

# Energieforschungsprogramm

## Publizierbarer Endbericht

**Programmsteuerung:**

Klima- und Energiefonds

**Programmabwicklung:**

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

### Endbericht

erstellt am

30/12/2017

## Projekttitlel:

Ökologische und ökonomische Potentialanalyse  
der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit erster praktischer Untersuchung

Projektnummer:

858829

# Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	3. Ausschreibung Energieforschungsprogramm
Projektstart	01/04/2017
Projektende	31/12/2017
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	9 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	Universität für Bodenkultur Wien - <i>Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau</i>
Ansprechpartner	Bernhard Pelikan, <i>Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.</i>
Postadresse	Muthgasse 18, 1190 A-Wien
Telefon	+ 43 1 47654-81613
Fax	-
E-mail	bernhard.pelikan@boku.ac.at
Website	www.wau.boku.ac.at/iwhw

# 2-Kammern-Organismenwanderhilfe

Ökologische und ökonomische Potentialanalyse  
der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit erster praktischer Untersuchung

**AutorInnen:**

Bernhard Mayrhofer, MSc

Dipl. Ing. Patrick Holzapfel

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Christoph Hauer

Dr.<sup>in</sup> Alkisti Stergiopoulou, MSc

**Projektleiter:**

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Bernhard Pelikan

## 1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis .....	4
2	Einleitung.....	6
3	Beschreibung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe .....	7
3.1	Aufbau .....	7
3.2	Funktion .....	8
4	Beschreibung des Versuchsaufbaus.....	10
4.1	Detailbeschreibung der Hauptkomponenten.....	12
4.1.1	Kammern .....	12
4.1.2	Sohle.....	12
4.1.3	Verschlussorgane .....	12
4.1.4	Rechen .....	13
4.1.5	Turbine und Drossel.....	13
4.1.6	Turbinen-/Drosselanbindung an Kammer.....	14
4.1.7	Betonsockel .....	14
4.1.8	Pumpe .....	15
4.1.9	Becken.....	15
4.1.10	Steuerung .....	16
4.2	Messwertaufnahme.....	16
4.2.1	Drehmoment- und Drehzahlmessung.....	17
4.2.2	Durchflussmessung.....	17
4.2.3	Wasserstandsmessung.....	18
4.2.4	Druckmessung .....	18
4.2.5	Strömungsgeschwindigkeitsmessung.....	19
4.2.6	Messwertaufnehmer.....	19
5	Technische Untersuchung .....	21
5.1	Bestimmung der Durchflüsse in Abhängigkeit der Öffnungshöhe .....	21
5.2	Messung der Strömungsgeschwindigkeiten .....	22
5.3	Bestimmung der Verschlussorgan-Stellzeiten .....	24
5.4	Messung der Druckschwankungen in den Kammern.....	24
5.5	Bestimmung der Verschlussorgan-Leckage .....	25
5.6	Messung des Turbinenwirkungsgrads .....	26
5.6.1	Wirkungsgrad ohne Druckaufsatz und ohne Leitbleche.....	27
5.6.2	Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und ohne Leitbleche.....	29
5.6.3	Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und mit Leitbleche .....	31
5.7	Bestimmung der Drosseldurchflüsse .....	32
5.8	Untersuchung zur Selbstreinigung der Feinrechen.....	32
5.9	Voruntersuchung zum Sedimenttransport durch das System .....	33
5.10	Untersuchung der Vibrationen und Schallemissionen.....	35

# Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische  
Forschungsförderungsgesellschaft FFG

5.11	Diskussion der Ergebnisse .....	35
6	Fischökologische Untersuchung .....	37
6.1	Versuche .....	38
6.1.1	Aufstiegsversuche mit Drossel und 50 l/s .....	39
6.1.2	Aufstiegsversuche mit Drossel und 80 l/s .....	42
6.1.3	Aufstiegsversuche mit Turbine und 120 l/s .....	44
6.1.4	Abstiegsversuche mit Turbine und 120 l/s .....	46
6.1.5	Übersicht der Ergebnisse .....	48
6.1.6	Allgemeine Beobachtungen .....	49
6.2	Diskussion der Ergebnisse .....	49
7	Theoretische Untersuchung .....	50
7.1	3D-Simulation der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe .....	50
7.1.1	Ein- und Auslaufbecken .....	50
7.1.2	Strömung in den Kammern .....	52
7.1.3	Einlaufströmung und Auslaufströmung bei Drossel .....	52
7.2	Bestimmung der Wirtschaftlichkeit .....	55
7.2.1	Projektbeispiel mit Gegenüberstellung von Varianten .....	55
7.2.2	Einfluss der Höhendifferenz auf die Wirtschaftlichkeit .....	64
7.2.3	Einfluss einer Turbine auf die Wirtschaftlichkeit .....	64
7.2.4	Diskussion der Ergebnisse .....	66
7.3	Ökologische Analyse .....	68
7.3.1	Flächenbedarf und Aushub .....	68
7.3.2	Emissionen .....	68
7.4	Vergleich mit Stand der Technik und Entwicklung .....	71
7.4.1	Vergleich mit Schlitzpässen .....	72
7.4.2	Vergleich mit Borstenfischpässen .....	73
7.4.3	Vergleich mit Fischliften .....	73
7.4.4	Vergleich mit Schneckensystemen .....	74
7.4.5	Vergleich mit herkömmliche Fischschleusen .....	75
7.5	Bestimmung des Anwendungspotentials .....	77
7.5.1	Einsatzbereich .....	77
7.5.2	Bedarf an Fischwanderhilfen .....	78
7.6	SWOT-Analyse .....	80
8	Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....	86
9	Ausblick und Empfehlungen .....	88
10	Quellenverzeichnis .....	89
11	Abbildungsverzeichnis .....	91
12	Diagrammverzeichnis .....	92
	Kontaktdaten .....	93

## 2 Einleitung

Folgende Arbeit fasst die Untersuchungen und die Ergebnisse des Forschungsprojekts „Ökologische und ökonomische Potentialanalyse der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit erster praktischer Untersuchung“ zusammen, welches von April bis Dezember 2017 vom Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur Wien durchgeführt wurde. Das Sondierungsprojekt wurde vom Klima- und Energiefond im Zuge des Energieforschungsprogramms 2016 gefördert und von der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft abgewickelt.

Im Zuge des Forschungsprojekts wurde die Technologie der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe erstmals näher untersucht, um vor allem das Anwendungspotential des Konzepts darzustellen.

Im Folgenden wird das Konzept der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe kurz beschrieben. Anschließend wird näher auf die im Zuge des Forschungsprojekts errichtete Versuchsanlage eingegangen und unter anderem Abmessungen der einzelnen Komponenten sowie Daten der Messtechnik angeführt. In den beiden darauf folgenden Kapiteln werden die technischen und fischökologischen Untersuchungen, welche an der Versuchsanlage durchgeführt wurden, beschrieben. Im Kapitel „theoretische Untersuchungen“ wird neben einer Simulation der Versuchsanlage auch die Beurteilung des Systems vorgenommen. Dazu wird eine ökonomische und ökologische Analyse sowie eine SWOT-Analyse durchgeführt, die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit herkömmlichen Lösungen zur Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit verglichen und das Anwendungspotential abgeschätzt.

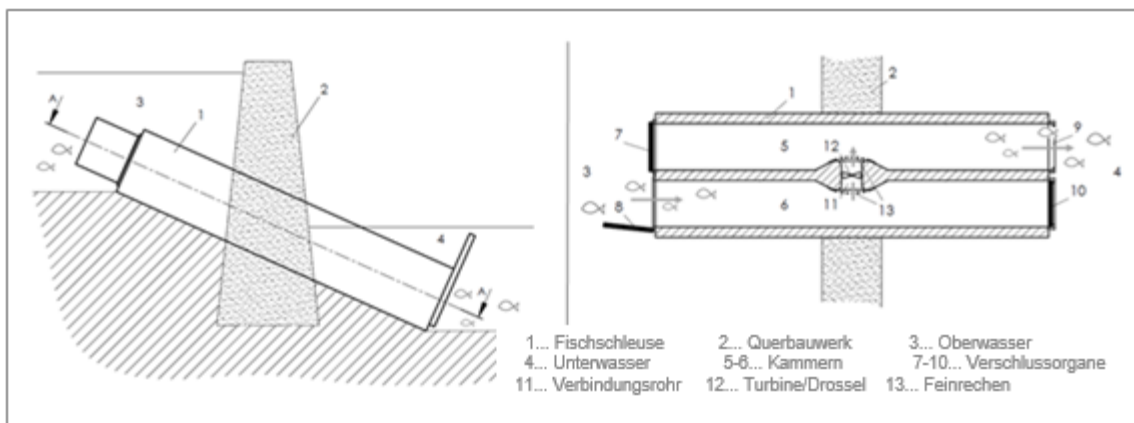
## 3 Beschreibung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe

Im Folgenden werden der Aufbau und die Funktion der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe kurz beschrieben.

### 3.1 Aufbau

Die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe besteht im Wesentlichen aus zwei Kammern mit Verschlussorganen zum Oberwasser und Unterwasser, einem Rohr, das die Kammern verbindet und einer Turbine bzw. Drosselvorrichtung, welche sich in diesem Verbindungsrohr befindet.

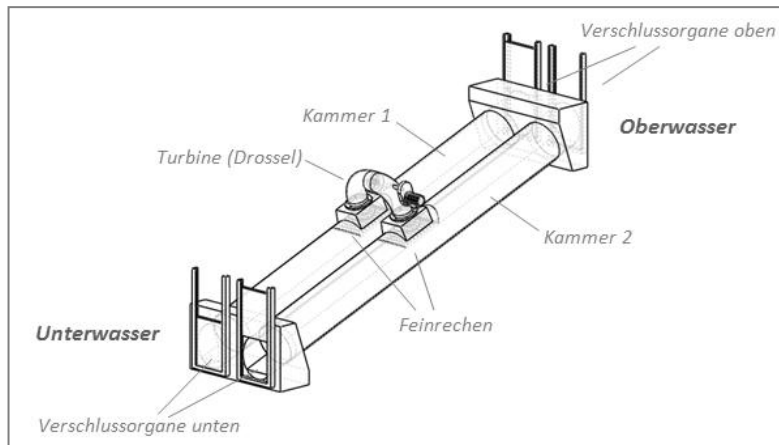
In der Abbildung 1 wird der Aufbau der Fischschleuse schematisch dargestellt:



**Abbildung 1: Seitenansicht und Schnitt A-A der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe**

Um die Organismen vor dem Eintritt in die Turbine zu schützen, ist bei beiden Zugängen zur Turbine ein Feinrechen angeordnet. Die Sohle der Kammern ist rau ausgeführt, um die Strömungsgeschwindigkeiten in Bodennähe zu reduzieren und somit auch schwimmschwachen Fischen den Aufstieg zu ermöglichen. Eine natürliche oder künstliche Belichtung in den Kammern kann vorgesehen werden.

Die tatsächliche konstruktive Ausführung kann von Abbildung 1 etwas abweichen. Beispielsweise können die Kammern aus Rohrleitungen gefertigt werden und sich die Turbine außerhalb der Kammern befinden, wie im späteren beschrieben wird und Abbildung 2 zeigt:



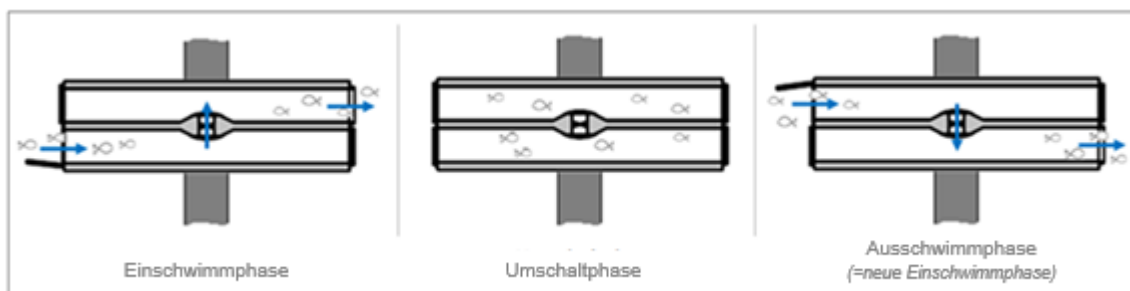
**Abbildung 2: weitere Ausführungsform der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe**

## 3.2 Funktion

Die vier Verschlussorgane der beiden Kammern werden so angesteuert, dass immer eine Kammer zum Oberwasser und die andere Kammer zum Unterwasser hin geöffnet und für Organismen zugänglich sind. Nach Ablauf eines Zeitintervalls erfolgt eine neue Ansteuerung der Verschlussorgane, sodass die zuvor zum Oberwasser hin geöffnete Kammer nun zum Unterwasser hin geöffnet ist und die zweite Kammer zum Oberwasser. Organismen die in die Kammern eingetreten sind, können somit vom Unterwasser in das Oberwasser gelangen bzw. vom Oberwasser in das Unterwasser. Zum Leiten der Organismen wird eine Leitströmung vorgesehen, die vom Oberwasser eintritt, durch das Verbindungsrohr fließt und dann in das Unterwasser austritt. Im Verbindungsrohr befindet sich eine Turbine, welche elektrische Energie bereitstellt und den Durchfluss begrenzt, sodass optimale Strömungsgeschwindigkeiten vorliegen.

Besonders wichtig für die Funktionsfähigkeit des Systems ist die Anordnung der vier Verschlussorgane unter der Wasseroberfläche. Weil dadurch der Druck im System schwankt und nicht der Wasserspiegel zählt die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe zu den Druckkammern-Fischschleusen, von denen bereits mehrere mit einer Kammer und ohne der beschriebenen neuen hydraulischen Verschaltung installiert wurden.

Im Folgenden wird beispielhaft gezeigt, wie Fische flussaufwärts (obere Kammer) und flussabwärts (untere Kammer) wandern können:



**Abbildung 3: Beispiel Fischauf- und Fischabstieg**

## Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische  
Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Es ist anzumerken, dass tatsächlich beide Kammern für den Auf- und Abstieg genutzt werden können und zu jedem Zeitpunkt, abgesehen von der sehr kurzen Umschaltphase, immer eine Kammer für aufsteigende Fische und die jeweils andere Kammer für absteigende Fische geöffnet ist.

Bei sehr kleinen Dotationen oder Höhendifferenzen bzw. falls aufgrund örtlicher Gegebenheiten eine Netzanbindung nicht möglich ist, kann auf eine Turbine verzichtet werden und die erforderliche Durchflussbegrenzung mit einer Drosselvorrichtung erfolgen.

## 4 Beschreibung des Versuchsaufbaus

Der Versuchsaufbau wurde am „SEDDON“-Forschungsgelände der Universität für Bodenkultur Wien errichtet. Da das Forschungsgerinne, indem ursprünglich der Versuchsaufbau geplant war, zum entsprechenden Untersuchungszeitraum nur für eine begrenzte Dauer zur Verfügung stand und erste konstruktive Planungen gezeigt haben, dass eine Errichtung des Versuchsaufbaus im freistehenden Gelände einfacher und kostengünstiger zu verwirklichen ist sowie dies keinen nachteiligen Einfluss auf die fischökologische Untersuchung hat, wurde diese Option gewählt. Dazu war neben dem Oberwasserbecken auch ein zusätzliches Unterwasserbecken zu installieren.

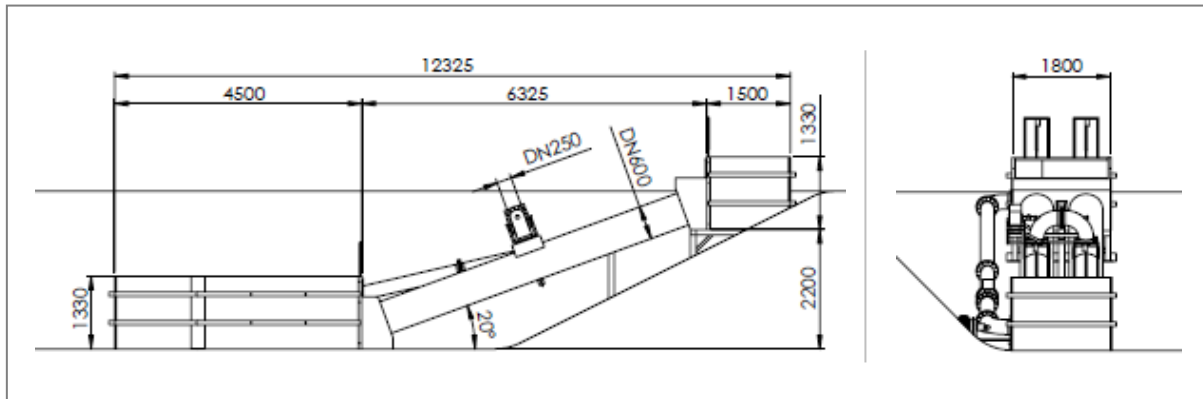
Mit Hilfe einer Analyse zur Ausführungsform der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe konnte festgestellt werden, dass eine Ausführung der Kammern mit Rohrleitungen, welche in Abbildung 2 gezeigt wird, mehrere Vorteile mit sich führt. Bei einer Konstruktion der Kammern aus Rohrleitungen können die Kosten und das Transportgewicht des Systems deutlich reduziert werden und aufgrund der außenliegenden Turbine bzw. Drossel ist eine wesentlich bessere Zugänglichkeit gegeben. Daher wurde diese Ausführungsform auch für den Versuchsaufbau gewählt, welcher in folgender Abbildung gezeigt wird:



**Abbildung 4: Versuchsaufbau der Universität für Bodenkultur Wien**

Bei der Planung des Versuchsaufbaus war es das Ziel die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe möglichst maßstabsgetreu auszuführen, damit aussagekräftige Ergebnisse erhalten werden. Zur Dimensionierung der Versuchsanlage wurden der „Leitfaden für den Bau von Fischaufstiegsanlagen“ vom BMLFUW (BMLFUW 2012) sowie weitere Literatur vor allem zu bereits realisierten technischen Fischwanderhilfen herangezogen, wie beispielsweise von der Fischschleuse Höllenstein (FISCHER et al. 2015 / SCHMALZ und THÜRMER 2015) und des Hydro-Fischlifts (ROTH und BAUMANN 2015).

Mit Hilfe von Angaben zu Strömungsgeschwindigkeiten und Dotationen wurde die Versuchsanlage so dimensioniert, sodass diese vor allem für die Fischregionen Epirhithral geeignet ist. In der folgenden Abbildung werden die Hauptabmessungen des Versuchsaufbaus gezeigt:



**Abbildung 5: Abmessungen des Versuchsaufbaus**

Wie Abbildung 1 zeigt, wird mit der Versuchsanlage eine Fallhöhe von ca. 2,20 m überwunden. Dies ist im Wesentlichen auf die Neigung 1:2,75 (20°) und die Rohrleitungslänge von 6 m zurückzuführen. Grundsätzlich könnte das System auch horizontal verwirklicht werden. Dabei würden sich alle vier Verschlussorgane in selber Höhe befinden und der Oberwasserspiegel würde um etwa 2,20 m höher sein als der Wasserspiegel im Unterwasser. Da aufgrund der geneigten Ausführung bei im späteren umgesetzten Anlagen der Aushub und somit die Kosten reduziert werden können, war es ein Ziel die Versuchsanlage ebenfalls mit einer Neigung auszuführen. Laut der Publikation „Wiederherstellung der Fischeauf- und -abwanderung“ der Schweizer Bundesanstalt für Umwelt (HEFTI 2012) kann ein Sohlanschluss bei Fischpässen mit einer Neigung von 1:1,5 bis 1:2 flussaufwärts verlegt werden. Die Fischschleuse Buchholz in der Schweiz, welche nur bedingt funktionsfähig ist, weist beispielsweise eine Neigung von 1:1,5 auf (RUHLE und SCHERRER 2009). Bei Düker hingegen sollte laut Literatur der Ein- und Ausstieg grundsätzlich deutlich flacher mit Neigungen von maximal 1:5 ausgeführt werden. Eine Untersuchung zu einem Düker mit einer Neigung von 1:2 in Berlin hat gezeigt, dass auch dieser uneingeschränkt fischpassierbar ist (WOLTER et al. 2010). Aufgrund der genannten Literatur und unter Berücksichtigung der Vorteile einer Neigung wurde die Versuchsanlage mit einer Neigung von 1:2,75 ausgeführt.

Neben der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe selbst wurden auch zwei Becken mit einem gesamten Fassungsvermögen von 13.300 l errichtet sowie ein Pumpenkreislauf, welcher Wasser vom Unterwasserbecken in das Oberwasserbecken fördert.

## 4.1 Detailbeschreibung der Hauptkomponenten

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten des Versuchsaufbaus näher beschrieben. Dabei werden vor allem auf die Auslegungskriterien und die gewählten Abmessungen genauer eingegangen.

### 4.1.1 Kammern

Die beiden Kammern wurden aus GFK-Rohrleitungen, zur Verfügung gestellt von der Firma Hobas, mit einer Nennweite von 600 mm und einer Länge von 6 m gefertigt. Die Innenoberfläche der Rohrleitungen ist glatt und hat eine leicht glänzende hellgelbe Farbe, wie Abbildung 6 zeigt. Aufgrund der Wandstärke und Festigkeit des GFK-Materials konnten die Kammern ohne tragende Unterkonstruktion verwirklicht werden.



Abbildung 6: Kammer, Sohle und eingebauter Feinrechen

### 4.1.2 Sohle

Die rauen Sohlen in den Kammern wurden aus insgesamt 12 Betonplatten mit eingegossenen Steinen (Größenklasse 50-120 mm) gefertigt, wie ebenfalls in Abbildung 6 ersichtlich ist. Die einzelnen Platten wurden mittels Bolzen in den Kammern fixiert.

### 4.1.3 Verschlussorgane

Die Verschlussorgane sind als Vertikalschütze ausgeführt und wurden selbst gefertigt. Angetrieben wurden die Verschlussorgane mittels vier Linearantriebe mit einer Hublänge von 450 mm und einer Stellgeschwindigkeit von 10,7 mm/s. Die Schützöffnungen sind 400 x 400 mm groß, damit sich eine Fließgeschwindigkeit von rund 0,5 m/s bei diesen einstellt. Die Schütztafeln wurden aus grauen PVC-Platten gefertigt. Für die fischökologischen Untersuchungen wurden die beiden Schütztafeln der Kammer 1 durch transparente Acrylglasplatten ersetzt, damit Licht in die Kammer eintreten kann.



**Abbildung 7: Verschlussorgane im Unterwasser**

#### 4.1.4 Rechen

Bei den beiden Einläufen zur Turbine bzw. Drossel wurden zwei Feinrechen mit einem Stababstand von 10 mm angeordnet, welche Fische vor dem Eintritt in die Turbine schützen sollen, aber auch die Turbine vor Verschmutzung. Die Rechen mit den Gesamtabmessungen von 750x430 mm wurden so dimensioniert, dass die maximale Anströmgeschwindigkeit bei einem Durchfluss von 100 l/s unter 0,5 m/s beträgt.



**Abbildung 8: Feinrechen**

#### 4.1.5 Turbine und Drossel

Die Turbine oder Drossel ist erforderlich, um den Durchfluss zu begrenzen, sodass optimale Strömungsgeschwindigkeiten vorliegen. Für die Versuchsanlage wurde eine sehr einfache Propellerturbine von Bernhard Mayrhofer zur Verfügung gestellt. Aus Kostengründen wurden symmetrische Bootspropeller als Rotoren und DN250 Standard-Rohrfittings genutzt. Ziel war es den Einfluss der Turbine auf die Fischwanderung beurteilen und die technisch möglichen Wirkungsgrade einer Turbine mit symmetrischem Rotor besser abschätzen zu können.



**Abbildung 9: Turbine und Rotoren**

Die Rohrbögen der Turbine wurden auch für die Realisierung der Drossel genutzt, indem Blenden mit unterschiedlichen Lochdurchmessern zwischen den Flanschen installiert wurden. Dabei wurden zwei Blenden mit Öffnungsdurchmessern von 115 mm und 145 mm mit einer Stärke von 2 mm genutzt. Die Vordimensionierung der Blenden erfolgte mittels Druckverlustberechnung.

#### **4.1.6 Turbinen-/Drosselanbindung an Kammer**

Für die Anbindung der Turbine bzw. Drossel an die Kammern wurden zwei Betonübergangsstücke gegossen. Die Übergangsstücke weisen einen konischen abgerundeten Austritt zu den Kammern auf, wie Abbildung 10 zeigt:



**Abbildung 10: Turbinen-/Drosselanbindung an Kammer**

#### **4.1.7 Betonsockel**

Die Anbindung der Kammern (Rohrleitungen) zu den Becken erfolgt über zwei idente Betonsockel, welche 1,8 m breit und knapp 1 m hoch sind, wie folgende Abbildung zeigt:



**Abbildung 11: Betonsockel**

## 4.1.8 Pumpe

Die Pumpe, welche das Wasser vom Unterwasserbecken in das Oberwasserbecken fördert, wurde eigens für den Versuchsstand gefertigt und ist konstruktiv ähnlich wie die Turbine ausgeführt. Sie wurde mit einem Saugkorb an das Unterwasserbecken angebunden und durch einen 22 kW Drehstrommotor angetrieben. Der Motor wiederum wurde von einem Frequenzumrichter gespeist, um die Drehzahl und somit den Durchfluss variieren zu können.



**Abbildung 12: Pumpe und Saugkorb**

## 4.1.9 Becken

Die Becken wurden aus Holz gefertigt und mit einer 1 mm starken grauen Teichfolie verkleidet. Die Becken weisen folgende Abmessungen auf:

### Unterwasserbecken:

- Länge / Breite / Höhe: 4,5 / 1,8 / 1,3 m
- Fassungsvermögen: 10.000 l

## Oberwasserbecken:

- Länge / Breite / Höhe: 1,5 / 1,8 / 1,3 m
- Fassungsvermögen: 3.300 l

Das Unterwasserbecken ist durch eine Zwischenwand in zwei Bereiche unterteilt. Das Wasser des hinteren 1,5 m langen Bereichs wurde bei Anlageninbetriebnahme in den vorderen Bereich mit einer Tauchpumpe gepumpt, sodass mit diesem Wasser die Kammern der Fischschleuse und das Oberwasserbecken befüllt werden konnten. Bei Stromausfall, Anlagenabschaltung bzw. entsprechender Ansteuerung der Schütze konnte das Wasser in den hinteren Teil des Unterwasserbeckens zurückfließen.

In den Becken wurde eine Kiesschicht eingebracht und leichte Anrampungen zu den Schützöffnungen geschaffen. Im Unterwasserbecken wurden aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten während der Umschaltphase beim Kammern-Auslauf Waschbetonplatten vor den Schützen angebracht, um das Wegspülen des Kieses zu verhindern.



**Abbildung 13: Unterwasserbecken mit Kiesschicht und Waschbetonplatten**

### **4.1.10 Steuerung**

Die Bedienung der Versuchsanlage erfolgte über eine Siemens LOGO Steuerung und einem Bedienpult. Die Schütze konnten dabei händisch, halbautomatisch (Umschaltphase startet bei Tastendruck) oder auch automatisch (Umschaltphase startet nach vorgegebener Zeit) angesteuert werden und die Pumpendrehzahl über zwei Potentiometer.

Konstruktive Details zu allen Bauteilen und dem gesamten Versuchsstand sind aus den entsprechenden Konstruktionsplänen des elektronischen Anhangs zu entnehmen.

## **4.2 Messwertaufnahme**

Für die technischen Untersuchungen aber auch zur Bestimmung der abiotischen Bedingungen während der fischökologischen Untersuchungen, wurden folgende Messungen am Versuchsstand vorgenommen.

## 4.2.1 Drehmoment- und Drehzahlmessung

Für die Drehmoment- und Drehzahlmessung wurde ein Drehmomentaufnehmer genutzt, der zwischen Turbinenwelle und Wirbelstrombremse installiert wurde, wie Abbildung 14 zeigt:



### Eckdaten:

- Drehmomentaufnehmer: ETH DRBK-100-n; S-Nr.809012066
  - Messbereich 0...100 Nm
  - Ausgangssignal 10 +/- 8 mA
  - max. Messabweichung 0,5 % b.a.E.
- Drehzahlmesser: (in Drehmomentaufnehmer integriert)
  - Messbereich 0...16000 min<sup>-1</sup>
  - Ausgangssignal 60 Impulse

Abbildung 14: Drehmomentaufnehmer im eingebauten Zustand

Vor und nach den Messungen wurde der Drehmomentaufnehmer im eingebauten Zustand mit Gewichten mehrfach kalibriert.

## 4.2.2 Durchflussmessung

Die Durchflussmessung wurde mit Hilfe eines magnetisch induktiven Durchflussmessers realisiert, der druckseitig nach der Turbine in die Rohrleitung eingebaut wurde. In Abbildung 15 werden der Durchflussmesser gezeigt und dessen Eckdaten zusammengefasst:



### Eckdaten:

- Durchflussmesser: Endress + Hauser Promag F 33FH2F-DD1AA11A21A; S-Nr. X4373743
  - Rohrnennweite DN 250
  - Durchfluss 14,7...490,8 l/s
  - max. Messabweichung +/- 0,5 % b.a.M.
  - Einlaufstrecke min. 5 x DN
  - Kalibrierung werkseitig

Abbildung 15: Durchflussmessung

Eine Überprüfung der Durchfluss-Messwertaufnahme wurde mit Hilfe eines Messwehrs durchgeführt, wie Abbildung 16 zeigt:



## Eckdaten:

- Rechteckmesswehr:
  - ohne Seitenkontraktion
  - Überfallbreite (b) 300,5 mm
  - Wehrhöhe (w) 47 mm
  - Überfallhöhe (h) wurde gemessen
  - Überfallsbeiwert ( $\mu$ ) berechnet

$$\mu = 0.615 \left( 1 + \frac{1}{1000h + 1.6} \right) \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{h}{h + w} \right)^2 \right]$$

Abbildung 16: Messwehr

Mit dem Messwehr konnten Durchflüsse bis 50 l/s gemessen werden. Die maximale Abweichung der Messergebnisse zu denen des magnetisch induktiven Durchflussmessers betrug unter 5 % und im Durchschnitt unter 1,5 %.

### 4.2.3 Wasserstandsmessung

Die Wasserstandsmessung im Ober- und Unterwasserbecken wurde durch folgende Ultraschall-Levelsensoren verwirklicht:



## Eckdaten:

- Levelsensor: Pepperl+Fuchs UB4000-F42-I-V15; Part No. 134003
  - Messbereich 200...4000 mm
  - Ausgangssignal 4...20 mA
  - max. Messabweichung 1 % b.a.E.
  - Kalibrierung eigens vorgenommen

Abbildung 17: Wasserstandsmessung

Die Kalibrierung der Levelsensoren wurde durch Messungen mit Maßbändern überprüft. Die Höhendifferenz zwischen Ober- und Unterwasserbecken wurde mit einem Nivelliergerät bestimmt.

### 4.2.4 Druckmessung

Mit einem Drucksensor wurde die Druckschwankung in Kammer 1 gemessen aber auch der Druck bei Wirkungsgradmessungen mit Druckaufsatz, um die wirksame Fallhöhe zu ermitteln.

Der Drucksensor und die Schlauchleitung zu diesem wurden bei jeder Messung entlüftet, um Messfehler zu verhindern. Während der Untersuchungen wurde die Messgenauigkeit mehrfach mittels der Levelsensoren und der berechneten Fallhöhe überprüft.

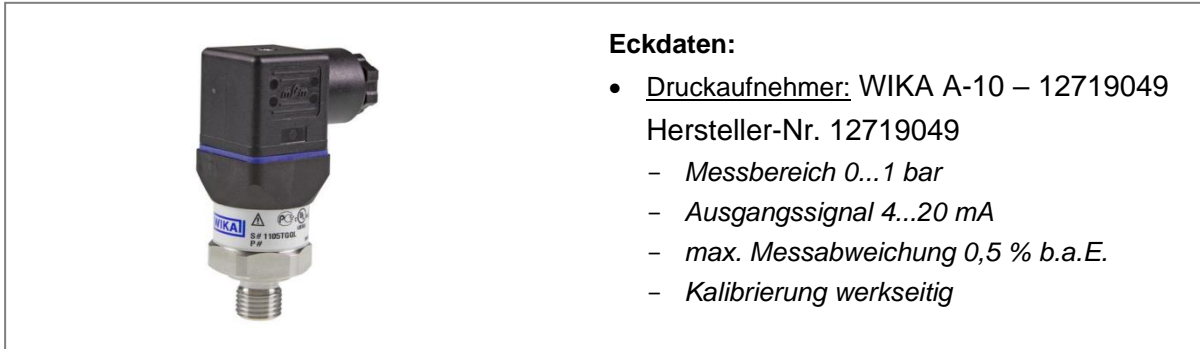


Abbildung 18: Druckmessung

## 4.2.5 Strömungsgeschwindigkeitsmessung

Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden mit folgendem Messflügel gemessen:



Abbildung 19: Strömungsgeschwindigkeitsmessung

## 4.2.6 Messwertaufnehmer

Alle elektrischen Messsignale wurden mit einem Messwertaufnehmer erfasst und mit der Software DASyLab 13.0 weiterverarbeitet und visualisiert.

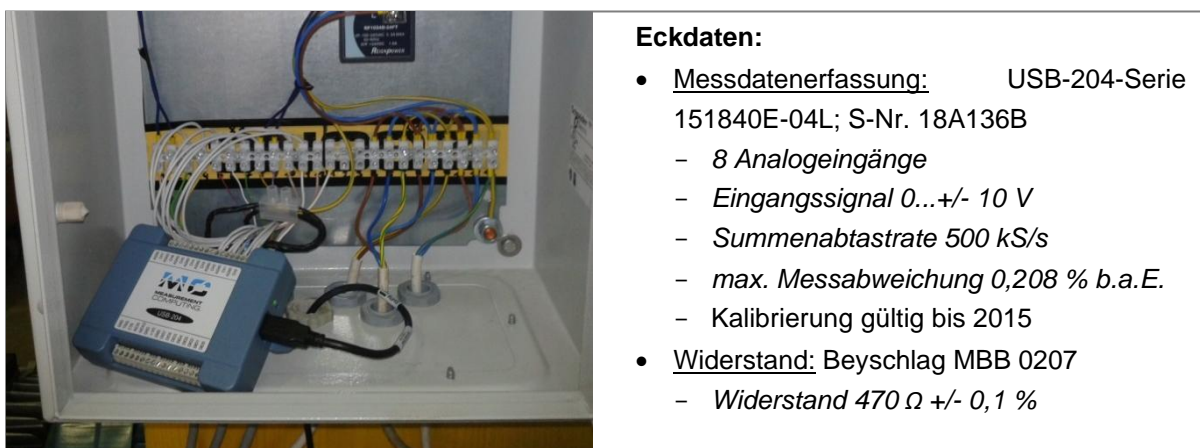


Abbildung 20: Messwertaufnehmer

Folgende Abbildung zeigt die Visualisierung der Messdaten mit der Software:

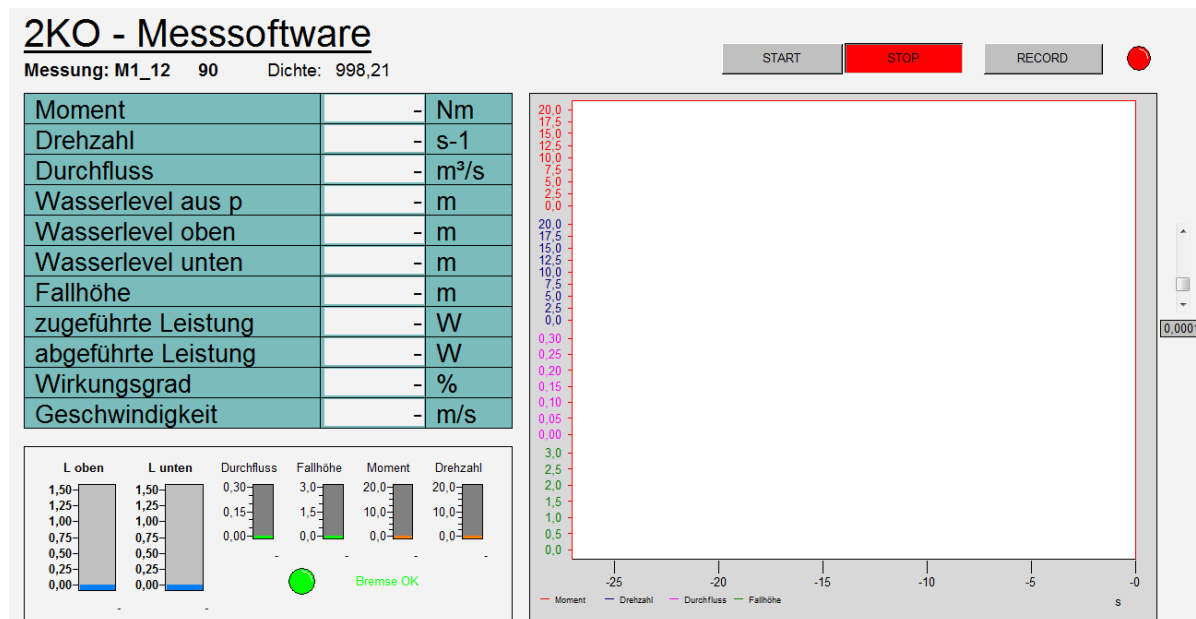


Abbildung 21: Visualisierung der Messungen

In Abbildung 22 wird die Signalverarbeitung in der Software graphisch dargestellt:

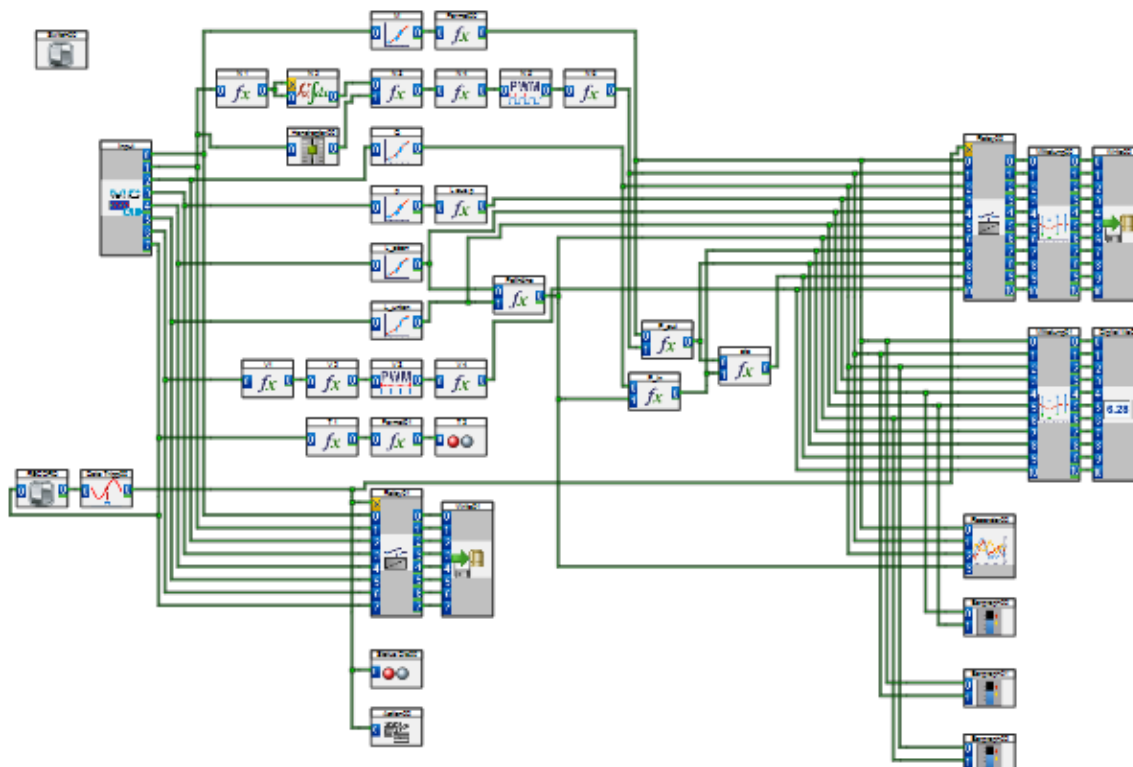


Abbildung 22: Signalverarbeitung in Messsoftware

## 5 Technische Untersuchung

Die technischen Untersuchungen wurden am Versuchsstand durchgeführt. Mit diesen sollten erste Kenntnisse zum Betriebe, der Funktion und der Betriebssicherheit gesammelt werden. Dazu wurden die im Folgenden beschriebenen Messungen durchgeführt. Zu besserer Verständlichkeit werden dabei die Kammern und Schütze wie Abbildung 23 zeigt bezeichnet.

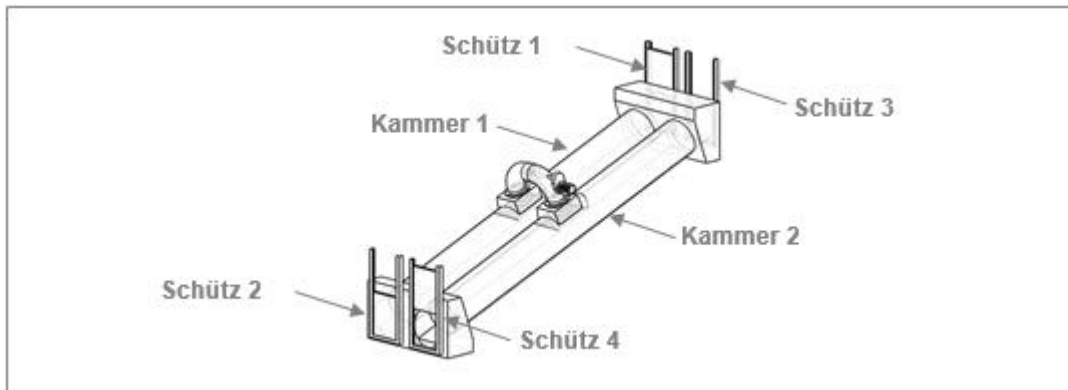


Abbildung 23: Kammern- und Schützbezeichnungen

### 5.1 Bestimmung der Durchflüsse in Abhängigkeit der Öffnungshöhe

Beim ersten Versuch wurden die Durchflüsse in Abhängigkeit der Schütz-Öffnungshöhen bestimmt, um unter anderem Rückschlüsse auf die optimalen Verschlussorgan-Stellzeiten für einen gleichmäßigen Durchfluss zu erhalten.

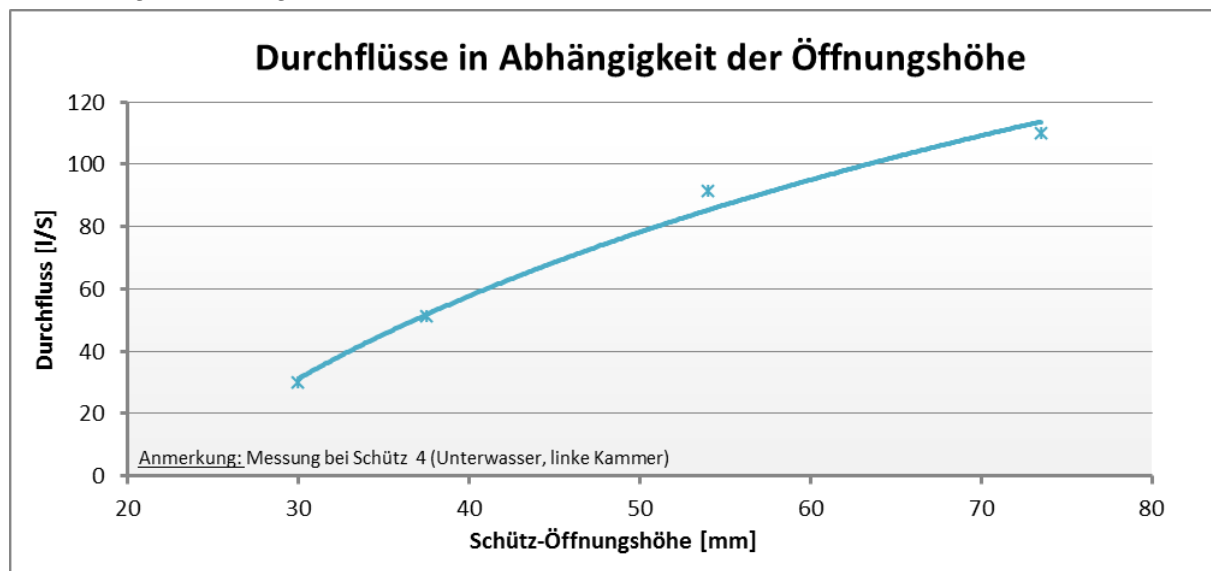


Diagramm 1: Durchflüsse in Abhängigkeit der Öffnungshöhe

Dazu wurden die beiden Schütze 1 und 2 geschlossen, Schütz 3 geöffnet und mittels Öffnungshöhe von Schütz 4 Durchflüsse von 30 bis 110 l/s bei einer Fallhöhe von ca. 2,5 m verwirklicht.

Mit Hilfe der vier Messpunkte konnte ein mittlerer Abflussbeiwert von 0,52 bestimmt werden. Einen konkreten Rückschluss auf den Durchfluss bei vollständig geöffneten Schütz kann diese Messung nicht geben, weil dazu weitere Messpunkte mit deutlich größeren Durchflüssen bzw. Öffnungshöhen notwendig wären und diese aufgrund der begrenzten Pumpenleistung nicht verwirklicht werden konnten.

## 5.2 Messung der Strömungsgeschwindigkeiten

Die Strömungsgeschwindigkeiten haben einen bedeutenden Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe. Im Zuge der technischen Untersuchung wurden die Strömungsgeschwindigkeiten in den Kammern, vor und nach den Feinrechen bei den Schützen mit einem Messflügel gemessen.

Da aufgrund von Verwirbelungen zum Teil keine aussagekräftigen Ergebnisse erzielt werden konnten, wurden zusätzlich 3D-Simulationen durchgeführt. Dazu wurde die Versuchsanlage mit SolidWorks nachgebildet und im Programm Flow 3D und COSMOSFlowXpress simuliert.

### Messung in Kammern

Die Fließgeschwindigkeit in den Kammern wurde bei 50, 80 und 110 l/s gemessen, um den Einfluss der rauen Sohle zu bestimmen. Der Messflügel wurde dabei in vier unterschiedlichen Höhen einen Meter nach Schütz 3 in Kammermitte positioniert. Folgende Grafik zeigt die Messergebnisse:

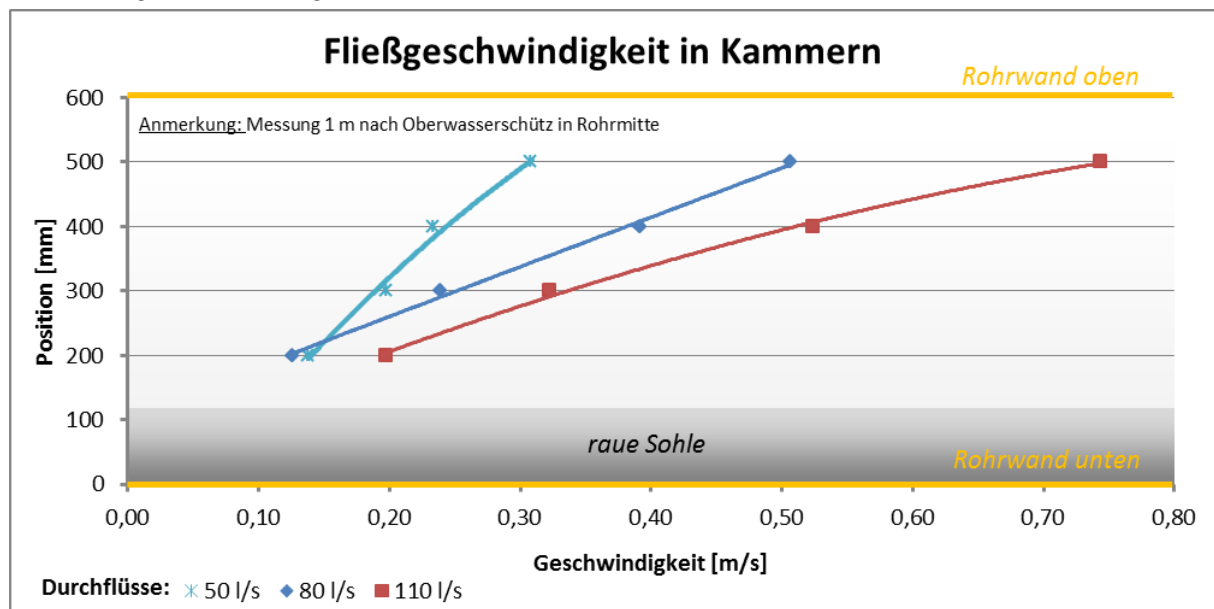


Diagramm 2: Fließgeschwindigkeit in Kammern

Es ist ersichtlich, dass die Fließgeschwindigkeit in Bodennähe deutlich abnimmt und ca. 10 cm über der Sohle bei allen Durchflüssen unter 0,2 m/s liegt. Dies entspricht der Dauerschwimmgeschwindigkeit von Fischen mit Längen von etwa 10 cm (PAVLOV 1989). Bei der Sohle selbst, beispielsweise hinter Steinen, ist die Fließgeschwindigkeit noch

geringer, wodurch auch für sehr kleine bzw. juvenile Fische der Auf- und Abstieg möglich sein sollte.

## Messungen vor und nach den Feinrechen

Der Feinrechen wurde so ausgelegt, dass die Anströmgeschwindigkeit unter 0,5 m/s liegen sollte. Zur Überprüfung der Auslegung wurde die Strömungsgeschwindigkeit etwa 3 cm nach dem Rechen in Rechenmitte bei 50, 80 und 100 l/s gemessen. Zusätzlich wurde an derselben Position auch die Ausströmgeschwindigkeiten gemessen, um mit Hilfe der Simulation die Strömungsverhältnisse besser nachbilden zu können.

Das folgende Diagramm zeigt die Geschwindigkeiten vor und nach den Feinrechen:

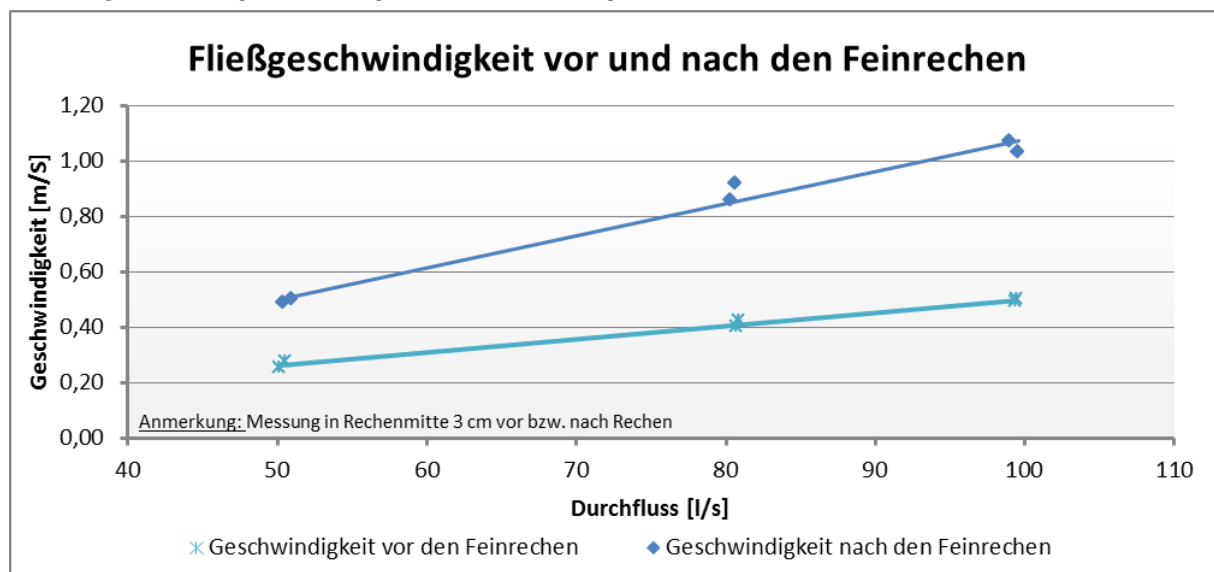


Diagramm 3: Fließgeschwindigkeiten vor und nach den Feinrechen

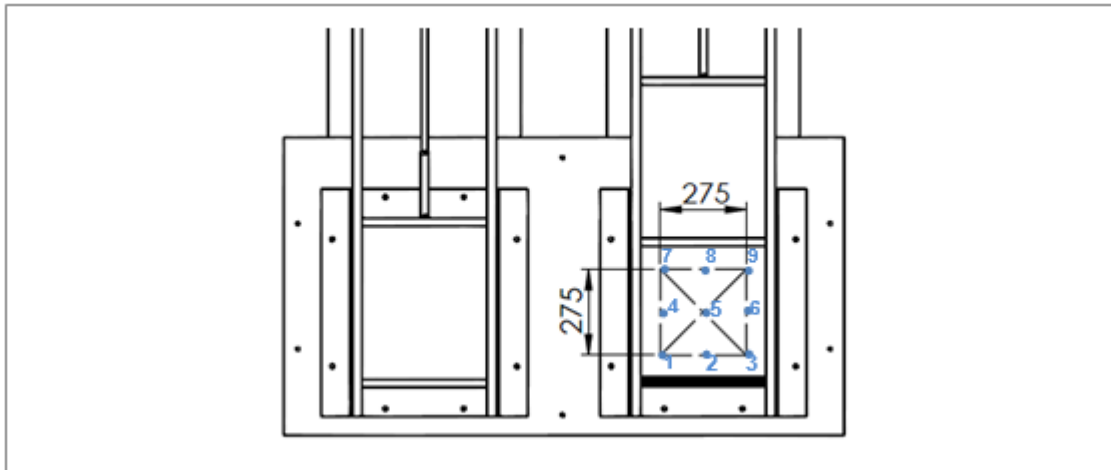
Man kann sehen, dass die Anströmgeschwindigkeit bei 100 l/s knapp unter 0,5 m/s liegt. Für größere Durchflüsse sollte die Rechengeometrie (Länge, Breite, Stabform...) verändert werden, um einen ausreichenden Fischschutz zu gewährleisten.

Die Geschwindigkeit nach den Feinrechen ist etwa doppelt so hoch als vor den Rechen. Aus fischökologischer Sicht ist dies unproblematisch, weil die Fische nicht zum Rechen gedrückt werden. Die hohe Ausströmgeschwindigkeit in Rechenmitte zeigt, dass das Saugrohr der Turbine nicht optimal ausgeführt ist.

Auch die 3D-Simulation bestätigt das Verhalten. Nähere Informationen zur Simulation sind im Kapitel 7.1 zu finden.

## Messung bei Schütze

Die Fließgeschwindigkeiten wurden oberwasserseitig 10 cm vor und unterwasserseitig 10 cm nach den Schützen an neun Positionen (siehe Abbildung 24) bei 50, 80 und 110 l/s gemessen. Aufgrund von Querströmungen konnten keine aussagekräftigen Ergebnisse bei den Messungen vor den Schützen erhalten werden. Unterwasserseitig war eine Messung der Strömungsgeschwindigkeiten nach Schütz 4 möglich.



**Abbildung 24: Messpunkte der Geschwindigkeitsmessung bei Schütz 4**

Folgende Tabelle fasst die Fließgeschwindigkeiten in m/s bei unterschiedlichen Durchflüssen nach Schütz 4 zusammen:

Durchfluss	Position								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50 l/s	0,35	0,35	0,20	0,31	0,31	0,06	0,33	0,27	0,30
80 l/s	0,49	0,49	0,22	0,58	0,56	0,50	0,53	0,63	0,60
110 l/s	0,67	0,65	0,06	0,71	0,74	0,36	0,65	0,73	0,64

## 5.3 Bestimmung der Verschlussorgan-Stellzeiten

Um einen gleichmäßigen Abfluss durch die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe zu erreichen, müssen die Verschlussorgane gezielt zeitlich angesteuert werden. Der gleichmäßige Abfluss wird beispielsweise benötigt, wenn die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit einem Fischpass kombiniert wird.

Tests am Versuchsstand haben gezeigt, dass bei 100 l/s die optimale Verzögerungszeit (Zeitdauer nachdem sich die Schütze zu schließen beginnen bis die zu öffnenden Schütze angesteuert werden) 28 s beträgt. Bei weiteren Messungen konnte festgestellt werden, dass der Durchfluss und die Fallhöhe nur einen kleinen Einfluss auf die Verzögerungszeit haben. Einen deutlich größeren Einfluss besitzen die Stellzeiten der Verschlussorgane aber auch die Verschlussorganabmessungen. Aufgrund der Vielzahl der Einflussparameter muss die optimale Verzögerungszeit bei Bedarf individuell für jeden Standort bestimmt werden.

## 5.4 Messung der Druckschwankungen in den Kammern

Die Druckschwankungen in den Kammern können einen Einfluss auf die maximale Fallhöhe haben, welche mit Hilfe der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe überwunden werden kann. Daher wurde eine Messung zur Druckschwankung am Versuchsstand vorgenommen.

Folgendes Diagramm zeigt die Druckänderung in den Kammern bei einer Fallhöhe von 2,2 m und einem Durchfluss von 120 l/s:

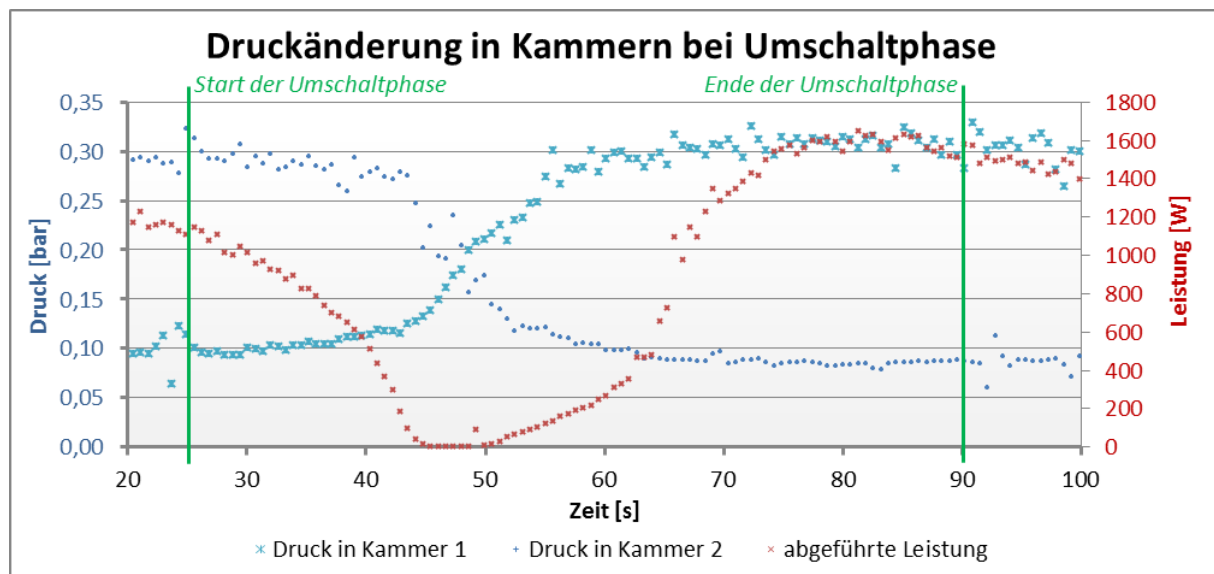


Abbildung 25: Druckänderung in Kammern bei Umschaltphase

Neben der Druckänderung wird auch die abgegebene Leistung der Turbine visualisiert. Es ist anzumerken, dass zu Beginn der Messung (vor Umschaltphase) die Turbine noch nicht vollständig entlüftet war, wodurch vor der Umschaltphase die abgegebene Leistung etwas geringer war.

Im Diagramm ist zu erkennen, dass die Druckänderung in einem Zeitraum von etwa 25 Sekunden erfolgt. Unter Berücksichtigung der Verzögerungszeit und der Verschlussorgan-Stellgeschwindigkeit kann festgestellt werden, dass sich die Druckänderung vor allem bei den letzten bzw. ersten 10 cm Schütz-Öffnungshöhen abspielt. Um die Druckänderungsgeschwindigkeit zu verringern, sollte daher vor allem in diesem Bereich die Verschlussorgan-Stellgeschwindigkeit verringert werden.

Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass sich die Fische frei in den Kammern bewegen können, wodurch die Druckänderung, welcher die Fische ausgesetzt sind, deutlich geringer ausfallen kann.

## 5.5 Bestimmung der Verschlussorgan-Leckage

Um einen besseren Rückschluss auf den Turbinenwirkungsgrad treffen zu können, wurde die Durchfluss-Leckage der Verschlussorgane bestimmt. Dazu wurden im Wesentlichen zwei Versuche durchgeführt.

### Versuch 1: Verschlussorgan-Leckage Unterwasser

Zur Bestimmung der Leckage der Schütze 2 und 4 wurden diese Schütze geschlossen und die Kammern sowie das Oberwasserbecken mit Wasser befüllt, sodass sich eine Fallhöhe von 2,5 m eingestellt hat. Anschließend wurde die Zeit gemessen, bis sich der Oberwasserspiegel um 10 cm reduziert hat. Dabei waren die Schütze 1 und 3 ständig geöffnet und ein Abfließen des Wassers durch die Pumpenrohrleitung wurde mit einer Rückschlagklappe verhindert. Mit Hilfe der Beckengeometrie und der gemessenen Zeitdauer konnte eine Leckage von 6 l/s für beide Unterwasserschütze berechnet werden.

Durch eine Analyse der Wasserstandabnahme in den Kammern konnte die Leckage der beiden Schütze näher bestimmt werden. Es wird davon ausgegangen, dass Schütz 2 eine Leckage von 3,4 l/s aufweist und Schütz 4 von 2,6 l/s.

## Versuch 2: Verschlussorgan-Leckage Oberwasser

Zur Messung der Leckage von Schütz 1 und 3 wurden zu Beginn die beiden unterwasserseitigen Verschlussorgane geschlossen und wie bei Versuch 1 die Kammern und das Oberwasserbecken befüllt. Anschließend wurden die Schütze 1 und 3 geschlossen und die beiden unterwasserseitigen Verschlussorgane geöffnet. Mit Hilfe der Zeitdauer für die Wasserspiegelabnahme konnte wiederum eine Leckage von 1,6 l/s für die beiden oberwasserseitigen Verschlussorgane bestimmt werden.

Die Messung hat gezeigt, dass im Schnitt 3,8 l/s Wasser durch die Verschlussorgane fließen und nicht von der Turbine genutzt werden. Diese Leckage wurde bei der Bestimmung des Turbinenwirkungsgrads berücksichtigt.

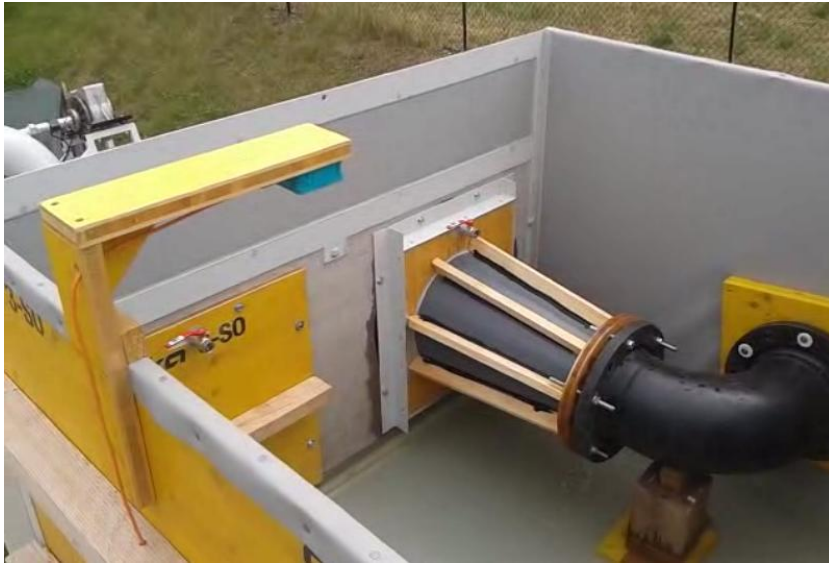
## 5.6 Messung des Turbinenwirkungsgrads

Der Wirkungsgrad der Turbine (mechanische Wellenleistung zur hydraulischen Leistung) wurde unter mehreren Testbedingungen untersucht. Es wurden zwei Rotoren mit unterschiedlichen Rotorblatt-Steigungen (Rotor 1 = 125 mm / Rotor 2 = 178 mm) genutzt und zum Teil Leitbleche, wie Abbildung 26 zeigt, in die Rohrbögen der Turbine eingeklebt.



**Abbildung 26: Leitbleche im aus- und eingebauten Zustand**

Um den Wirkungsgrad auch bei größeren und kleineren Fallhöhen als die Beckenanordnung vorgibt bestimmen zu können, wurde ein Druckaufsatz gefertigt und die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit definierten Drücken von der Pumpe betrieben, wie folgende Abbildung zeigt:



**Abbildung 27: Druckaufsatz und Abdeckplatte**

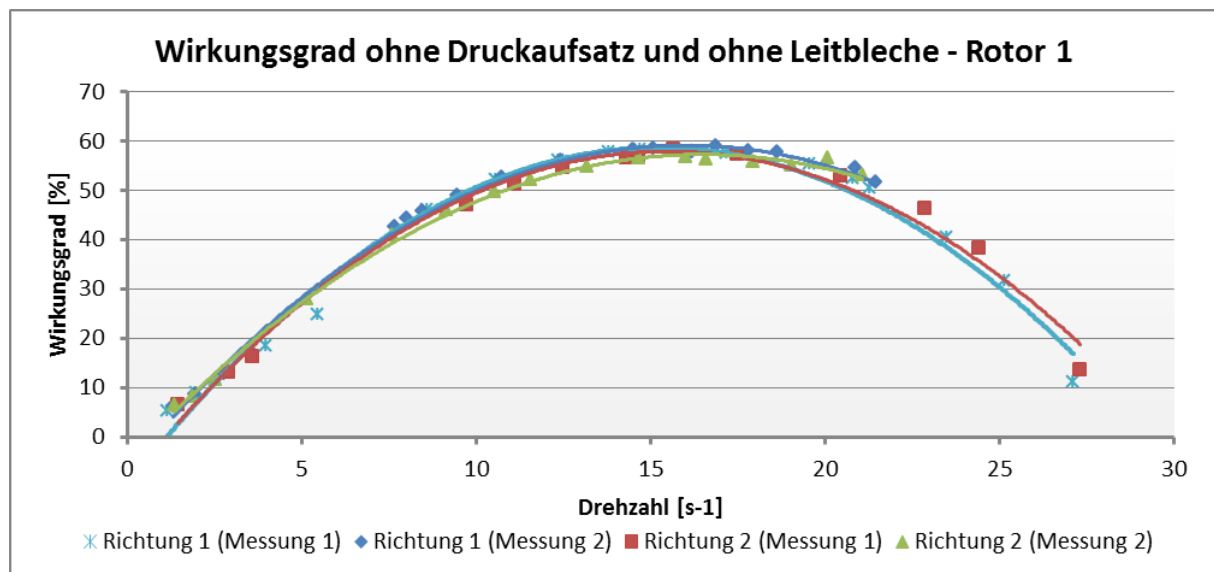
Um einen Lufteintritt durch Schütz 3 bei den Messungen zu verhindern, wurde dieser Schütz durch eine Abdeckplatte aus Holz ersetzt.

### **5.6.1 Wirkungsgrad ohne Druckaufsatz und ohne Leitbleche**

Zu Beginn wurde der Wirkungsgrad ohne Druckaufsatz und ohne Leitbleche bestimmt, um die Ergebnisse mit denen mit Druckaufsatz vergleichen zu können und somit Fehler vor allem bei der Druckmessung ausschließen zu können.

Vor der Untersuchung wurde das System mittels mehrerer Umschaltphasen entlüftet, sodass konstante Bedingungen vorlagen.

Die Messung wurde bei einer Fallhöhe von 2,2 m durchgeführt. Dabei wurde die Turbinendrehzahl vom Stillstand bis Leerlauf bzw. umgekehrt in mehreren Schritten erhöht, um die optimale Drehzahl bestimmen zu können. Es wurden jeweils zwei Messungen für beide Drehrichtungen durchgeführt, um den Einfluss der Drehrichtung feststellen zu können aber auch um sicherzustellen, dass das System ausreichend entlüftet war. In der folgenden Grafik werden die Wirkungsgradverläufe der einzelnen Messungen dargestellt.

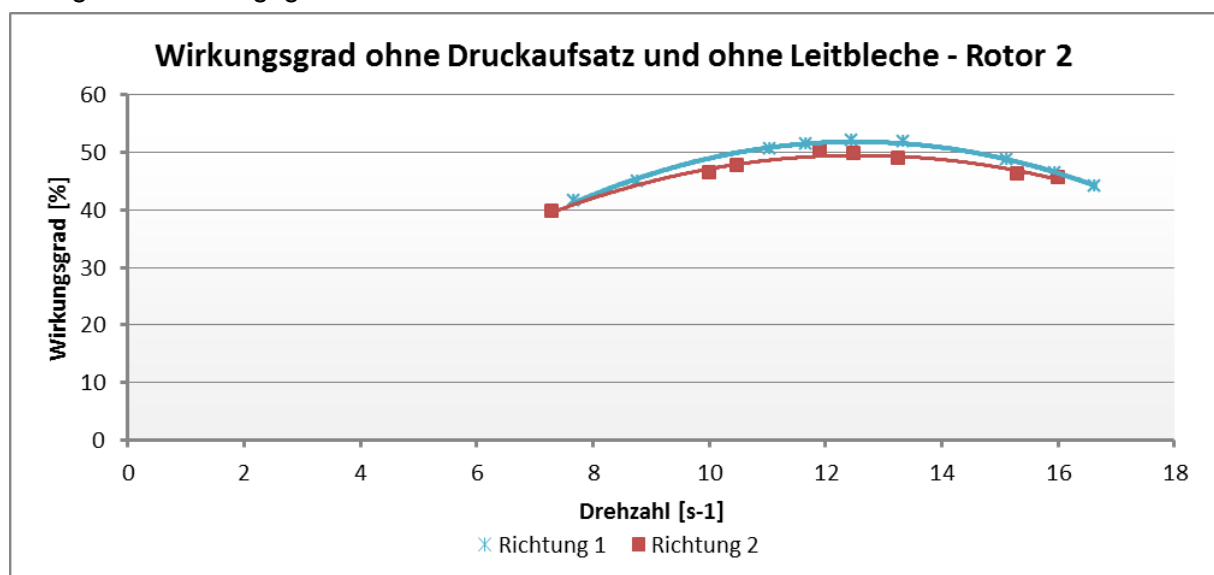


**Diagramm 4: Wirkungsgrad ohne Druckaufsatz und ohne Leitbleche - Rotor 1**

Diese und die folgenden weiteren Grafiken zum Wirkungsgrad wurden um die Leckage-Verluste und Kalibrierungsabweichungen bereinigt.

In Diagramm 4 ist kaum ein Unterschied zwischen den einzelnen Messungen und Drehrichtungen zu erkennen. Es konnte mit Rotor 1 ein maximaler Wirkungsgrad von 58,5% erreicht werden. In Abhängigkeit der Drehzahl wurden Durchflüsse von 90 bis 160 l/s realisiert.

Die Messung des Wirkungsgrads von Rotor 2 wurde ebenfalls wie oben beschrieben durchgeführt, wobei aber nur eine Messung je Drehrichtung vorgenommen wurde. Diagramm 5 zeigt den Wirkungsgradverlauf des Rotors 2:



**Diagramm 5: Wirkungsgrad ohne Druckaufsatz und ohne Leitbleche - Rotor 2**

Aufgrund der begrenzten Leistung der Pumpe aber auch des Netzteils zur Ansteuerung der Wirbelstrombremse, konnte der Wirkungsgrad nur im Drehzahlbereich von etwa 7 bis 17 s<sup>-1</sup>

und bei den entsprechenden Durchflüssen von ca. 120 bis 160 l/s bestimmt werden. Es wurde dabei mit Rotor 2 ein maximaler Wirkungsgrad von 52 % erreicht.

Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass die realisierten Durchflüsse der Turbine für die Kammern- und Schieberabmessungen etwas zu hoch waren, weil somit die Strömungsgeschwindigkeiten nicht mehr in den aus fischökologischer Sicht optimalen Bereich liegen. Für die Baugröße der Versuchsanlage wäre eine Turbine mit einem Durchfluss von 50 bis 100 l/s ideal.

## 5.6.2 Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und ohne Leitbleche

Bei den Messungen mit dem Druckaufsatz wurden ebenfalls die Kammern und die Turbine entlüftet. Die Turbine konnte dabei durch eine abschließbare Öffnung im Rohrbogen und die Kammern über zwei Kugelhähne im Druckaufsatz und der Abdeckplatte entlüftet werden.

Es wurden Messungen bei mehreren Fallhöhen durchgeführt, wobei bei jeder Fallhöhe Messpunkte bei unterschiedlichen Drehzahlen aufgezeichnet wurden. Folgender Zusammenhang konnte festgestellt werden:

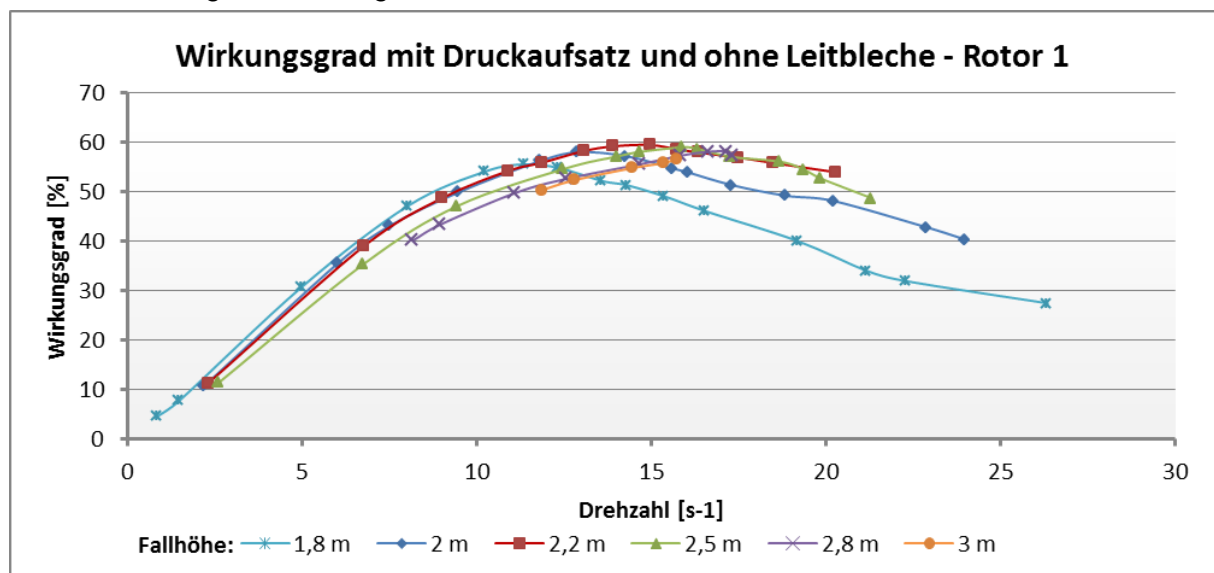


Diagramm 6: Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und ohne Leitbleche - Rotor 1

Das Diagramm zeigt, dass bei einer Fallhöhe von 2,2 m und einer Drehzahl von etwa 15 s-1 der maximale Wirkungsgrad von 59,5 % gemessen wurde. Bei einer Fallhöhe von 1,8 m konnte beispielsweise ein Wirkungsgrad von 55,6 % erreicht werden und bei 3 m von 56,7 %. Bei größeren Durchflüssen wäre noch ein etwas höherer Wirkungsgrad zu erwarten. Aufgrund der begrenzten Pumpenleistung konnte dies nicht nachgewiesen werden.

In folgender Grafik wird die Abhängigkeit des Durchflusses von der Turbinendrehzahl visualisiert:

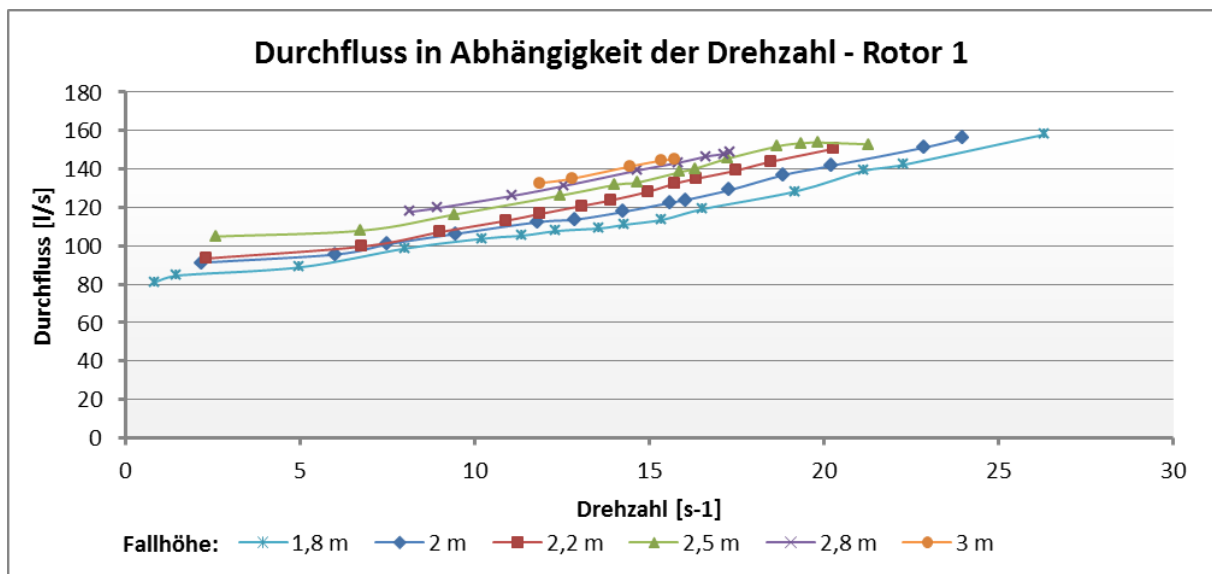


Diagramm 7: Durchfluss in Abhängigkeit der Drehzahl - Rotor 1

Wie zu erwarten, nimmt der Durchfluss mit der Turbinendrehzahl und mit der Fallhöhe zu. Der Turbinendurchfluss erhöht sich im Leerlauf um etwa 50 % gegenüber der Drehzahl mit Wirkungsgradoptimum.

Bei den Messungen mit Rotor 2 konnten wiederum aufgrund der begrenzten Pumpenleistung und der begrenzten Leistung der Wirbelstrombremse nur wenige Messpunkte aufgenommen werden. Folgendes Diagramm zeigt die gemessenen Wirkungsgrade:

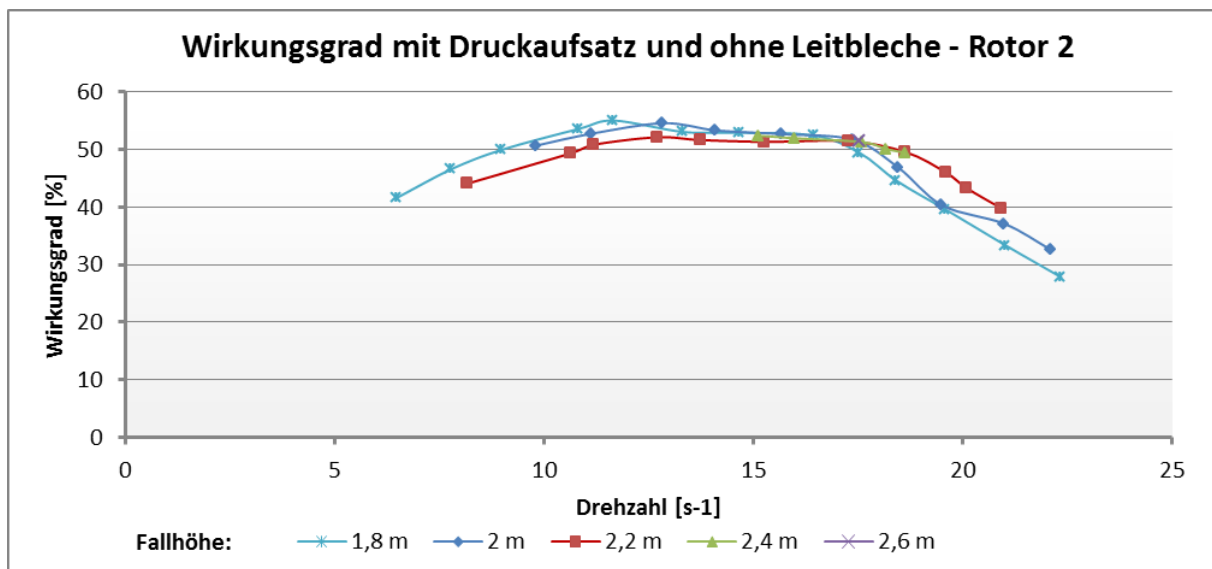


Diagramm 8: Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und ohne Leitbleche - Rotor 2

Es ist zu erkennen, dass die Wirkungsgrade mit Rotor 2 kleiner sind als mit Rotor 1, welcher eine geringere Steigung aufweist. Es konnte ein maximaler Wirkungsgrad von 55,1 % gemessen werden. Es ist anzumerken, dass die erhöhten Verluste vor allem auf die zusätzlichen Verluste im Zu- und Auslaufbereich der Turbine sowie die zusätzlichen Strömungsverluste im Turbinenrohrbogen aufgrund der größeren Durchflüsse

zurückzuführen sind und nicht direkt auf die veränderte Rotorgeometrie. Im Diagramm 9 werden die Durchflüsse von Rotor 2 in Abhängigkeit der Turbinendrehzahl und der Fallhöhe gezeigt:

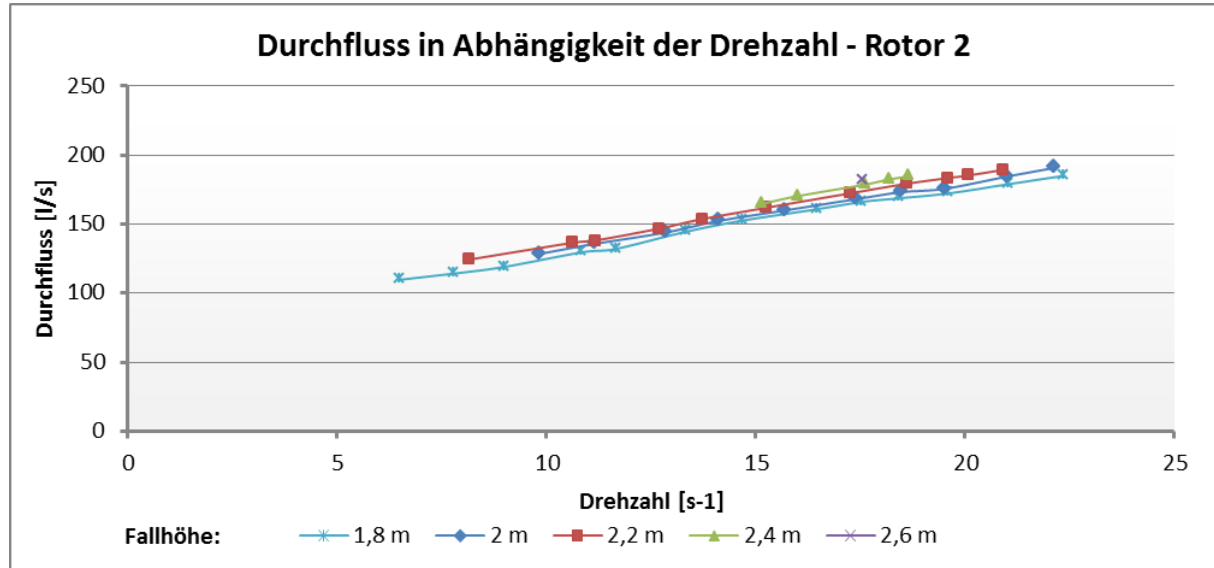


Diagramm 9: Durchfluss in Abhängigkeit der Drehzahl - Rotor 2

### 5.6.3 Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und mit Leitbleche

Um den Einfluss der Leitbleche auf den Wirkungsgrad zu bestimmen, wurden Leitbleche in beide Rohrbögen eingeklebt. Anschließend wurden die Wirkungsgrade wie zuvor mit dem Druckaufsatz gemessen.

Folgendes Diagramm zeigt die Messergebnisse:

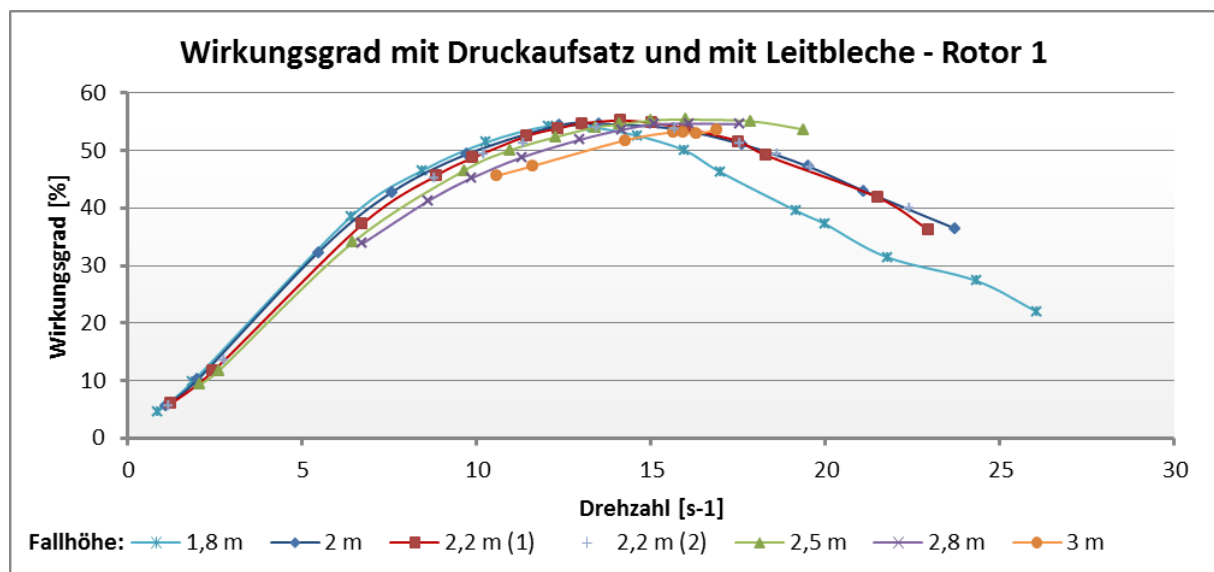


Diagramm 10: Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und mit Leitbleche - Rotor 1

Es ist ersichtlich, dass sich der Wirkungsgrad durch den Einbau der Leitbleche um etwa 5 % reduziert. Daher ist die gewählte Ausführungsform der Leitbleche nicht zielführend. Die Leitbleche hatten kaum einen Einfluss auf die Durchflüsse und Turbinendrehzahl.

## 5.7 Bestimmung der Drosseldurchflüsse

Bei kleinen Fallhöhen oder Durchflüssen bzw. falls keine Turbine erforderlich ist, kann die Durchflussbegrenzung mit Hilfe einer Drossel erfolgen. Es wurden beide Drosselblenden am Versuchsstand mit dem Druckaufsatz untersucht, um den Einfluss der Fallhöhe auf den Durchfluss bestimmen zu können. Folgendes Diagramm zeigt den Zusammenhang:

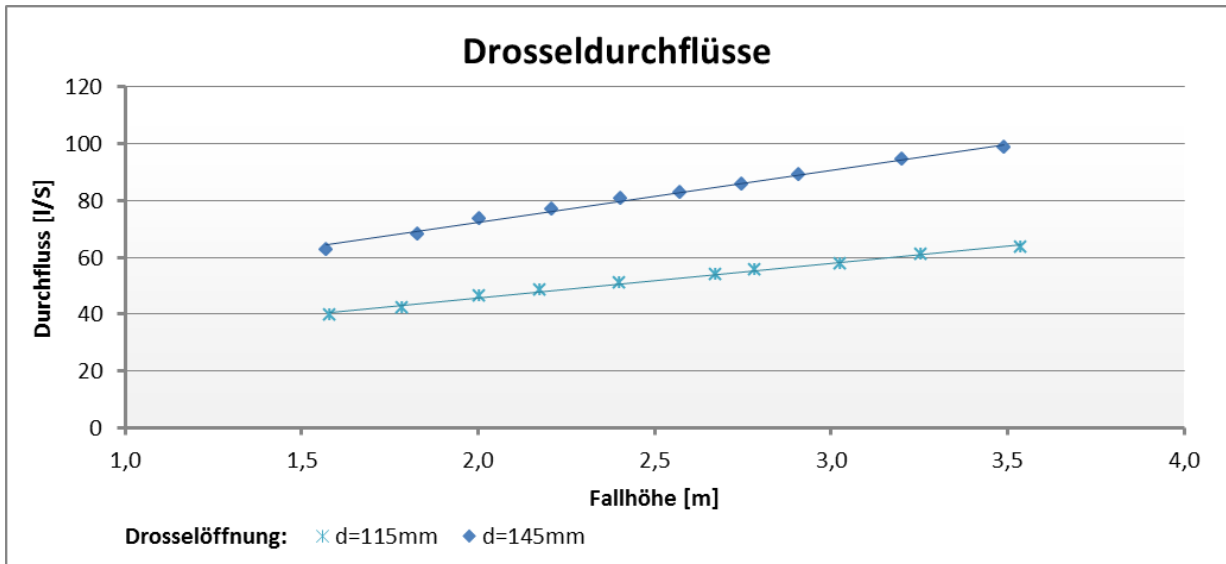


Diagramm 11: Drosseldurchflüsse

Die Messung bestätigt die mathematische Vordimensionierung, sodass bei einer Fallhöhe von 2,3 m und den Blendenöffnungsgrößen von 115 mm und 145 mm die Durchflüsse 50 bzw. 80 l/s vorliegen.

## 5.8 Untersuchung zur Selbstreinigung der Feinrechen

Der Selbstreinigungseffekt aufgrund der wechselnden Durchströmungsrichtung wurde mit Hilfe mehrerer Tests bei einem Turbinendurchfluss von 120 l/s und einer Fallhöhe von 2,2 m untersucht. Bei den Tests wurden Laub, Gräser und Hölzer sowie Mischungen dieser Materialien der Kammer 2 zugeführt. Abbildung 28 zeigt die verwendeten Materialien:



**Abbildung 28: verwendetes Rechengut**

Etwa 5 Minuten nach der Materialzufuhr wurde eine Umschaltphase vorgenommen und beobachtet bzw. durch eine Videoaufzeichnung dokumentiert, ob sich der Rechen reinigt. Durch die Untersuchung konnte festgestellt werden, dass sich der Rechen unter den genannten Bedingungen automatisch reinigt. Um eine genaue Aussage zum Reinigungseffekt treffen zu können, sind jedoch Langzeituntersuchungen im Gewässer erforderlich.

## 5.9 Voruntersuchung zum Sedimenttransport durch das System

Um zu testen, ob Sedimente durch die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe transportiert werden können, aber auch um zu prüfen ob sich eine Sedimentauflage in den Kammern bildet, wurden Versuche diesbezüglich durchgeführt. Dabei wurden 150 kg Gemisch aus Grobsand und Mittelkies hergestellt, wie Abbildung 29 zeigt, und in Kammer 2 über eine Rohrleitung während des Betriebs zugeführt. Die Versuchsanlage wurde dabei mit einem Durchfluss von 80 l/s und einer Fallhöhe von 2,2 m betrieben.



**Abbildung 29: Sedimentgemisch**

Es konnte festgestellt werden, dass während des Betriebs auch nach mehreren Umschaltphasen kein Sediment in das Unterwasser gefördert wurde. Nach Abschaltung der Anlage war ersichtlich, dass sich das Sedimentgemisch kurz vor dem Turbinenauslauf sowie auf den Seiten des Turbinenauslaufs angesammelt hat, wie folgende Abbildung zeigt:



**Abbildung 30: Sedimentablagerung**

Durch die erneute Inbetriebnahme der Anlage wurde das gesamte eingebrachte Sediment ohne weitere Maßnahmen in das Unterwasser geleitet.

Bei einem zusätzlichen Versuch konnte gezeigt werden, dass eine Reinigung der Kammern durch ein Spülen mit nur geringen Durchflussmengen einfach möglich ist. Beispielsweise konnten die Sedimente bei geöffneten Schützen bereits bei einem Durchfluss von 50 l/s transportiert werden.

Um zu prüfen, ob im Dauerbetrieb und mit anderen Sedimentgrößen ein kontinuierlicher Sedimenttransport möglich ist, sind weitere Versuche über deutlich längere Zeiträume erforderlich.

## 5.10 Untersuchung der Vibrationen und Schallemissionen

Eine Messung der Schallemissionen war beim Versuchsstand aufgrund der Umgebungsgeräusche, wie beispielsweise der Pumpengeräusentwicklung, nicht möglich. Es konnten bei den Versuchen keine Schallemissionen von der Fische Schleuse festgestellt werden, welche über gewässertypische Geräusche hinausgehen.

Bei allen Messungen wurde darauf geachtet, ob sich Vibrationen entwickeln. Bei der Wirkungsgradmessung mit Druckaufsatz und Rotor 1 konnten teilweise Vibrationen bei der Turbine im Drehzahlbereich von 10 bis 13 s<sup>-1</sup> lokalisiert werden.

## 5.11 Diskussion der Ergebnisse

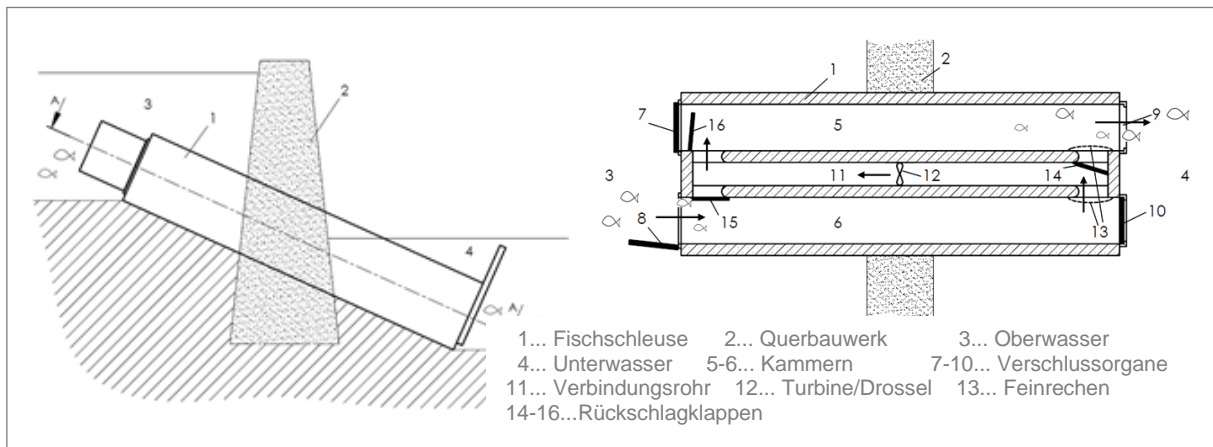
Mit Hilfe der technischen Untersuchung konnten grundlegende Auslegungsparameter der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe überprüft und Erfahrungen für eine spätere Optimierung gesammelt werden. Zusätzlich konnten Kenntnisse zur Turbine und dem Betriebsverhalten in Erfahrung gebracht werden.

### **Turbine:**

Die Untersuchung hat gezeigt, dass mit der sehr einfachen selbst gefertigten Turbine ein mechanischer Wirkungsgrad von knapp 60 % erreicht werden konnte. Es wird davon ausgegangen, dass durch eine professionelle Planung und Fertigung der Turbine trotz des symmetrischen Rotors Wirkungsgrade von über 70 % möglich sind. Folgende Verbesserungen könnten dazu führen:

- optimale Gestaltung des Rotors
- geringere Spalte zwischen Rotor und Turbinengehäuse
- Verbesserung der Anströmungsbedingungen durch Leitbleche bzw. angepasste Rohrbogenform
- Anbindung der Turbine an Kammern über längere und besser gestaltete Saugrohre

Neben diesen Möglichkeiten kann eine Wirkungsgraderhöhung durch eine gezielte Umlenkung der Strömung erfolgen, sodass die Turbine nur in eine Richtung durchströmt wird und der Rotor ein strömungsoptimiertes Profil besitzen kann. Dazu sind zusätzliche Klappen erforderlich, wie beispielsweise die erweiterte hydraulische Verschaltung in Abbildung 31 schematisch zeigt. Diese würden die Systemkosten und die Betriebssicherheit negativ beeinflussen. Aufgrund der einseitigen Durchströmung einer derart ausgeführten hydraulischen Verschaltung geht darüber hinaus der Selbstreinigungseffekt der Feinrechen verloren. Aus den Gründen wurde diese Verschaltung nicht weiter betrachtet.



**Abbildung 31: erweiterte hydraulische Verschaltung**

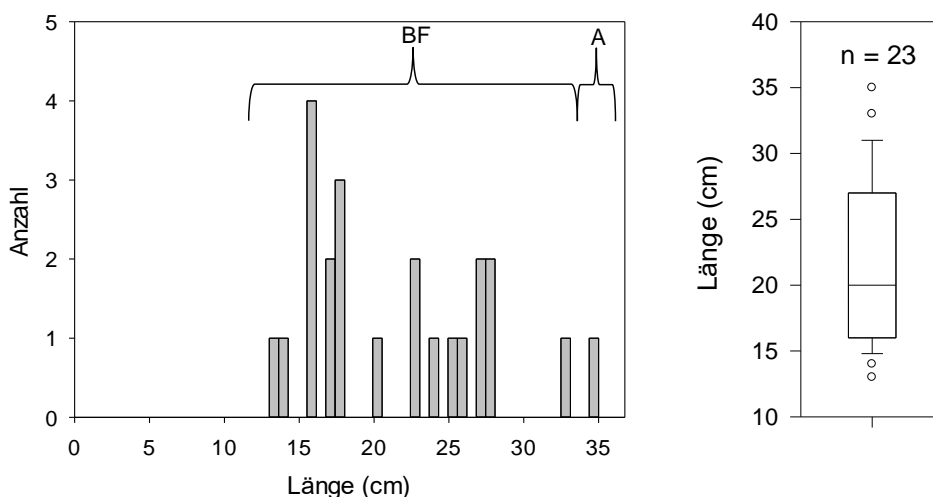
### **Betriebssicherheit:**

Die Anlage sollte einen zuverlässigen Betrieb ermöglichen, weil die Kammern einfach gespült werden können und sich die Rechen aufgrund der wechselnden Durchströmungsrichtungen automatisch reinigen. Auch bei Stromausfall geht vom Turbinenleerlauf keine Gefahr aus, weil sich die Durchflüsse nur um etwa 50 % erhöhen. Dennoch wird empfohlen, dass bei Stromausfall Vorkehrungen getroffen werden, um die Schütze schließen zu können. Zusätzlich ist eine Positionsüberwachung der Schütze empfehlenswert, damit bei einem Schützausfall keine unzulässig großen Wassermengen abgeführt werden. Bei der Installation der Anlage sollte darauf geachtet werden, dass Treibgut und große Schwimmstoffe möglichst gut von der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe fern gehalten werden, um ein Verklausung der Verschlussorgane zu verhindern. Dies kann beispielsweise durch eine Tauchwand und Grobrechen mit ausreichend großen Stababständen, sodass die Fisch noch passieren können, erfolgen. Um ein Vereisen der Verschlussorgane zu verhindern, sollten diese geschützt und möglichst unter Wasser ausgeführt werden. Die Anlage selbst ist aufgrund der geschlossenen Ausführung gut vom Hochwasser geschützt und kann bei diesem Ereignis mittels der Schütze geschlossen werden. Dadurch wird verhindert, dass die beiden Kammern verschmutzen. Alle wasserempfindlichen Komponenten (Elektrotechnik, Steuerung...) sollten im hochwassergeschützten Bereichen installiert oder entsprechend ausgeführt werden.

## 6 Fischökologische Untersuchung

Neben der Funktionskontrolle der abiotischen Parameter wurden im Rahmen des Vorversuches zusätzlich Untersuchungen hinsichtlich der biologischen Funktionsfähigkeit durchgeführt. Ziel war es, die These, dass unter Einhaltung der im „Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen“ empfohlenen abiotischen Parameter (Fließgeschwindigkeiten, Öffnungsgrößen, etc.) die Möglichkeit zur Fischpassage des 2-Kammern-Organismenwanderhilfen-System besteht, zu bestätigen und zu dokumentieren. Dabei wurde die Versuchsanlage mit einem Kamerasystem, bestehend aus je einer Kamera im Unterwasser und Oberwasser ausgestattet um sowohl ein mögliches Einschwimmen von Individuen in die Fischschleuse als auch deren Durchwanderung von unten nach oben und umgekehrt aufzuzeichnen.

Insgesamt standen 22 Bachforellen (*Salmo trutta*) in unterschiedlichen Altersklassen sowie ein adultes Aitel (*Leuciscus cephalus*) für die fischökologische Untersuchung der Versuchsanlage zur Verfügung (Abbildung 32). Alle für die Versuchsdurchführung verwendeten Fische wurden mittels Elektrofischung aus der Großen Mühl in Oberösterreich (Bezirk Rohrbach) entnommen und anschließend zur Versuchsanlage in Wien transportiert (Dauer ca. 3h). Um eine Beeinträchtigung der Fische durch den Transport ausschließen zu können, wurden die Versuche erst nach Einhaltung einer eintägigen Ruhephase durchgeführt. Die Hälterung der Fische fand ca. 70 m von der Versuchsanlage entfernt in einem mittig zweigeteilten Netz-Käfig (LxBxH = 2x1x1m) innerhalb der Donau statt (Brigittenuaer Sporn). Jeder einzelne Fisch wurde nur ein einziges Mal pro Tag für die Versuchsdurchführung herangezogen und anschließend in der zweiten Hälfte des Netz-Käfigs gehältert um Individuen die bereits am Versuch teilgenommen haben nicht mit den anderen zu durchmischen. Die Wassertemperatur der Donau betrug im Zeitraum der gesamten Versuchsdurchführung (8.8. bis 11.8.2017) zwischen 19,9 und 20,7°C, der Sauerstoffgehalt lag bei 7 mg/l.



**Abbildung 32: Längenverteilung als Längenfrequenzdiagramm (links) und Boxplot-Darstellung (rechts) der Versuchsfische. BF = Bachforelle (*Salmo trutta*), A = Aitel (*Leuciscus cephalus*).**

Der Versuchsstand der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe wurde täglich neu mit Trinkwasser befüllt. Zum Zeitpunkt der Befüllung lag die Wassertemperatur in der Anlage bei etwa 14°C. Um einer zu schnellen Erwärmung des Wassers durch die hohen Außentemperaturen entgegenzuwirken wurde im Oberwasser ein Zufluss (<0.5 l/s) mit 14°C kaltem Wasser errichtet und das bereits durchmischte Wasser im Unterwasser zu gleichen Teilen wieder abgeführt. Des Weiteren wurden alle Fische zwischen Hälterung und Einbringung in den Versuchsaufbau durch diskretes Absenken der Wassertemperatur in einem Zwischenbehälter für ca. 20 min akklimatisiert und anschließend vermessen.

## 6.1 Versuche

Um die Fischdurchgängigkeit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe zu untersuchen wurden unterschiedliche Versuchsanordnungen getestet. Einerseits unterscheiden sich diese hinsichtlich des gewählten Durchflusses und andererseits hinsichtlich des Ausbringungsortes der Versuchsfische. Insgesamt wurden 3 Aufstiegsversuche bei denen die Fische ins Unterwasserbecken eingebracht wurden mit den Durchflüssen 50, 80 und 120 l/s durchgeführt sowie zusätzlich ein Abstiegsversuch (die Fische wurde ins Oberwasserbecken eingesetzt) mit 120 l/s. Wobei an dieser Stelle angemerkt sei, dass es prinzipiell möglich ist, dass unabhängig der Versuchsanordnung, nach mindestens zweimaliger Änderungen der Schützpositionen, sowohl Durchwanderungen der Anlage von unten nach oben bzw. von oben nach unten stattfinden können.

Bei den Durchflüssen von 50 und 80 l/s kam eine Drossel anstelle einer Turbine zur Energiedissipation zum Einsatz. Pro Durchfluss wurde das jeweilige Versuchs-Setup mit unterschiedlichen Gruppen von Fischen (zwischen 5 und 8 Individuen) 3- bis 4-mal wiederholt. Innerhalb eines solchen Durchgangs wurden die Positionen der Schütze im ca.15 Minuten Takt über die gesamte Versuchsdauer gewechselt.

Mithilfe der Kameraaufzeichnung wurde bei jedem Versuchsdurchgang festgehalten wann und in welche Kammer ein Fisch ein- oder ausschwimmt. Die Größe der dabei beobachteten Fische wurden geschätzt und den Klassen „klein“, „mittel“ und „groß“ zugeordnet. Als Klassengrenzen wurden die statisch berechneten Quantilwerte der Längenverteilung (Abbildung 32) herangezogen („klein“  $\leq 16$  cm < „mittel“ < 27 cm  $\leq$  „groß“). Zusätzlich wurde die Art der Bewegung jedes einzelnen Fisches bei der Passage eines Schützes ermittelt. Unterschieden wurde dabei zwischen „active upstream“, „active downstream“, „passive downstream“ und „active-passive downstream“ (ZENS et al., 2017). Beim erstgenannten Bewegungsmuster schwimmen die Fische aktiv flussauf, die Orientierung des Kopfes schaut gegen die Fließrichtung. Steigen die Fische vom Unterwasser ins Oberwasser auf, so ist dies das einzig mögliche Schwimmmuster. Beim Abstieg treten hingegen andere Bewegungsmuster auf. Z.B. bedeutet „active downstream“ eine Bewegung in Richtung flussab welche schneller als die vorherrschende Fließgeschwindigkeit erfolgt. Die Orientierung des Kopfes zeigt dabei in dieselbe Richtung wie der Vektor der Fließgeschwindigkeit. Bei indifferenter Orientierung des Fisches und gleicher

Bewegungsgeschwindigkeit wie die Fließgeschwindigkeit spricht man von „passive downstream“. Schwimmen die Fische mit dem Kopf gegen die Fließrichtung geneigt in Richtung flussab, liegt der Bewegungsmodus „active-passive downstream“ vor (siehe Abbildung 33).

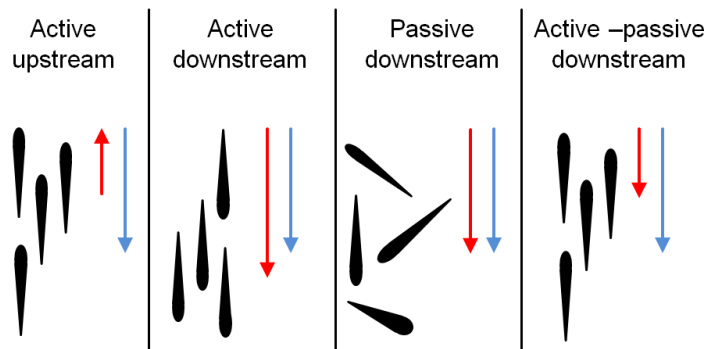


Abbildung 33: Bewegungsmuster von Fischen, blaue Pfeile = Strömungsvektoren; rote Pfeile = resultierende Bewegungsvektoren (verändert nach ZENS et. al, 2017).

## 6.1.1 Aufstiegsversuche mit Drossel und 50 l/s

### Versuch 1

Bei der Durchführung dieses Versuches wurden 5 Bachforellen mit Längen von 13, 14, 23, 18 und 17 cm ins Unterwasser eingebracht. Über die gesamte Dauer des Versuches (1 h 54 min) wurden die Schützpositionen 7-mal in einem Zeitintervall von ca. 15 min gewechselt. Dabei sind 8-mal Fische in die im Unterwasser gelegenen Kammern eingeschwommen und 6-mal wieder ausgeschwommen, zwei Bachforellen der Größenklasse „klein“ erreichten das Oberwasser. Eine Zusammenfassung aller beobachteten Ereignisse ist in Abbildung 34 grafisch dargestellt.

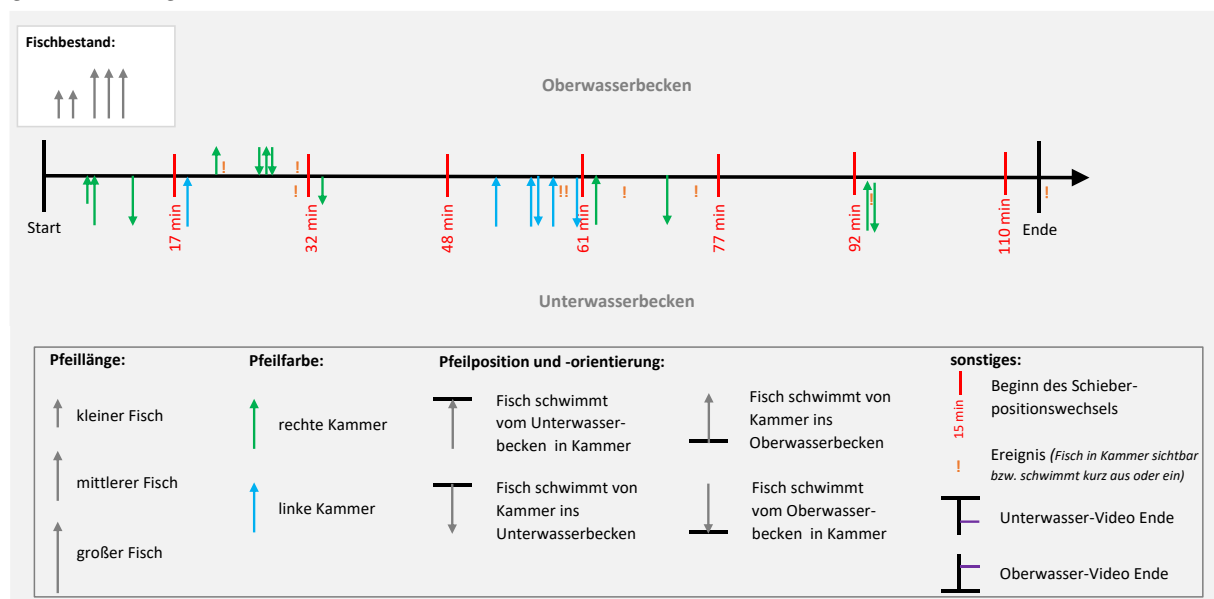


Abbildung 34: Grafische Zusammenfassung Versuch 1 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 50 l/s).

## Versuch 2

Bei diesem Versuchsdurchlauf wurden 5 Bachforellen mit den Längen 27.5, 24, 20, 18 und 16 cm im Unterwasser ausgesetzt. Bei einer Versuchsdauer von 2 h und 15 min wurden in Summe 9-mal die Schützpositionen verändert, wobei kein einziger Aufstieg eines Individuums verzeichnet werden konnte. Die Kamera im Unterwasserbecken ist nahezu für die gesamte Versuchsdauer ausgefallen. D.h., die Auswertungen für das Unterwasser resultieren im gegebenen Fall für die Zeit ohne Videoaufzeichnung ausschließlich aus Beobachtungen (Abbildung 35).

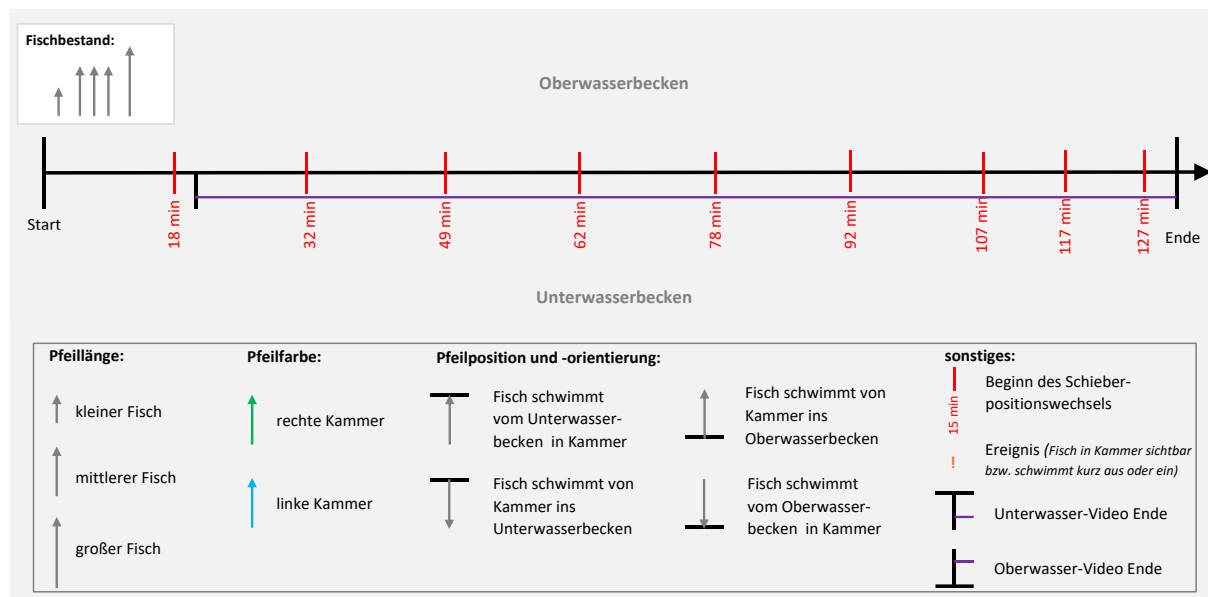


Abbildung 35: Grafische Zusammenfassung Versuch 2 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 50 l/s).

## Versuch 3

Im Gegensatz zu Versuch 1 und 2 wurden vor Durchführung des Versuchs 3 geringfügige Änderungen in der Ausgestaltung des Unterwasserbeckens vorgenommen in dem die beiden Ecken seitlich der Schütze abgeschrägt wurden. Anschließend wurden ein Aitel (*Leuciscus cephalus*) mit einer Länge von 35 cm und vier Bachforellen mit 16, 33, 26 und 16 cm im Unterwasserbecken ausgesetzt. Die Schützpositionen wurden innerhalb von 1h und 20 min 5-mal gewechselt. Während der gesamten Versuchsdauer sind einzelne Bachforellen mehrmals in die rechte Unterwasserkammer ein- und ausgeschwommen, die Fischwanderhilfe wurde jedoch von keinem Fisch bis ins Oberwasser durchwandert. Am Ende des Versuchs befanden sich 2 kleine Bachforellen mit je 16 cm Länge in der rechten Kammer (Abbildung 36).

# Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

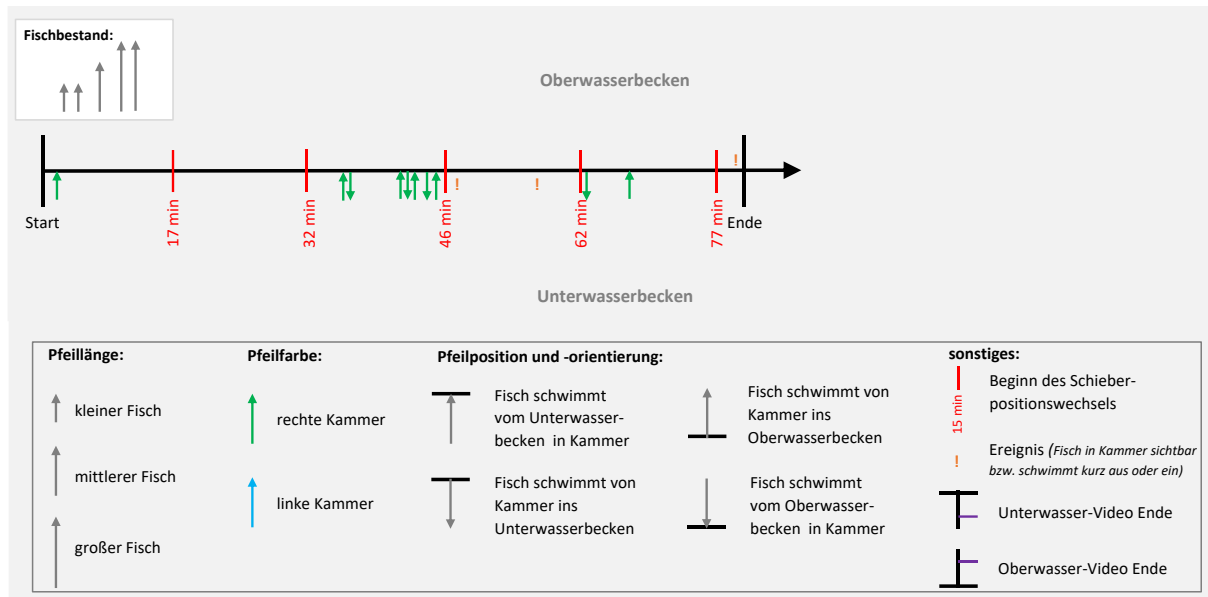


Abbildung 36: Grafische Zusammenfassung Versuch 3 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 50 l/s).

## Versuch 4

Innerhalb dieses Versuches wurde im Vergleich zu allen anderen Durchgängen die höchste Anzahl an Ereignissen bzw. die höchste Aktivität beobachtet. Ins Unterwasser eingesetzt wurden dabei 8 Bachforellen mit folgenden Längen: 27, 23, 16, 27, 25, 28, 17 und 18 cm. Die gesamte Versuchsdauer betrug 1 h und 23 min. In dieser Zeit wurden die Positionen der Schütze insgesamt 5-mal verändert. Zwei „mittlere“ und zwei „große“ Bachforellen sind vom Unterwasser ins Oberwasser aufgestiegen wobei diese im Oberwasser sehr häufig in die Kammern ein- und ausgeschwommen sind (Abbildung 37).

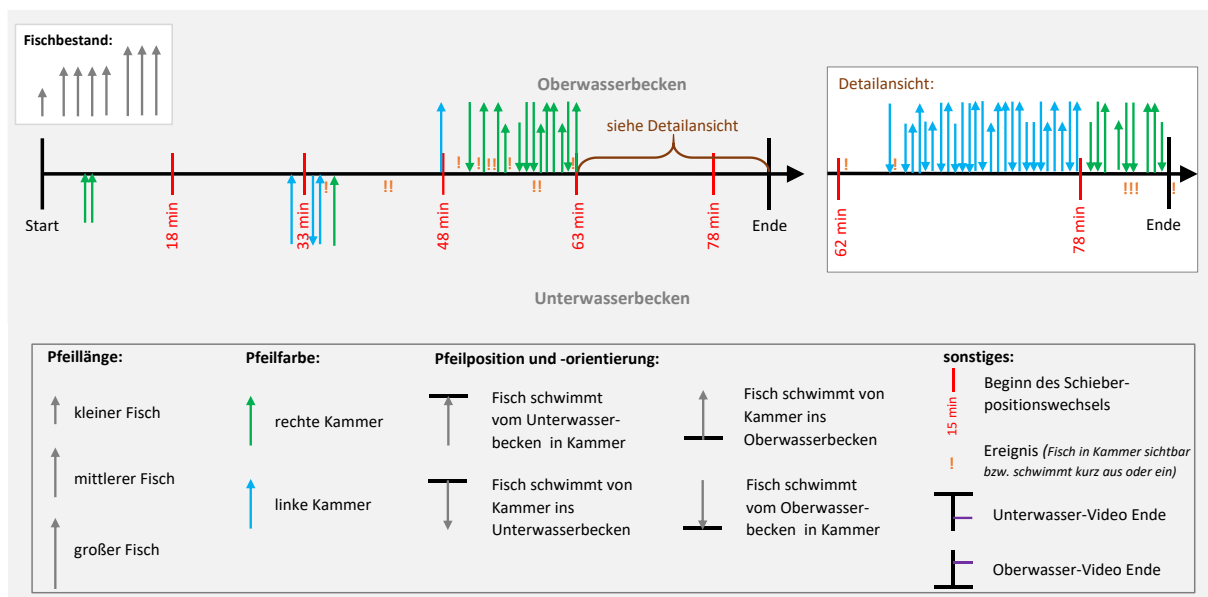
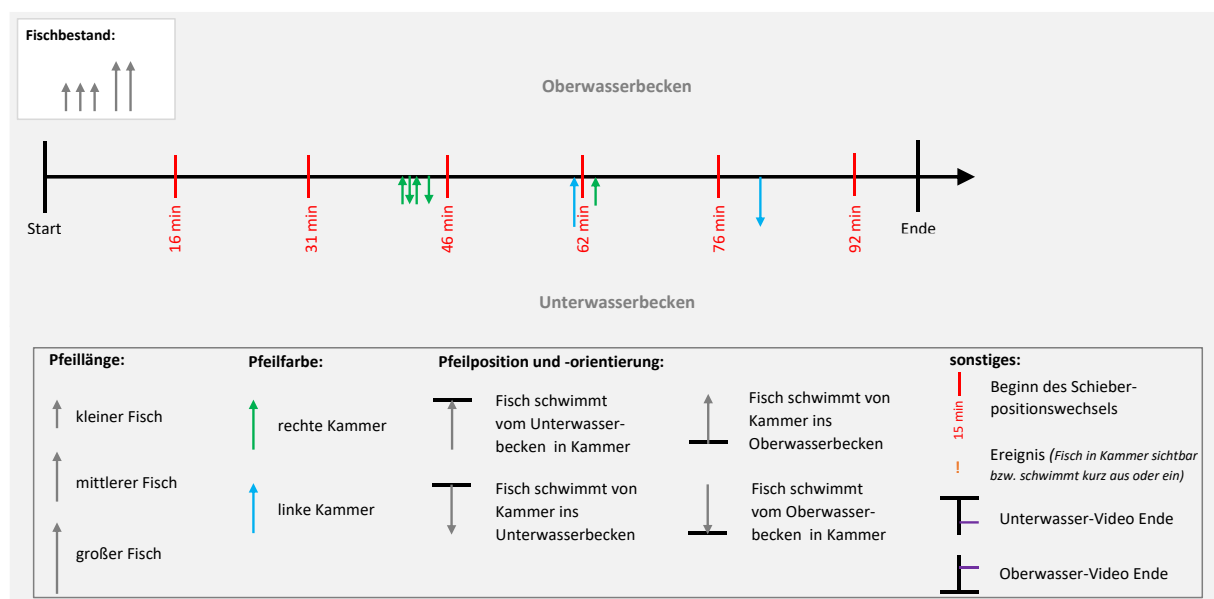


Abbildung 37: Grafische Zusammenfassung Versuch 4 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 50 l/s).

## 6.1.2 Aufstiegsversuche mit Drossel und 80 l/s

### Versuch 5

Dieser Versuch wurde mit 5 Bachforellen durchgeführt die allesamt ins Unterwasser ausgesetzt wurden. Die Längen der in die Fischwanderhilfe eingebrachten Versuchstiere betragen 16, 18, 16, 13 und 17 cm. Die Positionen der Schütze wurden bei einer gesamten Versuchsdauer von 1h und 36 min insgesamt 6-mal umgeschaltet. Trotz mehrmaligem Ein- und Ausschwimmen in die unterwasserseitigen Verschlussorgane wurden bis zum Versuchende bei diesem Durchlauf keine Fischaufstiege beobachtet (Abbildung 38).



**Abbildung 38: Grafische Zusammenfassung Versuch 5 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 80 l/s).**

### Versuch 6

Dieser Versuch wurde über eine Dauer von 1h und 52 min durchgeführt, die Positionen der Schütze wurden dabei 7-mal umgeschaltet. Sechs Bachforellen mit den Längen 28, 22, 24, 27, 17, und 17 cm wurden ins Unterwasser eingebracht, wobei zusätzlich ein Individuum (16 cm) aus dem Vorversuch an diesem Durchgang teilnahm. Während des Versuches sind 2 mittlere Fische in die rechte Kammer und 2 große Fische in die linke Kammer eingeschwommen, die beiden „Mittleren“ erreichten auch das Oberwasser (Abbildung 39).

# Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

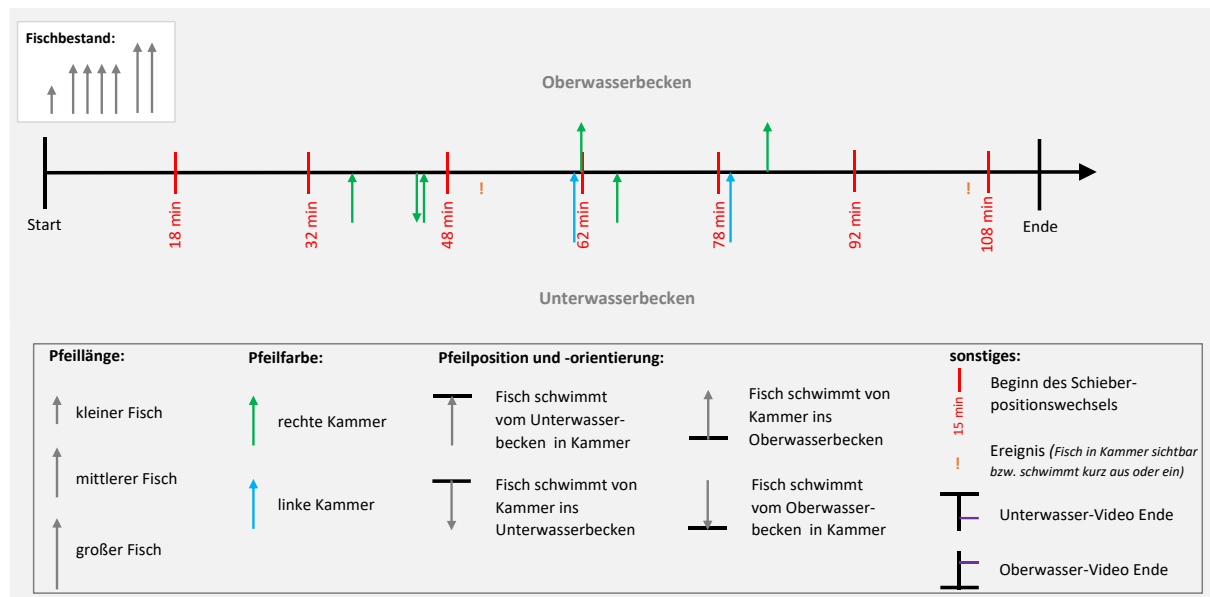


Abbildung 39: Grafische Zusammenfassung Versuch 6 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 80 l/s).

## Versuch 7

Bei diesem Versuch konnten keinerlei Aufstiege ins Oberwasser verzeichnet werden. Dabei wurden über die gesamte Versuchsdauer (1 h 47 min) die Schütze 7-mal umgestellt. Am Versuch beteiligt waren ein Aitel (35 cm) und 6 Bachforellen mit den Längen 26, 32, 23, 16, 26 und 17 cm wobei der letztgenannte Fisch wieder aus dem Vorversuch stammte. Bei der Auswertung der Videoaufzeichnung wurde dieser zweimal in der rechten Kammer im Unterwasser gesichtet. Des Weiteren ist im Laufe der Versuchsdurchführung ein mittlerer Fisch in die rechte Kammer eingeschwommen (Abbildung 40).

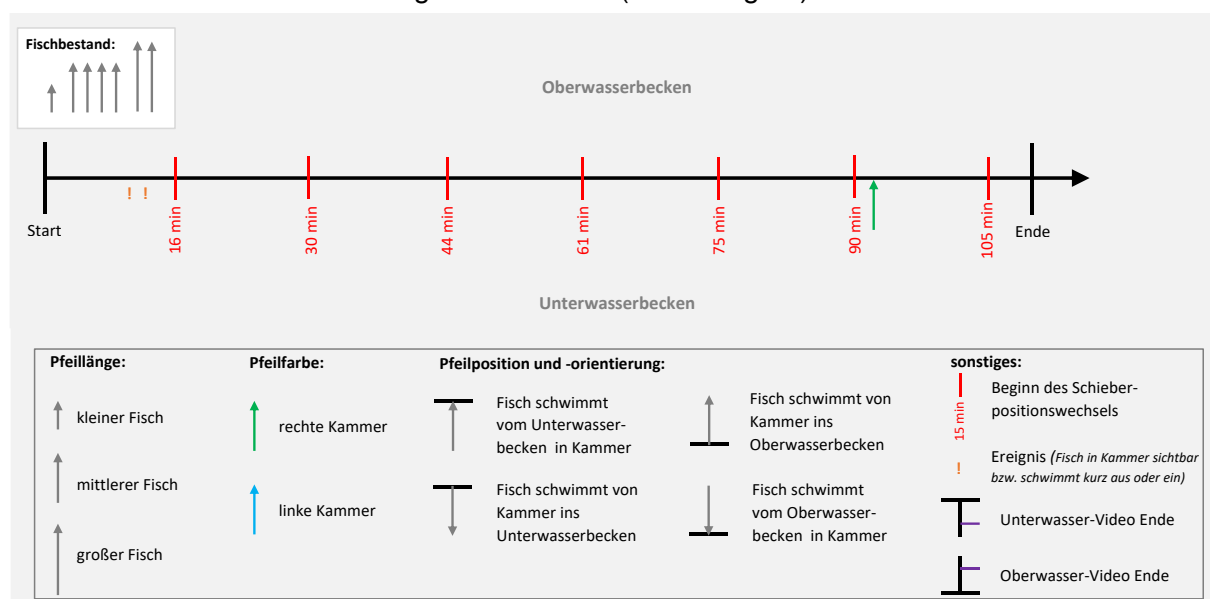


Abbildung 40. Grafische Zusammenfassung Versuch 7 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 80 l/s).

## Versuch 8

Im Gegensatz zu den vorherigen Versuchen wurden die 6 Bachforellen (13, 17, 27, 19, 16 und 25 cm) die im Versuch 8 zum Einsatz kamen bereits innerhalb des Unterwasserbeckens der Versuchsanlage vorgehärtet. Trotz einer sehr hohen Ereignisdichte im Sinne von häufigen ein- und ausschwimmen im Unterwasser konnte für die gesamte Versuchsdauer (1 h 50 min) nur ein Aufstieg einer großen Bachforelle dokumentiert werden. Die Schützpositionen wurden über die Dauer des Versuches insgesamt 7-mal gewechselt (Abbildung 41).

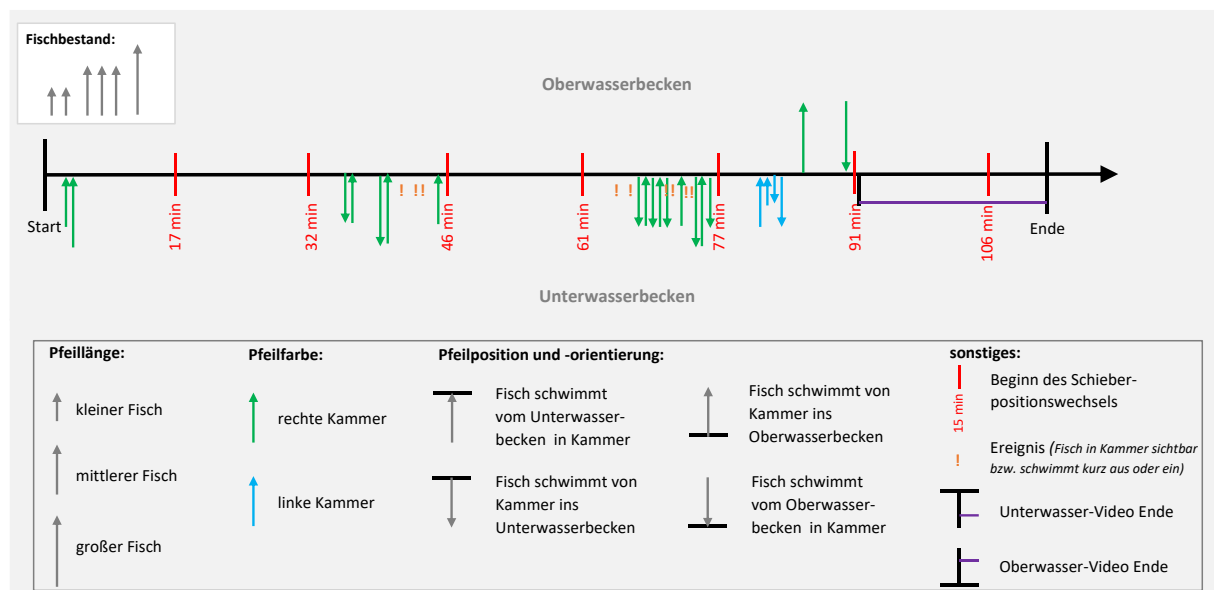


Abbildung 41: Grafische Zusammenfassung Versuch 8 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 80 l/s).

### 6.1.3 Aufstiegsversuche mit Turbine und 120 l/s

## Versuch 9

Beim ersten Versuch mit Turbine und einem Durchfluss von 120 l/s wurden 7 Bachforellen (26, 24, 27, 18, 23, 13 und 13 cm) in das Unterwasser der Fischwanderhilfe eingebracht. Einige der eingebrachten Fische sind zwar in die Anlage eingeschwommen aber davon keiner bis ins Oberwasser aufgestiegen. Innerhalb einer Gesamtversuchszeit von 2 h und 2 min wurden die Schützpositionen insgesamt 8-mal gewechselt (Abbildung 42).

# Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

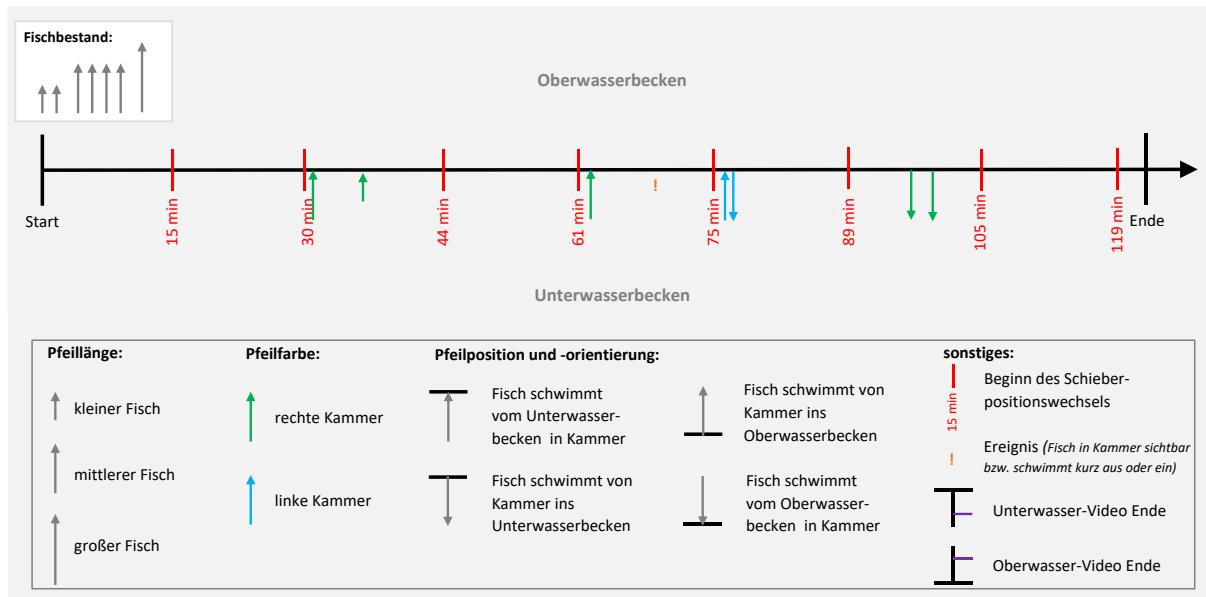


Abbildung 42: Grafische Zusammenfassung Versuch 9 (Aufstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s).

## Versuch 10

1 Aitel (35 cm) und 7 Bachforellen (28, 32, 16, 16, 19, 17 und 26 cm) wurden bei Versuch 10 in das Unterwasser der Anlage eingebracht. Während einer Versuchsdauer von 2 h und 8-maligem Umschalten der Schützpositionen konnte insgesamt ein Aufstieg ins Oberwasser durch eine Bachforelle (mittel) verzeichnet werden (Abbildung 43).

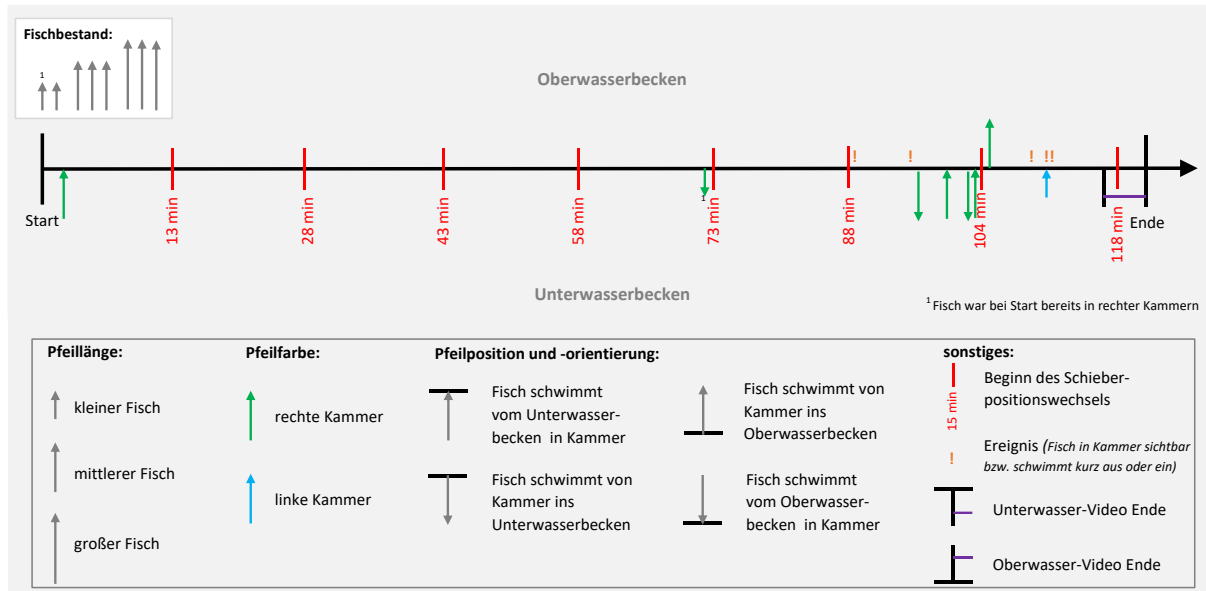
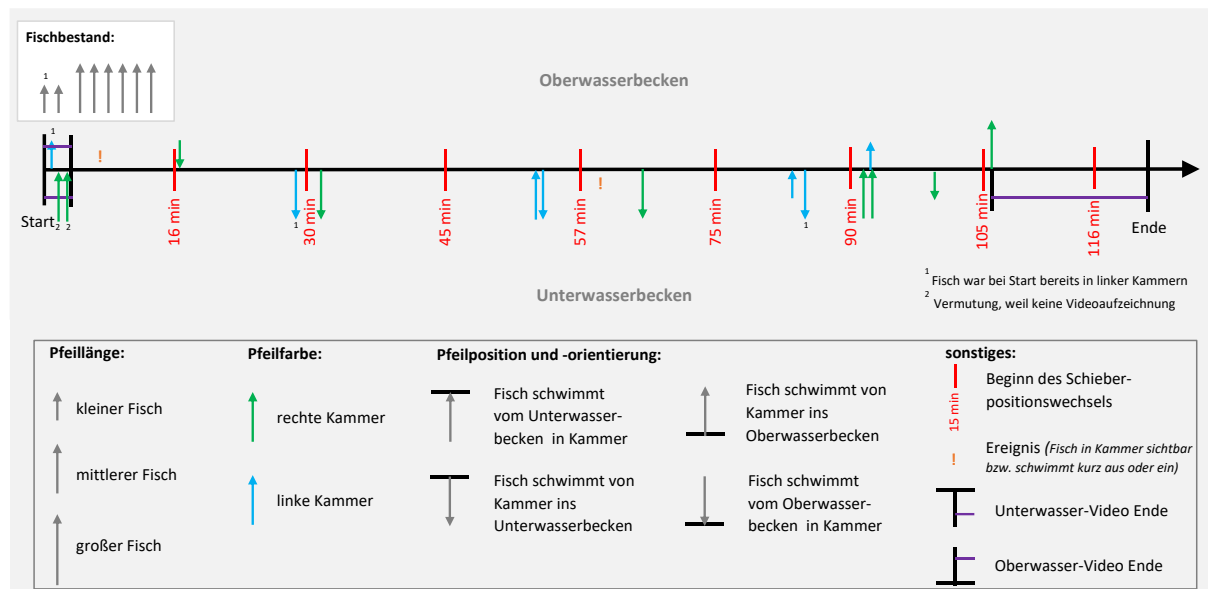


Abbildung 43: Grafische Zusammenfassung Versuch 10 (Aufstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s).

## Versuch 11

Im Rahmen von Versuch 11 wurden 7 Bachforellen mit den Längen 25, 21, 26, 17, 17, 16, 13 cm in das Unterwasser ausgebracht wobei zusätzlich eine Bachforelle mit einer Länge

von 17 cm vom Vorversuch in der Anlage blieb (linke Kammer). Die Schütze wurden innerhalb einer Versuchsdauer von 1 h und 59 min 8-mal in ihrer Stellung (offen/geschlossen) geändert. Unmittelbar nach dem Einschalten der Anlage ist bereits jener Fisch aus dem Vorversuch ins Oberwasser aufgestiegen (war bereits in linker Kammer). Zusätzlich konnten 2 weitere Aufstiege (klein und mittel) bis zum Ende dieses Versuches dokumentiert werden (Abbildung 44).



**Abbildung 44: Grafische Zusammenfassung Versuch 11 (Aufstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s).**

## 6.1.4 Abstiegsversuche mit Turbine und 120 l/s

### Versuch 12

Beim ersten Abstiegsversuch wurden insgesamt 8 Fische (1 Aitel und 7 Bachforellen) mit den Längen 35 (Aitel), 17, 16, 16, 25, 15, 13 und 16 cm ins Oberwasser-Becken ausgebracht. Bis zu Versuchsende wurde der Abstieg eines Fisches (Aitel) vom Oberwasser ins Unterwasser dokumentiert (Abbildung 45). Der Einstieg in die linke Kammer sowie der Ausstieg ins Unterwasser erfolgte unter dem Bewegungsmuster „passive downstream“. Die gesamte Versuchsdauer betrug 1h und 50 min wobei die Schütze 6-mal umgeschaltet wurden.

# Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

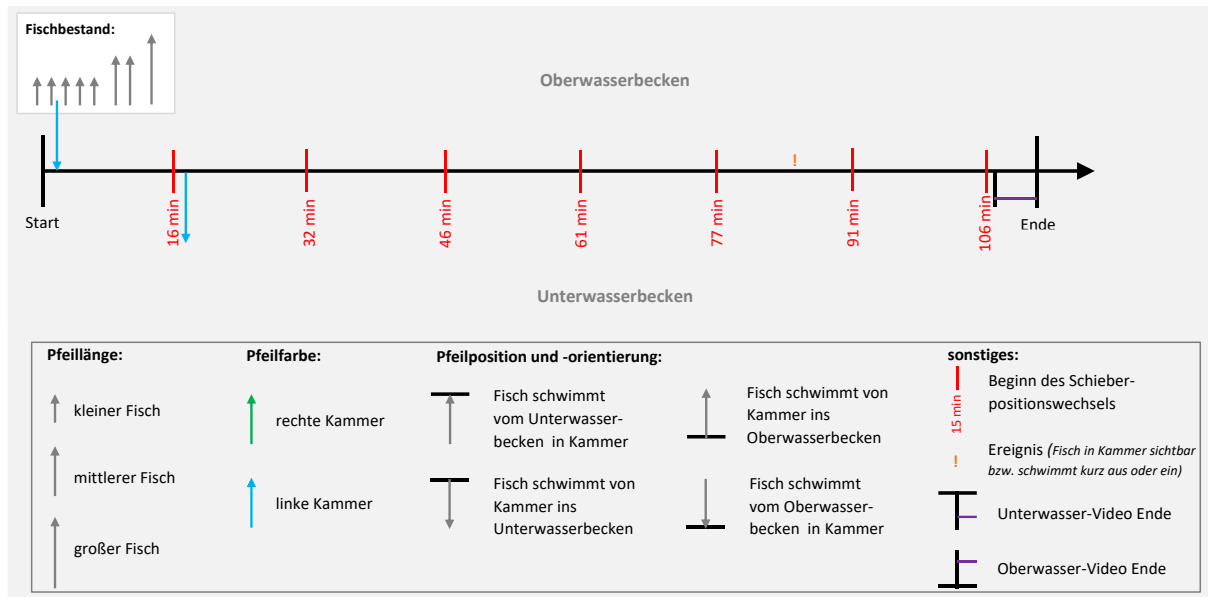


Abbildung 45: Grafische Zusammenfassung Versuch 12 (Abstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s).

## Versuch 13

Bei diesem Versuch wurden 7 Bachforellen mit den Längen 21, 32, 26, 16, 17, 16 und 13 cm ins Oberwasser ausgesetzt. Innerhalb einer Versuchsdauer von 1 h und 48 min (7 Umschaltphasen) konnten 4 Abstiege ins Unterwasser verzeichnet werden (Abbildung 46). Die beobachteten Bewegungsmodi beim Einschwimmen in die Kammer unterteilen sich in 2-mal „active passive“ (klein), 1-mal „passive“ (mittel) sowie 1-mal „active downstream“ (mittel). Beim Ausschwimmen ins Unterwasser hingegen wurden allesamt als „active passive“ eingestuft.

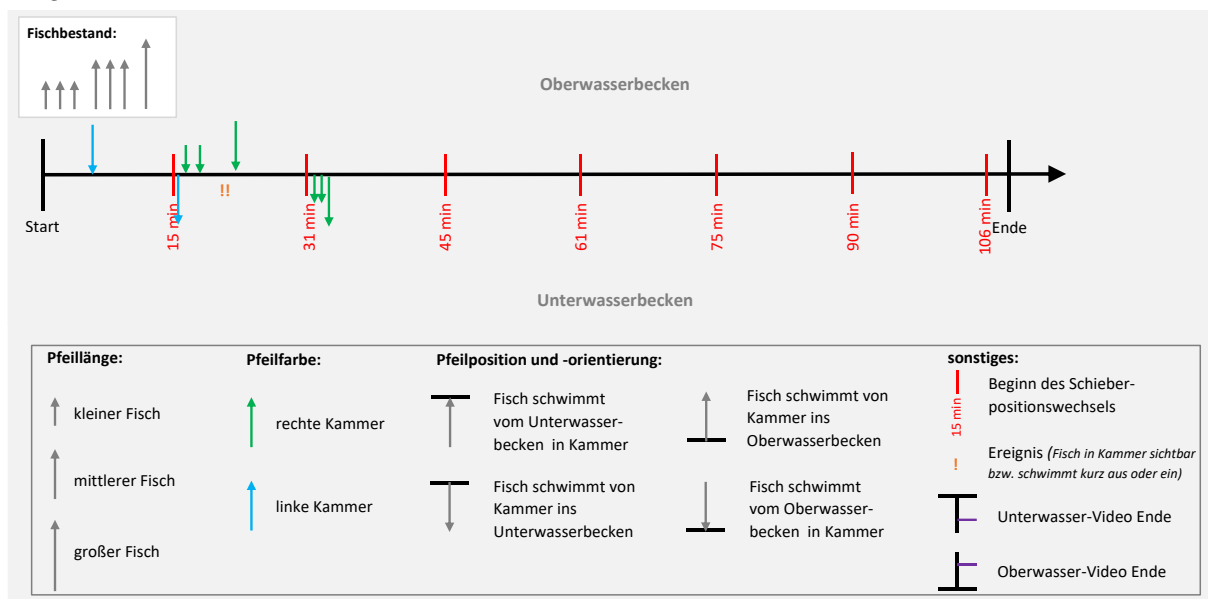
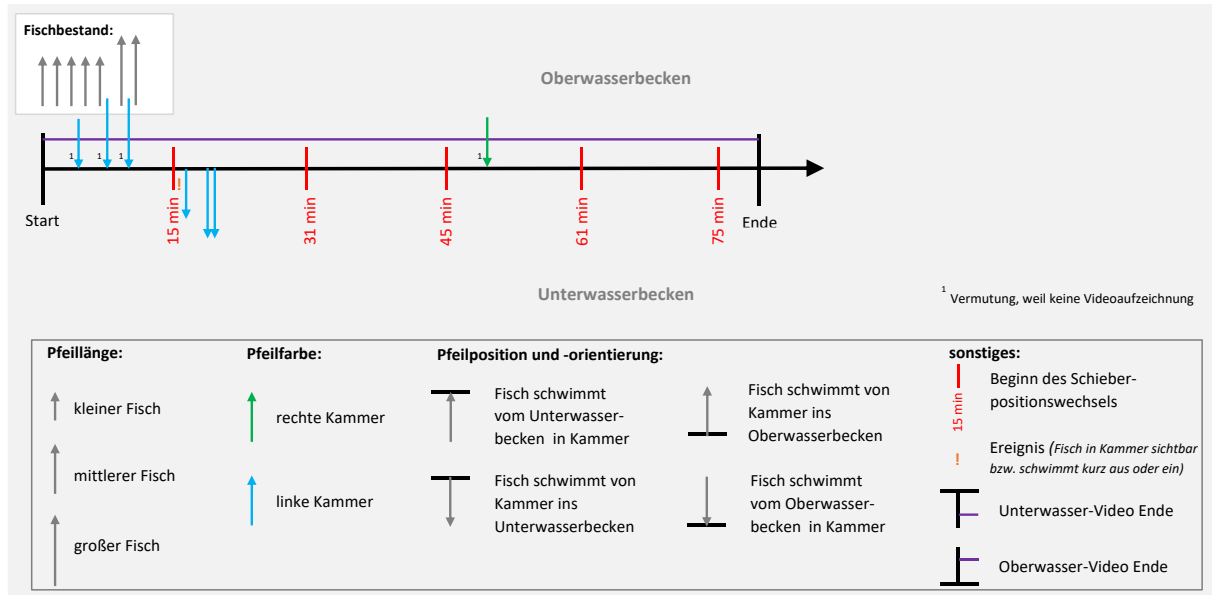


Abbildung 46: Grafische Zusammenfassung Versuch 13 (Abstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s).

## Versuch 14

Für die gesamte Dauer dieses Versuches (1 h 17 min) gibt es keine Videoaufzeichnung vom Oberwasser, die Auswertung basiert in diesem Fall auf in situ Beobachtungen. Ausgesetzt wurden 7 Bachforellen mit folgenden Längen: 25, 26, 22, 27, 27, 18 und 17 cm. Bereits nach der ersten Umschaltphase (von insgesamt 5) erreichten 3 Fische im Schwimmmodus „active passive“ das Unterwasser. Des Weiteren, befand bei Versuchsende eine Bachforelle innerhalb der rechten Kammer (Abbildung 47).



**Abbildung 47: Grafische Zusammenfassung Versuch 14 (Abstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s).**

### 6.1.5 Übersicht der Ergebnisse

Insgesamt konnten bei der Versuchsdurchführung 12 Aufstiege von Bachforellen ins Oberwasser und 8 Abstiege ins Unterwasser dokumentiert und beobachtet werden (Abbildung 48).

Versuchsreihe	Aufstiege mit Drossel bei Q = 50 l/s			Aufstiege mit Drossel bei Q = 80 l/s			Aufstiege mit Turbine bei Q = 120 l/s			Abstiege mit Turbine bei Q = 120 l/s		
	klein	mittel	groß	klein	mittel	groß	klein	mittel	groß	klein	mittel	groß
Versuch 1/5/9/12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Versuch 2/6/10/13	0	0	0	0	2	0	0	1	0	2	2	0
Versuch 3/7/11/14	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	2
Versuch 4/8	0	2	2	0	0	1	-	-	-	-	-	-
Summe	1	2	2	0	2	1	2	2	0	2	3	3
Summe aller Größen	5			3			4			8		
Summe klein / mittel / groß				<b>3 / 6 / 3</b>						<b>2 / 3 / 3</b>		
Gesamtsumme	12						8					

**Abbildung 48: Übersicht über alle dokumentierten Fischwanderungen unterteilt in unterschiedliche Versuchsanordnungen und Fischgrößenklassen**

Zwei weitere Abstiege erfolgten im Rahmen von Aufstiegsversuchen. Die erhobenen Daten deuten hinsichtlich der Größe der erfolgreich gewanderten Fische auf keinerlei Größenselektivität der Anlage hin. Des Weiteren sind keine signifikanten Unterschiede bei der Anzahl aufgestiegener Fische in Abhängigkeit des untersuchten Durchflusses zu erkennen.

## 6.1.6 Allgemeine Beobachtungen

Bei der Durchführung der Versuche konnte beobachtet werden, dass nach der Einbringung der Fische ins Unterwasser, trotz Akklimatisierungsphase (Zwischenhälterung mit diskreter Temperaturanpassung), eine Phase der Inaktivität folgte. Erst nach etwa 30 bis 60 min reagierten die Fische auf deren neue Umwelt in dem sie aktiv die Umgebung erkundeten. Infolge dieser Beobachtung wurden ab Versuch 8 die Fische für den nachfolgenden Versuch in einem Teilbereich des Unterwassers bereits vorgehört.

Je nach Position der Schütze im Unterwasser bildete sich die Strömung vom geöffneten Schütz hin zum Abfluss des Unterwassers (Pumpe) aus. Jene Bereiche abseits dieser Strömung wurden von den Fischen aufgrund der dort vorherrschenden niedrigeren Fließgeschwindigkeiten (niedrigerer Energieaufwand) als Ruhehabitat präferiert. Weiters konnte beobachtet werden, dass Bereiche mit direkter Sonneneinstrahlung gemieden wurden. Im Gegensatz zum Unterwasserbecken bildeten sich im Oberwasserbecken kaum solche strömungsberuhigten Bereiche aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Länge des Oberwasserbeckens deutlich kleiner ausgeführt wurde und der Abstand vom Zufluss (hohe Fließgeschwindigkeiten) zu den Schützen sehr klein war. D.h. aus hydraulischer Sicht traten im Oberwasser sehr hohe Turbulenzen auf. Der Aufenthalt im Oberwasser war somit für Fische mit einem erhöhten Energieaufwand bzw. auch Stress verbunden. Bei der gesamten Durchführung der Versuche konnten weder beim Fischaufstieg noch beim Fischabstieg physische Schäden an den Versuchstieren festgestellt werden. Die aufgetreten Druckschwankungen beim Wechsel der Schütze liegen bei 88 kPa/s. Dies entspricht einer Änderung der Wassersäule von 2,2 m innerhalb von 25 s bzw. einer Änderung der vertikalen Lage eines Fisches von 2,2 m innerhalb von 25 s und kann somit als physiologisch unkritisch betrachtet werden.

## 6.2 Diskussion der Ergebnisse

Die fischökologischen Untersuchungen der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe haben gezeigt, dass die Passierbarkeit in beide Richtungen für die Bachforelle (*Salmo trutta*) gewährleistet ist. Basierend auf diesen Ergebnissen, kann mit einem erfolgreichen Einsatz dieses Systems im Epirhithral (Obere Forellenregion), mit der Bachforelle als Leitfischart, gerechnet werden, wenngleich die Funktionalität hinsichtlich der Koppe (*Cottus gobio*) im Rahmen dieses Projekts nicht geklärt wurde. Um Fragen bezüglich der Artenselektivität der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe beantworten zu können, wird empfohlen einen weiterführenden Feldversuch deutlich flussab des Epirhithrals (z.B. im Hyporhithral) durchzuführen.

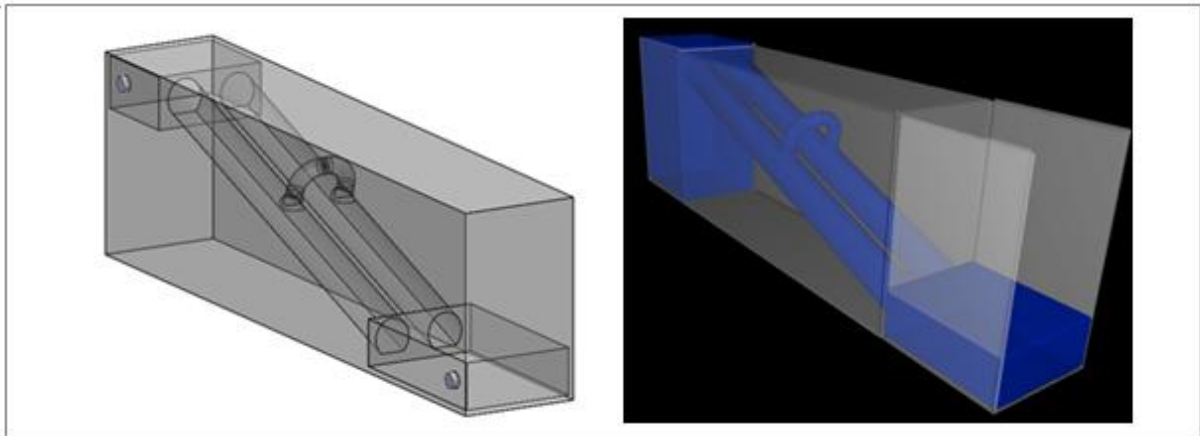
## 7 Theoretische Untersuchung

Im Zuge der theoretischen Untersuchung wurden neben der Simulation der Versuchsanlage auch eine ökologische Analyse, ein Vergleich mit herkömmlichen Lösungen, eine Potentialanalyse und eine SWOT-Analyse durchgeführt.

Im Folgenden werden die einzelnen Untersuchungen und deren Ergebnisse angeführt.

### 7.1 3D-Simulation der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe

Mit Hilfe der 3D-Simulation von einzelnen Abschnitten der Versuchsanlage sollen die Wasserströmungen visualisiert werden. Dazu wurde die Versuchsanlage vereinfacht mit SolidWorks nachgebildet und mit den Programmen COSMOSFlowXpress und Flow 3D simuliert. Folgende Abbildungen zeigen die Simulationsbereiche der beiden Programme:

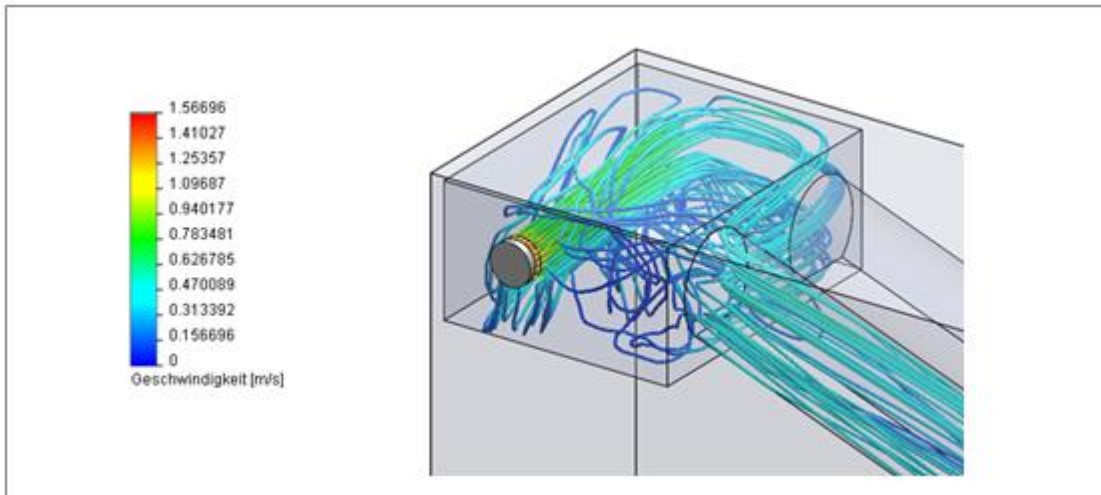


**Abbildung 49: Simulationsbereiche von COSMOSFlowXpress (links) und rechts Flow 3D (rechts)**

Die Simulationen wurden mit einem Durchfluss von 100 l/s bei Verwendung einer Drossel verwirklicht. Der Feinrechen und die Schütze wurden zur Vereinfachung nicht berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse einzelner Abschnitte angeführt. Die Abbildungen, welche die Strömungslinien zeigen, wurden mit COSMOSFlowXpress aufgrund der übersichtlicheren Visualisierung und einfacheren Umsetzung erstellt. Die angegebenen Werte für Geschwindigkeiten beim Feinrechen sowie die dazugehörigen Abbildungen stammen aus der Flow 3D Simulation.

#### 7.1.1 Ein- und Auslaufbecken

Im Einlaufbecken war bei den Versuchen eine starke Strömung ausgehend vom Zulauf erkennbar. Auch die Visualisierung zeigt dieses Verhalten:



**Abbildung 50: Simulation des Einlaufbeckens**

An den Strömungslinien ist zu erkennen, dass in den Becken die Strömung turbulent ist. Nach Eintritt in die Kammer nehmen die Turbulenzen stark ab und die Strömungslinien verlaufen annähernd parallel. Dieses Verhalten konnte auch bei Unterwasser-Videoaufzeichnungen im Zuge der Versuche zum Rechenreinigungseffekt festgehalten werden.

Um den starken Strömungsimpuls des Zulaufs zu verringern, wurde bei den fischökologischen Untersuchungen ein feinmaschiges Netz nach diesem installiert, wie Abbildung 51 zeigt:



**Abbildung 51: Netz bei Einlaufbecken-Zulauf**

Im Auslaufbecken konnte bei den Versuchen eine Ausbildung der Leitströmung bis Beckenende erkannt werden. Dieses Verhalten zeigt auch die Simulation:

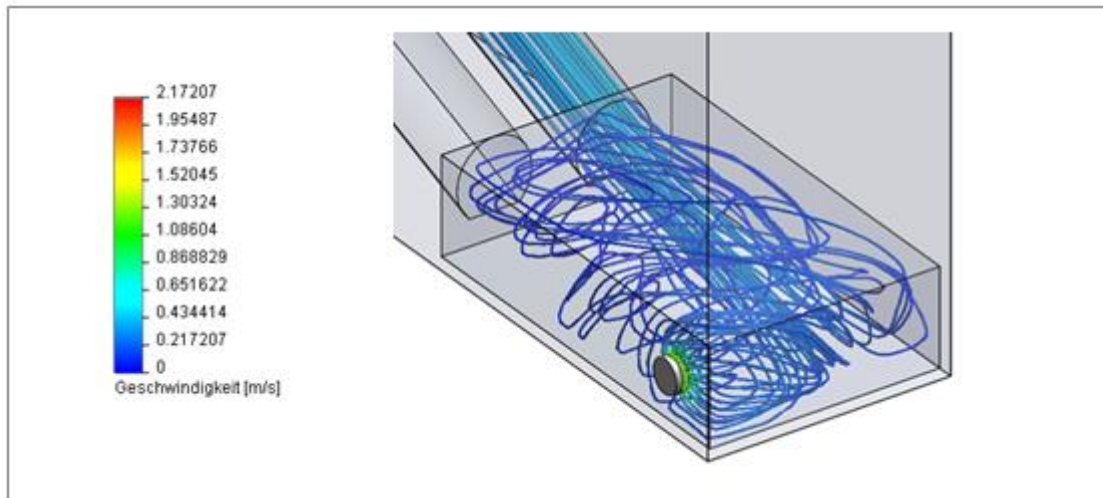


Abbildung 52: Simulation des Auslaufbeckens

## 7.1.2 Strömung in den Kammern

In den Kammern stellen sich unterschiedliche Strömungsbedingungen ein. In der zum Oberwasser geöffneten Kammer verlaufen die Strömungslinien annähernd parallel und es kann kaum eine Strömung im Abschnitt nach der Drossel festgestellt werden.

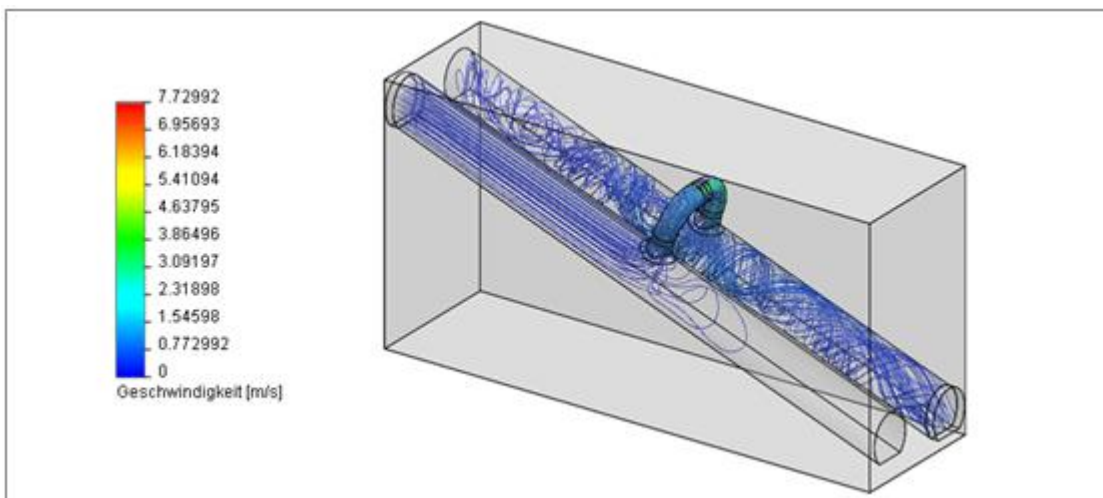


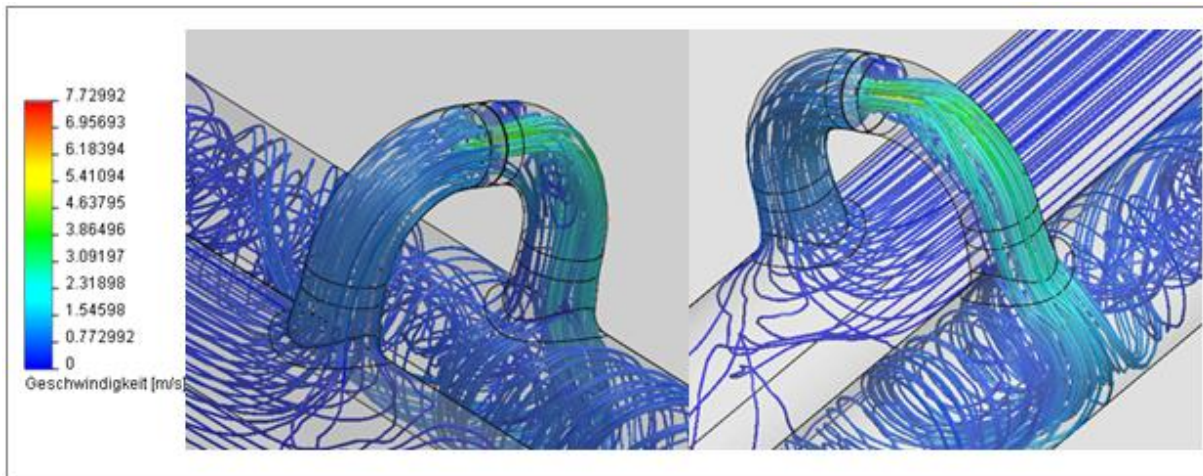
Abbildung 53: Simulation der Kammern

In der zum Unterwasser geöffneten Kammer sind starke Verwirbelungen zu erkennen. Diese Verwirbelungen werden durch den Strömungsimpuls des aus der Drossel austretenden Wassers verursacht und konnten auch bei den Videoaufzeichnungen festgestellt werden.

Um die Verwirbelungen zu verringern, wäre beispielsweise eine längere Ausführung des Saugrohres mit passender Querschnittserweiterung erforderlich.

## 7.1.3 Einlaufströmung und Auslaufströmung bei Drossel

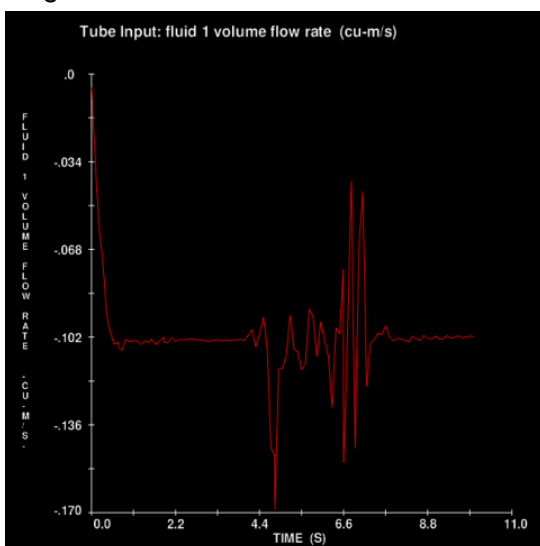
Die Einlaufströmungen und Auslaufströmungen bei der Drossel sind von besonderer Bedeutung, weil diese einen großen Einfluss auf die Effizienz der Turbine und fischökologische Funktionalität (Schutz der Fische) haben. Folgende Abbildungen zeigen den Strömungsverlauf bei der Drossel:



**Abbildung 54: Simulation der Drossel**

Es ist zu erkennen, dass die Strömung nach Drosseldurchlauf vor allem am Außenradius des Rohrbogens verläuft und dass durch das kurze Saugrohr die Strömungsgeschwindigkeit kaum abnimmt. Bei Einsatz einer Turbine würde dieses Strömungsverhalten zu Verlusten führen.

Beim Einlauf ist in Höhe des Rechens eine niedrige Geschwindigkeit zu erkennen. Diese Geschwindigkeit ist vor allem für den Schutz von Fischen von Bedeutung, weil ein Ansaugen von Fischen zu verhindern ist. Zur genauen Bestimmung wurde eine Simulation mit Flow 3D durchgeführt. Bei dieser Simulation wurden die Fallhöhe und die Blendengröße vorgegeben, sodass sich ein Durchfluss von wiederum 100 l/s eingestellt hat, wie folgende Abbildung zeigen:



**Abbildung 55: Simulationsergebnisse - Durchfluss**

Da es sich um eine dynamische Simulation handelt, braucht das System eine gewisse Zeit, bis es sich einschwingt. Nach Etwa 10 Sekunden hat sich der Durchfluss stabilisiert und es konnte eine Geschwindigkeit von ca. 0,45 m/s bei Feinrecheneinlaufmitte bestimmt werden.

Dieser Wert entspricht annähernd dem Messwert von 0,49 m/s bei einem Durchfluss von 100 l/s. Bei Auslauf konnte an dieser Position eine Geschwindigkeit von ca. 1 m/s festgestellt werden. Das entspricht dem gemessenen Wert. Aufgrund der guten Übereinstimmung kann die Simulation auch genutzt werden, um die Geschwindigkeiten an anderen Stellen des Feinrechens zu ermitteln. Es zeigt sich, dass laut Simulation beim Einlaufrechen eine maximale Geschwindigkeit von 0,51 m/s und beim Auslaufrechen von 2,31 m/s auftritt. Diese erhöhten Geschwindigkeiten treten beim Einlauf etwa 5 cm vor Rechenmitte auf und beim Auslauf 15 cm von der Rechenmitte Richtung Rohrbogenaußenseite entfernt auf, wie in Abbildung 54 und Abbildung 56 zu erkennen ist.

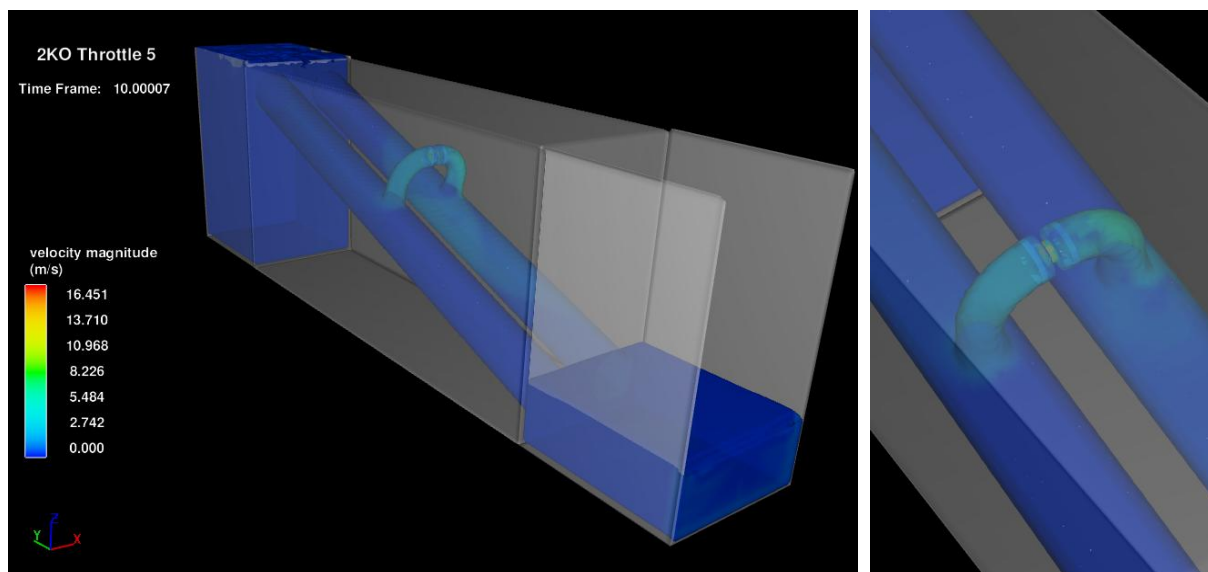


Abbildung 56: Simulation in Folw 3D

## 7.2 Bestimmung der Wirtschaftlichkeit

Für die Anwendung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe spielen neben der fischökologischen Funktionsfähigkeit, welche Grundvoraussetzung ist, vor allem die Kosten der Technologie eine entscheidende Rolle.

Um zu prüfen, ob der Einsatz der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe aus wirtschaftlicher Betrachtung sinnvoll ist, werden die Kosten für Planung, Errichtung und Betrieb der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe anhand eines Projektbeispiels anderen Fischwanderhilfen gegenübergestellt.

### 7.2.1 Projektbeispiel mit Gegenüberstellung von Varianten

Bei dem fiktiven Projektbeispiel soll die Gewässerdurchgängigkeit an einem vorhandenen Kleinwasserkraftwerk wiederhergestellt werden. Im Folgenden wird das Projektbeispiel schematisch dargestellt:

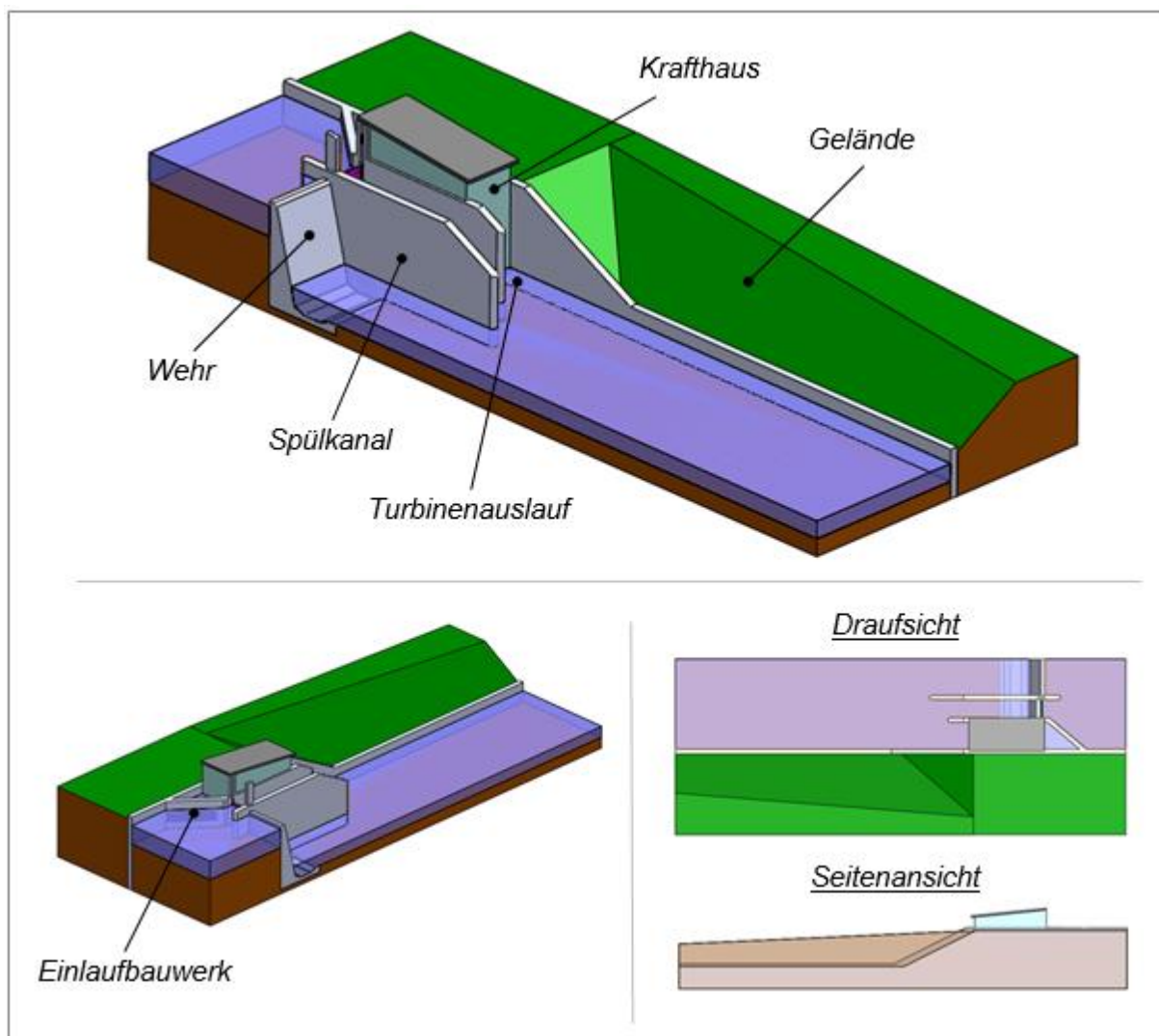


Abbildung 57: Projektbeispiel ohne Fischwanderhilfe

Es wird angenommen, dass das skizzierte Kleinwasserkraftwerk im Hyporhithral ( $MQ < 2\text{m}^3/\text{s}$ ) liegt, die maßgebende Fischart Bachforellen, Aitel, Äsche oder Aalrutte mit einer Länge bis 50 cm ist und eine Höhendifferenz von 4 m überwunden wird.

Bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse werden folgende vier Varianten zur Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit betrachtet:

- Variante 1: Schlitzpass
- Variante 2: Fischlift
- Variante 3: 2-Kammern-Organismenwanderhilfe neben Querbauwerk
- Variante 4: 2-Kammern-Organismenwanderhilfe in Querbauwerk integriert

Um den Einfluss der Höhendifferenz auf die Projektkosten darzustellen, werden für jede Variante auch die Kosten bei einer Höhendifferenz von 2 und 7 m abgeschätzt, jedoch ohne Konstruktionsplanung der Umsetzung, wie es bei der Höhendifferenz von 4 m der Fall ist. Bei den Varianten mit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe wird zusätzlich analysiert, ob die energetische Nutzung der Leitströmung wirtschaftlich vorteilhaft ist. Dazu werden Berechnungen mit zwei verschiedenen Einspeisetarifen durchgeführt.

Die Wirtschaftlichkeit wird für eine kalkulatorische Nutzungsdauer von 60 Jahren berechnet, wobei ein Kalkulationszinssatz von 3 % und eine Inflationsrate von 1,5 % angesetzt werden.

Des Weiteren werden folgende Nutzungsdauern angenommen:

- Betonbau: 60 Jahre
- Stahlwasserbau: 30 Jahre
- Elektrotechnik: 20 Jahre
- Holzbau: 20 Jahre

Die Nutzungsdauern der einzelnen Komponenten werden im Zuge der Instandhaltungskosten berücksichtigt, sowie auch die Kosten für den Zeitaufwand.

Als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Kosten wurden mittlere spezifische Kosten für eine technische Fischwanderhilfe im Hyporhithral  $< 2\text{m}^3/\text{s}$  von 41.000 €/m herangezogen (BMLFUW 2017). Anschließend wurden über mehrere Projektbeispiele einzelnen Kostenbestandteile ermittelt und über Parameter, wie beispielsweise Aushub oder Betonbedarf, die Investitionskosten der verschiedenen Varianten bestimmt. Zusätzlich wurden zur Berechnung der Kosten für die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe und des Fischlifts Angebote zu wichtigen Anlagenkomponenten eingeholt.

Eine detaillierte Erläuterung zur Ermittlung der Kosten ist im elektronischen Anhang unter dem Excel-Dokument „Wirtschaftlichkeitsanalyse“ zu finden.

Es ist zu erwähnen, dass diese Wirtschaftlichkeitsanalyse eine große Unsicherheit aufweist, weil die Kosten sehr stark vom tatsächlichen Projektstandort abhängen und sie vorwiegend anhand von Literaturwerten unter Anwendung mehrerer Kostenparametern abgeschätzt wurden. Beim betrachteten Standort liegen sehr günstige Rahmenbedingungen vor, wodurch die Kosten verhältnismäßig gering sind. Des Weiteren wurden im Zuge des Projekts keine Detailplanungen und Optimierungen vorgenommen, welche wiederum eine Änderung der Kosten verursachen können.

## Variante 1: Schlitzpass

Der Maßnahmenkatalog Hydromorphologie deutet aufgrund der Beispiele darauf hin, dass am häufigsten technische Fischwanderhilfen zur Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit genutzt werden (BMLFUW 2017). Aus diesem Grund wird bei der Variantenanalyse auch ein Schlitzpass betrachtet.

Zur Auslegung des Schlitzpasses wurde der „Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen“ herangezogen (BMLFUW 2012). Dieser gibt für die betrachtete Gewässerregion folgende Gestaltungskriterien vor:

- max. Spiegeldifferenz: 15 cm
- min. Tiefe: 60 cm
- min. lichte Beckenlänge: 230 cm
- min. lichte Beckenbreite: 150 cm
- min. Dotation: 190 l/s

Im Folgenden wird eine angedachte Umsetzung des Schlitzpasses unter Verwendung der angeführten Mindestanforderungen gezeigt:

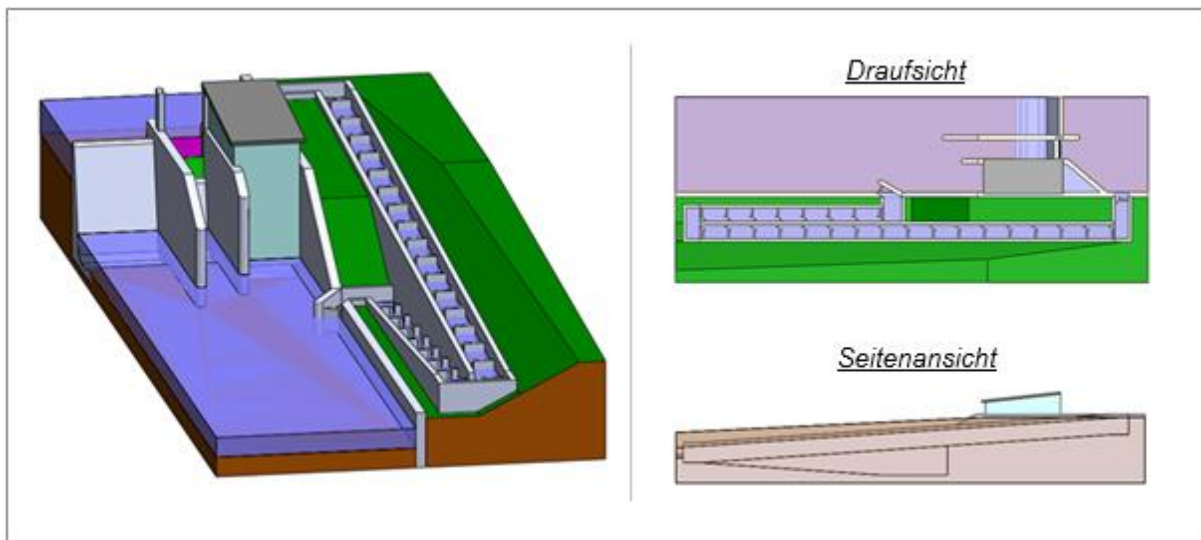


Abbildung 58: Projektbeispiel mit Schlitzpass

Aufgrund der Höhendifferenz von 4 m weist der Schlitzpass 26 Becken auf und ist insgesamt 74 m lang. Für die Anlagenerrichtung müssen 550 m<sup>3</sup> Erdreich bewegt und davon ca. 360 m<sup>3</sup> Erdreich abtransportiert werden. Für die Bauarbeiten ist ein Flächenbedarf von 335 m<sup>2</sup> erforderlich, die Fischwanderhilfe selbst benötigt eine Fläche von 223 m<sup>2</sup>. Zusätzlich werden für die Fertigung des Schlitzpasses etwa 147 m<sup>3</sup> Beton benötigt.

Es fallen folgende Kosten an:

**Kosten (brutto)**

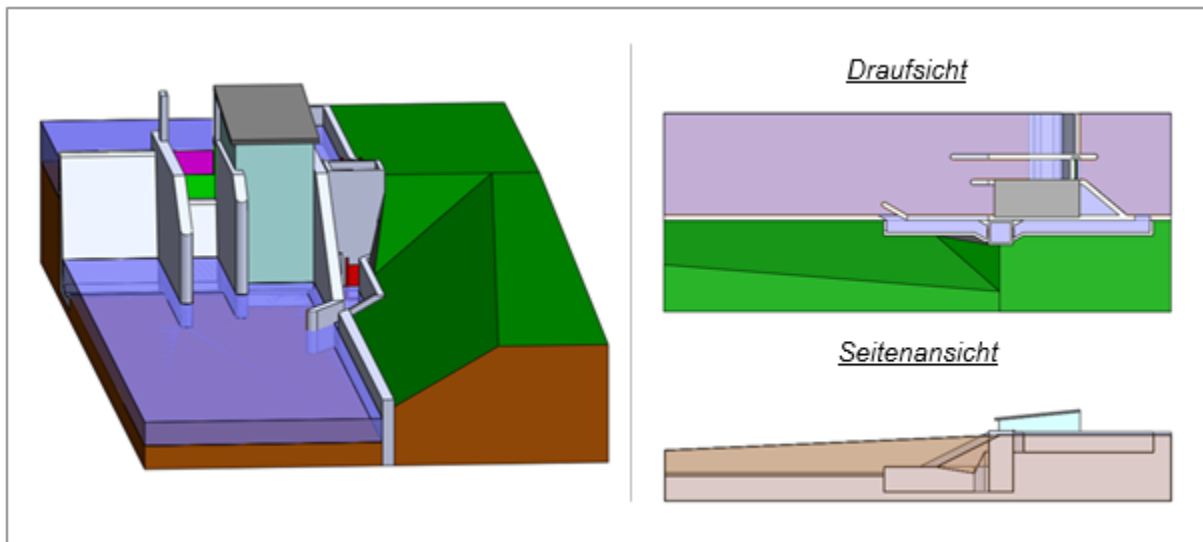
<i>Planung, Genehmigungsverfahren und Bauleitung</i>	€	20.500
<i>Baustelleneinrichtung und Vorarbeiten</i>	€	8.200
<i>Abbrucharbeiten und Erdarbeiten</i>	€	24.600
<i>Beton und Schalungsarbeiten</i>	€	94.300
<i>Anbindung zu Gewässer</i>	€	8.200
<i>Sonstiges und Unvorhersehbares</i>	€	8.200
<i>Summe</i>	€	164.000

Der jährliche Wartungsaufwand, um Anlage zu kontrollieren und beispielsweise Verschmutzungen zu beseitigen, beträgt bei kleinen bis mittelgroßen Fischwanderhilfen etwa 50 h/a. Bei einem Stundensatz von 40 € ergibt dies zusätzlich jährliche Kosten von 2.000 €. Es wird davon ausgegangen, dass keine Kosten für die Instandhaltung anfallen, weil die Anlage vollständig aus Beton gefertigt ist.

Werden die gesamten Kosten über die betrachtete Nutzungsdauer von 60 Jahren unter den genannten Parametern berechnet, so ergeben sich Gesamtkosten inklusive Wartung und Instandhaltung von 242.382 € (Kapitalwert).

**Variante 2: Fischlift**

Neben der Variante des Schlitzpasses wird auch ein Fischlift betrachtet. Der Fischlift wird wie der Schlitzpass an das Gewässer angebunden und befindet sich neben dem Krafthaus.



**Abbildung 59: Projektbeispiel mit Fischlift**

Der betonierte Liftschacht wird mit einer lichten Kammergröße von 2x2 m ausgeführt und wie der Schlitzpass mit einer Dotation von 190 l/s betrieben. Um die Leitströmung auch beim Anheben des Liftkorbes zu erhalten ist ein Bypass mit Absperrvorrichtungen erforderlich, welcher nicht skizziert wurde. Die Verschlussorgane haben eine Öffnungsgröße von 70x55 cm um eine Geschwindigkeit von ca. 0,5 m/s beim Liftzugang zu erreichen.

## Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Für die Errichtung des Fischlifts müssen 175 m<sup>3</sup> Erdreich ausgehoben und davon 117 m<sup>3</sup> abtransportiert werden. Für den Bau der Anlage wird eine Fläche von 101 m<sup>2</sup> benötigt, wobei der Fischlift selbst 67 m<sup>2</sup> in Anspruch nimmt. Es werden 14 m<sup>3</sup> Beton für den Liftschacht und 34 m<sup>3</sup> für die Anbindung an das Gewässer benötigt.

Für die Herstellung der Gewässerdurchgängigkeit mit dem Fischlift fallen folgende Kosten an:

### **Kosten (brutto)**

<i>Planung, Genehmigungsverfahren und Bauleitung</i>	€	15 044
<i>Baustelleneinrichtung und Vorarbeiten</i>	€	2 472
<i>Abbrucharbeiten und Erdarbeiten</i>	€	7 813
<i>Beton und Schalungsarbeiten (ohne Liftschacht)</i>	€	21 811
<i>Fischlift</i>	€	58 995
<i>Anbindung zu Gewässer</i>	€	8 200
<i>Sonstiges und Unvorhersehbares</i>	€	6 018
<i>Summe</i>	€	120 353

Der Wartungsaufwand des Fischlifts wird gleich hoch angesetzt als der des Schlitzpasses, weil einerseits das System kurzer ist und deutlich einfacher gereinigt werden kann aber andererseits alle Verschlussorgane und der Korb zusätzlich überprüft und gewartet werden müssen. Dadurch ergeben sich ebenfalls Kosten in der Höhe von 2.000 €/a.

Neben der Wartung sind teilweise Komponenten aufgrund begrenzter Nutzungsdauer zu ersetzen. Geht man von 60 Jahren Nutzungsdauer aus, müssen die Stahlwasserbaukomponenten einmal und die elektrotechnischen Komponenten zweimal erneuert werden.

In der folgenden Tabelle werden die abgeschätzten Kosten für die Instandhaltung angeführt:

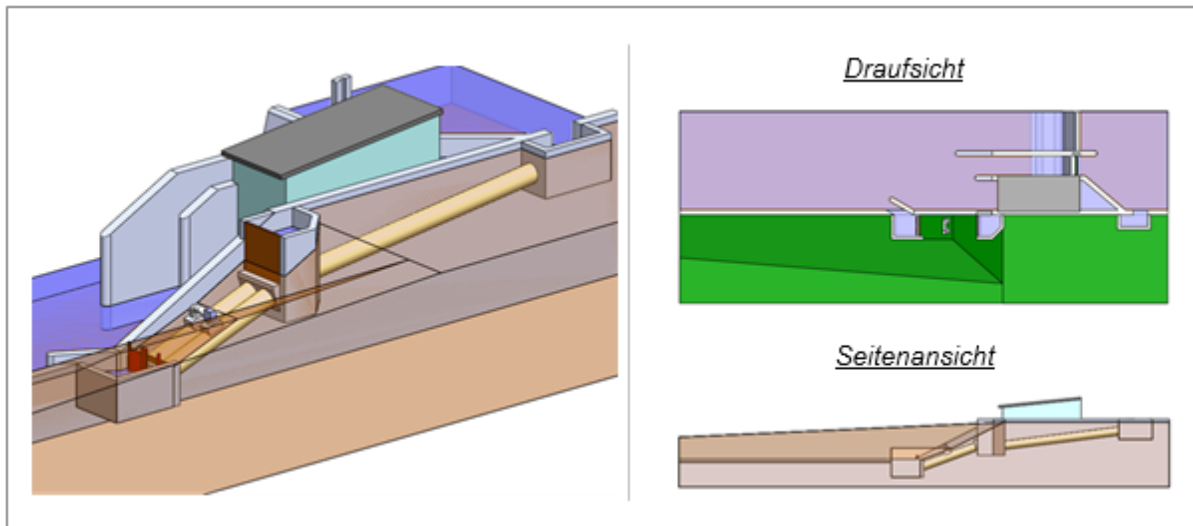
### **Kosten inkl. Arbeitszeit (brutto)**

<i>Elektrotechnik</i>	€	2 100	<i>(alle 20 Jahre)</i>
<i>Stahlwasserbau</i>	€	30 800	<i>(alle 30 Jahre)</i>

Der Kapitalwert der gesamten Kosten beträgt bei dieser Variante 222.605 €, wodurch der Fischlift die Gewässerdurchgängigkeit um etwa 20.000 € günstiger herstellen kann als der Schlitzpass.

## Variante 3: 2-Kammern-Organismenwanderhilfe neben Querbauwerk

Die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe wird ähnlich wie der Fischlift angeordnet. In der folgenden Abbildung wird eine mögliche Installationsvariante gezeigt:



**Abbildung 60: Projektbeispiel mit 2-Kammern-Organismenwanderhilfe neben Querbauwerk**

Im Gegensatz zum Fischlift, erfolgt die Anbindung zum Oberwasser vorwiegend über eine DN800 GFK-Rohrleitung, weil der Ausstieg der Fischschleuse tiefer als der des Fischlifts liegt. Grundsätzlich wäre auch eine Anbindung über einen offenen Kanal möglich. Dieser würde aufgrund der Tiefe jedoch höhere Kosten verursachen.

Die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe für diesen Standort wird ebenfalls mit DN800 Rohren ausgeführt und für eine Dotation von 190 l/s konzipiert. Die Schützöffnungen weisen Abmessungen von 65x60 cm auf. Mit der Schleuse selbst wird eine Fallhöhe von etwa 2,2 m überwunden und die übrigen 1,8 m durch die Anbindung mittels der geneigten Rohrleitung.

Für die Errichtung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe und deren Anbindung müssen 83 m<sup>3</sup> Erdreich ausgehoben werden und 55 m<sup>3</sup> Erdreich abtransportiert werden. Der Flächenbedarf ist mit 101 m<sup>2</sup> gleich hoch als bei der Variante mit dem Fischlift. Der Betonbedarf für die Herstellung der Anbindungen liegt bei 23 m<sup>3</sup>. Zusätzlich werden ca. 3 m<sup>3</sup> Beton für die Fertigung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe und für die Sohleneinlage des Anbindungsrohrs benötigt. Die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit Drossel und die Anbindung verursachen folgende Kosten:

### **Kosten (brutto)**

<i>Planung, Genehmigungsverfahren und Bauleitung</i>	€	12 663
<i>Baustelleneinrichtung und Vorarbeiten</i>	€	2 472
<i>Abbrucharbeiten und Erdarbeiten</i>	€	3 706
<i>Beton und Schalungsarbeiten sowie Rohrleitung</i>	€	18 274
<i>2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit Drossel</i>	€	50 921
<i>Anbindung zu Gewässer</i>	€	8 200
<i>Sonstiges und Unvorhersehbares</i>	€	5 065
<b>Summe</b>	€	<b>101 301</b>

Mit Kosten von ca. 100.000 € kann mit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe die Gewässerdurchgängigkeit am kostengünstigsten wiederhergestellt werden. Die jährlichen Wartungskosten werden gleich hoch als die des Schlitzpasses und des Fischlifts abgeschätzt und betragen somit auch 2.000 €/a. Im Gegensatz zum Fischlift muss bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe kein beweglicher Korb überprüft und gewartet werden, jedoch ist die Reinigung der geschlossenen Kammern etwas aufwendiger.

Für die Instandhaltung werden folgende Kosten veranschlagt:

**Kosten inkl. Arbeitszeit (brutto)**

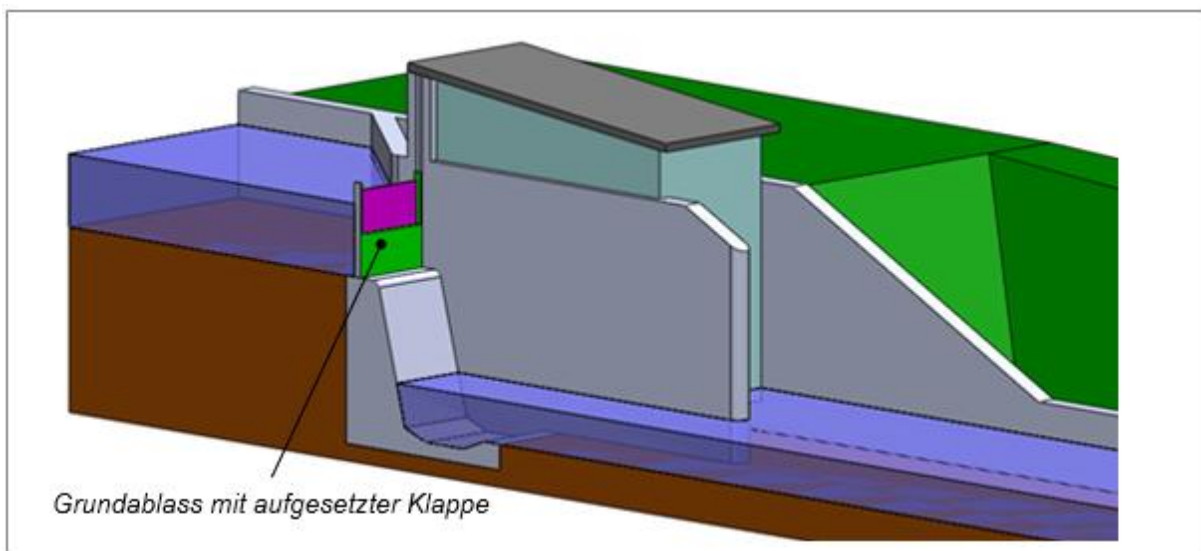
Elektrotechnik	€	2 100	(alle 20 Jahre)
Holzbau	€	6 400	(alle 20 Jahre)
Stahlwasserbau	€	19 850	(alle 30 Jahre)

Über die kalkulatorische Nutzungsdauer von 60 Jahren fallen bei dieser Variante Gesamtkosten von 204.833 € an. Somit kann mit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe bei diesem Beispiel die Fischwanderung zu den geringsten Kosten ermöglicht werden. Diese Variante aber auch Variante 4 haben zusätzlich die Vorteile, dass der Zugang zum Krafthaus erhalten bleibt und ohne großen Mehraufwand die Leitströmung energetisch genutzt werden kann.

#### Variante 4: 2-Kammern-Organismenwanderhilfe in Querbauwerk integriert

Der betrachtete Standort bietet eine weitere Möglichkeit um die Gewässerdurchgängigkeit mit Hilfe der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe herzustellen.

Beim Standort befindet sich ein 2 m breiter Spülkanal indem sich ein Grundablass mit aufgesetzter Klappe befindet, wie folgende Abbildung zeigt:



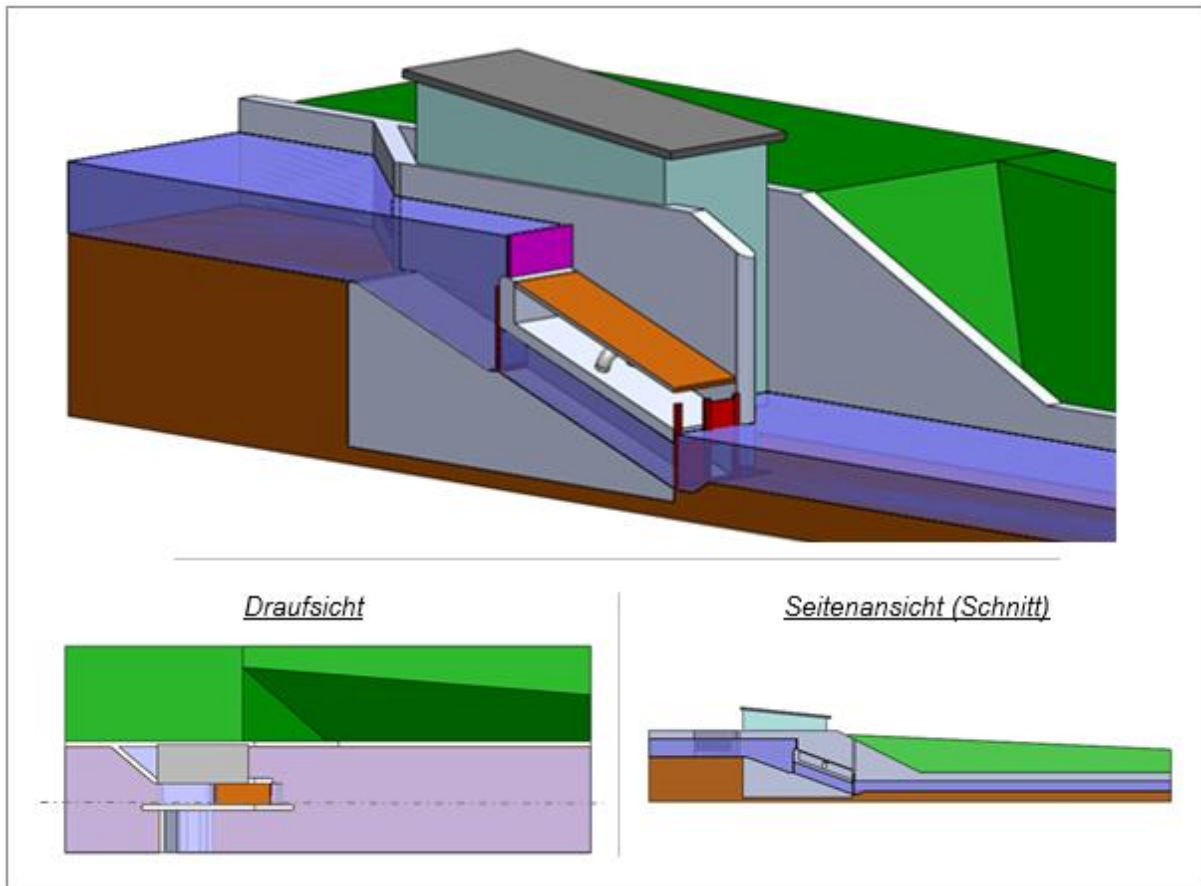
**Abbildung 61: Spülkanal Projektbeispiel**

Wird der Grundablass vollständig geöffnet, kann eine Wassermenge von 9,2 m<sup>3</sup>/s durch den Spülkanal abgeführt werden.

Die Berechnung beruht auf der Formel von Poleni, wobei eine von Höhe [h] 1,7 m und Breite [b] von 2 m vorliegt. Als Überfallsbeiwert [ $\mu$ ] wurde 0,7 angesetzt.

Formel von Poleni: 
$$Q = \frac{2}{3} \times \mu \times b \times \sqrt{2 \times g \times h^{\frac{3}{2}}}$$

Es ist möglich die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe in diesen Spülkanal zu integrieren, wie Abbildung 62 zeigt:



**Abbildung 62: Projektbeispiel mit 2-Kammern-Organismenwanderhilfe in Querbauwerk integriert**

Dabei wird der Grundablass-Schütz mit der aufgesetzten Klappe entfernt und das Wehr mit einer Neigung von 20° zum Unterwasser abgeflacht. Die Fischschleuse selbst ist eine Sonderausführung und wird in die Wände des Spülkanals integriert. Dabei wird die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe überströmbar ausgeführt, sodass mit einer Klappe Treibgut abgeführt werden kann. Die Fischschleuse ist so konzipiert, dass der Grundablass (Abführen von Geschiebe...) durch die beiden Kammern verwirklicht werden kann. Mehrere Berechnungen zeigen, dass mit dieser Ausführung eine etwas größere Wassermenge von 9,9 m<sup>3</sup>/s abgeführt werden kann und der benötigte Reinigungseffekt erhalten bleiben sollte.

Anmerkung: Der Querschnitt direkt vor den Kammern ist größer als beim alten Grundablass und somit ist die Strömungsgeschwindigkeit, welche maßgebend für den Spüleffekt ist, an dieser Stelle geringer. Da aber der Boden mit einem Gefälle ausgeführt ist, sollte das

*Geschiebe dennoch abgeführt werden können. Falls das Gefälle nicht ausreicht, kann ein Holzeinsatz angebracht werden, um entsprechende Strömungsgeschwindigkeiten für einen ausreichenden Spüleffekt zu erhalten.*

Für die Berechnung der abführbaren Wassermenge, wurden die möglichen Durchflüsse der Klappe und der beiden Kammern bei voll geöffneten Verschlussorganen bestimmt. Der Abfluss durch die Klappe kann wiederum mit der Polenformel berechnet werden, wobei die Klappenbreite 2 m beträgt, die Wasserstandhöhe 0,8 m und ein Überfallbeiwert von 0,65 herangezogen wurde. Der Durchfluss durch die Kammern wurde mit mehreren Methoden berechnet, wobei alle Berechnungen zu ähnlichen Ergebnissen führen. Im Folgenden wird beispielsweise eine Berechnung mit Hilfe von Zeta-Werten angeführt:

- Berechnung mit Zeta-Werte: 
$$Q = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{\sum \text{Zeta}}} \times (a \times b)$$

Die Kammerhöhe [a] abzüglich 10 cm für die Sohle beträgt dabei 0,9 m und die Kammerbreite [b] 0,8 m. Die Zeta-Werte wurden mit Hilfe von Literaturwerten abgeschätzt (Zeta<sub>Einlauf</sub>=0,7, Zeta<sub>Kammer</sub>=0,5 und Zeta<sub>Auslauf</sub>=2,0).

Die Schütze haben dieselben Abmessungen wie die Kammern und werden in Fischwanderhilfen-Betrieb nicht vollständig geöffnet, um eine ausreichende Geschwindigkeit zur Auffindbarkeit zu erhalten. Die Fischschleuse wird ebenfalls mit einer Dotation von 190 l/s betrieben.

Bei dieser Variante ist kaum ein Aushub und nur ein geringer Flächenbedarf für die Errichtung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe erforderlich. Es sind jedoch wasserbauliche Maßnahmen und Abbrucharbeiten beim Spülkanal notwendig. Zusätzlich muss ein Zugang für die Bauarbeiten geschaffen werden.

Im Folgenden werden die gesamten Kosten dieser Variante angeführt:

### **Kosten (brutto)**

<i>Planung, Genehmigungsverfahren und Bauleitung</i>	€	15 562
<i>Baustelleneinrichtung und Vorarbeiten</i>	€	18 000
<i>Abbrucharbeiten und Erdarbeiten</i>	€	4 000
<i>Beton und Schalungsarbeiten</i>	€	26 301
<i>2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit Klappe</i>	€	54 405
<i>Sonstiges und Unvorhersehbares</i>	€	6 225
<i>Summe</i>	€	124 493

Zusätzlich zu den Investitionskosten fallen wiederum jährliche Wartungskosten von 2.000 € an. Die Instandhaltungskosten fallen etwas geringer aus als bei Variante 3, weil berücksichtigt wird, dass die Kosten für die Erneuerung des Grundablassschützes bei dieser Variante entfallen. Die Kosten setzen sich wie folgt zusammen:

### **Kosten inkl. Arbeitszeit (brutto)**

<i>Elektrotechnik</i>	€	2 100	<i>(alle 20 Jahre)</i>
<i>Holzbau</i>	€	6 600	<i>(alle 20 Jahre)</i>
<i>Stahlwasserbau</i>	€	15 850	<i>(alle 30 Jahre)</i>

Über einen Zeitraum von 60 Jahren fallen in Summe 225.709 € Kosten für Errichtung, Wartung und Instandhaltung an, wodurch diese Variante mit einer Sonderausführung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe etwas teuer als die Variante zuvor ist. Da aber keine zusätzliche Fläche benötigt wird, kann teilweise Fällen eine derartige Integration der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe die einfachste Lösung darstellen. Besonders bei neuen Kraftwerken könnte diese Variante im Vorteil sein, weil durch die gemeinsame Planung und Errichtung von Spüleinrichtung und 2-Kammern-Organismenwanderhilfe Kosten deutlich eingespart werden können.

## 7.2.2 Einfluss der Höhendifferenz auf die Wirtschaftlichkeit

Die Höhendifferenz hat einen bedeutenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der vier Varianten. Um diesen Einfluss zu veranschaulichen wurden zusätzlich die Investitionskosten der Varianten bei Höhen von 2 und 7 m bestimmt. Es ist zu erwähnen, dass für diese Höhendifferenzen keine Konstruktionsplanung vorgenommen wurde und die Berechnung auf einer Abschätzung des Einflusses der Höhendifferenz auf die einzelnen Kostenbestandteile beruht.

In der folgenden Tabelle werden die Investitionskosten aller Varianten bei unterschiedlichen Höhendifferenzen zusammengefasst:

<b>Kosten (brutto)</b>	<b>2 m</b>	<b>4 m</b>	<b>7 m</b>
Variante 1: Schlitzpass	€ 88 549	€ 164 000	€ 271 507
Variante 2: Fischlift	€ 114 572	€ 120 353	€ 129 893
Variante 3: 2KO	€ 99 082	€ 101 301	€ 104 285
Variante 4: 2KO-Spülk.	€ 110 868	€ 124 493	€ 144 124

Es ist ersichtlich, dass bei einer Höhendifferenz von 2 m die Investitionskosten des Schlitzpasses und die der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ähnlich hoch sind. Bei größeren Fallhöhen nehmen die Kosten des Schlitzpasses deutlich zu. Die Kosten der anderen Varianten erhöhen sich hingegen nur geringfügig, wodurch ab Höhendifferenzen von etwa 2,5 m in diesem Beispiel die Varianten mit Fischlift oder 2-Kammern-Organismenwanderhilfen aus wirtschaftlicher Sicht vorteilhaft sind. Die Variante 3, bei der die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe neben dem Querbauwerk positioniert wird, weist im Vergleich zum Fischlift immer niedrigere Investitionskosten auf als der betrachtete Fischlift. Die Integration der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe in den Spülkanal ist etwas teurer.

## 7.2.3 Einfluss einer Turbine auf die Wirtschaftlichkeit

Bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe kann ohne großen Mehraufwand die Leitströmung energetisch genutzt werden. Dazu wird die Drossel durch eine Turbine ersetzt. Im Folgenden wird der Einfluss der Turbine auf die Wirtschaftlichkeit der Varianten 3 und 4 untersucht. Dabei werden zwei Fälle mit unterschiedlichen Einspeisetarifen betrachtet.

Die energetische Nutzung der Leitströmung verursacht zusätzliche Kosten. Es wird davon ausgegangen, dass zusätzliche Investitionskosten von 18.000 € erforderlich sind, wobei die

## Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Turbine geschätzt 15.000 € kostet und der Generator, die Steuerung und die Netzanbindung 4.500 €. Die Kosten von 1.500 € für die Drossel hingegen entfallen. Wie auch zuvor müssen die elektrotechnischen Komponenten alle 20 Jahre und die wasserbaulichen Komponenten alle 30 Jahre ausgetauscht werden. Der zusätzliche Wartungsaufwand für die Turbine beträgt geschätzte 160 €/a.

Erste Analysen zum Turbinenwirkungsgrad gehen davon aus, dass ein Wirkungsgrad über 70 % möglich ist. Es wird bei dieser Berechnung von einem Turbinenwirkungsgrad von 70 % ausgegangen sowie von einem Generatorwirkungsgrad von 90 %. Aufgrund der Dotation von 190 l/s, der Fallhöhe von 4 m und unter der Berücksichtigung der Wirkungsgrade ergibt sich eine Leistung von 4,7 kW<sub>el</sub>.

Aufgrund des kurzen Leistungsabfalls bei der Umschaltphase und weil die Anlage an wenigen Stunden im Jahr nicht in Betrieb ist (Spülung, Wartung), wird von 8.150 Volllaststunden ausgegangen. Dadurch ergibt sich eine jährliche Energiebereitstellung von 38,2 MWh.

Die Erlöse aus der Energieeinspeisung hängen sehr stark mit dem Einspeisetarif zusammen. Im Folgenden wird angenommen, dass der Einspeisetarif im Fall 1 für die ersten 13 Jahre 0,1025 €/kWh und anschließend 0,035 €/kWh beträgt und im zweiten Fall 0,035 €/kWh. Fall 1 ist an die Ökostrom-Einspeisetarifverordnung 2016 (BMWFM 2016) angelehnt. Um den Ökostrom-Einspeisetarif zu erhalten, ist ein zusätzlicher Einspeisepunkt erforderlich, für den jährliche Kosten von 200 € angesetzt werden.

Unter Berücksichtigung des angenommenen kalkulatorischen Zinssatzes von 3 % und der Inflation von 1,5 % ergeben sich folgende wirtschaftliche Kennwerte:

- Fall 1: „Ökostrom“
  - *Kapitalwert: 38.046 €*
  - *Amortisationszeit: 6 Jahre*
  - *interner Zinssatz: 18 %*
- Fall 1: „3,5 ct/kWh“
  - *Kapitalwert: 19.922 €*
  - *Amortisationszeit: 18 Jahre*
  - *interner Zinssatz: 7 %*

Anhand der beiden positiven Kapitalwerte ist zu erkennen, dass die Investition in die Turbine in beiden Fällen sinnvoll ist. Bei Erhalt des Ökostrom-Einspeisetarifs beträgt der Kapitalwert ca. 38.000 € ohne dem geförderten Einspeisetarif etwa die Hälfte. Die Kosten der Varianten 3 und 4 können um diese Kapitalwerte bei einer gesamtheitlichen Betrachtung reduziert werden, wodurch beim Projektbeispiel die Variante 3 und 4 mit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe und Turbine die günstigsten Lösungsmöglichkeiten sind.

Im Folgenden werden die Kapitalwertverläufe der Turbinen-Investition gezeigt:

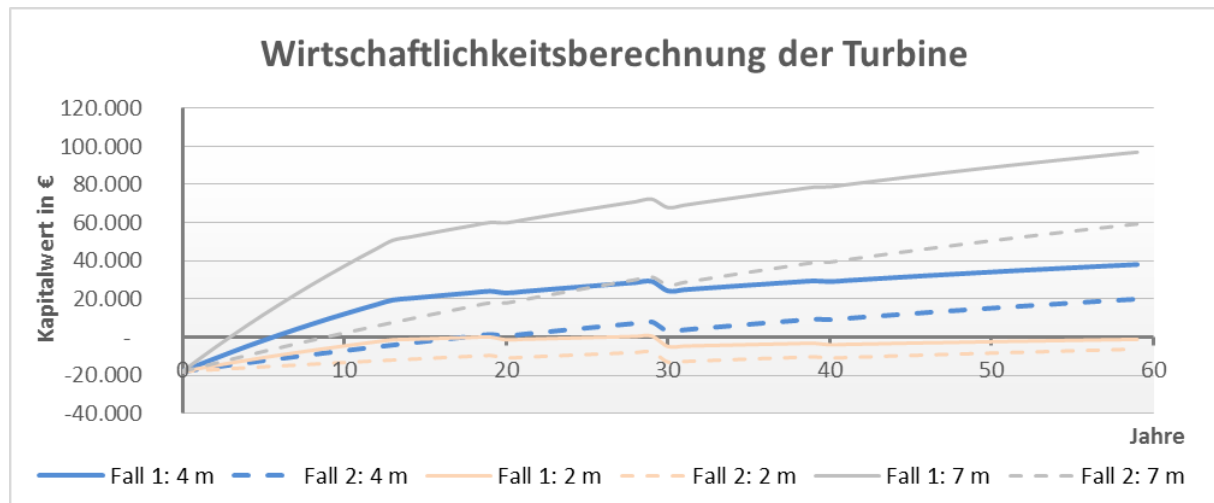


Abbildung 63: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Turbine

Neben den Kapitalwertverläufen bei einer Höhendifferenz von 4 m, werden für beide Einspeisetarif-Fälle auch die Kapitalwertverläufe bei Höhendifferenzen von 2 und 7 m gezeigt. Es ist anzumerken, dass bei dieser Berechnung die Energieerträge linear angepasst wurden und beispielsweise keine Änderung bei den Investitionskosten. Es ist ersichtliche, dass bei einer Fallhöhe von 2 m in diesem Beispiel eine Amortisation nur mit dem Ökostromtarif möglich ist.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass ab einer hydraulischen Leistung von 4 kW eine energetische Nutzung der Leitströmung aus wirtschaftlicher Betrachtung unter den angenommen Bedingungen sinnvoll ist.

## 7.2.4 Diskussion der Ergebnisse

Dieses Beispiel zeigt, dass die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ab einer Höhendifferenz von etwa 2 m eine wirtschaftliche Alternative zu vorhandenen Technologien ist. Vor allem bei größeren Höhen nimmt die Vorteilhaftigkeit zu, weil sich die Kosten der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe selbst nicht verändern sondern nur die Kosten der Anbindung zunehmen. Auch die Anwendung der Turbine ist in diesem Beispiel ab einer Fallhöhe von 2 m aus wirtschaftlicher Betrachtung sinnvoll.

Obwohl die Analyse des Einflusses der Höhendifferenz in diesem Beispiel dies nicht zeigt, wird vermutet, dass bei Fallhöhen ab etwa 10 m die Kosten der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe die des Fischlifts übersteigen können, weil aufgrund der geneigten oberwasserseitigen Anbindung bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe große Mengen an Aushub anfallen. Der Fischlift selbst hingegen überwindet die gesamte Fallhöhe und eine horizontale Anbindung ist möglich.

Aus diesen Gründen wird davon ausgegangen, dass die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe vor allem bei Höhendifferenzen von 2 bis 10 m Anwendung finden kann.

Der Einfluss der Fischregion bzw. der erforderlichen Dotation auf die Wirtschaftlichkeit wurde in dieser Arbeit nicht näher untersucht. Durchgeführte Abschätzungen deuten darauf hin,

# Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

dass die Fischregion oder die erforderliche Dotation die Wirtschaftlichkeit aller Systeme in einem ähnlichen Ausmaß beeinflussen. Somit ist aus wirtschaftlicher Sicht ein Einsatz der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe in allen Fischregionen denkbar. Wird die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit einer Turbine verwirklicht, sind Standorte mit großen Dotationen aufgrund höherer Erlöse vorteilhaft.

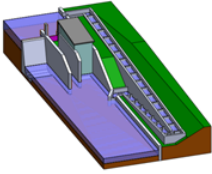
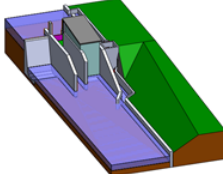
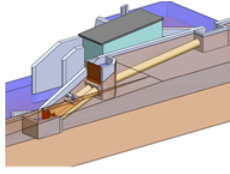
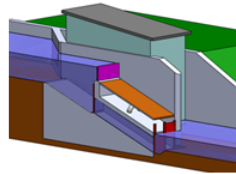
Variante	Schlitzpass	Fischlift	2-Kammern-Organismenwanderhilfe neben Querbauwerk		2-Kammern-Organismenwanderhilfe in Querbauwerk integriert	
Skizze:						
Informationen: Aushub gesamt Betonbedarf Flächenbedarf	551 m <sup>3</sup> 147 m <sup>3</sup> 335 m <sup>2</sup>	175 m <sup>3</sup> 48 m <sup>3</sup> 101 m <sup>2</sup>	83 m <sup>3</sup> 26 m <sup>3</sup> 101 m <sup>2</sup>		8 m <sup>3</sup> 41 m <sup>3</sup> -	
Investitionskosten:	€ 164.000	€ 120.353	€ 101.301		€ 124.493	
Gesamtkosten: <i>(kalkulatorische Nutzungsdauer 60 Jahre; Kapitalwert)</i>	€ 242.382	€ 222.605	€ 204.833		€ 225.709	
Erlöse von Turbine: <i>(kalkulatorische Nutzungsdauer 60 Jahre; Kapitalwert)</i>	<i>keine energetische Nutzung der Leitströmung ist möglich</i>	<i>Nutzung der Leitströmung wurde nicht betrachtet</i>	Fall 1: € 38.046	Fall 2: € 19.922	Fall 1: € 38.046	Fall 2: € 19.922
Summe: <i>(Kosten abzüglich Erlöse)</i>	€ 242.382	€ 222.605	€ 166.787	€ 184.911	€ 187.663	€ 205.787
<i>Einfluss der Höhendifferenz auf Investitionskosten:</i>						
Investitionskosten bei 2 m:	€ 88.549	€ 114.572	€ 99.082		€ 111.868	
Investitionskosten bei 7 m:	€ 271.507	€ 129.893	€ 104.285		€ 144.124	

Abbildung 64: Übersicht Wirtschaftlichkeitsanalyse

## 7.3 Ökologische Analyse

Die Errichtung und der Betrieb von Fischwanderhilfen verursachen einen Eingriff in die Umwelt. Neben den direkten Eingriffen am Standort (Flächenbedarf und Aushub) werden auch Baumaterialien benötigt, für welche Rohstoffe abgebaut werden müssen und deren Herstellung Emissionen verursacht. Weitere Emissionen fallen bei Transport und Aushubarbeiten an. Aber auch der Betrieb der Anlage kann Emissionen in das Gewässer verursachen.

Im Folgenden werden diese Umwelteinflüsse für die vier Varianten des betrachteten Projektbeispiels der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einer Fallhöhe von 4 m analysiert.

### 7.3.1 Flächenbedarf und Aushub

Die direkten Eingriffe Flächenbedarf und Aushub konnten dabei mit Hilfe der 3D-Konstruktionsplanung ermittelt werden. In der folgenden Tabelle werden diese zusammengefasst:

	<b>Variante 1: Schlitzpass</b>	<b>Variante 2: Fischlift</b>	<b>Variante 3: 2KO</b>	<b>Variante 4: 2KO-Spülk.</b>
Flächenbedarf ohne Fläche für Bauarbeiten [m <sup>2</sup> ]	223	67	67	0
Aushub [m <sup>3</sup> ]	551	175	83	8
<i>davon abzutransportieren</i>	<i>367</i>	<i>117</i>	<i>55</i>	<i>5</i>

Die Analyse zeigt, dass für den Schlitzpass deutlich mehr Fläche benötigt wird sowie mehr Erdreich ausgehoben und abtransportiert werden muss als bei den anderen Varianten. Die Variante 2 mit dem Fischlift und die Variante mit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe neben dem Querbauwerk schneiden ähnlich gut ab. Den geringsten direkten Umwelteinfluss weist die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe integriert in das Querbauwerk auf, weil keine zusätzlichen Flächen benötigt werden und kaum ein Aushub anfällt.

### 7.3.2 Emissionen

Zur Bestimmung der Emissionen wurde eine Berechnung mit dem Programm GEMIS (GEMIS 2017) des Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien durchgeführt. Dazu wurde ein neues Szenarium mit den vier betrachteten Varianten erstellt. Für jede Variante wurden die benötigten Materialien zur Herstellung der Anlagen sowie der Transport- und Aushubaufwand angegeben. Aus Datengrundlage dienten dabei neben der 3D-Konstruktionsplanung auch Herstellerangaben zu den einzelnen Bauteilen. Der Transport- und Aushubaufwand wurde anhand üblicher Entfernungen oder über spezifische Zeitangaben, wie beispielsweise Baggerstunden pro m<sup>3</sup> Aushub, abgeschätzt. Details dazu sind im Excel-Dokument „2KO\_Umwelteinfluss“ zu finden. Da das Material GFK nicht in der GEMIS-Datenbank vorhanden war, wurde dafür eigens ein Prozess erstellt.

Im Folgenden werden beispielhaft die CO<sub>2</sub>-Äquivalente Emissionen der vier Varianten dargestellt, um einen Rückschluss auf das Treibhausgaspotential liefern zu können, sowie die SO<sub>2</sub>-Äquivalente als Indikator für Luftschadstoffe:

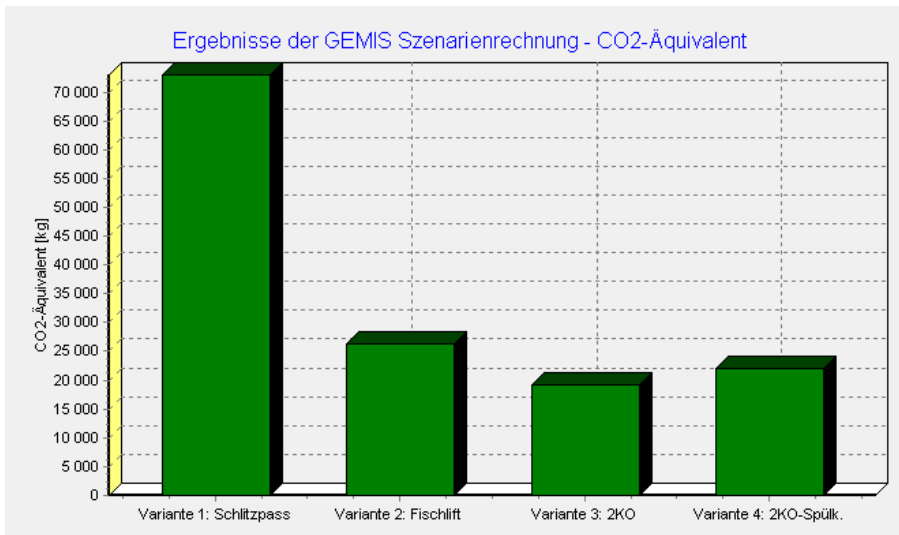


Abbildung 65: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Varianten

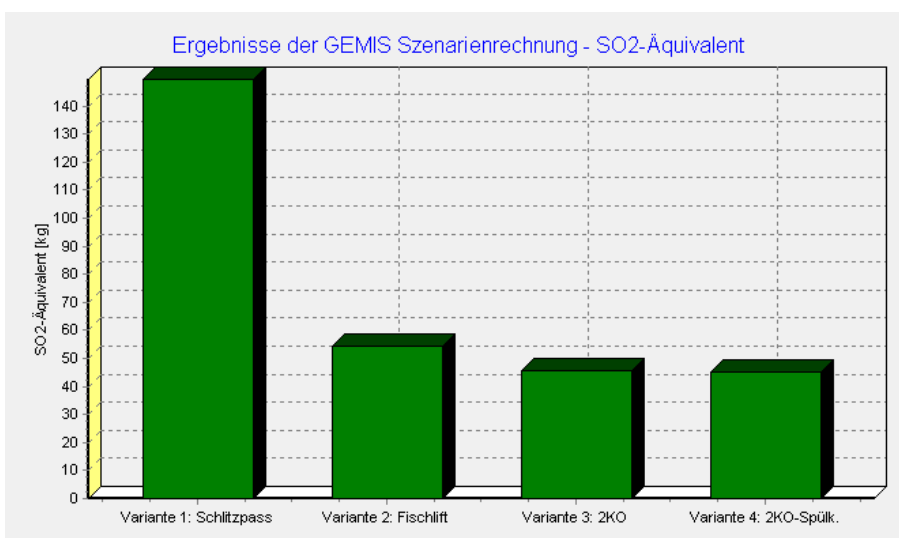


Abbildung 66: SO<sub>2</sub>-Emissionen der Varianten

Die GEMIS-Berechnung zeigt, dass der Schlitzpass deutlich höhere Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffemissionen verursacht, als die anderen drei Varianten. Der Grund dafür liegt vor allem am großen Betonbedarf des Schlitzpasses, aber auch an dem erhöhten Transport- und Aushubarbeitsaufwand. Zwischen dem Fischlift und den beiden Varianten mit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ist kaum ein Unterschied zu erkennen.

Neben dem Umwelteinfluss bei der Errichtung der Anlagen wurde auch die energetische Nutzung der Leitströmung durch die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit GEMIS analysiert. Dabei wurde der zusätzliche Aufwand für die Herstellung der Turbine den erzielten Energieerträgen gegenübergestellt und mit dem österreichischen Strommix (Prozess „EI-KW-Park-AT-2020) aus der GEMIS Datenbank verglichen. Folgende Grafiken

zeigen die CO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen, welche für die Bereitstellung von 1 MWh elektrischer Energie anfallen:

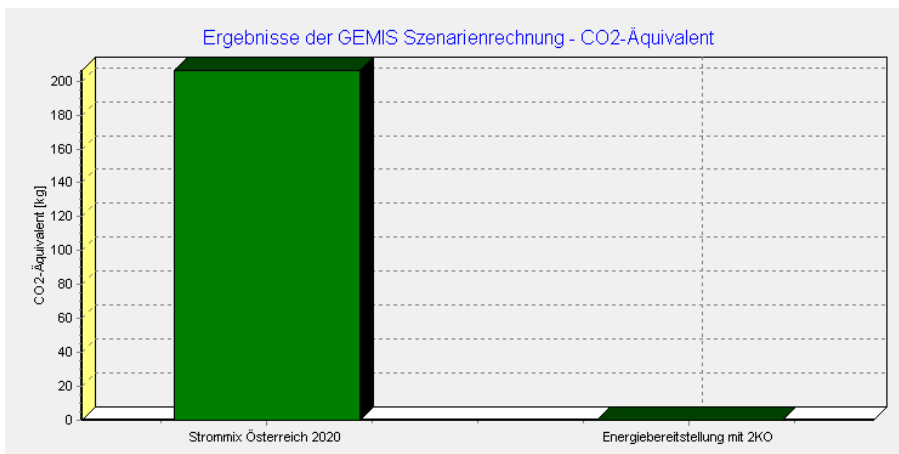


Abbildung 67: CO<sub>2</sub>-Emissionen für 1 MWh der Energiebereitstellung

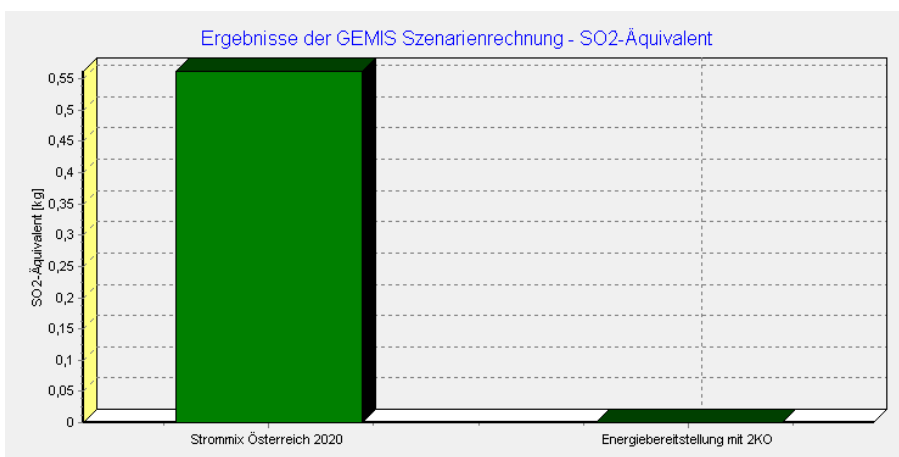


Abbildung 68: SO<sub>2</sub>-Emissionen für 1 MWh der Energiebereitstellung

Es ist ersichtlich, dass elektrische Energie mit Hilfe der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit deutlich geringeren Emissionen bereitgestellt werden kann, als mit dem österreichischen Strommix. Begründen lässt sich dies durch den geringen Mehraufwand der notwendig ist, um elektrische Energie mit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe bereitzustellen. Zusätzlich werden im Betrieb keine Emissionen in der Atmosphäre verursacht. Würde man elektrische Energie aus Gas substituiert, wie es aufgrund der Merit-Order wahrscheinlich ist, könnten ca. 440g/kWh (E-Control 2017) an CO<sub>2</sub>-Emissionen, also etwa die doppelte Menge gegenüber dem österreichischen Strommix, eingespart werden.

Im Zuge des Anlagenbetriebs können Emissionen in das Gewässer erfolgen. Vor allem Öle und Fette könnten bei Störungen und unsachgemäßer Umsetzung oder Wartung in das Gewässer gelangen. Um diese Emissionen zu verhindern, sind alle Komponenten möglichst ohne Schmierungen oder Ölbedarf zu planen und genaue Wartungsvorgaben zu erarbeiten, welche keinen oder nur einen sachgemäßen Einsatz dieser Mittel vorsehen.

## 7.4 Vergleich mit Stand der Technik und Entwicklung

Die Wiederherstellung der biologischen Gewässerdurchgängigkeit kann mit Hilfe unterschiedlicher Maßnahmen erfolgen.

Bei niedrigen Querbauwerken, welche nicht mehr benötigt werden, ist eine Entfernung des Querbauwerks häufig eine gute Lösung, weil somit auch der Rückstauraum, welcher aus ökologischer Sicht wenig wertvoll ist, beseitigt wird und in der Regel keine allzu hohen Kosten verursacht werden. Bei größeren Höhendifferenzen ist ein Umbau zu fischpassierbaren Rampen (aufgelöste Sohlrampen, asymmetrische Rampen, Teilrampen, Steilstrecke oder Raugerinne) aus ökologischer Betrachtung eine gute Lösung, weil somit die Gewässerdurchgängigkeit, vor allem in der Forellenregion, vollständig wiederhergestellt werden kann und teilweise gewässertypische Strukturen geschaffen werden. Bei einer Wasserkraftnutzung sind fischpassierbare Rampen aufgrund des hohen Wasserbedarfs häufig nur schwer umsetzbar und zusätzlich verursacht die Errichtung hohe Kosten, wie im Maßnahmenkatalog Hydromorphologie (BMLFUW 2017) an den spezifischen Kosten für aufgelöste Rampen zu erkennen ist.

Neben diesen beiden Varianten zur Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit werden auch häufig Fischaufstiegshilfen eingesetzt, welche nur einen Teil des Gesamtabflusses führen. Bei den Fischaufstiegshilfen wird in naturnahe und technische Aufstiegshilfen unterschieden. Zu den naturnahen Fischwanderhilfen zählen Umgehungsgerinne und Beckenpässe. Diese benötigen gegenüber technischen Lösungen grundsätzlich große Flächen und Erfahrung bei deren Gestaltung, weisen jedoch in vielen Fällen geringe Bau- und Instandhaltungskosten auf und können einen zusätzlichen Lebensraum schaffen. (EBERSTALLER 2014)

Technische Fischaufstiegshilfen tragen kaum zu einer Verbesserung der Lebensraumverhältnisse bei, weil Strukturen und genutzte Materialien nicht gewässertypisch sind. Jedoch besitzen sie Vorteile, welche in vielen Fällen für deren Errichtung sprechen. Dazu zählen vor allem der geringe Platzbedarf, die einfache Umsetzung aufgrund genauer Vorgaben und Erfahrung sowie teilweise bessere Gestaltungsmöglichkeiten bei der Gewässeranbindung. Die Kosten von technischen Fischwanderhilfen hängen stark von der gewählten Technologie und dem Standort ab. Grundsätzlich kann angenommen werden, dass Schlitzpässe, die am häufigsten anzufindenden Fischaufstiegshilfen, teurer bei der Errichtung und im Betrieb sind als naturnahe Fischaufstiegshilfen. Bei Standorten mit großen Fallhöhen können Fischlifte aus wirtschaftlicher Betrachtung im Vorteil sein bzw. bei Standorten mit großen ungenutzten Wassermengen Schneckensysteme.

Im Folgenden werden die bereits genannten technischen Fischwanderhilfen sowie Borstenfischpässe und herkömmlichen Fischschleusen der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe gegenübergestellt:

## 7.4.1 Vergleich mit Schlitzpässen

Schlitzpässe sind sehr häufig anzutreffen. Sie bestehen aus einzelnen Becken, welche mit Schlitzwänden voneinander getrennt sind. Diese Schlitzwände haben Öffnungen mit definierten Abmessungen und ermöglichen den Fischen die Wanderung durch das Bauwerk. Bei jeder Schlitzwand liegt eine Wasserspiegeldifferenz vor, sodass in Summe die gesamte Höhendifferenz überwunden wird. Aufgrund der größten gewässertypischen Fischart, der notwendigen Leitströmung, der maximal zulässigen Energiedichte und maximaler Wasserspiegeldifferenz ergeben sich die Abmessungen für die Becken sowie des gesamten Schlitzpasses.



**Abbildung 69: Schlitzpass am Donaukanal**

Im Vergleich zu Schlitzpässen benötigt die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ab einer Höhendifferenz von etwa 1 m deutlich weniger Fläche, wodurch der Eingriff in die Natur geringer ist, und sie verursacht ab einer Höhendifferenz von etwa 2 m betrachtet über die gesamte Nutzungsdauer meist niedrigere Kosten. Durch die Möglichkeit der energetischen Nutzung der Leitströmung ohne großen Mehraufwand kann sich die Wirtschaftlichkeit weiter verbessern und eine sehr umwelt- und klimafreundliche Energiebereitstellung wird ermöglicht. Die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe bietet zusätzlich den Vorteil, dass eine Verklausung deutlich unwahrscheinlicher ist und Sedimentablagerungen bei entsprechender Anordnung durch ein Spülen entfernt werden können. Zusätzlich kann die Funktion der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe besser überwacht werden (Fernüberwachung ist möglich) und ist bei energetischer Nutzung der Leitströmung auch im Sinne des Betreibers. Aufgrund des geringen Flächenbedarfs kann die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe teilweise für die Auffindbarkeit besser angeordnet werden sowie bei Neuanlagen in das Querbauwerk integriert werden, sodass eine optimale Auffindbarkeit gegeben sein sollte. Weitere Vorteile der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe sind eine schnelle und unkomplizierte Installation der Anlage aufgrund eines hohen Vorfertigungsgrads und die Unempfindlichkeit gegenüber schwankende Wasserspiegel, welche bei Schlitzpässen die Kosten für die oberwasserseitige Anbindung deutlich ansteigen lassen können.

Als Nachteil der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe sind die beweglichen und aktiv angesteuerten Verschlussorgane zu betrachten, welche äußerst zuverlässig über sehr lange Zeiträume arbeiten müssen sowie eine Energieversorgung benötigen. Die Energiemenge, welche für die Steuerung der Anlage erforderlich ist, beträgt unter bzw. wenige 100 kWh/a und wird bei einer energetischen Nutzung der Leitströmung um ein vielfaches gedeckt. Zusätzlich ist noch nicht vollständig geklärt, ob die wechselseitige Durchströmung ausreicht,

um die Feinrechen zu reinigen. Auch die fischökologische Funktionsfähigkeit muss bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe im Gegensatz zum Schlitzpass noch genauer untersucht werden, wozu Pilotanlagen erforderlich sind. Schlitzpässe wurden hingegen bereits umfassend untersucht und funktionieren bei korrekter Umsetzung.

## 7.4.2 Vergleich mit Borstenfischpässen

Borstenfischpässe sind ähnlich aufgebaut wie Schlitzpässe. Sie weisen üblicherweise eine etwas geringere Wassertiefe auf und anstatt der Schlitzwände werden Kunststoff-Borstenelemente mit einem oder mehrere Spalte genutzt. Sie benötigen ähnlich große Flächen wie Schlitzpässe und verursachen nach einer Abschätzung vom Endbericht „Prototyp Borstenfischpass“ etwas höhere Kosten. Ein Vorteil des Borstenfischpasses ist, dass dieser auch als Bootspassage genutzt werden kann. Es ist zu erwähnen, dass der optimale Einstiegsbereich für die Fische und der optimale Ausstiegsbereich für Boote häufig an unterschiedlichen Positionen liegen. Erste Untersuchungen konnten feststellen, dass ein Aufstieg vor allem für Fischen bis zu einer Länge von ca. 50 cm möglich ist und keine Alters- und Größenselektion vorliegt (BAUER UND KAUFMANN 2007). Bis im Jahr 2011 wurden bereits ca. 50 Borstenfischpässe errichtet, Untersuchungen auch mit großen Fischen, wie Lachsforellen mit 80 cm und einem Hecht mit 106 cm, durchgeführt und eine Beschreibung des Stands der Technik wurde herausgegeben (HASSLINGER 2011).



**Abbildung 70: Borstenfischpass Bad Sulza**

Aufgrund der Ähnlichkeit zum Schlitzpass weist der Borstenfischpass im Vergleich zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe dieselben Vor- und Nachteile auf, abgesehen davon, dass über den Borstenfischpass eine Bootspassage möglich ist, diese aber nicht beim Schlitzpass und der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe.

## 7.4.3 Vergleich mit Fischliften

Fischlifte sind eine weitere Möglichkeit zur Herstellung der Gewässerdurchgängigkeit und werden vor allem für große Fallhöhen eingesetzt. Fischlifte sind Bauwerke, welche mit einer mechanischen Vorrichtung (kann mit Änderung des Wasserspiegels betrieben werden, wie es bei der Fischliftschleuse der Fall ist) oder die Fische vom Unterwasser in das Oberwasser fördern. Zum Teil wird bei Fischliften die Leitströmung energetisch genutzt.



**Abbildung 71: Fischlift Runserau**

Im Vergleich zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ist die Konstruktion der Fischlifte etwas aufwendiger, weil üblicherweise ein Bypass für die Leitströmung benötigt wird und zusätzlich ein beweglicher Korb, welcher die Fische transportiert. Des Weiteren funktionieren Fischlifte die derzeit verwirklicht wurden meist nur für den Fischeaufstieg und sind zeitweise nicht zugänglich, weil der Korb beispielsweise verfährt. Dieser diskontinuierliche Zugang führt dazu, dass Fischlifte aber auch herkömmliche Fischschleusen mit nur einer Kammer nicht effizient funktionieren (TRAVADE und LARINIER 2002). Aus diesem Grund wurden am Ruhrwehr Baldeney zwei alternierend betriebene Fischlifte installiert (HOFFMAN und BÖCKMANN 2015), was zu Mehrkosten führt.

Bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe hingegen ist immer eine Kammer zum Oberwasser und jeweils die andere Kammer zum Unterwasser geöffnet sodass die Fische jederzeit ein- und ausschwimmen können. Durch die leicht geneigte Ausführung der Kammern sind die Querschnittsflächen der Kammern meist größer als bei Fischliften, was weiters die Effektivität verbessern könnte. Bei optimaler Anordnung ist ein Spülen der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe möglich, wodurch das System besser gereinigt werden kann. Zusätzlich ist kein Bypass erforderlich und der Betrieb des Systems ist deutlich einfacher.

Fischlifte hingegen haben den Vorteil, dass auf kleinster Fläche sehr große Höhendifferenzen überwunden werden können, weil keine angerampte Anbindungen zum Oberwasser erforderlich sind. Aus diesem Grund sind Fischlifte auch bei Fallhöhen von etwa 7 bis 10 m meist eine preiswertere Lösung zur Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit.

Derzeit wurden bereits mehrere Fischlifte errichtet, wodurch es zu diesen mehr Erfahrung bezüglich deren Funktion gibt als bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe, was wiederum vorteilhaft ist.

#### **7.4.4 Vergleich mit Schneckensystemen**

Seit einigen Jahren werden archimedische Schnecken genutzt, um den Fischeaufstieg zu ermöglichen. Dabei wird die Schnecke als Pumpe eingesetzt und die Fische werden gemeinsam mit dem gepumpten Wasser in das Oberwasser gefördert. Üblicherweise werden diese Fischeaufstiegsschnecken in Kombination mit Wasserkraftschnecken betrieben, um einen ausreichenden Leiteffekt zu erhalten und auch einen Fischabstieg zu ermöglichen. Erste Untersuchungen an mehreren Pilotanlagen bestätigen die Funktion der Systeme.



**Abbildung 72: Schneckensysteme - Fischaufstiegsschnecke parallel zu Wasserkraftschnecke (links) und Fischaufstiegsschnecke in Wasserkraftschnecke integriert (rechts)**

Im Vergleich zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe müssen diese Schneckensysteme individuell für jeden Standort geplant und gefertigt werden, was zu Mehrkosten führt. Eine erste Abschätzung anhand von nur wenigen Kostenbeispielen deutet darauf hin, dass die Schneckensysteme teurer sind als die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe. Bei Standorten mit großen Durchflüssen können die Wasserkraftschnecken die gesamten Wassermengen energetisch effizient nutzen, wodurch die Verwirklichung einer Wasserkraftschnecke kombiniert mit Fischaufstiegsschnecke eine wirtschaftlich vorteilhafte Lösung sein kann. Die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe nutzt hingegen nur die Leitströmung, welche durch die Kammern fließt. In Bezug auf die überwindbaren Höhendifferenzen und Platzbedarf verhalten sich die Schneckensysteme ähnlich wie die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe.

Weiters benötigen Wasserkraftschnecken für einen effizienten Betrieb annähernd konstante Wasserspiegel (NUERNBERGK 2012), wodurch der Einsatz bei Gewässern mit schwankenden Wasserspiegeln schwieriger ist. Bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ist eine Wasserspiegelschwankung hingegen über große Bereiche möglich.

Bei der Instandhaltung könnte die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe einen Vorteil besitzen, weil Stahlwasserbaukomponenten üblicherweise eine Nutzungsdauer von etwa 30 Jahren aufweisen und bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe nur einzelne Komponenten ersetzt werden müssen, bei den Schneckensystemen hingegen die gesamten Schnecken. Um eine konkrete Aussage über den Wartungsaufwand geben zu können, fehlen bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe Langzeiterfahrungen, speziell zu den Themen Verschmutzung der Feinrechen und Betriebssicherheit der Verschlussorgane. Diese Komponenten sind bei Schneckensystemen nicht erforderlich.

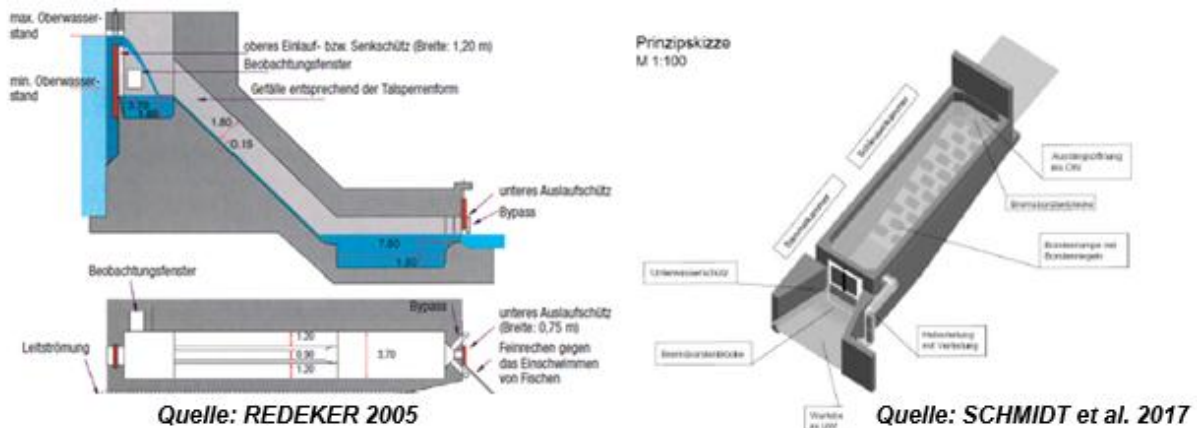
Ein weiterer Nachteil können die Schallemissionen der Wasserkraftschnecken sein, welche durch das Auftreffen der Schneckenblätter auf das Unterwasser verursacht werden (HAMMERL 2007).

## 7.4.5 Vergleich mit herkömmliche Fischschleusen

Fischschleusen sind ähnlich aufgebaut wie Schiffsschleusen. Sie bestehen in der einfachen Ausführung aus einer Kammer mit einer verschließbaren Öffnung zum Oberwasser und einer zum Unterwasser. Die beiden Verschlussorgane der Kammer werden abwechselnd geöffnet, sodass Fische ein- und ausschwimmen können. Durch zusätzliche kleine Öffnungen beim

geschlossenen Verschlussorgan oder andere Vorrichtungen wird eine Leitströmung verwirklicht. Der Wasserspiegel in der Kammer schwankt, je nachdem, ob der Verschluss zum Oberwasser oder zum Unterwasser geöffnet ist. Teilweise wird bei Fischschleusen mit Hilfe von Zusatzvorrichtungen die Leitströmung energetisch genutzt.

Eine häufig anzutreffende Bauform ist die im Folgenden gezeigte Borland-Fischschleuse:



**Abbildung 73: Fischschleusen - Borland-Fischschleuse (links) und rechts Borstenrampen-Fischschleuse (rechts)**

Eine Sonderbauform stellt die Borstenrampen-Fischschleuse dar (Abbildung 73 links), bei der die Rampe Borstenelemente aufweist, welche die Strömungsgeschwindigkeiten begrenzen, die Strömung über die gesamte Beckenbreite verteilen und die Fische bei Befüllung zum Ausstieg leiten (SCHMIDT et al. 2017).

Neben offenen Fischschleusen mit schwankendem Wasserspiegel gibt es auch Fischschleusen unter Wasser, die ständig gefüllt sind und bei denen der Druck in der Kammer wechselt. Zu diesen zählt die Fischschleuse beim Kraftwerk Höllestein, welche 2013 in Betrieb genommen und umfassend untersucht wurde. Der Aufbau erlaubt eine energetische Nutzung der Leitströmung, ist aber im Vergleich zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe sehr aufwändig.

Grundsätzlich haben Fischschleusen mit einer Kammer den Nachteil, dass sie nur teilweise vom Ober- und Unterwasser zugänglich sind, was einen negativen Einfluss auf die fischökologische Funktionalität hat (TRAVADE und LARINIER 2002). Falls zur Behebung des Problems zwei Kammern parallel angeordnet werden, wäre die doppelte Leitstrommenge erforderlich. Darüber hinaus erfolgt die Durchflussbegrenzung häufig mittels der Schütze. Aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten und kleinen Spalte besteht eine Verletzungsgefahr für Fische. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht sind herkömmliche Fischschleusen und die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ähnlich zu bewerten.

## 7.5 Bestimmung des Anwendungspotentials

Um das mögliche Anwendungspotential der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe zu bestimmen, wird im ersten Schritt der Einsatzbereich der Technologie anhand der gewonnenen Erkenntnisse festgelegt. Anschließend wird der Bedarf an Fischwanderhilfen angeführt, sodass das Anwendungspotential abgeschätzt werden kann.

Es ist zu erwähnen, dass aufgrund fehlender Daten eine genaue Ermittlung schwierig ist und die folgende erste Abschätzung eine gewisse Unsicherheit aufweist.

### 7.5.1 Einsatzbereich

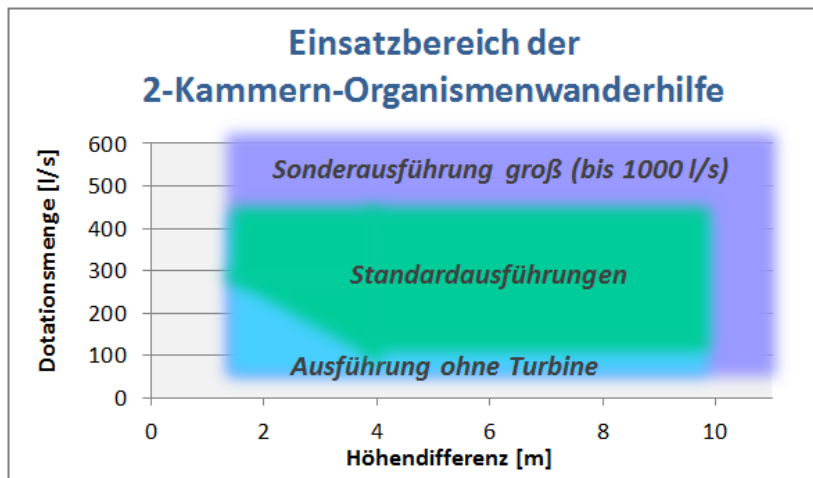
Da die fischökologische Untersuchung nur mit Forellen und einer Aitel durchgeführt wurde, kann zum derzeitigen Zeitpunkt nur schwer abgeschätzt werden, für welche Fischregionen und Gewässergrößen sich das System eignet. Um dies festzustellen sind mehrere Pilotanlagen in Fließgewässern zu errichten und deren Funktion durch ein Monitoring zu überprüfen. Aus technischer Sicht könnte die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe bei allen Gewässergrößen genutzt werden, weil sowohl sehr kleine aber auch sehr große Leitstrommengen bei entsprechender Dimensionierung über das System verwirklicht werden können. Es wird davon ausgegangen, dass bei kleinen Gewässern (Epirhithral und Metarhithral  $< 2\text{m}^3/\text{s}$ ) eine Leitströmung von min. 35 bis 80 l/s abhängig vom konkurrierenden Abfluss benötigt wird, um die Fische zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe zu führen. Aus wirtschaftlicher Sicht werden keine Fischregionen als Einsatzgebiet ausgeschlossen, jedoch könnten bei sehr großen zur Verfügung stehenden Wassermengen Wasserkraftschnecken kombinierten mit Fischaufstiegsschnecken im Vorteil sein.

In Bezug auf die Fallhöhe wird der Einsatzbereich vorwiegend aus wirtschaftlichen Gründen eingeschränkt. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse hat gezeigt, dass die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe erst ab einer Fallhöhe von etwa 2 m gegenüber Fischwegen in unterschiedlichen Ausführungen im Vorteil ist, wodurch dies als untere Grenze für den Einsatzbereich angenommen wird. In Ausnahmefällen, wenn beispielsweise keine ausreichenden Flächen zur Verfügung stehen, könnte die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe auch bei kleineren Fallhöhen Anwendung finden.

Als maximale Fallhöhe wird zum jetzigen Stand der Erkenntnisse 10 m angenommen, weil bei größeren Fallhöhen Fischlifte mit hoher Wahrscheinlichkeit die günstigere Alternative sind. Aus fischökologischer Sicht sollte eine Fallhöhe von 10 m und die damit verbundenen Druckschwankungen bei einer ordnungsgemäßen Anbindung an das Gewässer kein Problem darstellen.

Grundsätzlich könnte die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe auch größere Fallhöhen überwinden als 10 m. Dabei kann eine Kombination mit Fischwegen oder eine Serienschaltung mehrerer Schleusen möglich sein. Das Prinzip (hydraulische Verschaltung) der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe könnte auch für eine vertikale Liftausführung mit einer Steighilfe in Form eines Transportkorbs genutzt werden, um mit dem Lift selbst Höhen bis zu ca. 8 m zu überwinden und mit dem oberwasserseitigen Becken etwa weitere 7 m.

Im folgenden Diagramm wird der abgeschätzte Einsatzbereich der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe skizziert:



**Abbildung 74: Einsatzbereich der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe**

In der Grafik wird davon ausgegangen, dass standardmäßig Dotationen bis 450 l/s über die Kammern verwirklicht werden können. Bei größeren Dotationen könnte eine individuelle Planung und Fertigung des Systems vorteilhaft sein, um eine optimale Funktionalität zu erhalten.

Bei sehr kleinen Fallhöhen bzw. Dotationsmengen ist die energetische Nutzung der Leiströmung aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll und die Durchflussbegrenzung erfolgt über eine Drossel. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass eine hydraulische Leistung von mindestens 4 kW erforderlich ist, um eine Turbine wirtschaftlich zu betreiben.

## 7.5.2 Bedarf an Fischwanderhilfen

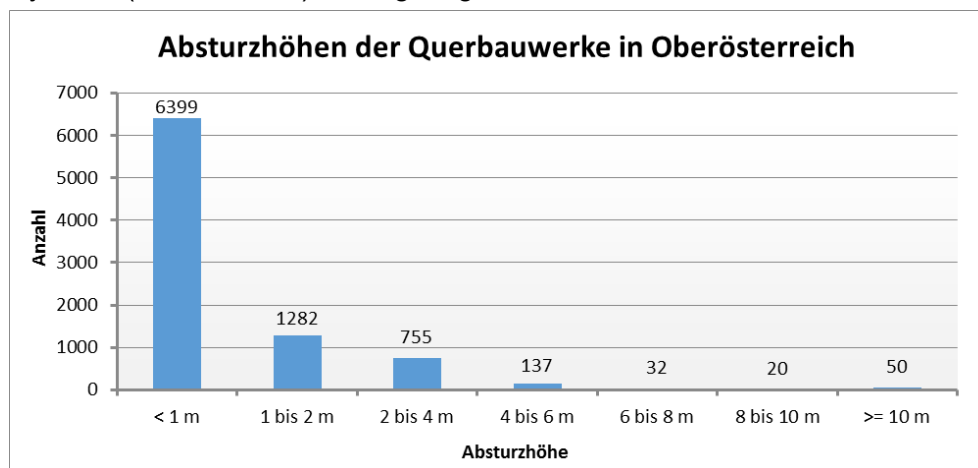
In Österreich gibt es mehr als 33.000 nicht passierbare künstliche Querbauwerke, Längselemente und Restwasserstrecken, wobei etwa 95 % aller Wanderhindernisse Querbauwerke sind. Ein Großteil dieser Wanderhindernisse (67%) sind auf flussbauliche Maßnahmen im Zuge des Hochwasserschutzes zurückzuführen (BMLFUW 2014)

Im Zuge des Maßnahmenprogramms des 1. Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans (NGP) wurde in Österreich von 2009 bis 2015 bei ca. 1000 Querbauwerken die Gewässerdurchgängigkeit hergestellt und das Maßnahmenprogramms des 2. NGP sieht eine Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit bei weiteren 900 Querbauwerken bis 2021 vor. Der Sanierungsraum bis 2021, also vom 1. NGP und 2. NGP, umfasst ca. 20 % der betrachteten Fließgewässer, wodurch im 3. NGP bis 2027 80 % der Gewässer zu sanieren sind (BASCHINGER 2015).

Aus dieser Datengrundlage lässt sich schließen, dass zukünftig noch ein großer Bedarf an Fischwanderhilfen besteht. Eine einfache Hochrechnung mit großer Unsicherheit über die bereits verwirklichten und umzusetzenden Maßnahmen vom 1. und 2. NGP und unter Berücksichtigung des betrachteten Sanierungsraums würde die Zahl der Querbauwerke, an denen die Gewässerdurchgängigkeit wiederhergestellt werden muss, auf insgesamt 9.500

bezziffern. Um eine bessere Aussage treffen zu können, muss jedoch der Sanierungsraum des 3. NGP genauer betrachtet werden, weil sich dessen Gewässer aufgrund der betrachteten Einzugsgebietsgrößen deutlich von den Gewässern der anderen beiden Sanierungsräume unterscheidet.

Wie im ersten Abschnitt erwähnt, spielt die Fallhöhe für den wirtschaftlichen Einsatz der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe eine bedeutende Rolle. Bei Fallhöhen unter 2 m bzw. über 10 m sind mit hoher Wahrscheinlichkeit alternative Lösungen besser geeignet. Eine Aufschlüsselung in mehrere Absturzhöhen-Gruppen der Querbauwerke für gesamt Österreich war aufgrund fehlender Datengrundlage im Zuge dieser Untersuchung nicht möglich. Beispielhaft kann eine Aufschlüsselung der Querbauwerks-Absturzhöhen für das Bundesland Oberösterreich gezeigt werden. Als Datengrundlage wurden dabei die Angaben zu den erfassten Querbauwerken des „Digitalen Oberösterreichisches Raum-Informationssystem“ (DORIS 2017) herangezogen.



**Abbildung 75: Absturzhöhen der Querbauwerke in Oberösterreich**

In Summe wurden 8.675 Querbauwerke betrachtet. Davon weisen 944 Querbauwerke eine Absturzhöhe von 2 bis 10 m auf, was ca. 11 % der Querbauwerke entspricht. Bei der Analyse konnte auch festgestellt werden, dass im Raum der nördlichen Ostalpen ca. 15 % der Querbauwerke Absturzhöhen von 2 bis 10 m aufweisen und im übrigen Gebiet des Bundeslands 9 % der Querbauwerke entsprechende Absturzhöhen. Weiters ist ersichtlich, dass nur wenige Querbauwerke Absturzhöhen von über 10 m aufweisen.

Eine zuverlässige Hochrechnung dieser Daten auf ganz Österreich ist aufgrund der unterschiedlichen Topografie nicht möglich. Dennoch deutet die Analyse darauf hin, dass ein Bedarf von mehreren Hunderten ev. wenigen Tausenden Fischwanderhilfen im Einsatzgebiet der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe vorliegt.

Da die EU-Wasserrahmenrichtlinie für die gesamte Europäische Union gilt aber Fischwanderhilfen auch weltweit errichtet und benötigt werden, wird der Technologie ein großes Potential eingeräumt.

Das neuentwickelte und in diesem Projekt wissenschaftlich untersuchte System eignet sich zusätzlich auch vor allem zur Nachrüstung von Querbauwerken mit bereits bestehenden Fischwanderhilfen. Auf Grund der Flexibilität in der Bauweise und Anordnung im

Gewässerquerschnitt, können gezielt fehlende Aspekte der flussauf oder flussabgerichteten Wanderung von Gewässerorganismen von bestehenden Aufstiegshilfen kompensiert werden. Wobei hier gleichzeitig eine Verbesserung der Restwasserführung in Ausleitungsstrecken bzw. auch eine energiewirtschaftliche Nutzung des Dotationsabflusses in der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe erfolgen kann.

Weiters können bei der Konzipierung des 2-Kammern-Organismenwanderhilfen-Typs als erstmalige Maßnahme zur Wiederherstellung des Kontinuums mitunter unterschiedliche Aufstiegswege aus dem flussab gelegenen Abschnitt berücksichtigt werden, um so in einer Modulweisen-Anordnung, die Möglichkeiten der Durchwanderbarkeit zu maximieren. Dies gilt auch durch etwaige Veränderung der Gewässergeometrie im Unterwasserbereich einer Wasserkraftanlage durch Geschiebeablagerungen.

## 7.6 SWOT-Analyse

Zur Beurteilung der Technologie wird eine SWOT-Analyse durchgeführt bei der die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe zusammengefasst werden. Die SWOT-Analyse wurde in Zusammenarbeit mit dem gesamten Projektteam aber auch mit Hilfe von externem Feedback erstellt.

Im Folgenden wird die Analyse gezeigt und im Anschluss werden die einzelnen Faktoren näher beschrieben:

<p style="text-align: center;"><b>Stärken (Strengths)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• geringer Platzbedarf und flexibel bei Einbau</li><li>• geringer Eingriff in Natur</li><li>• niedrige Kosten bei Fallhöhen ab 2 m</li><li>• energetische Nutzung der Leitströmung</li><li>• unempfindlich gegen schwankende Wasserspiegel und Verklausung</li><li>• hoher Vorfertigungsgrad und Anpassungen möglich</li><li>• einfache Umsetzung und Kontrolle</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>Schwächen (Weaknesses)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• begrenzter Einsatzbereich (Fallhöhe)</li><li>• bewegliche Komponenten</li><li>• Instandhaltungsaufwand</li><li>• Turbine ist Spezialanfertigung</li><li>• Monitoring ist erforderlich</li><li>• Technische Wanderhilfe</li></ul>
<p style="text-align: center;"><b>Chancen (Opportunities)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• großes Anwendungspotential</li><li>• Strompreisentwicklung</li><li>• Fischabstieg</li><li>• Aufnahme in Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>Risiken (Threats)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• fischökologische Funktion im Gewässer noch nicht bestätigt</li><li>• neue technologische Entwicklungen</li><li>• Änderungen der Rahmenbedingungen</li><li>• Betriebssicherheit</li><li>• Akzeptanz</li></ul>

Abbildung 76: SWOT-Analyse zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe

## **Stärken**

### Geringer Platzbedarf und flexibel bei Einbau:

Aufgrund der kompakten Bauweise der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ist eine Flächeneinsparung von 40 bis 85 % (stark Abhängig von der zu überwindenden Fallhöhe) gegenüber Schlitzpässen wahrscheinlich, wie auch das Projektbeispiel vom Kapitel 7.2 zeigt. Für die Integration der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe gibt es verschiedene Varianten. Eine Installation neben dem Querbauwerk ist möglich aber auch direkt im Querbauwerk vor allem bei neu errichteten Bauwerken. Die Fischschleuse selbst kann im Freien oder im Erdreich verlegt werden. Aufgrund dieser Flexibilität und des geringen Platzbedarfs ist in vielen Fällen eine für die Auffindbarkeit optimale Anordnung möglich.

### Geringer Eingriff in Natur:

Der geringe Platzbedarf sorgt dafür, dass der Eingriff in die Natur durch beispielsweise Rodungs- und Aushubarbeiten gering ist, wodurch vorhandene Lebensräume weniger beeinträchtigt werden. Auch der reduzierte Materialbedarf für die Fertigung der Anlagen sorgt für eine geringe Umweltbelastung, wie aus Kapitel 7.3 hervorgeht. Zusätzlich verursacht die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe keine Schallemissionen in Betrieb, welche untypisch für die Umgebung sind oder die Umgebungsgeräusche übertreffen.

### Niedrige Kosten:

Wie das Kapitel 7.2 zeigt, kann die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe vor allem bei Fallhöhen von 2 bis 10 m eine wirtschaftliche Alternative zu vorhandenen Technologien darstellen, weil vor allem die Investitionskosten in diesem Fallhöhenbereich niedrig sind und durch eine energetische Nutzung der Leitströmung zusätzlich finanzielle Erträge erzielt werden können.

### Energetische Nutzung der Leitströmung:

Neben dem wirtschaftlichen Vorteil, welche die energetische Nutzung der Leitströmung mit sich bringt, verursacht die Mehrfachnutzung kaum einen zusätzlichen Eingriff und Emissionen in die Natur, wie die ökologische Untersuchung im Kapitel 7.3 zeigt.

### Unempfindlichkeit gegen schwankende Wasserspiegel:

Bei richtiger Auslegung haben schwankende Wasserspiegel keinen Einfluss auf die Funktionalität der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe. Fischwege benötigen bei stark schwankenden Oberwasserspiegeln häufig mehrere verschließbare Anbindungen zum Oberwasser, welche in Abhängigkeit des Wasserspiegels gesteuert werden. Dies führt teilweise zu erheblichen Mehrkosten und zusätzlichen Wartungsaufwand der Fischwanderhilfen. Auch eine Schwankung des Unterwasserspiegels kann die Funktionalität von Fischwegen beeinträchtigen. Neben den Fischwegen können schwankende Wasserspiegel auch Schneckensysteme negativ beeinflussen; vorwiegen die Kraftschnecke.

Darüber hinaus ist eine Verklausung, welche teilweise bei Becken- und Schlitzpässen auftritt, bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe deutlich unwahrscheinlicher, weil die Öffnungen größere Abmessungen aufweisen.

## Hoher Vorfertigungsgrad und Anpassungen:

Aufgrund der Möglichkeit zur Standardisierung und der kompakten Ausführung ist eine Vorfertigung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe möglich, sodass vor Ort nur die Anbindung an das Gewässer hergestellt werden muss. Dadurch kann die Qualität verbessert werden aber auch der Aufwand vor Ort deutlich reduziert werden.

Bei der Anlage selbst können nach der Errichtung noch Anpassungen vorgenommen werden, wodurch eine standortabhängige Optimierung möglich ist. Beispielsweise ist eine Anpassung der Leitstrommenge nach Errichtung der Anlage problemlos möglich. Ebenfalls könnte dynamische (gestaffelte) Leitstromdotations erfolgen.

## Einfache Umsetzung und Kontrolle:

Die Planung und Umsetzung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe ist einfach, weil die Schleuse für die verschiedenen Fischregionen standardisiert ausgeführt werden kann und somit auch genaue Vorgaben für den Einbau festgelegt werden können. Die Gewässeranbindung selbst unterscheidet sich grundsätzlich kaum von anderen Fischwanderhilfen, wodurch ein erheblicher Kenntnisstand vorliegt.

Der Betrieb der Fischschleuse kann sehr gut von der Ferne überwacht werden. Mit Hilfe von Sensoren können die Positionen der Verschlussorgane, aber auch die Leitströmung ohne großen Zusatzaufwand überwacht werden und es reichen zwei Kameras aus, um die Anlage optisch begutachten zu können. Dadurch können die Betriebssicherheit erhöht und eventuell regelmäßige Kontrollen vor Ort reduziert werden.

## **Schwächen**

### Begrenzter Einsatzbereich:

Die Vorteile der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe überwiegen bei Fallhöhen von 2 bis 10 m. Darunter ist eine Anwendung aus wirtschaftlicher Betrachtung nur selten sinnvoll. Wie die Aufschlüsselung zu den Querbauwerks-Absturzhöhen in Oberösterreich zeigt, weisen über 89 % der betrachteten Querbauwerke kleinere Fallhöhen als 2 m auf und sehr wenige über 10 m.

### Bewegliche Komponenten:

Bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe wechseln die Verschlussorgane regelmäßig ihre Position. Diese beweglichen Komponenten aber auch die dafür notwendige aktive Ansteuerung sind störanfällig, müssen regelmäßig gewartet und nach der Nutzungsdauer erneuert werden. Auch eine Gefährdung von Personen kann von den Verschlussorganen ausgehen. Um dies zu verhindern sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen, wie beispielsweise eine Einzäunung oder Überwachung.

## Instandhaltungsaufwand:

Wie bereits erwähnt wurde, sind die beweglichen Komponenten der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe regelmäßig zu erneuern. Aber auch die weiteren stahlwasserbau und elektrotechnischen Komponenten müssen Abhängig von ihrer Nutzungsdauer ersetzt werden. Der Wartungsaufwand wird ähnlich hoch angesetzt als bei herkömmlichen Fischwanderhilfen.

## Turbine ist Spezialanfertigung:

Für die Nutzung der Leitströmung sind eigens entwickelte Turbinen erforderlich, weil eine wechselseitige Durchströmung vorliegt. Die Entwicklung dieser Turbinen ist mit hohen Kosten verbunden und aufgrund der speziellen Durchströmung ist keine optimale Ausführung der Rotoren möglich, wie Kapitel 5 näher beschreibt.

## Monitoring ist erforderlich:

Da die Technologie noch nicht erprobt ist, ist nach Anlagenerrichtung die Funktion durch ein Monitoring (biotische Untersuchung) zu bestätigen. Vor dem Monitoring muss zusätzlich der Fischbestand bestimmt werden. Dieses Monitoring und die Bestimmung des Fischbestands können bei erprobten Fischaufstiegshilfen teilweise entfallen oder mit geringem Aufwand erfolgen, wodurch erheblich Kosten eingespart werden können.

## Technische Wanderhilfe:

Bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe handelt es sich um eine technische Wanderhilfe, wodurch kein neuer Lebensraum für die Fische und Gewässerkleintiere geschaffen wird.

## **Chancen**

### großes Anwendungspotential:

Im Kapitel 7.5 wurde das Anwendungspotential der Technologie analysiert. Es zeigt, dass ein großes Potential für den Einsatz der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe vorliegt, auch wenn diese Technologie kaum bei Fallhöhen unter 2 m Anwendung finden wird.

### Strompreisentwicklung:

Die Strompreisentwicklung kann dazu führen, dass die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit energetischer Nutzung der Leitströmung gegenüber anderen Systemen deutlich zunimmt. Des Weiteren kann die Strompreisentwicklung dazu führen, dass neue Wasserkraftwerke errichtet werden, welche wiederum eine Fischwanderhilfe benötigen.

### Fischabstieg:

Die fischökologische Untersuchung am Versuchsstand hat gezeigt, dass ein Fischabstieg grundsätzlich möglich ist. Jedoch sind für eine genaue Aussage mehrere Untersuchungen an Anlagen im Gewässer erforderlich. Um einen Fischabstieg über die 2-Kammern-

Organismenwanderhilfe zu ermöglichen, müssen die Fische zum System geleitet werden. Fische orientieren sich an der Hauptströmung des Gewässers und häufig reicht die Leitströmung von Fischwanderhilfen dafür nicht aus (UMWELTBUNDESMAMT 2011). Abhilfen können eine entsprechende Positionierung der oberwasserseitigen Anbindung beispielsweise am Feinreichen schaffen. Derzeit läuft an der Universität für Bodenkultur ein Forschungsprojekt mit dem Titel „Fischschutz und Fischabstieg in Österreich“ zu dieser Thematik.

## Aufnahme in Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen:

Das österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft hat 2012 einen Leitfaden zum Bau von Fischwanderhilfen herausgegeben. In diesem Werk werden bereits erprobte Fischaufstiegshilfen angeführt. Es wird angegeben, dass bei Nachweis der Funktionsfähigkeit an mehreren unterschiedlichen Gewässertypen und Situationen auch zukünftige Neuentwicklungen als Stand der Technik in den Fischaufstiegshilfen-Leitfaden aufgenommen werden können (BMLFUW 2012). Eine Aufnahme in den Leitfaden nach erfolgreicher Erprobung kann die Bekanntheit der Technologie steigern und die Umsetzung von Anlagen deutlich vereinfachen, weil teilweise ein geringerer Aufwand für den Funktionsnachweis erforderlich ist. Dies gilt auch für andere Länder mit ähnlichen Bestimmungen.

## **Risiken**

### Fischökologische Funktion in Gewässer noch nicht bestätigt:

Derzeit wurde die fischökologische Funktion der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe nur an einer Versuchsanlage untersucht. Dadurch besteht das Risiko, dass sich die Technologie bei weiteren Untersuchungen in Gewässern mit unterschiedlichen Organismen sich als nicht oder nicht ausreichend funktionsfähig erweist.

### Neue technologische Entwicklungen:

Neben der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe werden auch weitere Technologien zur Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit entwickelt und optimiert. Vor allem Schneckensysteme aber auch Fischlifte werden in den letzten Jahren vermehrt errichtet und könnten möglicherweise den Bedarf der in diesem Forschungsprojekt betrachteten Technologie reduzieren.

### Änderungen der Rahmenbedingungen:

Derzeit erfolgt die Errichtung von Fischwanderhilfen vorwiegend aufgrund von gesetzlichen Vorgaben, wie der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Eine Änderung dieser Vorgaben könnte das Potential der Technologie stark beeinflussen. Aber auch Änderungen an den nationalen Leitfäden besitzen einen bedeutenden Einfluss. Beispielsweise durch neue Vorgaben könnten die Kosten herkömmlicher Systeme reduziert werden. Des Weiteren können neue wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegende Rahmenbedingungen verändern.

### Betriebssicherheit:

## Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Bei einem Defekt oder falscher Schützensteuerung können große Abflüsse auftreten, welche eine Gefährdung und negative ökologische Auswirkungen mit sich führen können. Diese Problematik kann durch bewusste Gestaltung der oberwasserseitigen Anbindung bzw. durch gut geplante, umgesetzte und gewartete Anlagen gering gehalten werden. Dennoch kann die Betriebssicherheit eine bedeutende Rolle für die Akzeptanz der Technologie spielen.

### Akzeptanz:

Derzeit wurde noch nicht geklärt, wie verschiedene Behörden zur Bewilligung der Anlagen stehen und welche Auflagen eine mögliche Bewilligung mit sich führen könnte. Erste im Zuge dieses Forschungsprojekts durchgeführte Gespräche mit ÖkologenInnen, Umweltorganisationen und zukünftigen Nutzer der Technologie waren positiv.

## 8 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Sondierungsprojekts zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe sind vielversprechend.

Messungen im Zuge der technischen Untersuchung konnten die im Vorfeld getroffene Annahmen und Auslegungen bestätigen. Die Strömungsgeschwindigkeiten, welche sich bei den Verschlussorganen, Kammern und den Feinrechen einstellen, können gut ausgelegt werden und teilweise nach Errichtung der Anlage angepasst werden. Es treten keine großen Strömungsgeschwindigkeiten auf, wodurch das System grundsätzlich auch für schwimmschwache und junge Fische geeignet sein könnte. Durch eine gezielte Ansteuerung der Verschlussorgane kann eine kontinuierliche Durchströmung der Anlage erreicht werden, wodurch eine Kombination mit beispielsweise Fischwegen möglich ist. Mit der sehr einfach gefertigten Turbine konnte ein maximaler hydraulischer Wirkungsgrad von 59,5 % erreicht werden. Durch Optimierungsmaßnahmen sollte eine Steigerung auf ca. 70 % möglich sein, obwohl die Turbine beidseitig durchströmt wird. Die Optimierung der Turbine war nicht Ziel dieses Forschungsprojekts und sollte in einem eigenen Entwicklungsprojekt erfolgen. Die beidseitige Durchströmung führt zur regelmäßigen Reinigung der Feinrechen, wie mehrere Versuche mit Laub, Gräser und Hölzer zeigen. Dennoch ist eine zusätzliche Untersuchung diesbezüglich über einen längeren Zeitraum erforderlich. Das gilt ebenfalls für den Sedimenttransport durch das System. Die Voruntersuchung hat gezeigt, dass sich Sedimente vor allem im Bereich des Verbindungsrohrs ablagern. Durch ein Spülen mit nur geringen Durchflüssen können diese einfach entfernt werden. Dazu könnte die Steuerung der Verschlussorgane bei Bedarf regelmäßig Spülvorgänge vorsehen, bei denen die Kammern direkt vom Oberwasser in das Unterwasser durchströmt werden. Damit dabei Schwallerscheinungen vermieden werden, ist eine Durchflussbegrenzung mit den Verschlussorganen während der Spülvorgänge möglich.

Bei der fischökologischen Untersuchung konnten an der Versuchsanlage Fischaufstiege und Fischabstiege mit Bachforellen (Größen von ca. 13 bis 33 cm) nachgewiesen werden. Es wurden dabei Versuche mit der Drossel und der Turbine bei Leitstrommengen von 50 bis 120 l/s verwirklicht. Aufgrund der beschränkten Anzahl der Versuche können kaum Tendenzen oder Optimierungsvorschläge abgeleitet werden. Dazu sind langfristige Untersuchungen unter realen Bedingungen erforderlich, welche in einem Folgeprojekt stattfinden sollten.

Bei der theoretischen Untersuchung wurden einzelne Anlagenabschnitte vereinfacht simuliert, um die bei den Versuchen festgestellten Strömungsbedingungen zu visualisieren und zusätzliche Ergebnisse, wie Strömungsgeschwindigkeiten an unterschiedlichen Positionen, zu erhalten. Die durchgeführte Wirtschaftlichkeitsanalyse vergleicht die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit einem Schlitzpass und einem Fischlift und zeigt, dass die Technologie eine wirtschaftliche Alternative vor allem bei Höhendifferenzen von 2 bis 10 m darstellen kann. Auch eine Einbauvariante in einen Grundablass könnte bei bestehenden Anlagen, falls keine Fläche für einen Fischaufstieg vorhanden ist, möglich sein, wie eine

erste Abschätzung zeigt. Bei der ökologischen Untersuchung schneidet die 2-Kammern-Organismenwanderhilfe aufgrund des geringen Flächen- und Ressourcenbedarfs gegenüber Schlitzpässe sehr gut ab. Es ist jedoch anzumerken, dass es sich bei der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe um eine technische Fischwanderhilfe handelt, welche keinen neuen Lebensraum für die Fischfauna schafft. Bei zusätzlichen Gegenüberstellungen der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe mit Schlitzpässen, Borstenpässen, Fischliften, Schneckensystemen und herkömmlichen Fischschleusen konnten weitere Vorteile aber auch Nachteile festgestellt werden. Vorteile der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe sind vor allem die einfache und unempfindliche Ausführung, der geringe Platzbedarf, die geringen Kosten bei Höhendifferenzen ab 2 m und die Möglichkeit zur Nutzung der Leitströmung ohne großen Mehraufwand. Nachteilig sind hingegen die beweglichen Komponenten und im Vergleich zum Fischlift der Platzbedarf bei großen Höhendifferenzen. Eine Analyse der Querbauwerke hat gezeigt, dass ca. 11 % der Abstürze in Oberösterreich Höhen im Einsatzbereich der 2-Kammer-Organismenwanderhilfe besitzen. Da es alleine in Oberösterreich ca. 950 Querbauwerke mit diesen Absturzhöhen gibt und die EU-Wasserrahmenrichtlinie für den gesamten europäischen Raum gilt, wird von einem großen Anwendungspotential der Technologie ausgegangen. Zuletzt zeigt die SWOT-Analyse die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Technologie auf. Besonders hervorzuheben ist die Strompreisentwicklung, welche zu einer Vergrößerung des wirtschaftlichen Einsatzbereichs der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe sorgen kann, aber auch das Risiko, welches von einer neu entwickelten und noch nicht vollständig untersuchten Technologie ausgeht.

## 9 Ausblick und Empfehlungen

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse wird empfohlen die Entwicklung der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe weiter zu verfolgen. Es sollten weitere Untersuchungen an mehreren Pilotanlagen vorerst mit Drossel in verschiedenen Fischregionen über längere Zeiträume durchgeführt werden, um die fischökologische Funktion mit unterschiedlichen Fischarten und Altersstufen zu überprüfen. Dabei ist es sinnvoll Parameter wie beispielsweise Leitstrommengen, Kammerabmessungen oder Belichtung zu variieren, um Optimierungsmaßnahmen ableiten zu können, auf welche bei der späteren Planung und Errichtung von Anlagen zurückgegriffen werden können.

Bei den Pilotanlagen sollte auch die technische Funktionalität und die Betriebssicherheit vertieft untersucht werden, um mögliche Probleme festzustellen. Vor allem der zuverlässige Betrieb der Verschlussorgane stellt eine große Herausforderung aus technischer Sicht dar. Es wird empfohlen die Schütze aufgrund der Vereisungsproblematik vollständig unter Wasser und horizontal verschiebbar auszuführen. Dadurch können auch bei entsprechender Ausführung zwei Antriebe eingespart werden.

Eine weitere Untersuchung sollte sich mit der Entwicklung der Turbine beschäftigen, um hohe Wirkungsgrade zu erreichen. Dazu sollten ausgehend von einer numerischen Simulation Turbinen für den gesamten wirtschaftlichen Einsatzbereich entwickelt und ev. für die bereits errichtete Pilotanlagen gefertigt werden, um diese unter realen Bedingungen testen zu können.

Neben den Untersuchungen zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe sollte auch der zukünftige Bedarf an Fischwanderhilfen genauer analysiert werden. Dabei sollte eine Aufschlüsselung in Fischregionen in denen sich die Wanderhindernisse befinden und Absturzhöhen der Querbauwerke erfolgen, um zielgerichtet Forschung und Entwicklungen bei Kategorien mit großem Bedarf durchführen zu können. Eine gute Datengrundlage dafür könnte in Österreich die Ist-Bestandsanalyse des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan liefern.

## 10 Quellenverzeichnis

BASCHINGER, H.J., 2015, 2. Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan – Entwurf Stellungnahme der OÖ Umweltschutzbehörde, OÖ Umweltschutzbehörde, Linz

BAUER, T., KAUFMANN, T., 2007, Prototyp Borstenfischpass – Endbericht, Arbeitsgemeinschaft für Ökologie, Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Wien

BMLFUW, 2017, Maßnahmenkatalog Hydromorphologie, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Nationale und Internationale Wasserwirtschaft, Wien

BMLFUW, 2014, EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG - Österreichischer Bericht der Ist-Bestandsanalyse 2013, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion VII Wasser, Wien

BMLFUW, 2012, Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

BMWF, 2016, Ökostrom-Einspeisetarifverordnung 2016, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien

DORIS, 2017, Thema Wasser & Geologie – NGP OG 2009 – Querbauwerke, Digitalen Oberösterreichisches Raum-Informationssystem, Linz, 12. Dezember 2017

EBERSTALLER-FLEISCHANDERL, D., EBERSTALLER, J., 2014, Flussbau und Ökologie - Flussbauliche Maßnahmen zur Erreichung des gewässerökologischen Zielzustandes, Amt der NÖ Landesregierung und dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

E-CONTROL, 2017, CO<sub>2</sub>-Effekte & Umweltauswirkung; [www.e-control.at/konsumenten/oeko-energie/klima-und-umwelt/umweltauswirkungen](http://www.e-control.at/konsumenten/oeko-energie/klima-und-umwelt/umweltauswirkungen); 05. Dezember 2017

FISCHER, J., METZKA, R., KRUCZEK, H., 2015, Innovative Druckkammerfischschleuse mit energetischer Nutzung an der Talsperre Höllenstein, WasserWirtschaft 7/8-2015, S. 80-85

FISCHER, J., SCHMALZ, M., 2015, Optimierung der Druckkammerfischschleuse mit energetischer Nutzung an der Talsperre Höllenstein, WasserWirtschaft 10-2015, S. 38-41

GEMIS, 2017, GEMIS Modell und Datenbasis, Version 4.95 - Stand April 2017, Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien, Darmstadt

HAMMERL, F.A., 2009 Formoptimierung einer Wasserkraftschnecke zur Reduzierung der Schallemissionen, Technische Universität München

HASSLINGER, R., 2011, Borsten-Fischpässe und Fisch-Kanu-Pässe - Beschreibung des Standes der Technik, Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Kassel

HEFTI, D., 2012, Wiederherstellung der Fischauf- und -abwanderung bei Wasserkraftwerken, Bundesamt für Umwelt, Bern

HOFFMANN, A., BÖCKMANN, I., 2015, Ethohydraulische Untersuchungen als Funktionsnachweis für den Bau eines Fischliftsystems am Ruhrwehr Baldeney, Wasserwirtschaft Ausgabe 11-2015, S. 43-51

NUERNBERGK, M., 2012, Wasserkraftschnecken – Berechnung und optimaler Entwurf von archimedischen Schnecken als Wasserkraftmaschine, Moritz Schäfer Verlag, Detmold, ISBN 978-3-87696-136-1

REDEKER, M., 2005, Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit für die Aquafauna an Talsperren. Was ist machbar? Was ist sinnvoll? WasserWirtschaft 1/2 2005

ROTH A., BAUMANN G., 2015, Der Hydro-Fischlift: Eine innovative Lösung für den Fischeaufstieg – Aspekte zu Konstruktion und Betrieb, WasserWirtschaft 11-2015, S. 52-58

RUHLE, C., SCHERRER, I., 2009, Funktionskontrolle Fischschleuse KWKW Buchholz – Schlussbericht, Bundesamt für Energie, Bern

SCHMALZ, M., THÜRMER, K., 2015, Monitoring des Fischeaufstieges an der Fischschleuse Höllenstein, WasserWirtschaft 7/8-2015, S. 86-90

SCHMIDT, D., HÄRTEL, M., HASSLINGER, R., PABSCH, H., 2017, Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit – der Standort gibt die Lösung vor, Technische Universität Dresden – Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Dresden

TRAVADE, F., LARNIER, M., 2002, Fish Locks and fish lifts, Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture. 364 Supplement

UMWELTBUNDESAMT, 2011, Wasserkraftnutzung und Wasserrahmenrichtlinie, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4804

WOLTER, C., SCHOMAKER, C., PUCHMÜLLER, J., JÜRGENSEN, S., GOLL, L., REHFELD-KLEIN, M., 2010, Fischpassierbarkeit von Dükeranlagen in kleinen Fließgewässern, 01/2010, DWA-Korrespondenz Wasserwirtschaft, Hennef

ZENS, B., GLAS, M., TRITTHART, M., HABERSACK, H., KECKEIS, H., 2017, Movement patterns and rheoreaction of larvae of a fluvial specialist (nase, *Chondrostomomasus*): the role of active versus passive components of behaviour in dispersal, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, (999),1-8

## 11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Seitenansicht und Schnitt A-A der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe .....	7
Abbildung 2: weitere Ausführungsform der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe .....	8
Abbildung 3: Beispiel Fischauf- und Fischabstieg .....	8
Abbildung 4: Versuchsaufbau der Universität für Bodenkultur Wien .....	10
Abbildung 5: Abmessungen des Versuchsaufbaus .....	11
Abbildung 6: Kammer, Sohle und eingebauter Feinrechen .....	12
Abbildung 7: Verschlussorgane im Unterwasser .....	13
Abbildung 8: Feinrechen .....	13
Abbildung 9: Turbine und Rotoren .....	14
Abbildung 10: Turbinen-/Drosselanbindung an Kammer .....	14
Abbildung 11: Betonsockel .....	15
Abbildung 12: Pumpe und Saugkorb .....	15
Abbildung 13: Unterwasserbecken mit Kiesschicht und Waschbetonplatten .....	16
Abbildung 14: Drehmomentaufnehmer im eingebauten Zustand .....	17
Abbildung 15: Durchflussmessung .....	17
Abbildung 16: Messwehr .....	18
Abbildung 17: Wasserstandsmessung .....	18
Abbildung 18: Druckmessung .....	19
Abbildung 19: Strömungsgeschwindigkeitsmessung .....	19
Abbildung 20: Messwertaufnehmer .....	19
Abbildung 21: Visualisierung der Messungen .....	20
Abbildung 22: Signalverarbeitung in Messsoftware .....	20
Abbildung 23: Kammern- und Schützbezeichnungen .....	21
Abbildung 24: Messpunkte der Geschwindigkeitsmessung bei Schütz 4 .....	24
Abbildung 25: Druckänderung in Kammern bei Umschaltphase .....	25
Abbildung 26: Leitbleche im aus- und eingebauten Zustand .....	26
Abbildung 27: Druckaufsatz und Abdeckplatte .....	27
Abbildung 28: verwendetes Rechengut .....	33
Abbildung 29: Sedimentgemisch .....	33
Abbildung 30: Sedimentablagerung .....	34
Abbildung 31: erweiterte hydraulische Verschaltung .....	36
Abbildung 32: Längenverteilung als Längenfrequenzdiagramm (links) und Boxplot-Darstellung (rechts) der Versuchsfische. BF = Bachforelle ( <i>Salmo trutta</i> ), A = Aitel ( <i>Leuciscus cephalus</i> ) .....	37
Abbildung 33: Bewegungsmuster von Fischen, blaue Pfeile = Strömungsvektoren; rote Pfeile = resultierende Bewegungsvektoren (verändert nach ZENS et. al, 2017). .....	39
Abbildung 34: Grafische Zusammenfassung Versuch 1 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 50 l/s). ...	39
Abbildung 35: Grafische Zusammenfassung Versuch 2 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 50 l/s). ...	40
Abbildung 36: Grafische Zusammenfassung Versuch 3 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 50 l/s). ...	41
Abbildung 37: Grafische Zusammenfassung Versuch 4 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 50 l/s). ...	41
Abbildung 38: Grafische Zusammenfassung Versuch 5 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 80 l/s). ...	42
Abbildung 39: Grafische Zusammenfassung Versuch 6 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 80 l/s). ...	43
Abbildung 40: Grafische Zusammenfassung Versuch 7 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 80 l/s). ...	43
Abbildung 41: Grafische Zusammenfassung Versuch 8 (Aufstiegsversuch mit Drossel und 80 l/s). ...	44
Abbildung 42: Grafische Zusammenfassung Versuch 9 (Aufstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s). ...	45
Abbildung 43: Grafische Zusammenfassung Versuch 10 (Aufstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s). ...	45
Abbildung 44: Grafische Zusammenfassung Versuch 11 (Aufstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s). ...	46
Abbildung 45: Grafische Zusammenfassung Versuch 12 (Abstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s). ...	47

Abbildung 46: Grafische Zusammenfassung Versuch 13 (Abstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s).	47
Abbildung 47: Grafische Zusammenfassung Versuch 14 (Abstiegsversuch mit Turbine und 120 l/s).	48
Abbildung 48: Übersicht über alle dokumentierten Fischwanderungen unterteilt in unterschiedliche Versuchsanordnungen und Fischgrößenklassen .....	48
Abbildung 49: Simulationsbereiche von COSMOSFlowXpress (links) und rechts Flow 3D (rechts) ....	50
Abbildung 50: Simulation des Einlaufbeckens .....	51
Abbildung 51: Netz bei Einlaufbecken-Zulauf .....	51
Abbildung 52: Simulation des Auslaufbeckens .....	52
Abbildung 53: Simulation der Kammern .....	52
Abbildung 54: Simulation der Drossel .....	53
Abbildung 55: Simulationsergebnisse - Durchfluss .....	53
Abbildung 56: Simulation in Folw 3D.....	54
Abbildung 57: Projektbeispiel ohne Fischwanderhilfe .....	55
Abbildung 58: Projektbeispiel mit Schlitzpass .....	57
Abbildung 59: Projektbeispiel mit Fischlift .....	58
Abbildung 60: Projektbeispiel mit 2-Kammern-Organismenwanderhilfe neben Querbauwerk .....	60
Abbildung 61: Spülkanal Projektbeispiel .....	61
Abbildung 62: Projektbeispiel mit 2-Kammern-Organismenwanderhilfe in Querbauwerk integriert .....	62
Abbildung 63: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Turbine .....	66
Abbildung 64: Übersicht Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	67
Abbildung 65: CO <sub>2</sub> -Emissionen der Varianten .....	69
Abbildung 66: SO <sub>2</sub> -Emissionen der Varianten .....	69
Abbildung 67: CO <sub>2</sub> -Emissionen für 1 MWh der Energiebereitstellung .....	70
Abbildung 68: SO <sub>2</sub> -Emissionen für 1 MWh der Energiebereitstellung .....	70
Abbildung 69: Schlitzpass am Donaukanal .....	72
Abbildung 70: Borstenfischpass Bad Sulza.....	73
Abbildung 71: Fischlift Runserau.....	74
Abbildung 72: Schneckensysteme - Fischaufstiegsschnecke parallel zu Wasserkraftschnecke (links) und Fischaufstiegsschnecke in Wasserkraftschnecke integriert (rechts) .....	75
Abbildung 73: Fischschleusen - Borland-Fischschleuse (links) und rechts Borstenrampen-Fischschleuse (rechts).....	76
Abbildung 74: Einsatzbereich der 2-Kammern-Organismenwanderhilfe .....	78
Abbildung 75: Absturzhöhen der Querbauwerke in Oberösterreich .....	79
Abbildung 76: SWOT-Analyse zur 2-Kammern-Organismenwanderhilfe .....	80

## 12 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Durchflüsse in Abhängigkeit der Öffnungshöhe .....	21
Diagramm 2: Fließgeschwindigkeit in Kammern .....	22
Diagramm 3: Fließgeschwindigkeiten vor und nach den Feinrechen .....	23
Diagramm 4: Wirkungsgrad ohne Druckaufsatz und ohne Leitbleche - Rotor 1 .....	28
Diagramm 5: Wirkungsgrad ohne Druckaufsatz und ohne Leitbleche - Rotor 2.....	28
Diagramm 6: Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und ohne Leitbleche - Rotor 1 .....	29
Diagramm 7: Durchfluss in Abhängigkeit der Drehzahl - Rotor 1 .....	30
Diagramm 8: Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und ohne Leitbleche - Rotor 2 .....	30
Diagramm 9: Durchfluss in Abhängigkeit der Drehzahl - Rotor 2 .....	31
Diagramm 10: Wirkungsgrad mit Druckaufsatz und mit Leitbleche - Rotor 1 .....	31
Diagramm 11: Drosseldurchflüsse .....	32

# Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

## Kontaktdaten

<b>Projektleiter</b>	Bernhard Pelikan, <i>Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.</i>
<b>Institut / Unternehmen</b>	Universität für Bodenkultur Wien <i>Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau</i>
<b>Kontakt</b>	Adresse: Muthgasse 18, 1190 Wien Tel.: + 43 1 47654-81613 E-Mail: <a href="mailto:bernhard.pelikan@boku.ac.at">bernhard.pelikan@boku.ac.at</a> Webpage: <a href="http://www.wau.boku.ac.at/iwhw/">www.wau.boku.ac.at/iwhw/</a>