erst in der zweiten Oktoberhälfte 2018 abgeschlossen werden konnten, wurden die Versuche der dritten Phase im Frühsommer 2019 durchgeführt.

### 5.3 Hydraulische Versuchsbedingungen

Die Durchflüsse in der Versuchsrinne wurden mittels eines induktiven Durchflussmessers durch Einstellen eines Entnahmeschiebers aus dem Hochbehälter eingestellt, wobei durch Auswahl der Pumpen und teilweise durch Regelung der Förderleistung einer Pumpe dafür gesorgt wurde, dass möglichst wenig Wasser ungenutzt im Kreis gefördert wird. Die Pumpen fördern alle in den Hochbehälter, aus dem die benötigten Durchflüsse über Leitungen mit Durchflussmessern und Schiebern abgezogen werden.

Die hydraulischen Bedingungen im Versuchsbereich ergeben sich aus dem Durchfluss, der Querschnittsgeometrie und aus dem von einer Klappe gehaltenen Unterwasserstand.

Im Fangkammerversuch wurde in der Kipprinne nur minimales Gefälle eingestellt, da die Strömung bei den einzustellenden Geschwindigkeiten durch das Wasserspiegelgefälle eingestellt wird. Die Parameter (Neigung und Durchfluss der Kipprinne) wurden so gewählt, dass die hydraulischen Verhältnisse mit den nach eigener Erfahrung zu erwartenden Verhältnissen im Unterwasser einer mittelgroßen Wasserkraftanlage in einem Fluss der Äschenregion vergleichbar wären. Angestrebt wurde dabei eine durchschnittliche Fließgeschwindigkeit von ca.  $0,5 \text{ ms}^{-1}$  in der fließenden Welle und mindestens 20 cm Wassertiefe in den Abschnitten der Untersuchungen. Dies wurde durch einen Durchfluss von  $240 \text{ L s}^{-1}$  bei einer Wassertiefe von 23 cm erreicht, bei der oberflächennah mittlere Wasserströmungen von  $0,515 \text{ ms}^{-1}$  gemessen wurden. Der Neigungswinkel der Rinne und der Durchfluss (und damit auch Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit) wurden für alle Untersuchungen konstant gehalten.

### 5.4 Versuchstiere

Die Tiere, welche bei den Untersuchungen eingesetzt wurden, wurden an verschiedenen Stellen in der Oberen Lahn gefangen. Ein entsprechender Genehmigungsantrag seitens des zuständigen Regierungspräsidiums in Gießen lag vor. Im Vorfeld der Untersuchung wurde die Notwendigkeit eines Tierversuchsantrags mit den zuständigen Behörden des Regierungspräsidiums Kassel erörtert. Dabei fiel die Entscheidung, dass für die Durchführung der Untersuchungen keine Notwendigkeit für einen formalen Tierversuchsantrag bestand.

Die Tiere wurden mittels Elektrobefischung wadend bei Gleichstrom mit einem Elektrofischfanggerät der Marke Bretschneider (EFGI 650) gefangen. Bei dieser sehr schonenden Methode werden die Tiere nur sehr kurz mit elektrischem Strom betäubt und umgehend mit einem Netz in ein temporäres Hälterungsgefäß überführt. Nach Beendigung der Befischung wurden die Tiere, unter Berücksichtigung der maßgeblichen Regelungen zu tiergerechten Fischtransporten, in einen handelsüblichen Fischtransportkontainer umgesetzt, der mittels einer Membranpumpe belüftet wurde. In diesem Transportkontainer wurden die Tiere im PKW zur Wasserbauhalle in Kassel verbracht und dort zusammen mit dem Lahnwasser schonend in größere, ebenfalls belüftete Hälterungsgefäße umgesetzt.

Die Adaption der Tiere an die Wassertemperaturen im Wasser der Kipprinne der Wasserbauhalle (ca. 19 °C) erfolgte schonend über mehrere Stunden, in den meisten Fällen über Nacht durch langsame Angleichung der Wassertemperatur durch die herrschende Raumtemperatur von ca. 20 °C in der Wasserbauhalle. Da die Tiere nicht häufiger als zwei Mal in der Kipprinne schwimmen sollten wurden im Fortgang der Untersuchungen mehrfach frische Tiere aus der Lahn gefangen, die Tiere wurden entsprechend nur so kurz wie möglich vor den Versuchen gehältert. Nach den Versuchen wurden die Tiere unmittelbar auf Verletzungen hin kontrolliert und anschließend 24 Stunden gehältert, um eine verzögerte Mortalität eventuell nicht erkannter Schädigungen auszuschließen. Unmittelbar nach Abschluss ihrer Einsätze bei den Untersuchungen wurden die Tiere am gleichen Ort wieder in die Lahn gesetzt, an dem sie zuvor gefangen worden waren. Bei den Bachschmerlen, Gründlingen und Groppen wurden keine Jungtiere eingesetzt, sondern in aller Regel mehrere Jahre alte Individuen.



## 5.5 Beschreibung der Versuche

### 5.5.1 Sohlgestaltung – Einwanderung von Kleinfischarten in eine künstliche Sohle (Phase 1)

#### 5.5.1.1 Sohlgestaltung

Die Funktionalität der Fangkammer hängt unter anderem davon ab, ob die Fische tatsächlich in die Fangkammer einwandern und dort schonend verdichtet werden können, bevor der Hebetrog im letzten Schritt z.B. in das Oberwasser einer Wasserkraftanlage entleert wird. In jenem Bereich der Fangkammer, in welchem die Verdichtung der Tiere erfolgen soll, ist jedoch aus technischen Gründen (unabhängig von der Verdichtungsvariante) eine grundsätzlich plane, befestigte Sohle erforderlich. Insbesondere die schwimmschwachen Kleinfischarten sind bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten jedoch auf Strömungsschatten bietende Deckungen (natürlicherweise große Steine etc.) angewiesen, um flussaufwärts zu wandern.



**Abb. 5.1: Substrate. Links: künstliche Sohle mit Störsteinen. Rechts: Flusskies zur Simulation einer natürlichen Sohle.**

#### 5.5.1.2 Versuchsdurchführung

Daher musste in einer ersten Versuchsphase geprüft werden, ob Fische in den Bereich einer künstliche Sohle einwandern, welche durch Strömungsschatten bietende Störsteine aufgeraut wurde, aber dennoch den technischen Anforderungen für eine erfolgreiche Durchführung der Scheuchvarianten genügte. Diese künstliche Sohle bestand aus Kacheln, welche mit kleinen Kieseln und größeren Störsteinen beklebt waren (Abbildung 1). Um natürliches Substrat nachzubilden, wurde der Grund der Fließrinne in der Kontrollbehandlung mit natürlichem Flusskies bedeckt.

Um ein möglichst natürliches Verhalten der vornehmlich nachtaktiven Tiere zu gewährleisten (SMYLY 1957, FISCHER 2004, KOBLER et. al 2009), wurden die Versuche bei Dunkelheit unter Verwendung von Rotlicht durchgeführt. Die Tiere einer Versuchsgruppe wurden in einen abgesperrten Bereich (Startkäfig, s. Abbildung 2) unterhalb des Einwanderungsabschnitts eingesetzt und 10 Minuten an die Bedingungen in der Fließrinne (Temperatur, Wasserchemie, Strömung) akklimatisiert. Dieser abgesperrte Bereich war 20 cm lang und mit natürlichem Flusskies bedeckt. Nach der Akklimatisierung wurde die Absperrung zum Einwanderungsabschnitt

entfernt und die Einwanderung der Tiere in diesen Abschnitt über einen Zeitraum von 20 Minuten quantifiziert (Abbildung 3), um die natürlich vorkommenden kleinräumigen Wanderungsbewegungen zu erfassen (KNAEPKENS et al. 2004, KNAEPKENS et al. 2005).

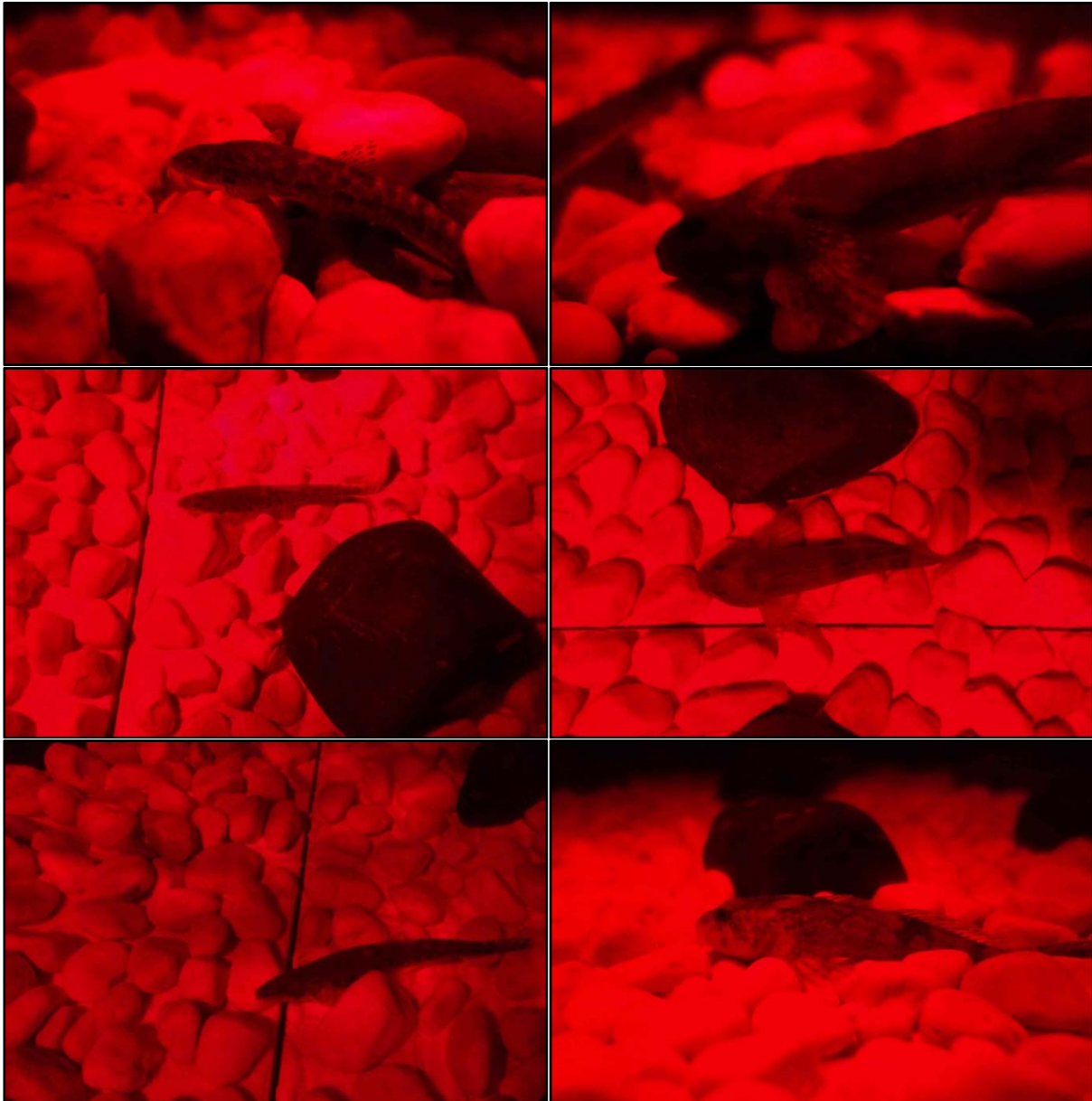


**Abb. 5.2: Startkäfig mit Schmerlen und Groppen für Migrationsversuche von natürlicher Sohle auf natürlicher Sohle und von natürlicher auf künstliche Sohle.**

Aufgrund der Gefährdung und des besonderen Schutzstatus der Groppe wurde entschieden, die Anzahl eingesetzter Groppen für die Untersuchungen im Vergleich zu den ungefährdeten, verbreiteten und häufigen Bachschmerle zu halbieren. Die Gruppengröße der Versuchsgruppen lag entsprechend bei 20 Schmerlen bzw. 10 Groppen. Jede Variante des Versuchs wurde mit jeder Fischart sechsmal wiederholt.

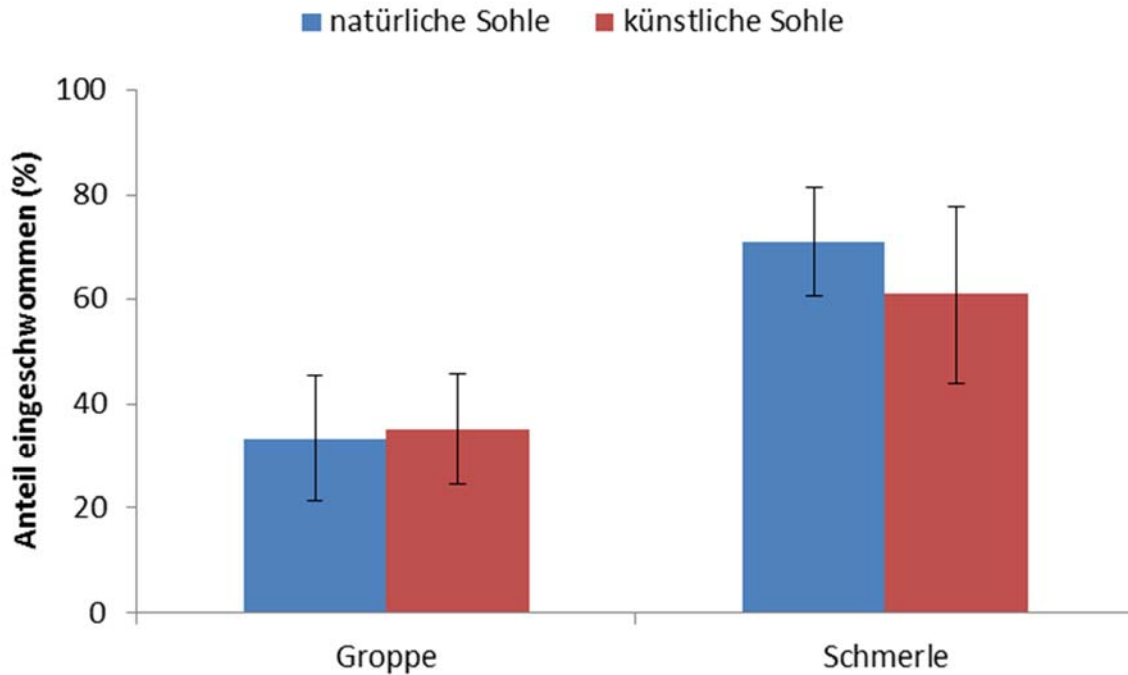
#### 5.5.1.3 Ergebnisse zu Phase 1

Bei den Groppen bestand kein deutlicher Unterschied in der Einwanderungshäufigkeit zwischen beiden Sohlvarianten, in 20 Minuten wechselten 33,3 % der Tiere innerhalb des natürlichen Substrats in den Einwanderungsbereich, bei künstlichem Substrat waren es 35,0 % der Tiere (Abbildung 4). Bei den bewegungsfreudigeren Schmerlen hingegen bestand nur eine leichte Bevorzugung des natürlichen Substrats, in 20 Minuten wechselten 70,1 % der Schmerlen in den mit Flusskies bedeckten Einwanderungsbereich, während es bei künstlichem Substrat 60,1 % waren.



**Abb. 5.3: Einwanderung in die Varianten der Substrate. Oben links: Groppe in künstlicher Sohle mit Störsteinen. Oben rechts: Schmerle in Flusskies zur Simulation einer natürlichen Sohle. Mitte links und Unten links: Schmerle auf künstlicher Sohle. Mitte Rechts und Unten rechts: Groppe auf künstlicher Sohle.**

Grundsätzlich erwies sich die künstliche Sohle somit als sehr gut geeignet für eine unbehinderte Einwanderung der Fische in die Kammer. Sie wurde von beiden Fischarten angenommen und die Einwanderung fand in einer vergleichbaren Größenordnung statt wie innerhalb des natürlichen Flusskieses.



**Abb. 5.4:** Anteil der Gropen und Schmerlen, welche aus dem Bereich der natürlichen Sohle stromaufwärts in einen verschieden gestalteten Sohlbereich eingewandert sind (jeweils 6 Versuchsdurchgänge). Fehlerbalken = Standardabweichung (Stichprobe).

## 5.5.2 Vergleich der Scheuchvarianten zur Verdichtung der Kleinfischarten in der Fangkammer (Phase 2)

### 5.5.2.1 Vorbemerkung

Nachdem in der ersten Phase die Eignung der Sohlgestaltung nachgewiesen wurde, musste in einer zweiten Phase geprüft werden, in welcher Weise die Fische innerhalb der Fangkammer möglichst schonend verdichtet werden können. Dabei wurden drei unterschiedliche Scheuchvarianten getestet und hinsichtlich ihrer effektiven Scheuwirkung und Fischfreundlichkeit verglichen.

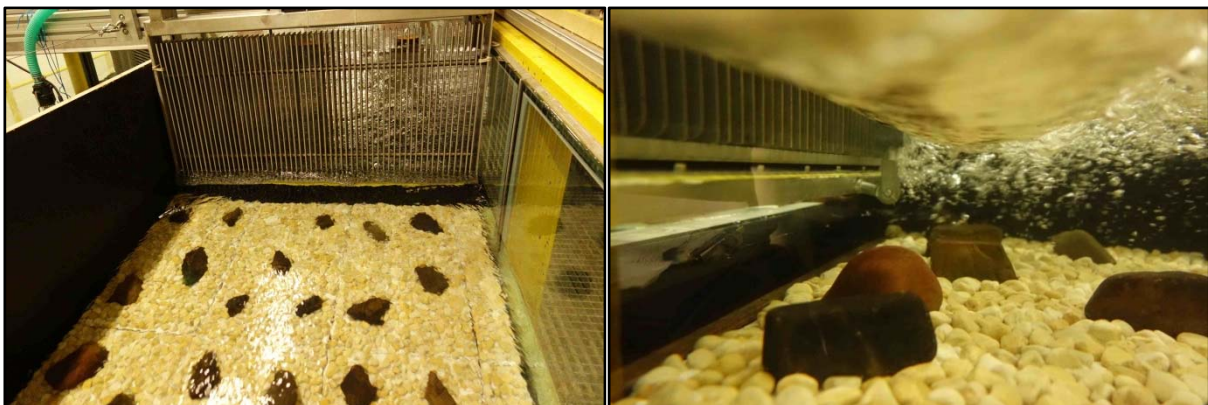
### 5.5.2.2 Versuchsdurchführung

Die schonendste und fischfreundlichste Art der Verdichtung wäre dabei, jeglichen Kontakt der Anlagenteile mit den Fischen zu vermeiden und stattdessen durch geeignete andere Maßnahmen ein Fluchtverhalten der Fische auszulösen, welches zur Sammlung der Fische im Hebetrog führt. Dazu wurde in einer Variante ein mit Löchern versehenes Rohr am unteren Rand des Verschieberechens befestigt, in welches Wasser gepumpt wurde, so dass über die gesamte Breite des Rechens Wasserstrahlen aus dem Rohr spritzten (Abbildung 5). In einer zweiten berührungsfreien Variante wurde ein vibrierender Aluwinkel (Maße 20 x 30 x 3 mm) am Unterrand des Verschieberechens befestigt, um die Tiere durch die Vibration zu scheuchen (Abbildung 6). Die dritte getestete Variante war die Vertreibung der Tiere mittels am Unterrand des Schieberechens angebrachte, weiche Kunststoffborsten, also unter Inkaufnahme

mechanischen Kontakts (Abbildung 7). Alle Tiere wurden nach den Versuchen auf etwaige Verletzungen untersucht und darüber hinaus weitere 24 Stunden nach dem Versuch gehältert, um Spätfolgen abschätzen zu können.



**Abb. 5.5: Scheuchvariante Wasserstrahl. Oben links: Zulaufschlauch für Wasserstrahl am Rechen. Oben rechts: Austretende Wasserstrahlen. Unten links: gescheuchte Schmerle unter Einfluss des Wasserstrahls. Unten rechts: gescheuchte Groppe unter dem Einfluss des Wasserstrahls.**





**Abb. 5.6: Scheuchvariante Vibration. Oben links: Aluwinkel unter Schieberechen. Oben rechts: Vibration des Winkels. Unten links: gescheuchte Schmerle unter dem Einfluss der Vibration. Unten rechts: gescheuchte Groppe unter Einfluss der Vibration**



**Abb. 5.7: Scheuchvariante Borsten. Links: Kunststoffborsten unter Schieberechen. Rechts: gescheuchte Groppen unter dem Einfluss der Borsten.**

Die Tiere wurden dabei in den Bereich vor der dem beweglichen Schieberechen eingesetzt und mussten nicht erst einwandern, so dass auf eine Abdunkelung der Halle verzichtet werden konnte. Auch in dieser Phase wurden die Versuche lediglich mit Schmerlen und Groppen durchgeführt. Diese beiden Arten haben eine solitäre Lebensweise und neigen dazu, sich eher in Spalten im Substrat zu verstecken als im Freiwasser zu fliehen. Diese Verhaltensweise erschwert eine Verdichtung durch Scheuchung bzw. könnte die Verletzungsgefahr für die Tiere während der Verdichtung drastisch erhöhen. Es wurde davon ausgegangen, dass eine Anlage, welche sich bezüglich der Groppe und Schmerle als funktionell und fischfreundlich erweist, auch ein geringes Risiko für andere Fischarten bietet.

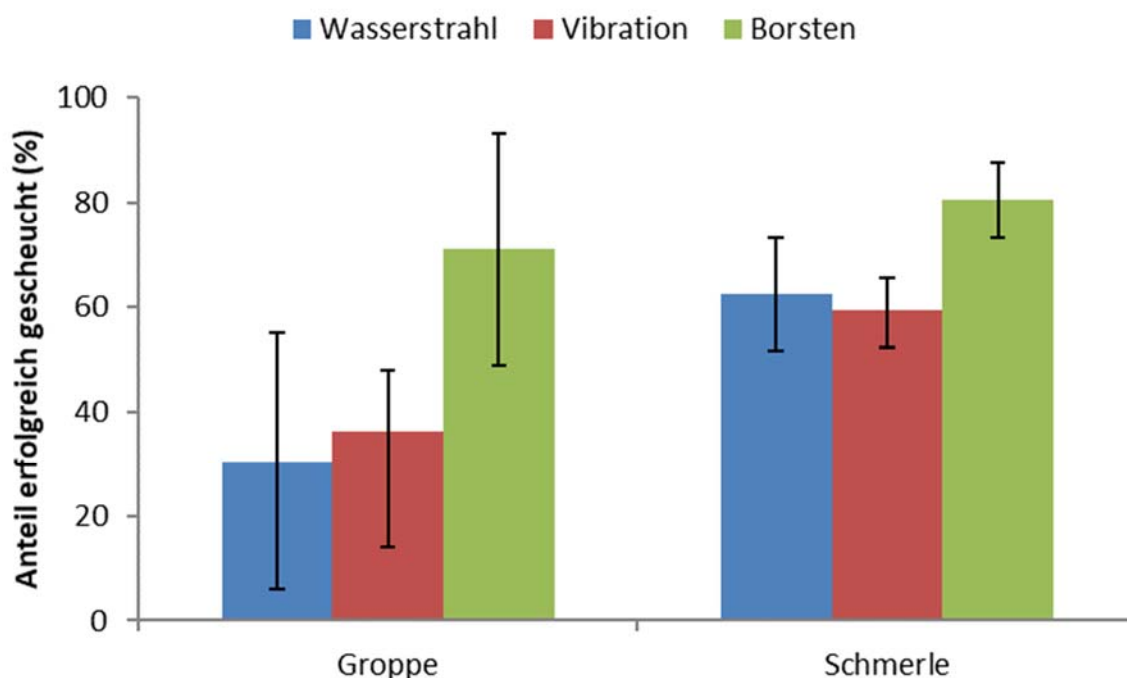
Wie in der ersten Versuchsphase wurden die Tiere in Gruppen eingesetzt und in einem abgesperrten Bereich (Adaptionskäfig) für 10 Minuten an die Verhältnisse in der Fließrinne akklimatisiert. Anschließend wurde die Absperrung entfernt und der mit der jeweils zu testenden Scheuchvariante beschickte Schieberechen langsam in einer standardisierten Geschwindigkeit von  $3 \text{ cm s}^{-1}$  über die Versuchsstrecke von 2,00 m zum Hebetrog hin verschoben. Dabei wurden sowohl alle klar erkennbaren unmittelbaren Scheuchungsereignisse und Kontakte mit der Scheuchvorrichtung als auch alle Schieberechenpassagen quantifiziert. Die Versuchsgruppen

umfassten 20 Schmerlen und 10 Gropen, die Versuche wurden für jede Scheuchvariante sechsmal wiederholt.

### 5.5.2.3 Ergebnisse zu Phase 2

Insgesamt war die Scheuchung mittels Borsten bei beiden Fischarten die effektivste Variante, es wurden sowohl die wenigsten Passagen des Schieberechens ins Unterwasser beobachtet als auch die meisten klar erkennbaren Scheuchereignisse. Durchschnittlich passierten 29,1 % der Gropen und 19,5 % der Schmerlen die Borsten. Im Gegensatz dazu passierten mit 63,9 % der Gropen und 40,6 % der Schmerlen den Rechen bei Vibrationsanwendung und bei Anwendung des Wasserstrahls mit 69,6 % der Gropen und 37,6 % der Schmerlen wesentlich mehr Tiere den Unterwasserrechen.

Die trägeren Gropen wurden auf der Strecke vom Unterwasserrechen bis zum Hebetrog durchschnittlich 13,5 mal von den Borsten verscheucht, während bei den agileren Schmerlen 13,7 Scheuchungen (bei der doppelten Anzahl an Tieren) durch Borsten beobachtet wurden. Diese Beobachtungen wurden bei den Gropen für die berührungslosen Varianten deutlich seltener gemacht (durchschnittlich 7,7 bei Vibrationsanwendung und nur 5,7 bei Wasserstrahlscheuchung), bei den Schmerlen war die Verwendung des Wasserstrahls ähnlich effektiv wie die Borstenanwendung (durchschnittlich 12,8 beobachtete Scheuchungen), während die Vibrationen klar geringere Scheuchwirkung aufwiesen (durchschnittlich 10,2 Beobachtungen).



**Abb. 5.8:** Anteil der durch die drei Scheuchvarianten erfolgreich gescheuchten Gropen und Schmerlen (jeweils 6 Versuchsdurchgänge). Fehlerbalken = Standardabweichung (Stichprobe).

Nach Versuchsende befanden sich durchschnittlich 70,9 % der Gropen und 80,5 % der Schmerlen im Hebetrog, wenn sie mit Borsten gescheucht wurden. Bei Vibrationsanwendung waren es hingegen durchschnittlich nur 36,1 % der Gropen und 59,4 % der Schmerlen, bei

Wasserstrahlscheuchung durchschnittlich nur 30,4 % der Groppen und 62,4 % der Schmerlen (Abbildung 8). Allerdings war nahezu jede Scheuchung mittels Borsten mit einem direkten Kontakt der Tiere mit der Anlage verbunden, während dies bei den anderen beiden Varianten nicht beobachtet wurde. Negative Auswirkungen dieser Kontakte wurden weder direkt nach dem Versuch noch nach der 24 Stunden Hälterung nachgewiesen. Ebenso wenig war dies bei den berührungslosen Scheuchvarianten der Fall.

Insgesamt erwies sich somit die Scheuchung mittels Borsten eindeutig als die effektivste Variante, während die berührungslosen Varianten insbesondere bei der Groppe geringere Scheuchwirkungen aufwiesen.

### **5.5.3 Validierung der Ergebnisse zur Verdichtung bodenlebender Fischarten und einer Freiwasserart in der Fangkammer (Phase 3)**

#### 5.5.3.1 Zielsetzung

Nachdem in der zweiten Phase die am besten geeignete Verfahrensweise zur Verdichtung der bodenlebenden Kleinfische ermittelt wurde, musste in einer dritten Phase geprüft werden, ob jene für die vermeintlich empfindlicheren Fischarten geeignete Sohlgestaltung und das geeignete Verdichtungsverfahren auch für die anderen bodenlebenden und schwarmbildenden Fischarten sowie Freiwasserfischarten geeignet waren. Dazu wurde zum einen der in Kap. 2.3.2 dargestellte Versuch mit der Scheuchvariante mittels Borsten mit den anderen Fischarten wiederholt, zum anderen wurde mit diesen Fischarten ein Versuch durchgeführt, in dem eine vollständige Sequenz der Einschwimm- und Verdichtungsphase durchgeführt wurde (Kap. 2.3.4).

#### 5.5.3.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch zur Validierung der erfolgreichen Scheuchung mittels Borsten wurde durch das Einsetzen einer gemischten Versuchsgruppe in den Bereich der künstlichen Sohle (mittig zwischen Hinterende des Hebetrogs und Unterwasserrechen) und anschließende Verdichtung durchgeführt. Die gemischte Versuchsgruppe bestand aus drei Döbeln, drei Barben und sieben Gründlingen. Der Versuch wurde insgesamt sechsmal durchgeführt. Während der Verdichtung wurden offensichtliche Scheuchungsreaktionen und Passagen des Borstenkamms für jede Fischart aufgenommen. Tiere, die zu Beginn der Verdichtung bereits in den Trog eingeschwommen waren (insgesamt 1 Gründling) bzw. durch die Borsten stromabwärts geflohen waren (insgesamt 3 Döbel und 2 Barben) wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

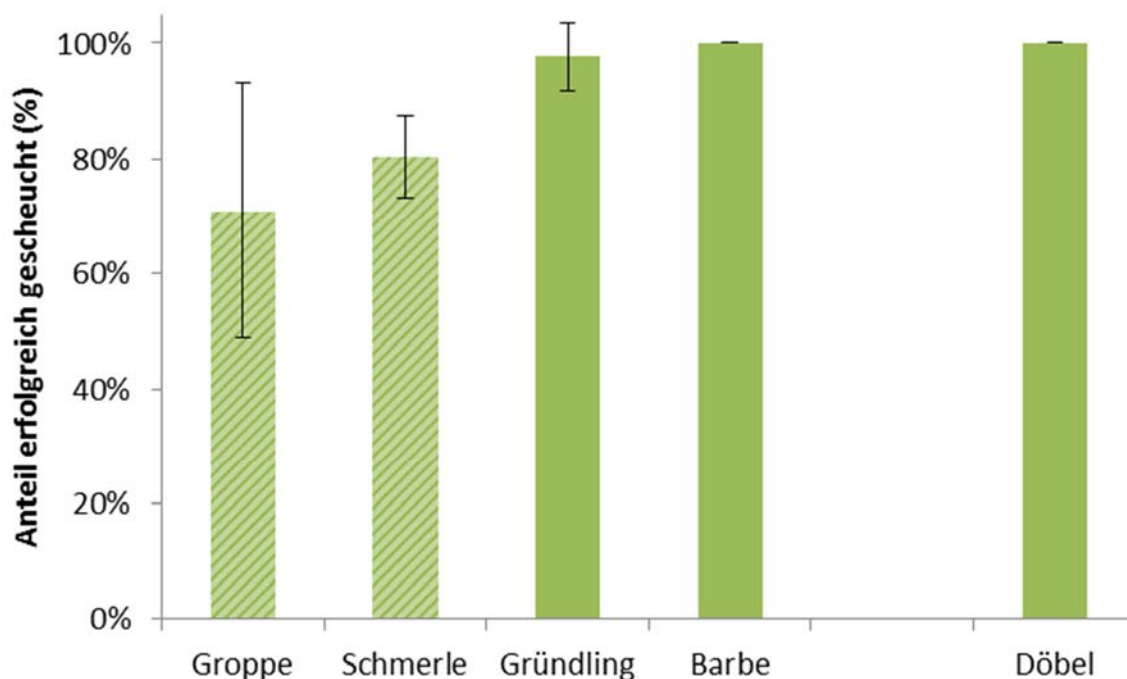
#### 5.5.3.3 Ergebnisse zu Phase 3

Es bestätigte sich die Erwartung, dass sich sowohl bodennah lebende Fische mit Schwarm- und Fluchtverhalten als auch im Freiwasser lebende Arten leichter verdichten ließen als die solitär lebenden Groppen und Schmerlen, welche das Verstecken der Flucht bei Störung vorziehen. Es konnten alle Barben (100 %) und Döbel (100 %) erfolgreich verdichtet und in den



Bereich des Hebetroges gescheucht werden. Im Falle der Gründlinge passierten zwei Tiere den Borstenkamm stromabwärts (einer dieser beiden Gründlinge passierte den Borstenkamm jedoch nochmals stromaufwärts und konnte somit erfolgreich in den Hebetrog gescheucht werden), insgesamt wurden somit 76 von 77 Tieren erfolgreich verdichtet (98,7 %) (Abbildung 9). Wie auch schon zuvor bei den Groppen und Schmerlen bestätigte sich der Befund, dass keines der Tiere bei der Scheuchung verletzt wurde.

Auffällig war die unterschiedliche Fluchtreaktion der Fischarten auf die Borsten (Abbildung 10). Die Freiwasserart Döbel hielt Abstand zu dem mit Borsten bewehrten Unterwasserrechen, so dass insgesamt nur sechs eindeutig auf die Bewegung des Rechens zurückführbare Fluchtbewegungen registriert wurden (dabei keine Berührung). Dies entspricht einer Scheuchfrequenz von 0,40 Scheuchungen je Tier im Versuch (Abbildung 11). Barben wurden hingegen durchschnittlich 1,81 mal gescheucht, wobei die Scheuchung in 93,1 % der Fälle auch mit einer Berührung einherging. Gründlinge nahmen in ihrem Verhalten eine Intermediärposition ein und wurden je Tier durchschnittlich 1,02 mal gescheucht, wobei nur in 40,5 % der Fälle auch eine Berührung der Bürsten erfolgte. Im vorangegangenen Versuch mit Groppen und Schmerlen ging einer Scheuchungsreaktion stets auch mit einer Berührung einher (100 %, Abbildung 12).



**Abb. 5.9: Anteil der mittels Borsten erfolgreich gescheuchten Fische nach Fischarten (jeweils 6 Versuchsdurchgänge). Die Daten zu Groppen und Schmerlen entstammen dem Versuch in Kap. 2.3.2. Fehlerbalken = Standardabweichung (Stichprobe).**

Die Ergebnisse der Verdichtungsversuche zeigten insgesamt, dass sich sowohl Freiwasserarten als auch schwarmbildende und solitär lebende Bodenfische, trotz deutlicher Verhaltensunterschiede zwischen den Arten, erfolgreich und schonend mittels eines Borstenkamms von einer künstlichen Sohle in den Hebetrog scheuchen ließen. Eine Beobachtung muss im

Zusammenhang mit den Verdichtungsversuchen jedoch herausgestellt werden, die offensichtliche Bedeutung der „Lockwirkung“ des Hebetrogs. Dadurch, dass dieser in der Einschwimm- und Verdichtungsphase in den Grund abgesenkt ist entsteht ein strömungsberuhigter Raum hinter dem Oberwasserrechen, der sich zumindest zeitweise als attraktiv für die Fische aller fünf untersuchten Arten erwies. Ein Teil der Wechsel der Tiere aus dem Bereich der künstlichen Sohle in den Hebetrog hinein war dieser Attraktivität geschuldet und nicht auf die Scheuchung der Tiere zurückzuführen. Der Beitrag dieser „Lockwirkung“ ließ sich im Rahmen der durchgeführten Verdichtungsversuche jedoch nicht quantifizieren, da die Bewegungsmotivation der Tiere (abgesehen von eindeutigen Scheuchungsreaktionen) nicht klar zugeordnet werden kann und es bei Schwarmtieren naturgemäß auch zu ausgeprägten wechselseitigen Reaktionen der Tiere kommt. Bei den Verdichtungsversuchen zu Schmerlen und Groppen schwammen 8,9 % der Schmerlen und 3,9 % der Groppen in dem nur wenige Sekunden andauernden Zeitfenster zwischen dem Heben des Adaptionkäfigs und dem Start der Verdichtung in den Hebetrog ein.



**Abb. 5.10:** Oben links: Durchwandern der künstlichen Sohle in Fangkammer ohne Scheuchwirkung des Unterwasserrechens. Oben rechts: Döbel hält Abstand von Borsten. Unten links: Barbe wird von Borsten berührt und gescheucht. Unten rechts: Gründling wird von Borsten ohne Berührung gescheucht.

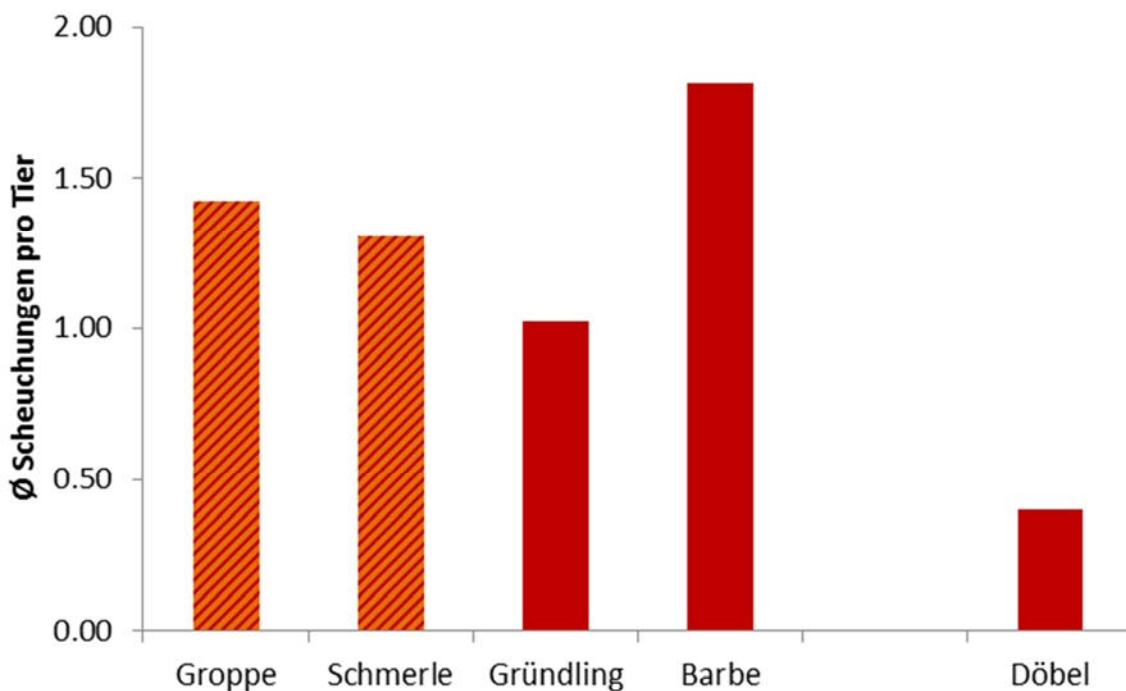


Abb. 5.11: Durchschnittliche Anzahl der auf die Verdichtung zurückzuführenden Scheuchreaktionen je Individuum nach Fischarten (jeweils 6 Versuchsdurchgänge). Die Daten zu Gropfen und Schmerlen entstammen dem Versuch in Kap. 2.3.2.

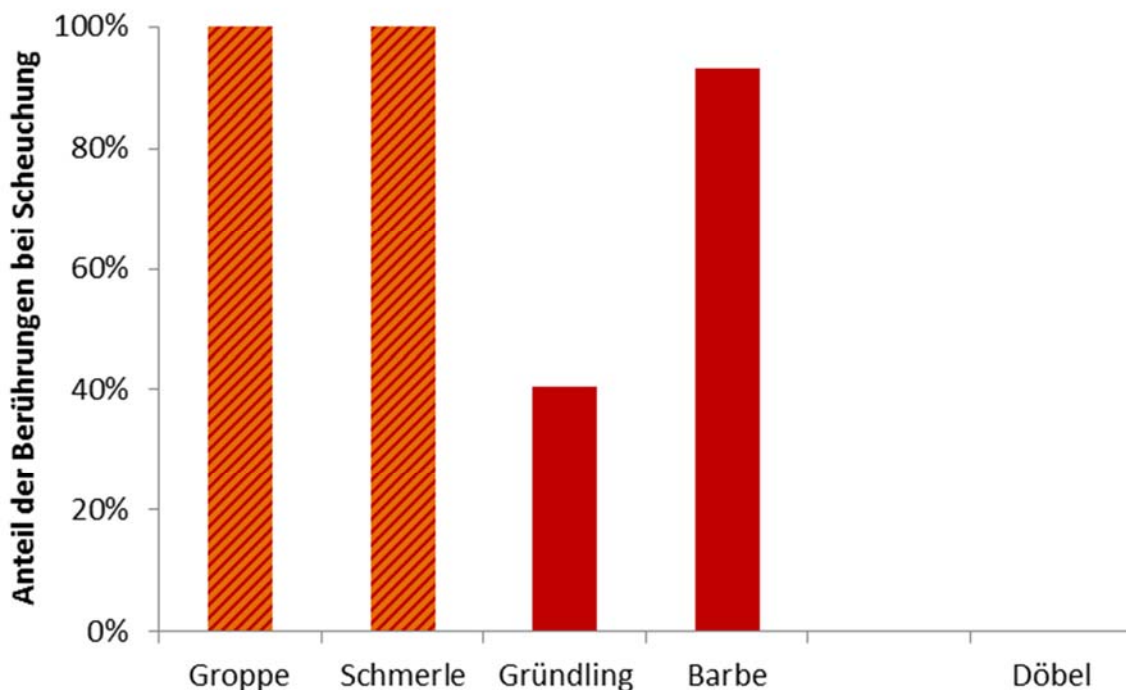


Abb. 5.12: Anteil der Berührungen durch Borsten beim Hervorrufen einer Scheureaktion nach Fischarten (jeweils 6 Versuchsdurchgänge). Döbel wurden nicht berührt. Die Daten zu Gropfen und Schmerlen entstammen dem Versuch in Kap. 2.3.2. Fehlerbalken = Standardabweichung (Stichprobe).

## 5.5.4 Durchführung der Sequenzen Einschwimm- und Verdichtungsphase

### 5.5.4.1 Zielsetzung

In einem abschließenden Versuch wurde ein Teil des Betriebszyklus (die Sequenzen der Einschwimm- und Verdichtungsphase) mit Gründlingen, Barben und Döbeln in der vorgesehenen Abfolge und Geschwindigkeit auf Effektivität und Fischfreundlichkeit hin untersucht.

### 5.5.4.2 Versuchsdurchführung

Es wurde eine gemischte Gruppe von Tieren (14 Gründlinge, sechs Barben und sechs Döbel) in das Unterwasser der geöffneten Fangkammer in einen Bereich mit einer naturähnlichen Sohle eingesetzt und deren Verhalten für 15 Minuten beobachtet. Dieser Bereich im Unterwasser wurde dabei stromaufwärts von einem horizontalen, schräg gestellten Leitreechen begrenzt, welcher sich von der Wand der Fließrinne zum Eingang der Fangkammer erstreckte. Neben dem Aufenthaltsort der Fische sollten Scheuchungen und Berührungen der Tiere durch die Absenkung des Unterwasserreechen und die Verdichtung erfasst werden (Abbildung 13).

In fünfminütigen Intervallen wurde der Aufenthaltsort aller Tiere in den Kategorien „im Bereich vor dem Leitreechen“, „im Bereich der künstlichen Sohle“ (Verdichtungsbereich der Fangkammer) und „im Hebetrog“ erfasst. Nach Ablauf der Einschwimmphase wurde der Unterwasserreechen abgesenkt und die Verdichtung durchgeführt. Schließlich wurden die erfolgreich im Hebetrog gesammelten Tiere erfasst. Dieser Versuch wurde insgesamt sechsmal wiederholt (Abbildung 5.13).



**Abb. 5.13: Betriebszustände. Oben links: Abgesenkter Unterwasserrechen für Beginn Verdichtung Fisch ein der Fangkammer. Oben rechts: Unterwasserrechen am Ende der künstlichen Sohle. Im Vordergrund Leitrechen. Unten links: Hebetrog am Ende der künstlichen Sohle: Unten rechts: Hebetrog beim Aufwärtsfahren. Seitlich Fangkorb für Fische aus dem Hebetrog.**

#### 5.5.4.3 Ergebnisse

Es konnten Tiere aller drei Fischarten erfolgreich im Hebetrog gesammelt werden, durchschnittlich 36,1 % der Barben, 47,6 % der Gründlinge und 58,3 % der Döbel (Abbildung 15). Die Ergebnisse variierten zwischen den Versuchsdurchgängen erheblich, da die Tiere sich durch ihr Schwarmverhalten (intraspezifisch und interspezifisch) nicht unabhängig voneinander bewegten. Bei jeder der drei Fischarten wurde jedoch nur in jeweils einem der sechs Versuchsdurchgänge kein Individuum im Hebetrog gesammelt.

Weder beim Absenken des Unterwasserrechens noch bei der Verdichtung innerhalb der Fangkammer wurden an den Tieren Verletzungen hervorgerufen. Insgesamt kam es im gesamten Versuchsablauf zu keiner Berührung der beweglichen Teile der Anlage durch Fische. Dies war dem Umstand geschuldet, dass sich nach 15 Minuten in allen Versuchsdurchgängen keinerlei Tiere im Verdichtungsbereich der Fangkammer aufhielten und sie somit auch nicht verdichtet werden mussten (Abbildungen 16, 17, 18). Die Tiere wanderten teilweise in den Bereich der Fangkammer mit der künstlichen Sohle ein, hielten sich dort aber nicht lange auf, sondern zogen entweder weiter in den strömungsberuhigten Bereich des Hebetroges oder zurück in den Bereich hinter dem Leitrechen. Lediglich in den ersten Minuten nach dem Einsetzen der Tiere, in der ersten Erkundungs- und Adaptionsphase, hielten sich die Tiere länger im Verdichtungsbereich auf. Später wurde dieser Bereich lediglich durchschwommen (manche Individuen wechselten, z.T. mehrfach, zwischen Leitrechenbereich und Hebetrog).



**Abb. 5.14: Schwimmverhalten. Oben rechts und links: Fische schwimmen entlang des Leitrechens in den Kanal Richtung Fangkammer. Mitte links und rechts: Fische im Bereich natürlicher Sohle vor Fangkammer links. Unten links: Fische vor Fangkammer. Unten rechts: Fische passieren hochgezogenen Unterwasserrechen und schwimmen in Fangkammer ein.**

Nach der Verdichtungsphase entsprach der Anteil gesammelter Tiere demnach dem Anteil der Tiere, die in der Einschwimmphase in den Hebetrog eingeschwommen waren. Diese bereits im Trog befindlichen Tiere ließen sich durch den borstenbewehrten Unterwasserrechen nicht beunruhigen und versuchten auch bei Herannahen des Rechens nicht, durch den Oberwasserrechen oder den Borstenkamm zu fliehen. Daher konnte bei diesem Versuch die in den anderen Teilversuchen bereits nachgewiesene Fischfreundlichkeit der Fangkammer nochmals bestätigt werden.

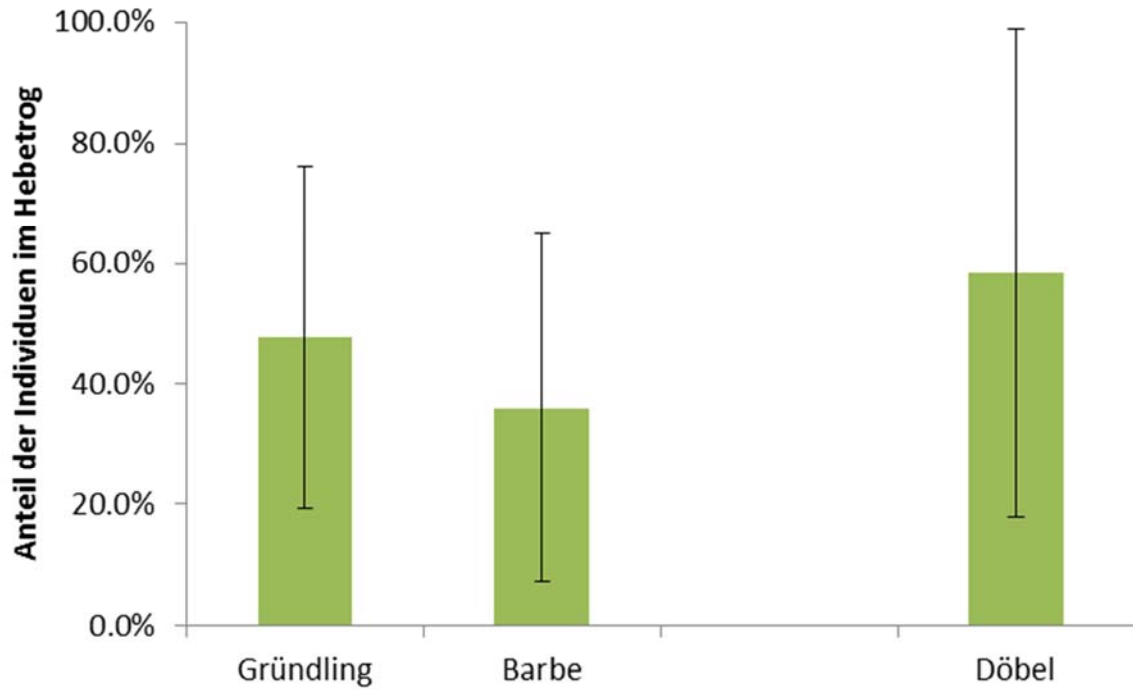


Abb. 5.15: Anteile der im Unterwasser eingesetzten Fische, die nach 15 Minuten Einschwimmphase und anschließender Verdichtung im Hebetrog gesammelt waren (6 Versuchsdurchgänge). Fehlerbalken = Standardabweichung (Stichprobe).

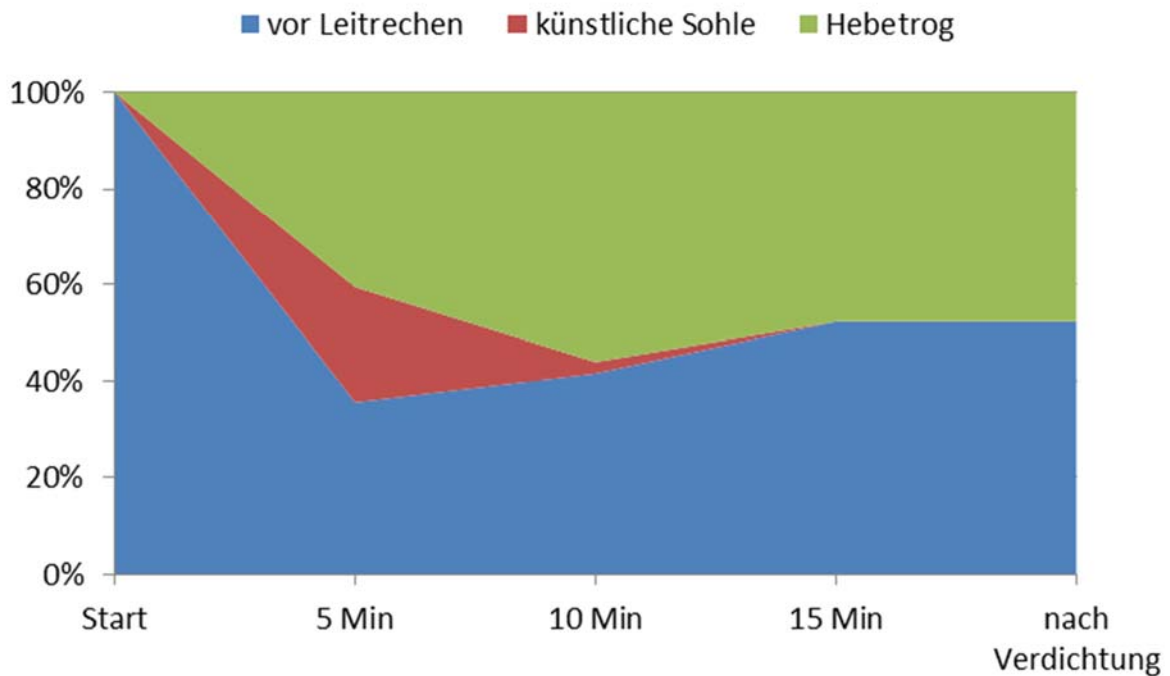


Abb. 5.16: Aufenthaltsorte von Gründlingen in 5-Minuten-Intervallen während der Einschwimmphase (im Versuch 15 Minuten) und nach der anschließenden Verdichtung (jeweils 6 Versuchsdurchgänge).

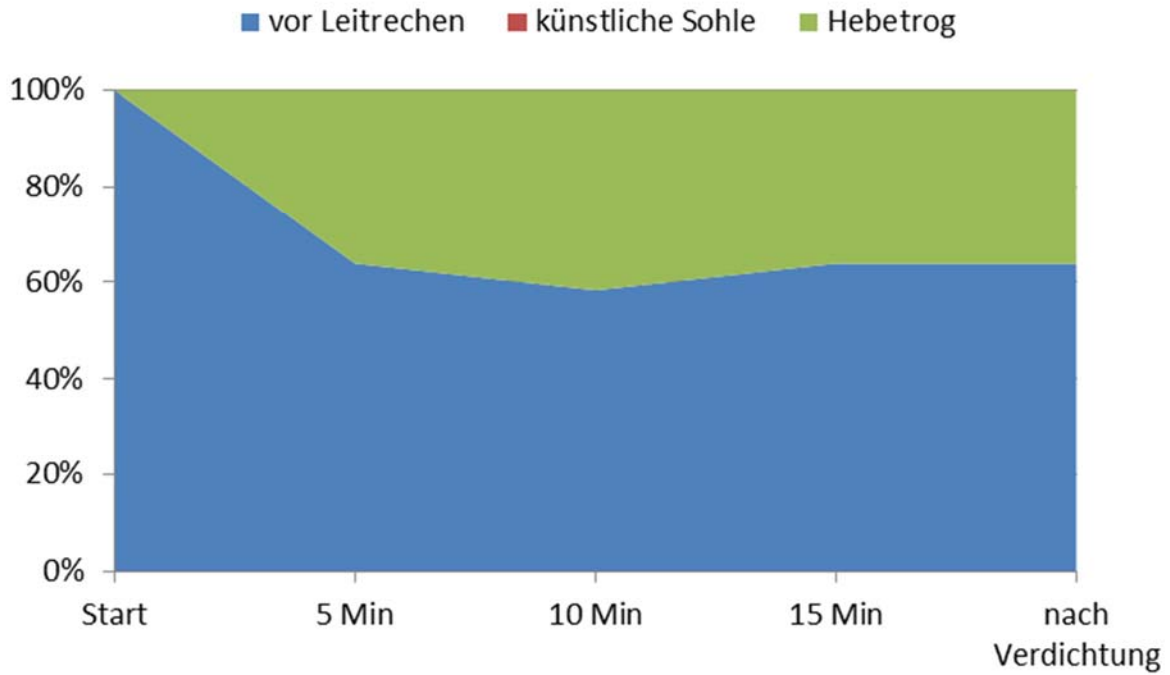


Abb. 5.17: Aufenthaltsorte von Barben in 5-Minuten-Intervallen während der Einschwimmphase (im Versuch 15 Minuten) und nach der anschließenden Verdichtung (jeweils 6 Versuchsdurchgänge).

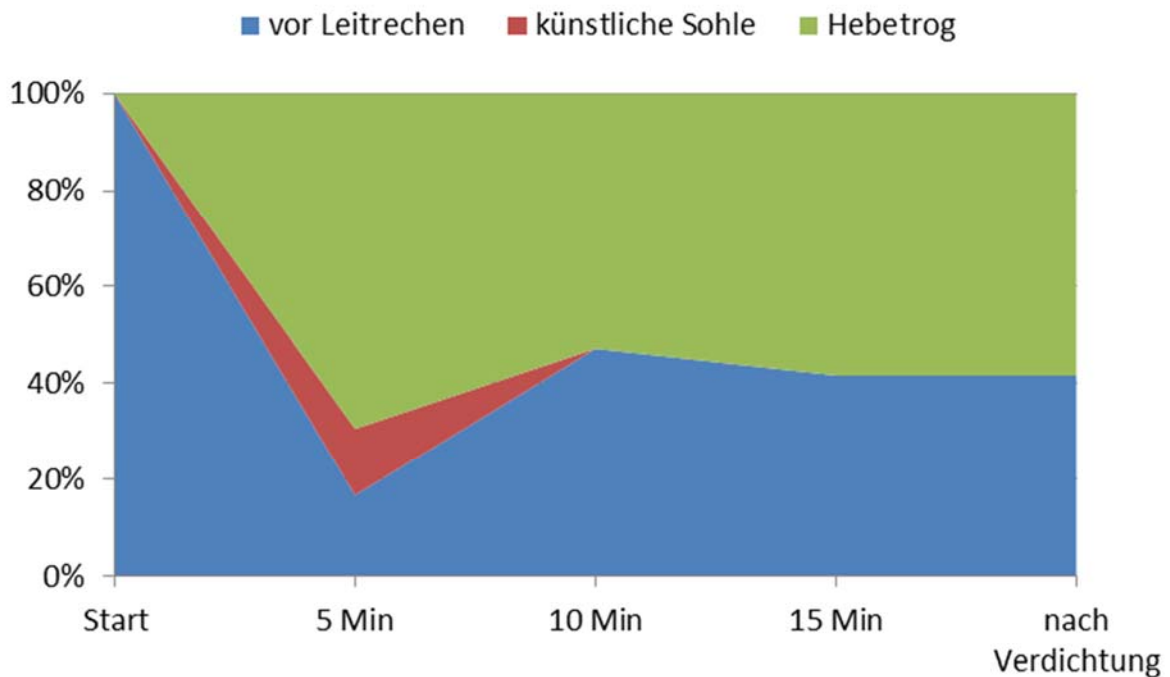
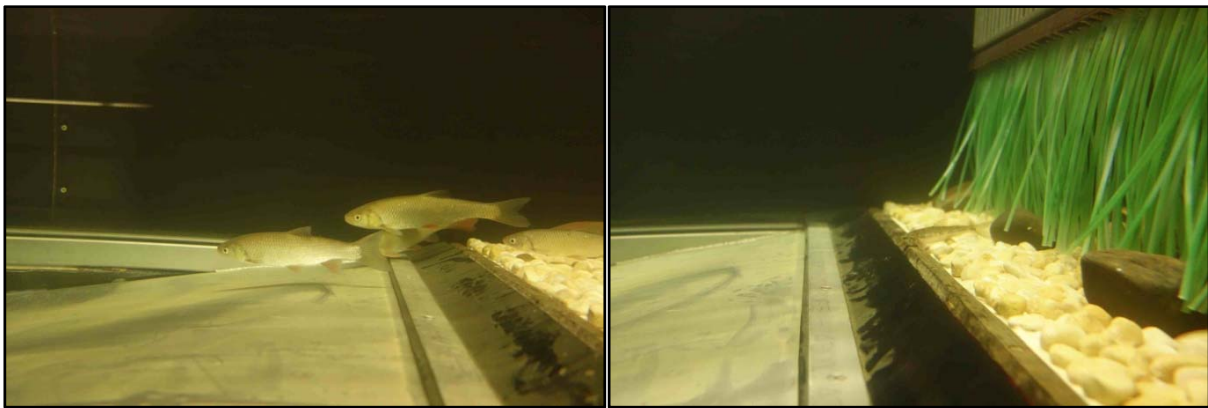


Abb. 5.18: Aufenthaltsorte von Döbeln in 5-Minuten-Intervallen während der Einschwimmphase (im Versuch 15 Minuten) und nach der anschließenden Verdichtung (jeweils 6 Versuchsdurchgänge).



### 5.5.5 Verhalten der Fische im Hebetrog:

Wie oben beschrieben war der Hebetrog aufgrund seiner verhältnismäßig geringen Strömungsgeschwindigkeiten gegenüber dem restlichen Strömungskanal ein beliebter Aufenthaltsort der Fische (Abbildung 19). Die meisten Tiere verhielten sich ruhig und suchten unterhalb der Streben im Trog Deckung von oben. Unruhe bei den Tieren war erst beim Anheben des Troges zu beobachten (Abbildung 20). Besonders kurz bevor der Hebetrog oberhalb der Wasseroberfläche gehoben wurde und die Strömung von oben konzentriert in den Trog floss versuchten vereinzelt einige Gründlinge sich durch die Lücken des Oberwasserrechens zu drängen. Dadurch bestand potentiell eine Verletzungsgefahr. Allerdings konnten bei den Versuchstieren keine Verletzungen festgestellt werden und es traten auch in der Nachhälterung keine Schäden auf.



**Abb. 5.19:** Links: Einwandern von Döbeln in den Hebetrog ohne Scheuchwirkung des Unterwasserrechens. Rechts: Einwandern eines Gründling mittels Scheuchwirkung der Borsten am Unterwasserrechen.

Außerdem wurde beobachtet, dass vereinzelt Groppen und Schmerlen am Rand des Hebetroges auf der Gummilippe liegenblieben und dadurch bei der Auffahrt kurzzeitig trocken lagen. Auch hier besteht Verbesserungsbedarf in der Konstruktion, obwohl die Versuchstiere dabei nicht geschädigt wurden. Die Phase einer für die Fische gefahrlosen Entleerung des Troges in eine Oberwasserrinne oder einen Behälter konnte im Labor nicht untersucht werden und muss in Folgeuntersuchungen an einer Freilandanlage geprüft werden.

**Abb. 5.20 (nächste Seite):** Fischverhalten im Bereich des Hebetroges. Oben links: Fische im Hebetrog. Oben rechts: Fische suchen Deckung von Oben im Trog. Mitte links bis unten rechts: Gründlinge versuchen beim Heben des Troges über Wasseroberfläche den Oberwasserrechen zu durchschwimmen. Unten rechts: Schmerle nach Heben des Troges über Wasseroberfläche auf Gummilippe am Rand des Troges trockengefallen.



Abb. 5.20: Erläuterung siehe Vorseite

## 6 Erkundung und Vermessung eines Pilotstandortes

### 6.1 Einführung

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Laboruntersuchungen zeigt sich, dass das Prinzip der Fangkammer funktioniert, indem Fische schnell und sicher verdichtet, aus dem Gewässer heraus geschöpft und an anderer Stelle wieder eingesetzt werden können. Zum endgültigen Nachweis der Funktionsfähigkeit der Fangkammer muss sie allerdings unter realen Bedingungen getestet werden. Hierzu soll eine Pilotanlage entwickelt und unterhalb eines kleinen Wasserkraftwerks installiert werden. Ein Standort hierfür ist schon vorgesehen: an der Schmaleicher Mühle in Rauschenberg an der Wohra (Oberhessen). Die Besonderheit am gewählten Standort besteht darin, dass dort eine neue Fischaufstiegsanlage herkömmlicher Bauweise als sog. Schlitzpass nach dem aktuellen Stand der Technik als Umgehungsgerinne um die Stauanlage und das Kraftwerk herum errichtet wird. Eine fischbiologische Untersuchung beider Anlagen ermöglicht damit den unmittelbaren Vergleich der Funktionalität einer Aufstiegsanlage herkömmlicher Bauart mit jener der neuartigen Fangkammer.

Die geplante Fischaufstiegsanlage soll am linken Ufer des Mühlgrabens errichtet werden und ca. 6 m unterhalb des Wehrkörpers in den Unterwassergraben münden. Die Position der Fangkammer im Unterwassergraben muss daher so weit vom Schlitzpass entfernt gewählt werden, dass mögliche Konflikte sowohl während der Bauphase als auch im Betrieb vermieden werden.

### 6.2 Standortdaten

#### Abmessungen des Unterwassergrabens

– Länge	ca. 245 m,
davon Unterwasser	ca. 100 m
– Breite (Sohle)	ca. 4,0 – 5,80 m,
am möglichen Einbaubereich f. die Fangkammer	ca. 5,30 m

#### Wasserkraftwerk

– mittlere Fallhöhe am Wehr	ca. 2,35 m,
max. gemessene Fallhöhe	2,69 m
– max. Leistung	16 kW
– max. Betriebswassermenge	0,90 m <sup>3</sup> /s
– Dotationswassermenge FAA	2,65 m <sup>3</sup> /s
– Dotationswassermenge Fischabstieg	0,10 m <sup>3</sup> /s
– Restwassermenge im Hauptarm	0,58 m <sup>3</sup> /s
– In Fließrichtung links sind eine Spülrinne für den Fischabstieg und ein Leerschuss mit händisch betriebenen Schütztafelverschluss angeordnet.	

### 6.3 Abflusswerte

Nach Angabe des zuständigen Dezernats des Regierungspräsidiums Gießen ergeben sich auf der Grundlage der wasserwirtschaftlichen Hauptzahlen der Jahre 1960 - 2002 der Wohra am Pegel Bartenhausen für den Standort der „Schmaleicher Mühle“ folgende hydrologischen Werte:

**Pegel Bartenhausen    WKA Schmaleicher Mühle**

–	Einzugsgebiet	273	258,7 km <sup>2</sup>
–	Q <sub>30</sub> <sup>3</sup>	0,78	0,74 m <sup>3</sup> /s
–	Q <sub>330</sub> <sup>4</sup>	3,50	3,32 m <sup>3</sup> /s
–	MNQ	0,78	0,78    0,74 m <sup>3</sup> /s
–	MQ	1,92	1,82 m <sup>3</sup> /s

(Quelle: Pegel Bartenhausen, Gewässerkundl. Jahrbuch 2002, RP Gießen)

Für den Mühlgraben liegen weder genaue Abflusswerte, noch korrespondierende Wasserstandsangaben und Fließgeschwindigkeiten vor. Die Messung der Fließgeschwindigkeiten liefert daher wichtige Eckwerte für zwei Abflusszustände:

Messung am 18.04.2019

–	mittlere Fließgeschwindigkeit	0,15 m/s
–	mittlere Wassertiefe	0,31 m
–	Q <sub>Mühlgraben</sub>	ca. 0,31 m <sup>3</sup> /s
–	Q <sub>Pegel Bartenhausen</sub> (1/4-Std.-Wert zur Zeit der Messung)	0,33 m <sup>3</sup> /s

Dieser Abfluss liegt deutlich unter Q<sub>30</sub><sup>1</sup> in der Wohra.

Messung am 18.04.2019

–	mittlere Fließgeschwindigkeit	0,19 m/s
–	mittlere Wassertiefe	0,85 m
–	Q <sub>Mühlgraben</sub>	ca. 1,09 m <sup>3</sup> /s
–	Q <sub>Pegel Bartenhausen</sub> (1/4-Std.-Wert zur Zeit der Messung)	3,69 m <sup>3</sup> /s

Dieser Abfluss entspricht etwa Q<sub>330</sub><sup>2</sup> in der Wohra.

Die Auswertung der Fließgeschwindigkeitsmessungen zeigt, dass die Strömungsgeschwindigkeiten vergleichsweise gering sind und im Bereich der rheotaktischen Schwelle (Geschwindigkeit, oberhalb der Fische rheotaktisch reagieren) liegen. Da die Strömungsverhältnisse in der Wohra über längere Strecken ähnlich sind, kann erwartet werden, dass die Fischpopulation an diese hydraulischen Verhältnisse gewöhnt ist.

<sup>3</sup> Q30 ist der Abfluss aus der langjährig ermittelten Dauerlinie, der für 30 Tage pro Jahr unterschritten ist.

<sup>4</sup> Q330 ist der Abfluss aus der langjährig ermittelten Dauerlinie, der für 330 Tage pro Jahr unterschritten ist. Das DWA-Merkblatt DWA-M 509 verlangt, dass ein Fischpass für 300 Tage im Jahr funktionsfähig sein muss. In der Regel wird das an den Tagen erwartet, an denen der Abfluss zwischen Q30 und Q330 liegt.

## **7 Pflichtenheft für die Steuerung der Fangkammer**

### **7.1 Vorbemerkung**

Nachstehend wird das Pflichtenheft für die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) am Beispiel der Pilotfangkammer beschrieben. Diese SPS erfasst die Messwerte (z.B. Wasserstände) und steuert die elektromechanischen Antriebselemente so an, dass die Bewegungen in der richtigen Abfolge und mit der richtigen Geschwindigkeit ablaufen. Dabei werden die meisten Einstellparameter auf einer Bedienoberfläche so verfügbar gehalten, dass sie leicht zu verändern sind. Die Betriebsweise kann an anderen Standorten hiervon abweichen, jedoch sind nachstehend die Basisfunktionen beschrieben.

Die Steuerung der Pilot-Fangkammer wird so konzipiert, dass sie bei späteren Feldanwendungen voll funktionsfähig und verwendbar ist.

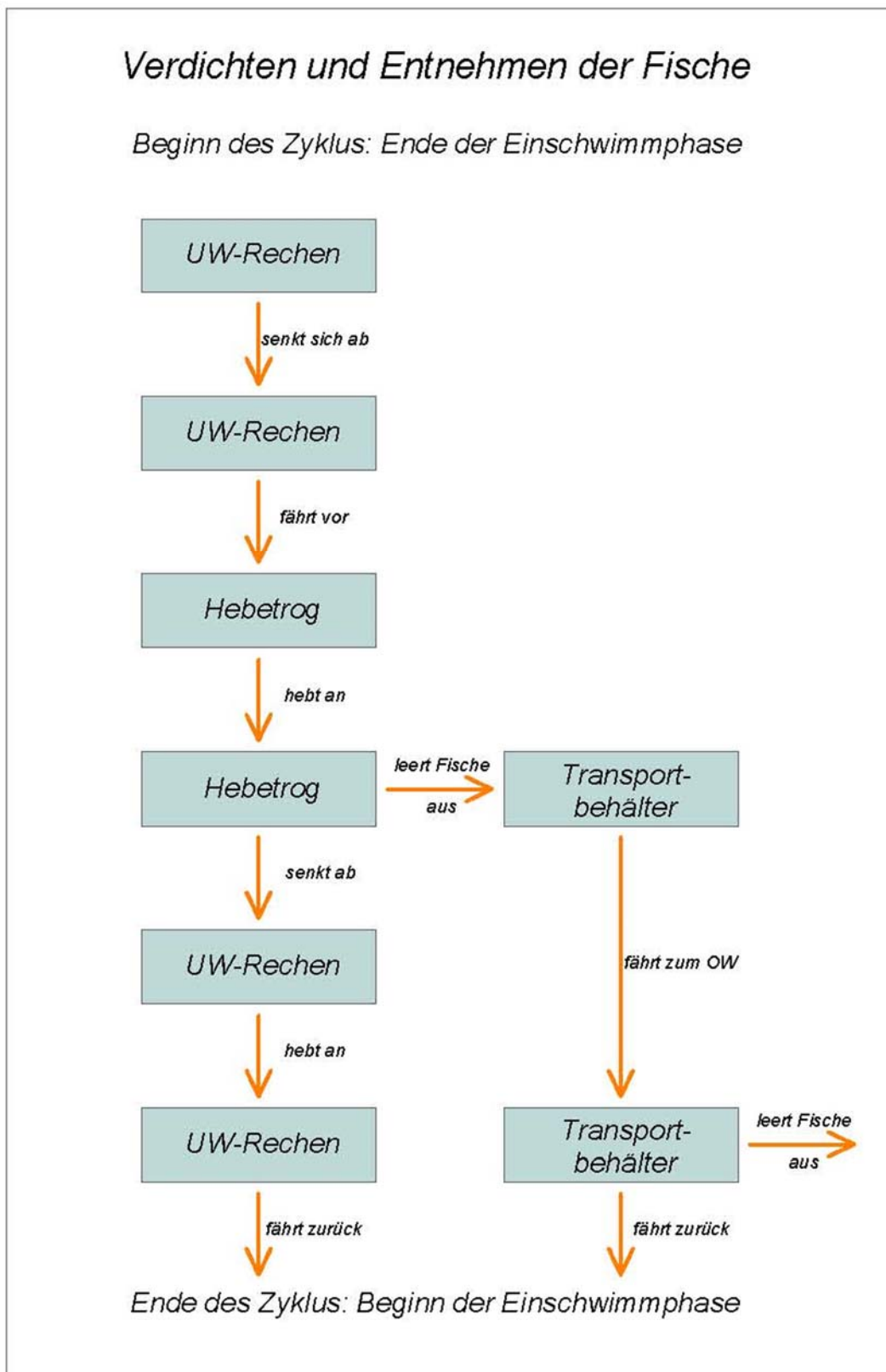
### **7.2 Beschreibung der Steuerung der Anlage**

Die geplante Pilotanlage weist sechs bewegliche Komponenten auf, deren Funktionen die Steuerung einleiten und überwachen soll:

- Hebetrog zur Entnahme der Fische
- UW-Rechen zur Verdichtung der Fische
- Transportbehälter zur Verbringung der gefangenen Fische ins OW
- OW-Rechenreiniger zur Entfernung von Treibgut auf dem OW-Rechen
- Leitrechenreiniger zur Entfernung von Treibgut auf dem Leitrechen
- Öffnungstür in Leitrechen zum Ableiten von Treibgut ins UW

### **7.3 Betriebsabläufe**

Abbildung 7.1 zeigt schematisch den Betriebsablauf des ersten der drei Prozesszyklen:



**Abb. 7.1:** Ablaufdiagramm Verdichten, Entnehmen und Transport der Fische

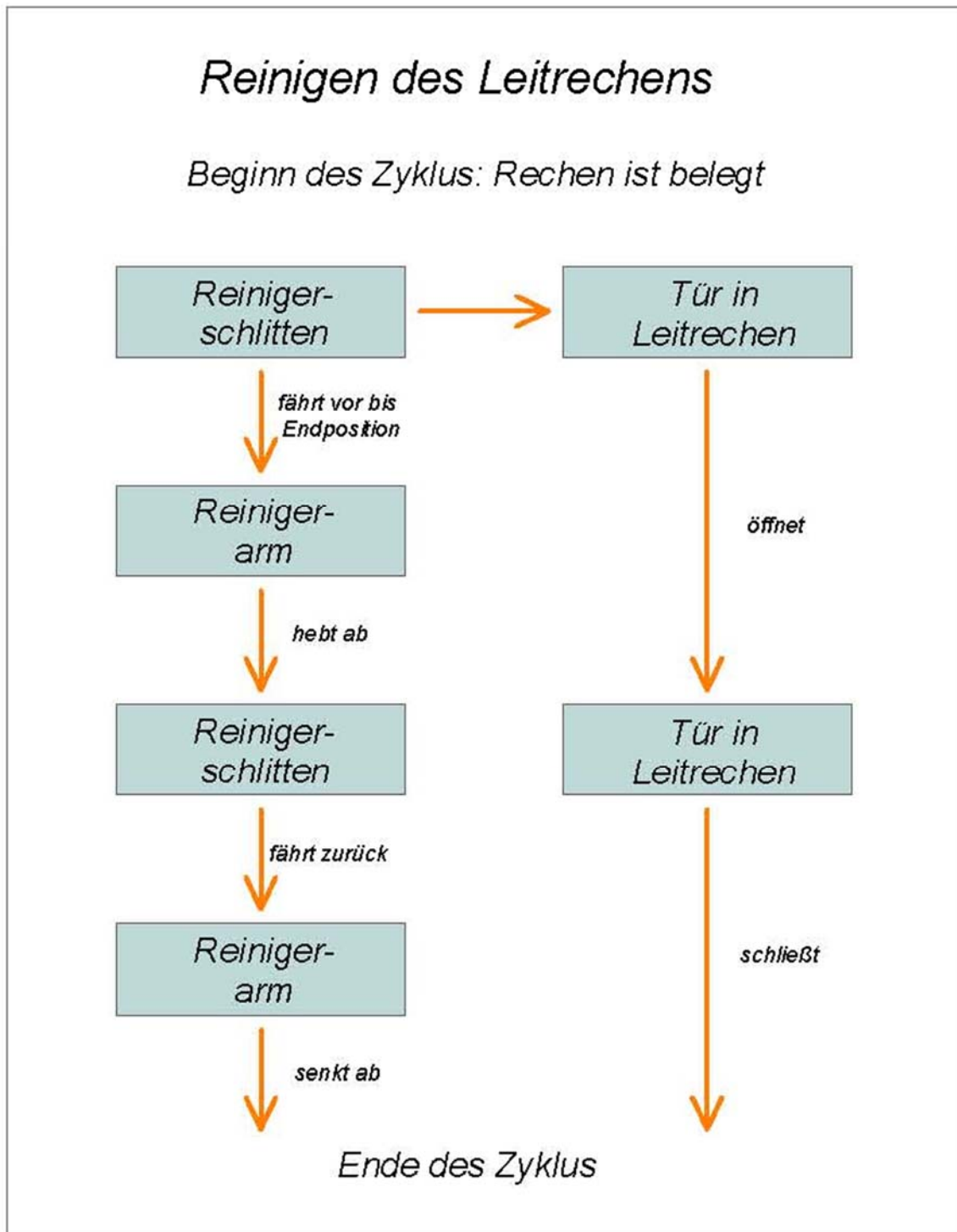


Abb. 7.2: Ablaufschema Reinigung des Leitrechens

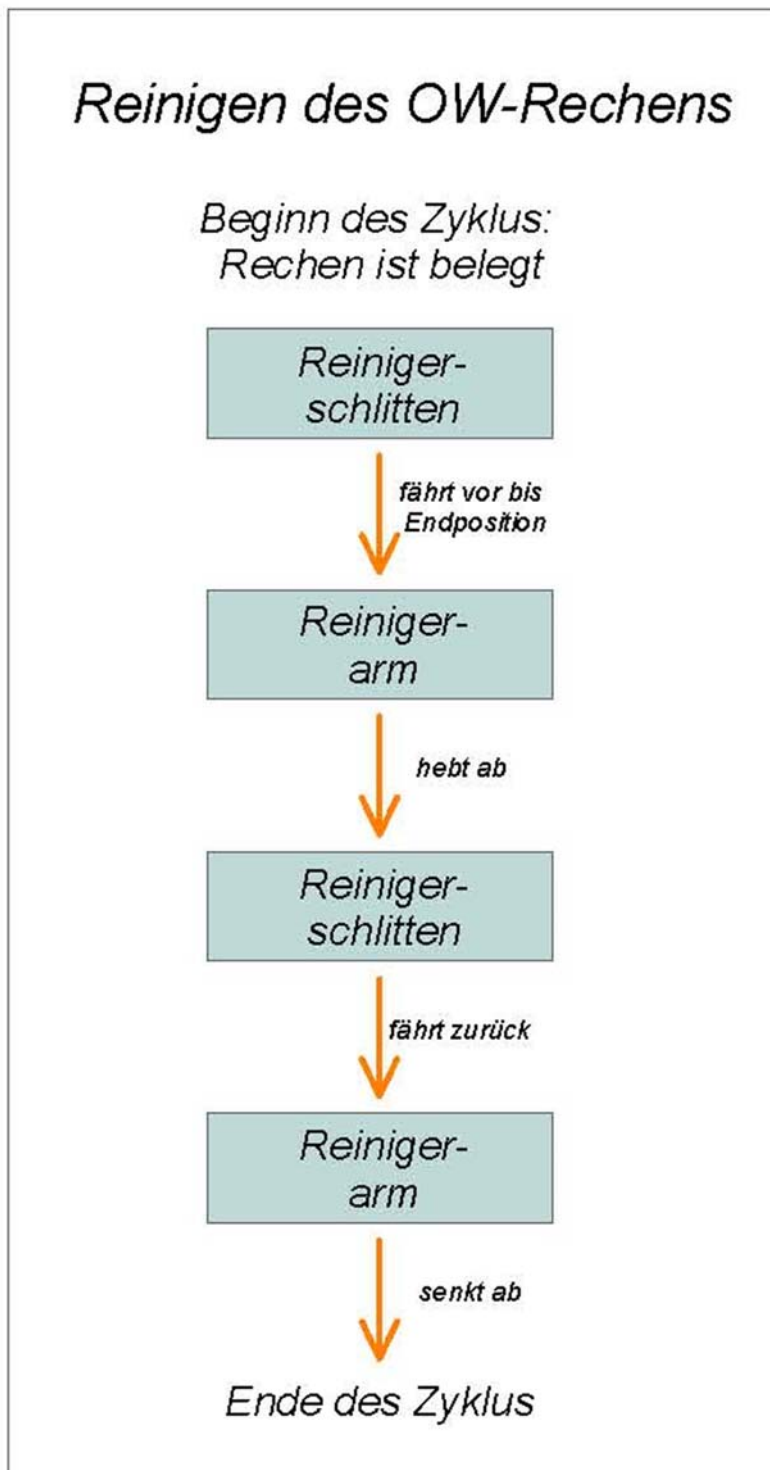


Abb. 7.3: Ablaufschema Reinigung des OW-Rechens



## 7.4 Übersicht über die Systemfunktionen

### 7.4.1 Musskriterien

- vollautomatischer Betrieb der gesamten Anlage
- verschiedene Betriebsmodi
- Steuerung der Bewegungsabläufe der Anlagenkomponenten
- leichte Einstellung/Änderung der Eingangsvariablen im Betrieb
- automatischer Notstopp
- Anpassungsfähigkeit der Steuerung an geänderte Bedingungen und Zielsetzungen
- Fernüberwachung und -steuerung
- automatische Datenerfassung
- Automatischer Alarm bzw. Störungsmeldung

### 7.4.2 Wunschkriterien

- Koordination der Fangkammersteuerung mit händische veranlasster Ableitung von grobem Treibgut über den Freischuss des Wasserkraftwerkes
- verschiedene Benutzerkategorien bzw. Benutzeroberflächen mit unterschiedlichen Zugriffsrechten
- Fernüberwachung mittels Kameras  
messtechnische Erfassung von hydrologischen und betrieblichen Parametern sowie von Umweltdaten
- optische Erfassung der gefangenen Fische bei jedem Arbeitszyklus im Hebetrog

Die Funktionen werden im übernächsten Abschnitt im Detail beschrieben.

## 7.5 Einsatzfeld des Produktes

**Anwendungsbereich:** Steuerung und Fernüberwachung einer Anlage im Außenbereich

**Zielgruppe:**

- Kraftwerksbetreiber
- Betriebsführer
- Personen mit besonderem Interesse an der Funktion der Fangkammer (z. B. Vertreter des Natur- und Fischschutzes oder Behördenvertreter)

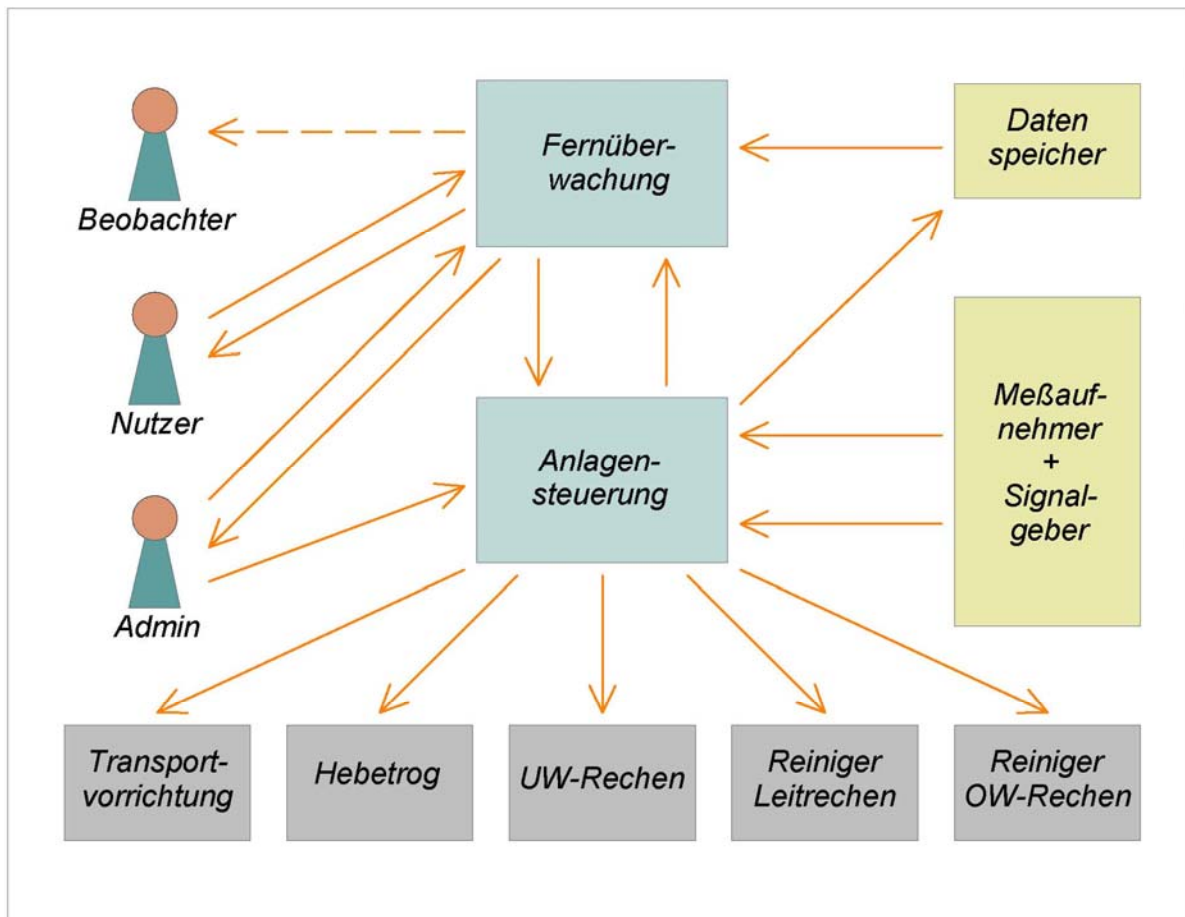
(Die Personengruppen verfügen u. U. nur über geringe IT-Kenntnisse.)

**Betriebsbedingungen:**

- Anlagensteuerungskomponenten auf geeigneter Hardware (SPS) stationär
- Fernzugriff für stationären (PC) und mobilen Einsatz
- vollautomatischer Betrieb über 24 Stunden täglich

## 7.6 Produktübersicht

Das folgende Diagramm zeigt das zu entwickelnde Produkt.



**Abb. 7.4: Übersicht der Steuerungsumgebung**

## 7.7 Funktionen

Die Steuerungssoftware soll folgende Funktionen erfüllen:

- Betrieb der gesamten Anlage,
  - vollautomatischer Betrieb,
  - Umstellung auf Handbetrieb (Handbetrieb blockiert Automatikbetrieb)
  - Notausschalter,
  - automatische Fehlermeldungen auf Handy des Projektleiters beim Auftreten von Störungen,
- Betriebsmodi
  - Normalbetrieb
  - Dauerbetrieb für Belastungstest (bewegliche Anlagenkomponente werden permanent betrieben, um Normalbetrieb über längeren Zeitraum zu simulieren)
- zu steuernde Bewegungsabläufe
  - Verdichtung durch UW-Rechen
  - Anheben/Absenken des UW-Rechens
  - Anheben/Absenken des Hebetroges
  - Transport der gefangenen Fische ins Oberwasser
  - Vor-/Rücklauf des Leitrechens
  - Ausheben/Aufsetzen des Reinigungsarms (Leitrechen)
  - Vor-/Rücklauf des OW-Rechens
  - Ausheben/Aufsetzen des Reinigungsarms (OW-Rechen)

- leichte Einstellung/Änderung der Eingangsvariablen im Betrieb
  - für Hebe- und Verdichtungsbereich
  - für Leitrechen und OW-Rechen
- automatischer Notstopp
  - bei Blockierung des Fahrweges einer beweglichen Anlagenkomponente
  - bei Überschreitung eines maximalen Wasserstandes im Gewässer (Hochwasserschutz)
- Fernüberwachung und -steuerung
  - Zugriff auf alle Bewegungsabläufe der Anlagenkomponenten  
Zustandsübermittlung, Ein-/Ausschaltung
  - Zugriff auf alle Messdaten
  - optische Überwachung mittels Kameras und Bewegungsmelder
- verschiedene Benutzerkategorien:
  - Administrator (mit Zugriff auf alle Programmebenen)
  - Nutzer (mit Zugriff auf Beobachtungs- und Steuerungsebene)
  - Beobachter (mit Zugriff nur auf Beobachtungsebene)
  - mehrere Anwender der verschiedenen Benutzerkategorien möglich
- automatische Datenaufzeichnung
- optische Überwachung mittels Kameras und/oder Bewegungsmelder
- Koordination der Fangkammersteuerung mit händischer Ableitung von grobem Treibgut über den Freischuss des Wasserkraftwerkes

## 7.8 Daten

Die automatische Datenaufzeichnung beinhaltet:

- Anlagenfunktionen
  - Anzahl der durchgeführten Verdichtungs- und Entleerungszyklen von UW-Rechen, Hebetrog und Transportbehälter ins OW
  - Anzahl der durchgeführten Reinigungszyklen des Leitrechens
  - Anzahl der durchgeführten Reinigungszyklen des OW-Rechens
  - aufgetretene Fehler und Störungen
- messtechnische Erfassung von Umgebungsparametern
  - Wasserstände vor und hinter der Fangkammer
  - Temperatur
  - Strömungsgeschwindigkeit
  - Erfassung der Lichtsituation (Tag/Nacht)
- Anwenderdaten
  - Name des angemeldeten Anwenders
  - Zeit und Dauer der Anmeldung
  - Durch angemeldete Nutzer durchgeführte Änderungen der Eingangsvariablen für den Betrieb der Anlage
  - Die Daten beinhalten einen Zeitstempel und Informationen zur Identifikation des aufgezeichneten Signals; jeder Betriebszyklus wird mit Datum und Uhrzeit für Start und Ende aufgezeichnet, um ggf. Rückschlüsse bei Ausfällen ziehen zu können.
- optional: Die aufgezeichneten Daten können regelmäßig an registrierte Nutzer versendet werden.

## 7.9 Leistungen

- Fernzugriff durch Nutzer: Die Nutzer erhalten die Möglichkeit, über den Fernzugriff Eingangsvariablen für den Betrieb der Anlage einzustellen bzw. zu ändern.
  - für Hebe- und Verdichtungsfunktion:  
Verdichtungs- und Entleerungszyklus (Einstellbereich: 0,3 – 4 Std.)  
Vorlaufgeschwindigkeit des UW-Rechens (Einstellbereich: 0,005 – 0,03 m/s)  
Hubgeschwindigkeit des Hebetroges (Einstellbereich: 0,005 – 0,03 m/s)  
Die optische Überwachung der
  - für Leitrechen und OW-Rechen:  
Reinigungszyklen (Einstellbereich: 0,5 – 6 Std.)
  - Notstopp für alle beweglichen Funktionen der Anlage.
- Die aufgenommenen Mess- und Funktionsdaten werden im internen Datenspeicher gespeichert. Optional erhalten die registrierte Nutzer regelmäßige Kopien der gespeicherten Daten.
  - Die Übertragungszyklen sind wählbar (Einstellbereich: 4 Std. – jährlich).
  - Die Datenversendung kann für jeden Nutzer eingestellt werden.
- Bei auftretenden Störungen oder Fehlfunktionen der Anlagenkomponenten erhalten die Nutzer eine Fehlermeldung per SMS und/oder Email. Die Fehlermeldung gibt Aufschluss über den Anlagenbereich, welcher Quelle der Störung ist.
- optische Überwachung mittels Kameras und/oder Bewegungsmelder
  - Die Pilot-Fangkammer und ihre unmittelbare Umgebung werden mittels Webcams mit Internetzugang überwacht.
  - Bei jedem Entleerungszyklus wird eine Fotoaufnahme der gefangenen Fische (im Hebetrog und/oder Transportbehälter) ausgelöst zur nachträglichen Auswertung der durchgeführten Fischwanderung.
- Koordination der Fangkammersteuerung mit händischer Ableitung von grobem Treibgut über den Freischuss des Wasserkraftwerkes
- Sobald die Schütztafel des Freischusses händisch geöffnet wird, werden die Funktionen der Fangkammer darauf abgestimmt:
  - Die Reiniger von OW-Rechen und Leitrechen werden zeitverzögert in Betrieb gesetzt (Einstellbereich der zeitverzögerten Einschaltung: 30 Sek. – 10 Min.)
  - Die Reiniger von OW-Rechen und Leitrechen werden in Dauerbetrieb gesetzt (Einstellbereich des Dauerbetriebes: 1 – 30 Min.)
  - Diese automatische Koppelung an die händische Öffnung des Freischusses kann abgeschaltet werden.

### 7.10 Anforderungen an die Qualität

	sehr wichtig	wichtig	Normal	weniger wichtig
<b>Robustheit</b>	x			
<b>Zuverlässigkeit</b>	x			
<b>Benutzerfreundlichkeit</b>		x		
<b>Änderbarkeit</b>			x	
<b>Protierbarkeit</b>		x		
<b>Kompatibilität</b>			x	
<b>Sicherheit</b>		x		
<b>Konformität</b>				x

### 7.11 Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche stellt die Anlage und deren Funktionen grafisch dar. Sie zeigt alle wichtigen Informationen übersichtlich auf mehreren Fenstern und ermöglicht auch für wenig geübte Nutzer/Beobachter eine intuitive Bedienung.

Eine integrierte Hilfefunktion bietet eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise der Anlagensteuerung und der Bedienung.

Die Bedienoberfläche ist auf eine Mausbedienung ausgelegt, unterstützt aber auch eine reine Tastatursteuerung.

### 7.12 Nichtfunktionale Spezifikationen

Keine Angaben.

### 7.13 Technische Produktumgebung

Der Fernzugriff ist anwendbar auf folgenden Browsern: Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome und Opera.

Die Steuerungssoftware ist angepasst an die verwendete Hardware (SPS, MicroSPS oder andere Steuerungen).

### 7.14 Spezielle Anforderungen

Keine Angaben.

### 7.15 Ergänzungen/ Sonstiges

Keine Angaben.

## 8 Zusammenfassung und Bewertung

### 8.1 Bewertung der ethohydraulischen Versuche

Durch die ethohydraulischen Untersuchungen zur neuentwickelten Fangkammer konnte ihre grundsätzliche Funktionalität und Fischfreundlichkeit sowohl für die schwimmschwachen solitären Arten Groppe und Schmerle als auch für die schwimmstärkeren, schwarmbildenden Bodenfischarten Gründling und Barbe und die Freiwasserart Döbel belegt werden. Die Strategie, einzelne Aspekte der Fangkammer nur mit einer eingeschränkten Auswahl von Arten zu testen, um die Zahl der Versuchsdurchgänge und die Zahl der eingesetzten Tiere zu verringern, erwies sich dabei als zielführend und stimmig.

Die Tiere aller fünf Arten schwammen in den Bereich der künstlichen Sohle ein und gelangten somit aus eigenem Antrieb in den Verdichtungsbereich der Fangkammer, wo sie potentiell verdichtet und im Hebetrog gesammelt werden können. Diese Einwanderung erfolgte, obwohl sich die Arten saisonbedingt nicht in einer Phase des Aufwanderungstriebes befanden, innerhalb relativ kurzer Zeitfenster (Versuchsdauern: 15 bzw. 20 Minuten). Man kann also davon ausgehen, dass wanderwillige Tiere unter realen Bedingungen ebenfalls in die Fangkammer einwandern werden. Die Fangkammer soll räumlich so im Fließgewässer positioniert sein, dass den Fischen kein alternativer Wanderweg zur Verfügung steht und die Hauptströmung die Fangkammer durchfließt (bzw. Fische mit Leitreechen zur durchströmten Kammer geleitet werden). Unter diesen Voraussetzungen ist über die Einwanderungsphasen mehrerer Zyklen hinweg unserer Einschätzung nach mit einer sehr hohen Einwanderungsrate aufwanderwilliger Fische zu rechnen.

Für Fische, die sich im Verdichtungsbereich der Fangkammer befanden, konnte generell eine hohe Effektivität der Verdichtung unter Anwendung eines Borstenkamms (dieser erwies sich in den Versuchen als effektiver als alternative Scheuchmechanismen) nachgewiesen werden, welche jedoch artspezifisch Unterschiede aufwies. So wurde bei der Freiwasserart Döbel eine Sammelquote im Hebetrog von 100 % erreicht, ohne dass eine Berührung der Tiere stattgefunden hätte. Auch bei Barbe (100 %) und Gründling (98,7 %) wurde nahezu jedes Tier, das sich im Verdichtungsbereich befand, im Hebetrog gesammelt, allerdings bei der Barbe unter häufiger Berührung der Tiere durch bewegliche Anlagenteile (bei Gründlingen geschah dies gelegentlich). Verletzungen traten jedoch keine auf, so dass die Verdichtung bei diesen Arten als sowohl fischfreundlich als auch äußerst effektiv beurteilt wird.

Tatsächlich käme es bei diesen Fischarten wahrscheinlich unter Freilandbedingungen auch zu deutlich weniger Kontakten mit der Anlage, da gezeigt werden konnte, dass die Fische den Verdichtungsbereich in aller Regel freiwillig vollumfänglich durchschwimmen, um in den strömungsberuhigten abgesenkten Hebetrog zu gelangen. Diese „Lockwirkung“ des Hebetrogs stellt somit einen Zugewinn an Fischschutz dar. Es wird vermutet, dass die Größe der Störsteine in der künstlichen Sohle für diese größeren Fischarten keinen ausreichenden Strömungsschatten bietet, so dass die hydraulischen Verhältnisse im Hebetrog vorgezogen werden.

Dies galt nicht für die kleinwüchsigeren Schmerlen und Groppen, welche den Strömungsschatten der Störsteine durchaus nutzten, um sich länger im Bereich der künstlichen Sohle aufzuhalten. Zudem nutzen sie (wie die größeren Fischarten auch) vor allem auch die strömungsrühigeren Randbereiche der Anlage (die Ecken im Übergang von der Sohle zur Wand). Möglicherweise wäre eine Sohlgestaltung, bei der die äußeren Störsteine bis an die Wand der Anlage reichen, noch attraktiver für die beiden solitären Bodenfischarten. Bei diesen war die Effektivität der Verdichtung geringer als bei den größeren Arten, weil sie aufgrund ihrer geringen Körpergröße leichter unter den Borsten hindurch passten und diese entweder aktiv schwimmend (vor allem Schmerlen) oder passiv verharrend (Groppen) passierten. Dennoch wurden durchschnittlich 70,1 % der Groppen und 80,4 % der Schmerlen erfolgreich im Hebetrog gesammelt. Wenn man beachtet, dass in jedem Versuchsdurchgang nur eine Verdichtung durchgeführt wurde, die Anlage bei einer Umsetzung im Fluss später täglich viele Zyklen durchlaufen soll, so kann man auch im Fall der solitären Bodenkleinfische eine hohe Effektivität der Fangkammer erwarten. Insgesamt war der Vorgang der Verdichtung für Schmerlen und vor allem für die trägeren Groppen eine entscheidende Motivation zum Erreichen des Hebetrogs.

Die Scheuchung der Tiere und der gesamte Betrieb der Anlage führte in keinem Fall zu einer Verletzung eines Tieres oder zu Mortalität, auch nach 24 h Hälterung konnten keine negativen Effekte festgestellt werden. Allerdings muss angemerkt werden, dass Tiere beim Heben des Hebetroges vereinzelt auf dem oberen Rand des Troges zu liegen kamen und dort möglicherweise beim Abfließen des Wassers trockengefallen wären (dies trat insbesondere bei Schmerlen und Groppen auf). Zudem wurde bei Gründlingen beobachtet, dass sie beim Heben des Troges teilweise versuchten, durch den Oberwasserrechen zu fliehen, wobei vermutlich auch eine Verletzungsgefahr bestehen könnte (allerdings wurden keine Verletzungen festgestellt). Weiterhin nutzten insbesondere Schmerlen auch kleinste Öffnungen in den Installationen in der Fließrinne, um sich darin zu verstecken, so dass sie in Bereiche der Anlage eindringen, die nicht für einen Fischeaufenthalt vorgesehen waren und nicht hinsichtlich der Fischeicherheit optimiert waren (z.B. die Vertiefung unterhalb des Hebetrogs). Schließlich konnten die Schmerlen aufgrund ihrer schmalen Körpergestalt und geringen Größe teilweise die Rechen passieren. Bei der Umsetzung der Fangkammer im Realbetrieb sind entsprechende Modifikationen nötig, um die Risiken für Fische aufgrund der o.g. Aspekte zu minimieren. Zudem muss die Phase einer für die Fische gefahrlosen Entleerung des Hebetroges in eine Rinne hin zum Oberwasser noch an einer Freilandanlage untersucht werden, da dies im Labor nicht möglich war.

## **8.2 Bewertung der Ergebnisse zur Hydraulik**

Der Einsatz der Rechen im Bereich der Fangkammer hintereinander bedingt für diesen Fließweg einen doppelten Rechenverlust, der außerhalb der Fangkammer bei Einsatz eines Leitrechens nur einfach oder bei Teilabdeckung mit einem Leitrechen gar nicht vorhanden ist. Um trotz dieser Fließwiderstände im Fangkammer-Korridor hier eine möglichst gut Durchströmung zu erhalten, muss für die Rechen ein sehr strömungsgünstigstes Profil verwendet werden. Auch müssen die Einfassungen der Rechen und die Führungsschienen so schlank gestaltet werden, dass die Einschnürung des Durchflussquerschnitts möglichst klein ist. Wie in Kapitel 4 unter Bezug auf Anhang 2 zusammengefasst

wird, konnten hydraulische Laborversuche (Trabert, 2019) zeigen, dass die Strömung nur wenig empfindlich auf unterschiedliche Widerstände reagiert, so dass z.B. nicht zu befürchten ist, dass bei Einfahren des zweiten Rechens der Durchfluss durch die Fangkammer stark zurück geht.

Weiterhin ist zum Einfluss der Rechen auf die Strömung zu erwähnen, dass die modernen Feinrechen als sehr effiziente Strömungsgleichrichter wirken, was zwei Konsequenzen hat:

1. Makroturbulenz wird gedämpft. Das bedeutet, dass innerhalb der Fangkammer eine gleichmäßigte und turbulenzarme Strömung vorliegt, die für den Aufenthalt der Fische günstig ist. Das heißt, dass Fische, die in die Fangkammer eingeschwommen sind, dort hydraulisch nur sehr moderat belastet werden, so dass eine Flucht oder ein rasches Umkehren aufgrund ungünstiger Strömungsbedingungen nicht zu befürchten ist.
2. Die Strömungsberuhigung und Turbulenzdämpfung gilt auch für die Nachluffahme der Fangkammer. Das bedeutet, dass entlang des Ufers aufwandernde Fische schon weiter unterstrom die positive Wirkung spüren und in der beruhigten Strömung leichter zur Fangkammer aufwandern können. Es kann sogar angenommen werden, dass der beruhigte Bereich auch von Fischen gefunden und genutzt wird, die mit Abstand zum Ufer im Freiwasser schwimmen. Fische, die dort im hochturbulenten Turbinenabstrom aufzuwandern versuchen, werden mit höherer Wahrscheinlichkeit den turbulenzarmen Korridor entlang des Ufers finden und dieser linearen Struktur in die Fangkammer folgen.

### **8.3 Ausblick**

Die von der deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Aktenzeichen 34316/01-32 dankenswerter Weise geförderte „Untersuchung zur Funktionalität und Fischfreundlichkeit einer neuentwickelten Fangkammer unter besonderer Berücksichtigung von Bodenfischen“ betrachtete eine maßgebliche Komponente bei der Steigerung der Effizienz von neuartigen Fischwanderhilfen, die darin besteht, dass mit technischen Mitteln und mit Leiteinrichtungen die mangelhafte Auffindbarkeit aufgrund großer konkurrierender Strömungen kompensiert wird. Da die Bereitstellung ausreichender Lockströmungen an größeren Anlagen, die ein Prozent des konkurrierenden Abflusses übersteigen, sehr hohe Kosten für Investitionen und permanente Wasserbereitstellung erzeugt, kommt dem Konzept des Leitens und Fangens der Fische eine hohe Bedeutung zu. Dabei bleibt der große Leitstrom erhalten und wirksam, indem große Abflussanteile durch die Fangkammer durchgesetzt werden. Die untersuchte Problematik verschiebbarer Abtrennungen über eine naturähnlichen rauen Sohle, mit denen Fische verdichtet und in Förderanlagen verfrachtet werden, kann als gelöst angesehen werden. Insofern ist zu erwarten, dass das Konzept der Fangkammer oder auch von einzelnen Komponenten aus diesem Konzept zur Effizienzsteigerung von Fischaufstiegsanlagen sowohl die Auffindbarkeit als auch die Durchwanderbarkeit betreffend beitragen können.



## 9 Literaturverzeichnis

BUNDESREPUBLICK DEUTSCHLAND (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz- WHG). 31.07.2009

EURÄPÄISCHE UNION (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik

FISCHER, P. (2004): Nocturnal Foraging in the Stone Loach (*Barbatula barbatula*): Fixed or Environmentally Mediated Behavior? *Journal of Freshwater Ecology*, 19:1, 77-85

HÜBNER, D.; MENZEL, C.; FRICKE, R.; HASSINGER, R.; RAHN, S. (2011): Laboruntersuchung zu Auswirkungen von Kraftwerksrechen auf Rotaugen (*Rutilus rutilus*) und Brassen (*Abramis brama*) in Abhängigkeit von Stababstand und Anströmgeschwindigkeit. Bürogemeinschaft für fisch- & gewässerökologische Studien, Marburg; VPUW; Universität Kassel, Kassel 2011

KNAEPKENS G., BRUYNDONCX L., EENS M. (2004): Assessment of residency and movement of the endangered bullhead (*Cottus gobio*) in two Flemish rivers. *Ecol Freshw Fish* 13:317–322

KNAEPKENS G., BAEKELANDT K., EENS M. (2005): Assessment of the movement behaviour of the bullhead (*Cottus gobio*), an endangered European freshwater fish. *Anim Biol* 55:219–226

KNAEPKENS G., BAEKELANDT K., EENS M. (2006): Fish pass effectiveness for bullhead (*Cottus gobio*), perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) in a regulated lowland river. *Ecology of Freshwater Fish* 2006: 15: 20–29

MACKENZIE, A.R. & GREENBERG L. (1998): The influence of instream cover and predation risk on microhabitat selection of stone loach *Barbatula barbatula* (L.) *Ecology of Freshwater Fish* 7: 87-94.

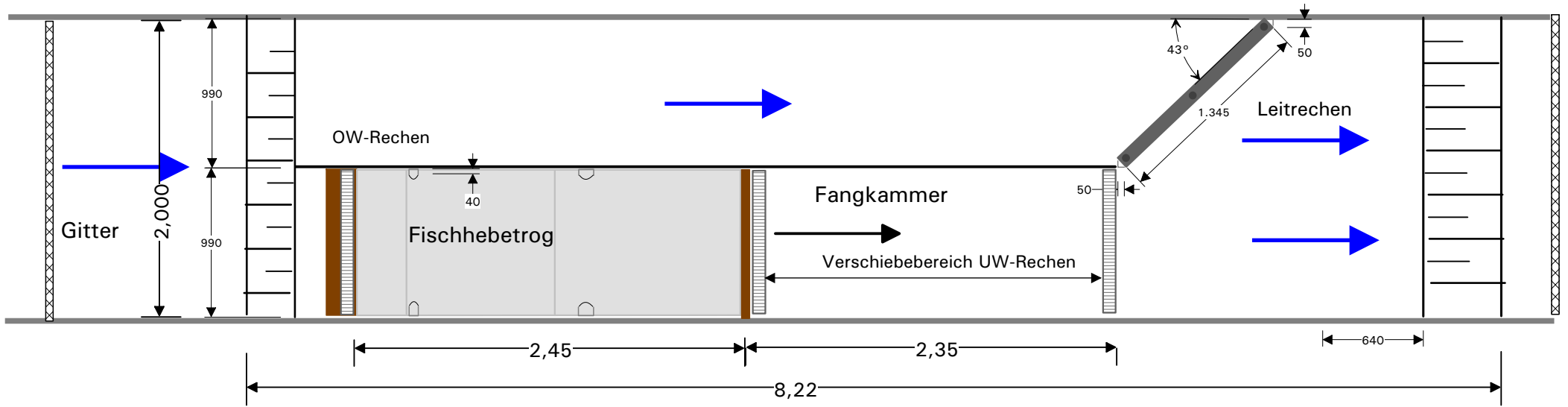
DWA, 2014: MERKBLATT DWA-M 509 (2014): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef 2017. 334 S.

PAVLOV, D.S. (1989): Structures assisting the migration of non-salmonid fish: USSR. *FAO Fisheries Technical Paper*, 308, FAO, Rom, 97 S.

SCHMITT, DANIEL (2015): Untersuchung der Wirkung von Feinrechen auf die Turbulenz in Kraftwerkszuläufen. Bachelorprojekt an der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Universität Kassel, Kassel 2015

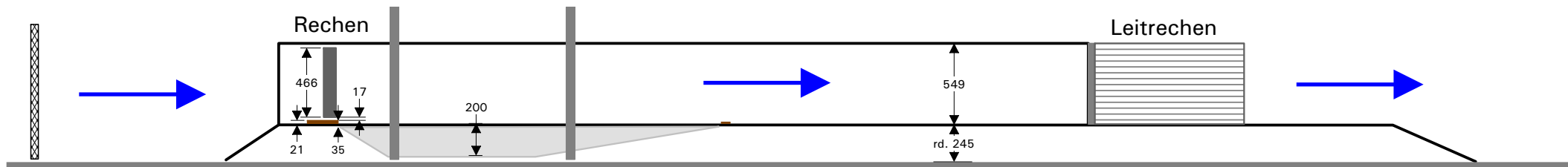
TRABERT, ANDREAS (2019): Untersuchung der Abflussverteilung an einer Fangkammer. Bachelorarbeit im Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen an der Universität Kassel, 25.01.2019

# Grundriss M. ca. 1 : 40

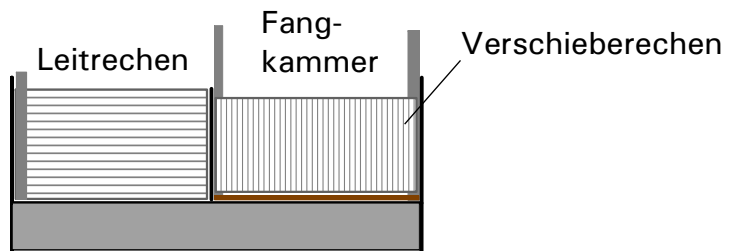


Fahrschienen für Hebetrog

Längsschnitt



Querschnitt in Strömungsrichtung



Anhang 1:  
Geometrie des Versuchsstandes  
M. ca. 1 : 40

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

Az **34316/01**Referat **32**Fördersumme **123 274,00**

**Antragstitel** **Ethohydraulische Untersuchungen zur Funktionalität und Fischfreundlichkeit einer neu entwickelten Fangkammer unter besonderer Berücksichtigung von Bodenfischen**

**Stichworte** Fischwanderhilfe, Fischaufstiegsanlage, Fischaufstieg; Fischpass; Fischschleuse; Fischlift; Auffindbarkeit; Lockstrom; Leitstrom, Aufstiegs-Effizienz

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>12 Monate</b>	<b>01.04.2018</b>	<b>30.09.2019</b>	<b>1</b>

Zwischenberichte	1
------------------	---

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau – Universität Kassel Kurt-Wolters-Straße 3 34125 Kassel	Tel	0561 804 3291
		Fax	0561 804 2468
		<b>Projektleitung</b>	
		Dr.-Ing. Reinhard Hassinger	
		<b>Bearbeiter</b>	
		Dr.-Ing. Reinhard Hassinger, Dipl.-Ing. Hermann Henkel Dr. rer. nat. Dirk Hübner Dipl.-Biol. Roman Fricke	

**Kooperationspartner** Dipl.-Ing. Hermann Henkel, Ing.-Büro Hermann Henkel, Alte Heerstraße 9, 35282 Rauschenberg-Josbach

### ***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens, Lösungskonzept***

Die Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen ist in vielen Fällen nicht optimal, weil der mäßige Durchfluss durch den Fischpass mit einem großen und hochturbulenten Durchfluss aus einer Wasserkraftanlage konkurriert. Der Leitstrom aus der Fischaufstiegsanlage wird durch diese hohe Turbulenz gestört und kann seine Lockwirkung nur in einem kleinen Bereich entfalten. Dadurch leidet die Auffindbarkeit des Fischpasses massiv. Weiterhin muss die Auffindbarkeit von intermittierend arbeitenden Aufstiegsanlagen wie Fischlifte oder Fischschleusen dahingehend unterstützt werden, dass Fische auch dann angelockt werden, wenn die Anlage gerade nicht geöffnet ist, und dass sie dann nicht infolge eines weiteren Suchverhaltens den Einstiegsbereich wieder verlassen.

Das Konzept der Fangkammer basiert zum einen auf der Idee, mit durchlässigen Rechen einen Raum zu schaffen, der von einem Teil der konkurrierenden Strömung durchflossen wird, so dass dieser Abfluss-Anteil als Lockströmung wirksam wird. Mit einem unterwasserseitigen Verschluss (Rechen) können Fische, die in die Fangkammer gewandert sind, am Wegschwimmen gehindert werden. Als zweite Komponente im Konzept kann einer der Verschluss-Rechen horizontal so bewegt werden, dass die Fische so nah zum weiteren Wanderkorridor gebracht werden, dass ein Ausweichen praktisch nicht möglich ist. Diese Funktion kann auch die Verfrachtung in ein Transportgefäß beinhalten, in dem die Fische dann zum Oberwasser gebracht werden können.

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

Kritischer Punkt im geschilderten Lösungskonzept ist die Scherkante zwischen dem beweglichen Rechen und einer rauen Sohle. Diverse Fischarten, deren Wanderungen im Sinne eines genetischen Austauschs ebenfalls unterstützt werden sollen, verlassen eine natürliche oder naturähnliche Sohle nur ungern und

schmiegen sich bei Gefahr in die Rauheits-Strukturen dieses Untergrunds. Die Sohle der Fangkammer muss deshalb mit Rauheitsstrukturen versehen sein, dass die Fische ohne Zögern einwandern. Hierfür wurde in einem ersten Untersuchungsschritt eine künstlich gestaltete Sohle einer naturnahen gegenübergestellt und untersucht, welches Wanderverhalten kleine Grundfischarten (Schmerlen und Gropfen) bei beiden Strukturen zeigen. Anschließend wurde untersucht, ob Fische mit dem an der Unterkante speziell ausgerüsteten Verschiebe-Element ohne Verletzungsgefahr und ohne übermäßige Störung motiviert werden können, die Sohlstrukturen zu verlassen und in der gewünschten Richtung weiter zu wandern.

Der Kern der Versuche beinhaltet demnach die ethohydraulische Untersuchungen folgender Fragen:

1. Gelingt es, in einer Fangkammer künstliche Rauheitsstrukturen zu schaffen, über die sohlorientierte Fische freiwillig einwandern?
2. Wie kann die Unterkante eines verschieblichen Rechens beschaffen bzw. ausgerüstet sein, damit Fische ohne Verletzungsgefahr in die beabsichtigte Richtung „gescheucht“ werden können?
3. Wandern so verfrachtete Fische in ein Transportgefäß ein, das mit einer glatten Sohle versehen ist?
4. Wie verhalten sich Fische, wenn ein solches Transportgefäß leerläuft bzw. ausgeleert wird?

Diese Fragen wurden mit einer Versuchseinrichtung ethohydraulisch untersucht, die in der großen Kipp- rinne der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau (Breite 2,00 m; Länge 30 m) eingebaut wurde. Der Versuchsstand bildete die natürliche Strömungssituation annähernd nach, so dass aus dem Verhalten der Fische auf die Funktionalität und die Effizienz solcher Einrichtungen in der Natur geschlossen werden kann. Dazu wurden diverse Fischarten (Schmerlen (*Barbatula barbatula*) und Gropfen (*Cottus gobio*)) in den Versuchsstand gesetzt und dabei beobachtet, wie sie in die Fangkammer einwandern und sich beim Heranfahren des Verschiebeelements gegen die Strömung des Wassers verhalten. Die Effizienzen verschiedener Ausrüstungen bzw. Scheuchvarianten an der Unterkante des Verschiebeelements (Schwingungserzeuger, Wasserstrahlen und Borstenriegel) wurden bestimmt.

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Die Zwischenergebnisse zeigen, dass eine künstlich gestaltete Sohle einer naturnahen in Bezug auf das Wanderverhalten sohlorientierter Kleinfischarten annähernd ebenbürtig ist, und dass es möglich ist, die besagten Fischarten mit ausreichender Effizienz und ohne Gefahr einer Verletzung oder übermäßigen Irritation in die gewünschte Richtung zu bewegen. Das Konzept des Verdichtens von Fischen in den Bereich eines Einstiegs in den weiteren Wanderkorridor oder in ein Transportgefäß hinein erscheint damit nach den bisherigen Ergebnissen mit relativ hoher Effizienz und sicher für die Tiere umsetzbar.

Im Gespräch mit der zuständigen Oberen Wasserbehörde wurde deutlich, dass keine Änderungen oder Verbesserungen vorgesehen werden dürfen, welche nicht zuvor im Labor untersucht und validiert wurden. Daher wurde bereits ein Nachfolgeprojekt initiiert, bei dem dieses Konzept zur Steigerung der Funktionalität von Fischaufstiegsanlagen in der Realität zu überprüfen sein wird.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Am 06. März 2019 fand eine Besichtigung des Versuchsstandes durch Vertreter der für einen Pilotstandort zuständigen Oberen Wasserbehörde des Regierungspräsidiums Gießen statt. Die bis dahin gewonnenen Ergebnisse wurden diskutiert. Die in der dritten Versuchsphase gewonnenen Ergebnisse mit Freiwasserfischen wurden dem Regierungspräsidium Gießen am 20.08.19 in Gießen vorgestellt. Dabei wurde das weitere Untersuchungs- und Entwicklungsprogramm dahingehend abgestimmt, dass auf der Basis dieser Versuche eine wasserrechtliche Genehmigung der Pilotanlage im Rahmen eines Nachfolgeprojektes möglich ist.

Eine weitergehende Einbeziehung der Fach-Öffentlichkeit ist nach Abschluss der reinen Laboruntersuchungen noch nicht sinnvoll, da es sich gezeigt hat, dass Erkenntnisse aus dem Freiland deutlich überzeugender wirken.

## ***Fazit und Ausblick***

Bei den Laborversuchen wurde deutlich, dass einzelne Komponenten der Fangkammeranlage, wie z.B. die künstlich gestaltete raue Sohle, der Leitrechen, der Verschieberechen oder der Hebetrog für sich die beabsichtigte Wirkung entfalten und somit in Kombination mit anderen Fischaufstiegslösungen sinnvoll einsetzbar sein können. Somit ist eine Anwendung der Erkenntnisse bei unterschiedlichen Konzepten zur Verbesserung von Fischaufstiegen möglich.

Weiterhin wurden die positiven Erkenntnisse bereits zum Anlass genommen, im Rahmen der Innovationsförderung Hessen aus Mitteln der LOEWE-Landesoffensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz (Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben) ein Folgeprojekt zu beantragen, das bewilligt ist. Dieses wird helfen, einerseits noch offene Fragen in weiteren Laboruntersuchungen zu klären und andererseits die Fangkammer an einem realen Kraftwerksstandort auf Einsetzbarkeit, Wirksamkeit und Effizienz zu prüfen.