

# Fischabstieg beim Kraftwerk Reichenau

Folgestudie zur Projektstudie H 13534 vom 8. Juli 2009



**Mendez Ricardo AXH HTT-U**

**Delpino Cristina AXH HTW-W**

**H 14334**

25. Oktober 2011

## Zusammenfassung

Die Anlage der Kraftwerke Reichenau AG (KWR) ist ein reines Laufwasserkraftwerk mit einer Ausbauwassermenge von  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ . Im Jahr 2000 wurde auf Höhe der Wehranlage eine Fischtreppe (Vertical-Slot-Pass) in Betrieb genommen. Mit dem Vorder- und Hinterrhein wurde dadurch ein grosses Laichgebiet wieder erschlossen, welches unmittelbar nach Inbetriebnahme der Fischtreppe von jährlich rund 400 Seeforellen aufgesucht wurde. Weil die Seeforelle zu den Mehrfachlaicher gehört, ist nach dem Laichvorgang auch die Rückwanderung in den Bodensee von Bedeutung. An der Kraftwerksanlage der Kraftwerke Reichenau AG ist keine technische Fischabstiegshilfe vorhanden. Den abgelaichten Seeforellen bleibt nur der Weg über die Wehranlage bei Überlauf, bei gezogenen Schützen während Hochwasserereignissen oder durch die Turbinen offen. Während die technischen Anforderungen für den Bau einer funktionierenden Fischtreppe bekannt sind, ist der Stand der Technik für den Fischabstieg wenig entwickelt.

In einer Projektstudie vom 8. Juli 2009 (H 13534) der Axpo AG (vormals NOK) wurde eine Abstiegshilfe beim Kraftwerk Reichenau vorgestellt, bei welcher der Fischabstieg durch ein Rohrdurchlass geführt wird. Dabei handelt es sich um ein Pilotprojekt. Es war vorgesehen, den Rohrdurchlass auf der linken Seite neben den Turbineneinläufen zu positionieren. Dort befindet sich ein nicht in Betrieb genommener Nebenauslass, welcher ober- und unterwasserseitig mit je einer Betonwand abgeschlossen ist. Das Konzept sah vor, den Fischabstieg ab einer Abflussmenge im Alpenrhein von grösser  $128 \text{ m}^3/\text{s}$  durch eine Öffnung des Rohrs zu ermöglichen. Dies führte zu der Problematik, dass die Geschwindigkeiten im Rohr mit  $15.3 \text{ m/s}$  deutlich über der empfohlenen Maximalgeschwindigkeit von  $12 \text{ m/s}$  (DWA-Themen, 2005) lag. Massive Verletzungen der Fische aufgrund von Scherkräften konnten nicht ausgeschlossen werden, sodass diese Variante verworfen wurde. Ein weiterer Grund für die Verwerfung der Variante lag darin, dass der Betrieb des Bypasses aufgrund des kleinen Abflusses im Alpenrhein während der Hauptabstiegszeit der Seeforelle von Dezember bis März nur während durchschnittlich 3 – 5 Stunden pro Tag möglich gewesen wäre.

In der vorliegenden Projektstudie wird eine Erweiterung der ersten Projektstudie vorgestellt. Der neue Lösungsansatz sieht vor, dass vor dem Rohreinlauf eine Kammer erstellt wird. Durch Einlauföffnungen gelangen die adulten Seeforellen in die Kammer. Diese wird abgesperrt und anschliessend langsam entleert, ohne dass die Fische bereits den Abstieg beginnen. Erst nach Erreichen eines bestimmten Wasserstandes wird das vorgesehene Rohr für den Fischabstieg geöffnet. So werden die Fliessgeschwindigkeiten verringert und die Fische unbeschadet ins Unterwasser geleitet. Weil dabei die Bypassleitung nicht ständig geöffnet ist, beschränken sich die Produktionsverluste der KWR auf rund  $175 \text{ m}^3$  Wasser pro Entleerung der Kammer. Bei viermaliger Entleerung der Kammer pro Tag während der Hauptabstiegsphase der Seeforellen von November bis April resultieren jährliche Produktionsverluste von maximal rund 6'000 kWh.

Die technische Machbarkeit der erweiterten Projektstudie für einen Fischabstieg beim Kraftwerk Reichenau ist gegeben. Für die konstruktive Ausführung ist von einer Bausumme von ca. CHF 275'000 +/- 30 % auszugehen (Basis Machbarkeitsstudie). Kosten für eine Erfolgskontrolle

## Bericht

können aufgrund der fehlenden Erfahrungswerte nur grob geschätzt werden. Es ist mit Materialkosten von bis zu CHF 50'000 zu rechnen.

Aus fischbiologischer Sicht ist basierend auf dem aktuellen Wissensstand zur Abwärtswanderung von adulten Seeforellen davon auszugehen, dass die Seeforellen die vorgesehenen Einstiegsöffnungen in die Kammer, welche die Fische nach der Entleerung zur Bypassleitung und schliesslich ins Unterwasser führt, nur auf Zufall basierend finden werden. Die Lockwirkung von Lichtquellen ist ungewiss und erhöht die bessere Auffindbarkeit der Einstiegsöffnungen in die Kammer vermutlich nur gering. Grundsätzlich ist der sichere Fischabstieg nur dann möglich, wenn die Fische mittels mechanischem Leitrechen zu einer Bypassöffnung geleitet werden. Mit der vorliegenden Projektidee sind keine mechanischen Leitsysteme vorgesehen, weil solche aufgrund der Verengung des Querschnitts mit grossen Produktionsverlusten verbunden sind und sich die hydraulischen Anströmbedingungen verändern. Weil ohne mechanische Leitsysteme der Unsicherheitsfaktor für die Funktionstüchtigkeit eines Rohrdurchlasses auf Höhe des Turbineneinlaufs auch mit der neuen Projektidee immer noch gross ist, kann die Umsetzung der geprüften Massnahme vorerst nicht empfohlen werden.

Es wird empfohlen, die Resultate eines kürzlich gestarteten Forschungsprojekts zum Fischabstieg an grösseren mitteleuropäischen Flusskraftwerken abzuwarten. Die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW) führt dieses Projekt im Auftrag des Verbandes Aare-Rheinwerke (VAR) und in Zusammenarbeit mit dem Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs (Eawag) durch. Ziel des Projekts ist es, im Rahmen einer Dissertation die hydraulischen und ökologischen Grundlagen des Fischabstiegs mittels baulicher Massnahmen zu erarbeiten und die gewonnenen Ergebnisse in einem physikalischen Modellversuch zu validieren. Anschliessend soll die Bestvariante an einem Prototypkraftwerk geprüft werden. Der Abschluss dieses Forschungsprojekts ist per Ende 2014 vorgesehen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1 Veranlassung	5
1.2 Ziele und Abgrenzung der Projektstudie	5
<b>2 Systemanalyse</b>	<b>6</b>
2.1 Kurzbeschreibung der Kraftwerke Reichenau AG	6
2.2 Inbetriebnahme der Fischtreppe im Jahr 2000	7
2.3 Problematik Fischabstieg	7
<b>3 Projektidee</b>	<b>8</b>
3.1 Projektidee Projektstudie H 13534	8
3.2 Erweiterte Projektidee	10
<b>4 Technische Machbarkeit</b>	<b>10</b>
4.1 Betondambalken	11
4.2 Einstiegsöffnungen mit Stahltrichtern	12
4.3 Anpassungen in der Kammer bei Sohle und Einlaufbereich Rohr	14
4.4 Rohr zur Teilentleerung, DN 300	15
4.5 Rohr für den Fischabstieg, DN 600	15
4.6 Wasserverluste beim Entleerungsvorgang	16
4.7 Konstruktive Aspekte beim Einbau der Rohre	16
<b>5 Technische Möglichkeiten zur Verbesserung der Auffindbarkeit</b>	<b>17</b>
5.1 Einleitung	17
5.2 Lichtquellen	17
5.3 Mechanische Barrieren	17
5.4 Weitere Verhaltensbarrieren	18
<b>6 Monitoring</b>	<b>18</b>
<b>7 Kostenschätzung</b>	<b>19</b>
<b>8 Fischbiologische Beurteilung</b>	<b>21</b>
<b>9 Empfehlung</b>	<b>23</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>24</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>25</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>25</b>
<b>Anhangsverzeichnis</b>	<b>25</b>



## **1 Einleitung**

### **1.1 Veranlassung**

Im Rahmen einer Projektstudie vom 8. Juli 2009 (Bericht H 13534, vgl. [1]) wurden die technischen und fischbiologischen Rahmenbedingungen für die Installation einer technischen Fischabstiegsanlage mittels Bypass beim Kraftwerk Reichenau geprüft.

Die Resultate dieser Projektstudie zeigten, dass der Erfolg der vorgesehenen Projektidee mit einer Bypassleitung vom Ober- ins Unterwasser der Kraftwerkszentrale Reichenau mit grossen Unsicherheiten verbunden ist. Insbesondere die rauen Bedingungen in der offenen Bypassleitung aufgrund der Höhendifferenz des Ober- zum Unterwasserspiegel und der damit einhergehenden grossen Fliessgeschwindigkeit von rund 15.3 m/s wurden als grundsätzlich kritisch für die Fische beurteilt. Im Weiteren ist wenig über die Verhaltensbiologie der adulten Seeforellen während der Abwärtswanderung bekannt, weshalb die Positionierung des Einstiegs und mögliche Leitsysteme zur besseren Auffindbarkeit des Einstiegs schwierig zu bestimmen sind.

Im Anschluss an die Projektstudie vom 8. Juli 2009 [1] wurden in Zusammenarbeit mit dem Amt für Jagd und Fischerei des Kantons Graubünden und Mitarbeitern der Kraftwerke Reichenau AG neue Lösungsansätze zur Reduktion der Fliessgeschwindigkeit in der Bypassleitung gesucht. Dies endete in der nachfolgenden erweiterten Projektstudie, in welcher die technische Machbarkeit und die ökologische Wirksamkeit der neuen Projektideen beschrieben sind.

### **1.2 Ziele und Abgrenzung der Projektstudie**

Die Zielfischart der erweiterten Projektstudie ist - wie in der ersten Projektstudie - nur die adulte Seeforelle, welche nach dem Laichvorgang im Vorder- oder Hinterrhein wieder zurück in den Bodensee wandern will.

Gemäss Vereinbarung mit dem Amt für Jagd und Fischerei des Kantons Graubünden (Auftraggeber) beschränkt sich die Projektstudie auf die technische Machbarkeit der neuen Projektidee mittels Rohrdurchlass auf Höhe des Kraftwerkeinlaufs beim Kraftwerk Reichenau. Der Abstieg auf Höhe des Wehrs des Kraftwerks Reichenau wurde bereits in der ersten Projektstudie abgehandelt und primär aus Kostengründen verworfen.

Im Weiteren wurde mit dem Auftraggeber vereinbart, dass die Abklärungen für die Realisierung eines Bypasses analog der ersten Projektstudie auf der Grundlagenstudie "Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung und Funktionskontrolle" (DWA Themen, 2005, vgl. [2]) basieren. Seit dem Erscheinen der DWA Themen im Jahr 2005 sind betreffend Fischabstieg keine neuen und ausführlichen Grundlagenstudien im deutschsprachigen Raum bekannt.



## 2 Systemanalyse

Die nachfolgende Systemanalyse ist nahezu identisch mit dieser in der Projektstudie vom 8. Juli 2009 oder wurde nur leicht geändert. Für den Fall, dass dem Leser die erste Projektstudie nicht vorliegt, dienen die nachfolgenden Erläuterungen für das bessere Verständnis der Thematik des Fischabstiegs am Kraftwerk Reichenau.

### 2.1 Kurzbeschreibung der Kraftwerke Reichenau AG

Die Anlage der Kraftwerke Reichenau AG ist ein reines Laufwasserkraftwerk. An der 78 m breiten Wehranlage mit einer schmalen Regulieröffnung mit Grundablass und drei weiteren Regulieröffnungen von 18 m Breite wird ein Abfluss von maximal 120 m<sup>3</sup>/s in den Oberwasserkanal ausgeleitet und zur Zentrale geführt (vgl. Abb. 2.1). Die Wehranlage liegt rund 2.6 km und die Zentrale rund 3.9 km flussabwärts des Zusammenflusses von Vorder- und Hinterrhein.

Der Bau des Kraftwerks erfolgte in den Jahren 1959 – 1962 zur sicheren und günstigen Stromversorgung der damaligen Emser Werke AG und heutigen EMS Chemie AG. Die Anlage produziert im Mitteljahr bei einer Ausbauwassermenge von 120 m<sup>3</sup>/s und einem Bruttogefälle von 18 m 106.8 GWh. Die Axpo AG ist seit März 2003 zu 85 % am Aktienkapital der Kraftwerke Reichenau AG beteiligt. Die restlichen 15 % sind im Besitz des Kantons Graubünden. Der Betrieb und Unterhalt der Kraftwerksanlage wird durch die Axpo Hydro Surselva AG sichergestellt.

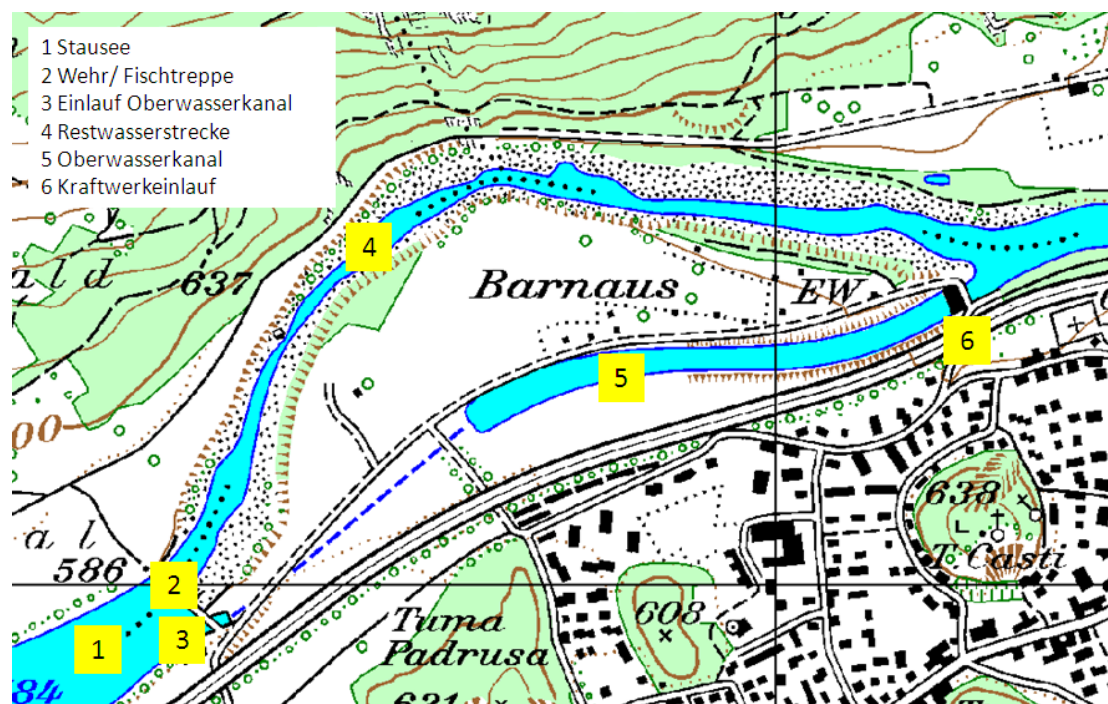


Abb. 2.1 Übersichtsplan der Kraftwerke Reichenau AG

## **2.2 Inbetriebnahme der Fischtreppe im Jahr 2000**

Nach Inbetriebnahme des Kraftwerks im Jahr 1962 - welches ohne Fischtreppe gebaut wurde - konnte ein kontinuierlicher Rückgang der Seeforellenbestände im Bodensee, wie auch ein massiver Rückgang an reproduktionswilligen Seeforellen unterhalb des Kraftwerks Reichenau festgestellt werden. Um dem Rückgang der Seeforellen entgegen zu wirken, konnte im Jahr 2000 die am linksseitigen Ufer angeordnete Fischtreppe (Vertical-Slot-Pass) auf Höhe der Wehranlage in Betrieb genommen werden. Die Fischtreppe wurde vom Kraftwerk Reichenau mit Unterstützung durch Bund und dem Kanton Graubünden realisiert.

Mit dem Vorder- und Hinterrhein wurde dadurch ein grosses Laichgebiet wieder erschlossen. Seit dem Jahr 2007 werden in der Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau alle aufsteigenden Fische mittels Videoaufnahmen kontinuierlich erfasst. Diese Resultate zeigen, dass die Fischtreppe seit 2007 von durchschnittlich 1000 Seeforellen pro Jahr aufgesucht wurde. (Datengrundlage: Amt für Jagd und Fischerei, Kanton Graubünden).

## **2.3 Problematik Fischabstieg**

Die Abwärtswanderung von Fischen funktioniert auf anderen biologischen Mechanismen als die Aufwärtswanderung. Bei der Aufwärtswanderung folgen die Fische der Leitströmung bis sie schliesslich in eine Fischtreppe gelangen und so ein Wanderhindernis überwinden können. Bei der Abwärtswanderung werden die Fische durch die Leitströmung meist zu den Turbinen geleitet. Deshalb dienen Fischtreppen aufgrund der schwierigen Auffindbarkeit, respektive der nicht wahrnehmbaren Strömung kaum als flussabwärtsgerichteter Wanderweg. Videoaufzeichnungen in der Fischtreppe des Kraftwerks Reichenau von 2007 bis 2010 zeigen, dass nur vereinzelt Seeforellen abwärts schwimmen. Ob es sich bei diesen Beobachtungen um gezielte Abwärtswanderungen oder um Zufall handelte, bleibt offen.

Die jungen Seeforellen, die im Alter von 1 bis 2 Jahren von den Laichplätzen im Vorder- und Hinterrhein in den Bodensee abwandern, durchschwimmen ungehindert die Rechenanlagen (lichte Weite am Wehr 70 mm, am Kraftwerk 60 mm) und gelangen zu den Turbinen bei der Zentrale des Kraftwerks Reichenau. Sie können die langsam drehenden Kaplan-turbinen meist unbeschadet passieren. Bei Jungfischen wird von einer Mortalität von rund 10 % ausgegangen, welche aus fischbiologischer Sichtweise vertretbar ist. Weil das Kraftwerk Reichenau bis zum Bodensee das einzige Hindernis im Alpenrhein bildet, ergibt sich während der Rückwanderung keine kumulierte Mortalität an weiteren Kraftwerksanlagen.

Die adulten Seeforellen im Bodensee steigen nach dem Erreichen der Laichreife wieder in die Laichgewässer auf. Mit dem Bau der Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau konnte die flussaufwärts gerichtete Migrationsroute für laichreife Seeforellen sichergestellt werden. Bei einer erfolgreichen Reproduktion im Vorder- und Hinterrhein ist der erste Kreislauf des Lebenszyklus somit geschlossen und die Erhaltung der Art bei einer erfolgreichen Reproduktion sichergestellt.



## Bericht

Da die Seeforelle - wie auch der atlantische Lachs und die Meerforelle - zu den Mehrfachlaicher gehört, ist auch die unversehrte Rückkehr der Adulten in den Bodensee von Bedeutung. Zurzeit steht den adulten abgelaichten Seeforellen nur der Weg über die Wehranlage bei Überlauf oder bei geöffneten Schleusen während Hochwasserereignissen, sowie über die Fischtreppe oder durch die Turbinen offen.

Eine andere technische Abstiegsanlage ist beim Kraftwerk Reichenau nicht vorhanden, respektive der Stand der Technik bezüglich Fischabstieg war zum Zeitpunkt des Kraftwerkbaus im Jahr 1962 - wie auch heute noch - wenig entwickelt.

Die Problematik der Rückwanderung von adulten Seeforellen in den Bodensee wird in Untersuchungen von Peter [3] und Caviezel [4] angesprochen, welche im Vorder- und Hinterrhein Telemetrie-Versuche durchführten. Sie stellten dabei fest, dass rückwandernde Seeforellen bei geschlossenen Schleusen mehrheitlich im Stausee von Domat/Ems verblieben (vgl. Abb. 2.1). Peter [3] beobachtete im Jahr 2002, dass aufgrund von erhöhten Wasserständen bei geöffneten Schleusen sechs markierte Seeforellen das Kraftwerk passieren konnten und in den Bodensee zurückwanderten. In einer weiteren Telemetriestudie von Mendez [5] zur Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein zwischen dem Bodensee und dem Kraftwerk Reichenau wurde bei der automatischen Registrierstation in Domat/Ems am 30. November 2006 eine Seeforelle registriert, welche auf ihrer Rückwanderung in den Bodensee das Kraftwerk passiert hatte. An besagtem Tag herrschte am Wehr Reichenau während rund 9 Stunden Überlauf (Mittelwert November 45 Minuten pro Tag), wonach diese Seeforelle vermutlich den Weg über die Wehrfelder wählte.

Die Telemetriestudien haben gezeigt, dass adulte rückwandernde Seeforellen das Kraftwerk Reichenau nicht jederzeit passieren können. Deswegen besteht an der Anlage des Kraftwerks Reichenau Handlungsbedarf, um den abwandernden Seeforellen während der Abstiegszeit einen sicheren Weg ins Unterwasser zu bieten.

## 3 Projektidee

### 3.1 Projektidee Projektstudie H 13534

In der Projektstudie H 13534 wurde eine Abstiegshilfe beim Kraftwerk Reichenau vorgestellt, bei der der Fischabstieg durch ein Rohrdurchlass geführt wird. Dabei handelt es sich um ein Pilotprojekt. Es war vorgesehen, den Rohrdurchlass auf der linken Seite neben den Turbineneinläufen zu positionieren. Dort befindet sich ein nicht in Betrieb genommener Nebenauslass, welcher ober- und unterwasserseitig mit je einer Betonwand abgeschlossen ist. Das Konzept sah vor, den Fischabstieg ab einer Abflussmenge im Alpenrhein von grösser  $128 \text{ m}^3/\text{s}$  durch eine Öffnung des Rohrs zu ermöglichen. Dies führte zu der Problematik, dass die Geschwindigkeiten im Rohr mit  $15.3 \text{ m/s}$  deutlich über der empfohlenen Maximalgeschwindigkeit von  $12 \text{ m/s}$  (DWA-Themen, 2005) lag. Massive Verletzungen der Fische aufgrund von Scherkräften konnten nicht ausgeschlossen werden, so dass diese Variante schliesslich verworfen wurde (vgl. Projektskizze Abb. 3.1). Ein weiterer Grund für die Verwerfung der Variante lag darin, dass der Betrieb des Bypasses aufgrund des klei-



### 3.2 Erweiterte Projektidee

Im Folgenden wird die Projektidee weiter ausgeführt, da grundsätzlich keine andere Möglichkeit für den Fischabstieg für adulte Seeforellen gesehen wird, welche im Kosten-Nutzen-Rahmen bleibt. Der neue Lösungsansatz sieht vor, dass vor dem Rohreinlauf eine Kammer erstellt wird. Durch Einlauföffnungen gelangen die adulten Seeforellen in die Kammer. Diese wird abgesperrt und anschliessend langsam entleert, ohne dass die Fische bereits den Abstieg beginnen. Erst nach Erreichen eines bestimmten Wasserstands wird das vorgesehene Rohr für den Fischabstieg geöffnet. So werden die Fliessgeschwindigkeiten verringert und die Fische unbeschadet ins Unterwasser geleitet.

Im vorliegenden erweiterten Projekt verbleibt der Rohrauslauf wie in der ersten Studie angenommen unter Wasser (vgl. Abb. 4.1, S.9). Es wurde jedoch festgestellt, dass, anders als in der ersten Projektstudie gedacht, das Unterwasser nicht die komplette Betonwand einstaut und der Rohrauslauf ca. 0.5 m über dem Wasserspiegel enden kann. In diesem Fall ist nur wenig Platz für einen freien Fall und die Fische nehmen unter Umständen Schaden beim Aufprall auf die Wasseroberfläche. Die Vorgabe, dass das Rohr keine Richtungsänderung aufweisen darf, lässt keinen Spielraum eine andere Rohrführung durch das Kraftwerk zu wählen, bei dem der Auslauf höher zu liegen kommt.

Nachfolgend wird die Projektidee einer Kammer mit Entleerungsmöglichkeit auf technische Realisierung und die entstehenden Kosten untersucht.

## 4 Technische Machbarkeit

Die vorliegende erweiterte Projektstudie beschreibt einen Prototyp für den Fischabstieg adulter Seeforellen. Bei der Projektierung wurde schnell deutlich, dass für diesen Prototyp verschiedene Anpassungen und Sonderanfertigungen notwendig sind. Um den Überblick zu wahren, wurde nachfolgend in fünf Hauptbereiche für die Konstruktion aufgeteilt und in der Projektskizze (vgl. Abb. 4.1) eingezeichnet. Es handelt sich um folgende Bereiche:

- Betondammbalken
- Einstiegsöffnungen mit Reusenprinzip
- Anpassungen in der Kammer bei Sohle und Einlaufbereich Rohr
- Rohr zur Teilentleerung, DN 300
- Rohr für Fischabstieg, DN 600

Die Bereiche werden in den nachfolgenden Kapitel 4.1 - 4.5 beschrieben. Darin werden direkt Hinweise für konstruktiv und biologisch notwendige Details aufgeführt. Diese sind im Rahmen eines nachfolgenden Vorprojektes aufzunehmen und definitiv festzulegen. Einen detaillierten Überblick der geplanten Massnahme gibt der Anhang 1. Kapitel 4.7 liefert konstruktive Hinweise für den Einbau beider vorgesehener Rohre.

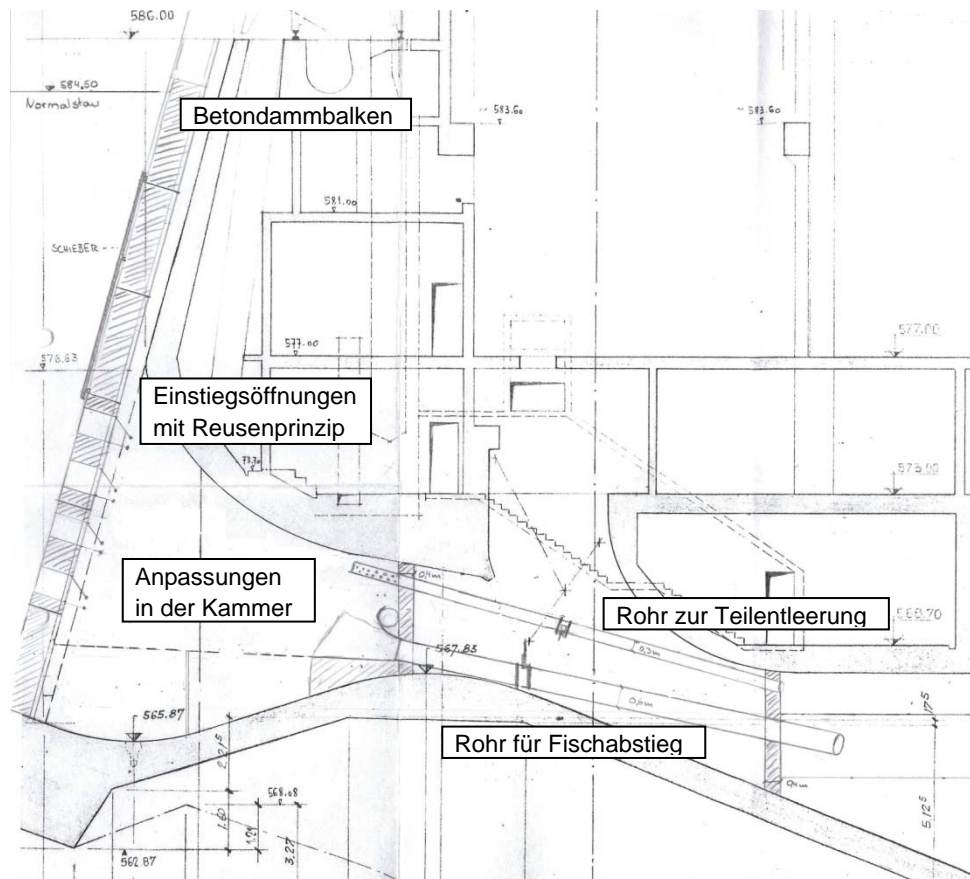


Abb. 4.1 Neue Projektskizze (nicht massstäblich)

#### 4.1 Betondammbalken

Für den Fischabstieg im Nebenauslass des Kraftwerk Reichenau ist vorgesehen, eine separat verschliessbare Kammer zu erstellen. Für den Nebenauslass sind keine bestehenden Dammbalken vorhanden. Die Dammbalken der Turbineneinläufe können auch am Nebenauslass versetzt werden. Dies ist jedoch keine permanente Lösung, zumal Umbauarbeiten der Dammbalken notwendig sind, um die Einstiegsöffnungen für Fische auszubilden. Da die Erstellung neuer Dammbalken inklusive sämtlicher Massnahmen für Korrosionsschutz sehr teuer ist, wird die Absperrung der Kammer aus Beton erstellt. Es ist vorgesehen, die bestehende Dammbalkennut zu nutzen und Betondammbalken als Fertigteilelemente einzulassen. Die Erstellung einer Wand in Ortbetonbauweise an dieser Stelle ist sehr zeitaufwendig und führt zu hohen betrieblichen Einbussen. Aus diesem Grund ist die Lage der Betonwand vorgegeben und die Idee, die Absperrung mit einem anderen Winkel zur Fliessrichtung zu erstellen, wurde verworfen.

Die Fertigteilelemente werden vorgängig gefertigt sowie angeliefert und können im Zeitraum versetzt werden, in welchem die Kraftwerke Reichenau AG den Oberwasserkanal zu Revisionsarbei-

## Bericht

ten entleert. Grundsätzlich finden die Revisionsarbeiten einmal im Jahr im Monat November statt und dauern ca. eine Woche. Der Terminplan der Ausführung ist durch das vorgegebene Zeitfenster der Revisionsarbeiten eingeschränkt. Es wird davon ausgegangen, dass die Fertigteilelemente in dem Zeitfenster versetzt und die Sonderanfertigung des Schiebers vor den Einstiegsöffnungen montiert wird. Danach werden im Inneren der Kammer die weiteren Arbeiten im Trockenen vorangetrieben. Verzögert sich der Einbau, fallen pro weiteren Arbeitstag durchschnittlich ca. CHF 17'500 betriebliche Verluste an.

Die Absperrung durch die Betondambalken wird auf den Normalstau von 584.50 m ü.M. dimensioniert. Ab der Einlaufsohle sind rund 18.40 m mit Dammbalkenelementen abzusperren. Die Breite der Elemente ist aufgrund der Aussparung für die Dammbalken vorgegeben und beträgt 4.50 m. Die Dicke eines Elementes wurde ohne weitere Bemessung mit 1.00 m angenommen. Die definitive Dicke wird bei der Bemessung der Elemente festgelegt. Auf Stufe einer Vorstudie ergibt sich durch diese Dimensionen eine Höhe des einzelnen Fertigteils von 3.10 m. Damit ergibt sich das Gewicht eines Einzelelementes zu ca. 34 t. Das Versetzen der Betondambalken ist mit einem Mobilkran vorgesehen. Vorgeschlagen wird mindestens ein Mobilkran wie der B18, Senn AG, 100 t, (Stand 2009), welcher mit einer Ausladung von 8 m 39 t versetzt. Bei 9 m Ausladung werden 34.5 t versetzt, so dass die Anforderungen zum Versetzen bei Installation des Mobilkrans neben dem Kraftwerk erfüllt werden. Die Zugänglichkeit erfolgt vom Wehr auf der Strasse zwischen Oberwasserkanal und der Restwasserstrecke. Limitierend ist eine Unterführung mit 4.60 m Höhe. Sowohl Mobilkran als auch Fertigteilelemente können die Einbaustelle beim Kraftwerk erreichen. Nach Aussagen des Werkpersonals können die vorhandenen Führungsschienen für das schräge Versetzen der Dammbalken auch für die Betondambalken verwendet werden. Dies ist mit dem endgültigen Gewicht der dimensionierten Fertigelemente nochmal zu prüfen.

Die Montage mit der bestehenden Rechenreinigungsmaschine wurde aus zwei Gründen verworfen. Die Tragfähigkeit ist auf 12 t limitiert, so dass erheblich mehr Einzelelemente eingesetzt werden müssen. Dies führt zu erhöhtem Aufwand bei den Abdichtungen zwischen den Elementen. Zum anderen ist die Aufnahme der Elemente durch die Rechenreinigungsmaschine separat zu überlegen, da die vorhandenen Dammbalken im Kraftwerk gelagert sind und nicht seitlich aufgeladen werden.

### 4.2 Einstiegsöffnungen mit Stahltrichtern

Durch Einstiegsöffnungen in den Fertigelementen sollen die adulten Seeforellen in die Kammer gelangen. Eine Erzeugung von Lockströmung in die Einstiegsöffnungen ist nicht vorgesehen, respektive eine Rohrleitung müsste permanent offen sein, was aufgrund der grossen Ansaug- und Fließgeschwindigkeit zu Verletzungen der Fische führen könnte. In der Kammer angelangt, halten sich die Fische bis zum nächsten Entleerungsvorgang auf, bis sie durch das Rohr ins Unterwasser geleitet werden. Durch einen reusenähnlichen Stahltrichter, welcher hinter den Einstiegsöffnungen an die Betondambalken montiert wird und sich in Abstiegsrichtung verjüngt, soll verhindert werden, dass die Seeforellen die Kammer durch die Einstiege wieder verlassen können.



## Bericht

Für die Positionierung der Einstiegsöffnungen sind verschiedene Überlegungen zum Tragen gekommen. Die Abb. 4.2 zeigt eine Prinzipskizze (nicht massstäblich) der Betondammbalken mit den vorgesehenen vier Einstiegsöffnungen.

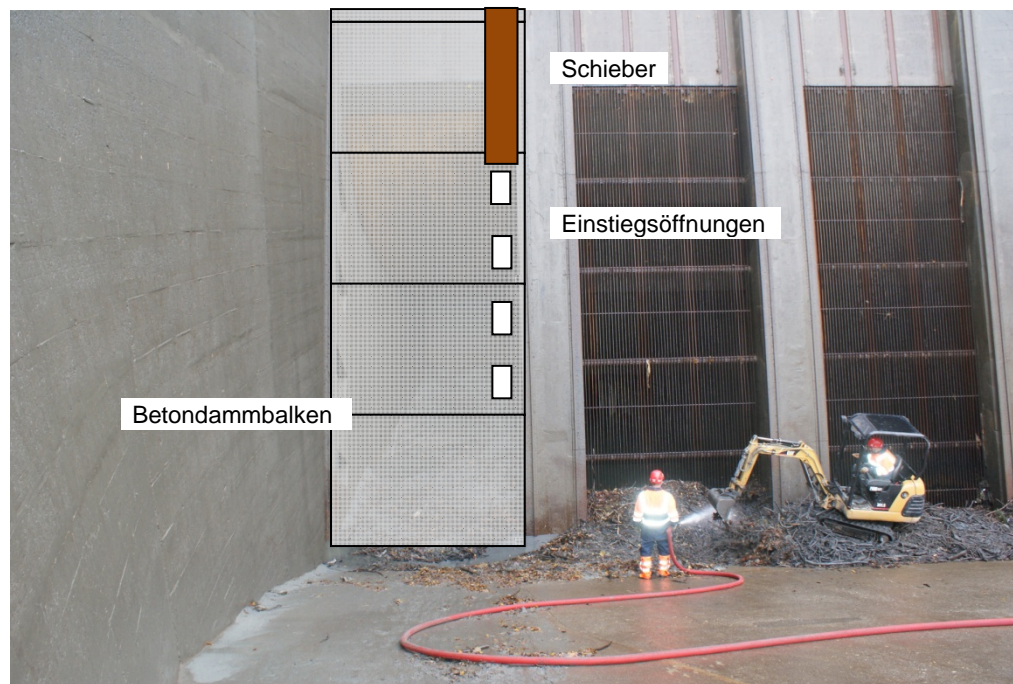


Abb. 4.2 Prinzipskizze Betonfertigdambalken mit vorgesehenen Einstiegsöffnungen (nicht massstäblich)

Die adulten Seeforellen richten sich beim Abstieg im Oberwasserkanal der Hauptströmung nach aus und treffen beim bestehenden Rechen des Kraftwerks Reichenau auf ein unüberwindbares Hindernis. Erst dann beginnen sie mit aktivem Suchverhalten nach weiteren Abstiegsmöglichkeiten in der Nähe der Hauptströmung. Aus diesem Grund werden die Einstiegsöffnungen in den Betondammbalken möglichst nah an den Trennpfeiler Nebenauslass – Turbineneinlauf positioniert.

Neben der Information, dass die Fische sich beim Abstieg an der stärksten Strömung orientieren, fehlen für das Verhalten der adulten Seeforellen beim Abstieg bisher weiterführende biologische Untersuchungen. Es wird davon ausgegangen, dass der Abstieg nicht oberflächennah geschieht. In welcher exakten Tiefe die Fische den Abstieg durchführen, konnte bisher nicht beobachtet werden. Aus diesem Grund wurde bei der Dimensionierung der Einstiegsöffnungen versucht, eine möglichst grosse Wassertiefe abzudecken. Die Limitierungen gegen die Sohle und gegen die Wasseroberfläche aufgrund der vorhandenen Einlaufgeometrie des Nebenauslasses werden nachfolgend erläutert.

Die erste Einstiegsöffnung ist ca. 3.50 m über der Einlaufsohle vorgesehen, so dass im ersten versetzten Element keine Öffnung vorgesehen ist. Damit wird verhindert, dass das Geschiebe nicht



## Bericht

durch die Einstiegsöffnungen in die Kammer eingetragen wird, sondern wie bisher einmal im Jahr vor den Einläufen entfernt werden kann. Zum anderen wird ein Totbereich von ca. 3 m Höhe in der Kammer abgesperrt, so dass die Fische beim Entleerungsvorgang nicht dort verbleiben können (vgl. Kapitel 4.3). Die Einlauföffnung ist über dem Totbereich positioniert.

Ab der Kote 576.63 m ü.M. bis zur Wasseroberfläche liegen die Betondammbalken knapp 0.50 m vor der Kraftwerksmauer. Ein Einschwimmen der Fische inkl. Stahltrichter ist aus Platzgründen nicht möglich. Daher konnten die Einstiegsöffnungen nur zwischen Kote 568.60 m ü.M. (über Totbereich) und Kote 576.63 m ü.M. (unter beengten Platzverhältnissen) positioniert werden. Dies bedeutet im zweit- und drittversetzten Fertigelement. Es sind jeweils zwei Öffnungen zu je 0.75 m Höhe vorgesehen. Die einwirkenden Kräfte können so besser abgeleitet werden als mit einer einzigen grossen Öffnung im Element. Bei der definitiven Bemessung kann unter Umständen die einzelne Einstiegsöffnung noch vergrössert werden. Dadurch ist aber auch der Stahltrichter deutlich zu verlängern, was zu einem grösseren Montageaufwand führt. Die Breite der Öffnungen ist mit 0.30 m angesetzt. Die Optimierung der Einstiegsöffnungen ist in einer späteren Projektphase zu überlegen. Ca. ein Sechstel der vertikalen Wassertiefe wird effektiv mit den Einstiegen zum Einschwimmen in die Kammer geöffnet. Verteilt sind die Einstiege im unteren Bereich auf ca. ein Drittel der Wassertiefe.

Aufgrund der trichterförmigen Stahlelemente, welche verhindern, dass die Fische durch die Einstiegsöffnungen zurückschwimmen, ist ein wasserseitiges Absperrorgan der Öffnungen notwendig. Es ist vorgesehen einen Schieber über alle vier Öffnungen zu setzen. Dies bedeutet eine Sonderanfertigung, hat aber den Vorteil, dass nur eine Steuerung zum Einsatz kommt und nicht zwischen 2-4 Schiebern koordiniert werden muss.

### 4.3 Anpassungen in der Kammer bei Sohle und Einlaufbereich Rohr

In der Kammer sind Anpassungen zu konstruieren, welche sicherstellen, dass die Fische ins Unterwasser gespült werden. Totbereiche, bei denen Fische nicht ins Unterwasser gelangen können, oder Bereiche, welche schnell trockenfallen ohne dass die Fische den Einstieg gefunden haben, sind auszuschliessen. Scharfe Kanten sind zu vermeiden, da sie beim Entleerungsvorgang die Fische verletzen können.

Aufgrund der bestehenden Geometrie des Nebenauslasses kann das Rohr für den Fischabstieg nicht ohne weitere Knicke oder Krümmungen am tiefsten Punkt der Kammer positioniert werden. Bei der Entleerung entsteht somit ein Totbereich, welcher als Fischfalle wirkt. Aus diesem Grund wird der Bereich durch ein Gitterrost abgetrennt. Dieses wird mit einer geringen Neigung zum Rohreinlauf eingebaut. Dies verunmöglicht, dass Fische bei Öffnung des Rohrs in der Kammer verbleiben und stattdessen ins Unterwasser gespült werden. Der Gitterrost wird als begehrbar ausgeführt mit den notwendigen Abstützungen und Rahmenkonstruktionen. Er weist eine maximale Breite von ca. 4.0 m verjüngend auf 2.0 m und eine Länge von ca. 7.0 m vom Betondammbalken aus auf. Eine komplette Abtrennung des Totbereichs durch eine durchgehende Bodenplatte ist kostenintensiv und wurde daher nicht verfolgt. Beim vorgesehenen Gitterrost kann der abgesperrte

## Bericht

Bereich für Revisionen wieder geöffnet werden. In der Detailplanung ist die Ausführung des Gitterrosts genauer zu bestimmen, so dass Fische die Möglichkeit haben, über den Rost zum Einlauf in die Bypassleitung zu rutschen ohne Verletzungen zu erleiden. Dies soll durch eine ausgelegte Folie über dem Rost oder eventuell durch ein tragfähiges Lochblech statt dem Rost bewirkt werden.

Ca. 2.5 m vor dem Rohreinlauf endet der Gitterrost und ein Betonboden wird erstellt, um einen für Fische optimalen Einlauf zur Bypassleitung zu gewährleisten. Die Konstruktion sieht eine trichterförmige Verjüngung vor, welche rechts und links an die bestehenden Wände anschliesst. Dies verhindert, dass die Fische rechts und links vor dem Rohreinlauf verbleiben können und in trockengefallenen Bereichen verenden. Durch Ausführung im Beton können Kanten vermieden und das Verletzungsrisiko der Tiere gering gehalten werden. Desweiteren kann über dem Abstiegsrohr ein gewölbtes Blech installiert werden, welches die Fische zum Einlauf leitet. Ein weiteres Rohr mit Länge 2.0 m kann als Halterung dienen. Ein kantenloser Einlauf am Rohr kann dadurch gestaltet werden. Die genaue Ausführung des Einlaufbereichs des Abstiegsrohrs ist im Vorprojekt festzulegen.

### 4.4 Rohr zur Teilentleerung, DN 300

Bei der Projektstudie H 13534 wurde berechnet, dass bei einer durchgehend geöffneten Bypassleitung die Geschwindigkeit im Rohr ca. 15.3 m/s beträgt. Als Dimensionierungsgrundlage gilt die Bruttofallhöhe von 17.75 m bei Normalstau (Kote Oberwasser = 584.50 m ü.M. und Kote Unterwasser = 566.75 m ü.M.) und der Turbinierung der Ausbauwassermenge von 120 m<sup>3</sup>/s. Die Geschwindigkeiten im Rohr übersteigen deutlich den maximalen Wert von 12 m/s, welcher einen maximalen Grenzwert für den Fischabstieg beschreibt. Eine Geschwindigkeit, welche 7-8 m/s nicht überschreitet, ist für den Fischabstieg optimal [2].

Durch die absperrbare Kammer und einem weiteren Rohr mit kleinerem Durchmesser von 0.30 m kann nun die Druckhöhe reduziert werden, ohne dass der Fischabstieg beginnt. Dabei ist es wichtig, dass die Fische nicht durch das kleine Rohr angesaugt werden. Aus diesem Grund ragt das Rohr zur Teilentleerung ca. 1.0 m in die Kammer hinein. Es ist mit einem Deckel abgeschlossen und seitlich perforiert. Der Wassereinlauf wird dadurch weniger konzentriert, als durch eine vordere Öffnung. Das Rohr zur Teilentleerung wird durch einen separaten Plattenschieber geöffnet und verschlossen. Die Position des Rohrs ist so vorgesehen, dass es über dem Unterwasserspiegel von 566.75 m ü.M. endet.

### 4.5 Rohr für den Fischabstieg, DN 600

Der eigentliche Fischabstieg findet durch das Rohr DN 600 statt. Durch einen weiteren separaten Schieber kann das Rohr geöffnet werden, wenn eine Teilentleerung der Kammer durch das Rohr DN 300 stattgefunden hat und die Druckhöhe verringert wurde. Gemäss DWA Themen, 2005, wird empfohlen die Geschwindigkeiten von 7 – 8 m/s für einen Fischabstieg nicht zu überschreiten, um Verletzungen der abwandernden Art zu vermeiden. Um diesen Grenzwert einzuhalten, ist die Öff-

## Bericht

nung des Fischabstiegs bei einem Wasserpegel in der Kammer von 571.25 m ü.M. vorgesehen. Bei der Dimensionierung ist der Unterwasserpegel mit 566.75 m ü.M. als fixer Wert entscheidend, da das Rohr unter dem Wasserspiegel endet. Bei der Druckhöhe von 4.5 m stellt sich im Rohr die Geschwindigkeit knapp unter dem kritischen Grenzwert von 7 m/s ein. Dies ergibt die geforderte Kote von 571.25 m ü.M. als massgebender Wasserspiegel in der abgesperrten Kammer zum Öffnen des Rohrs DN 600.

Der gesamte Vorgang der Entleerung der Kammer dauert ca. 1.5 Minuten.

### 4.6 Wasserverluste beim Entleerungsvorgang

Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist es vorgesehen, die Kammer während der Hauptabstiegsphase der Seeforellen von November bis April alle sechs Stunden zu entleeren. Dies ergibt vier Entleerungen am Tag. Durch die abtrennbare Kammer wird der Wasserverlust beim Fischabstieg auf die vier Entleerungen beschränkt. Das Wasservolumen der Kammer ohne den Bereich des Totvolumens beträgt rund 175 m<sup>3</sup>. Dies entspricht bei vier Entleerungen pro Tag einem Wasserverlust von 700 m<sup>3</sup> pro Tag, respektive 127'400 m<sup>3</sup> pro Jahr. Bei einem von der Kraftwerke Reichenau AG angegebenen durchschnittlichen Energiegleichwert von 0.0468 kWh/m<sup>3</sup> und unter der Annahme, dass während des Winterhalbjahrs der Zufluss des Alpenrheins die Ausbaumenge von 123 m<sup>3</sup>/s nicht überschreitet, beträgt der Produktionsverlust maximal rund 6'000 kWh pro Jahr.

### 4.7 Konstruktive Aspekte beim Einbau der Rohre

Für die aufwendigen Anpassungen im Inneren der Kammer ist die Zugänglichkeit nur durch einen Durchbruch für das Rohr DN 600 bzw. einem zusätzlich notwendigen Mannloch sehr eingeschränkt. Es ist daher vorgesehen, die bestehende Trennwand abzubrechen und nach allen Umbauten im Inneren der Kammer wieder zu erstellen. Die neue Trennwand wird zwei Aussparungen für die beschriebenen Rohre DN 300 und DN 600 aufweisen. Zudem ist vorgesehen, ein separates Mannloch zu erstellen, so dass die Kammer betretbar bleibt. Die Platzverhältnisse sind für die drei Aussparungen beengt und die genaue Anordnung ist in einer späteren Phase festzulegen und mit dem Werkpersonal abzustimmen.

Für die zwei notwendigen Durchbrüche in der Trennwand zum Unterwasser ist zu beachten, dass der Bereich nicht durch Dammbalken abgetrennt werden kann. Die bestehenden Dammbalken sind breiter als der Nebenauslass im Unterwasser. Um zu vermeiden, dass neue Dammbalken erstellt werden müssen, ist für die Ausführung der Durchbrüche ein geeigneter Wasserspiegel abzuspassen. Gemäss Aussagen des Werkpersonals sind im November öfter die notwendigen tiefen Wasserspiegel gegeben.

## **5 Technische Möglichkeiten zur Verbesserung der Auffindbarkeit**

### **5.1 Einleitung**

Während in den DWA Themen (2005) für Verhaltensbarrieren verschiedene und teilweise erfolgreiche Einrichtungen wie elektrische, mechanische, akustische und optische Scheuchanlagen, Wasserstrahlvorhänge und Luftblasenvorhänge beschrieben sind, wird für die Erhöhung der Bypasseffektivität oft nur mit Lichtquellen gearbeitet.

Gemäss den DWA Themen (2005) lassen sich insbesondere Salmoniden durch Licht anlocken. An verschiedenen französischen Wasserkraftwerken wurde deshalb versucht, diese Verhaltensweise auszunutzen, um die Effektivität von Bypässen für die Jungfischabwanderung von Lachsen und Meerforellen zu nutzen. Dabei wurden vermehrt Quecksilberdampflampen mit verschiedenen Lichtintensitäten und alternierenden Einsatzdauern eingesetzt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Fische starke Lichtquellen zwar nicht passierten, aber zumindest in den Nahbereich des Bypasses geleitet wurden. Während einer anschliessenden Dunkelphase schwammen die Fische in Richtung Bypass. Der unmittelbare Nahbereich des Bypasses kann – falls nötig - mit einer permanenten schwachen Lichtquelle als Orientierungshilfe beleuchtet werden.

### **5.2 Lichtquellen**

Insgesamt scheint es durch Licht möglich zu sein, junge Salmoniden in den Nahbereich von oberflächennahen Bypässen zu leiten. Ob adulte Salmoniden während ihrer Rückwanderung auf Lichtquellen reagieren, ist in den DWA Themen (2005) nicht dokumentiert und wenig erforscht.

Aus technischer Sicht ist die Installation einer oder mehrerer Lichtquellen im Bereich des Nebenauslasses möglich. Im Falle einer Inbetriebnahme eines Bypasses könnten verschiedene Lichtkonzepte geprobt werden. Dabei besteht die Möglichkeit, dass nicht nur adulte Seeforellen angezogen werden, sondern auch Jungfische, welche vor dem Rechen bei einer Anströmgeschwindigkeit von rund 0.8 m/s nicht sofort durchschlüpfen, sondern zuerst durch seitliche Bewegungen nach Abstiegsalternativen suchen.

Die Kosten für die Installation von Lichtquellen unter Wasser sind abhängig vom gewählten Konzept (Anzahl und Position der Lichtquellen) und möglichen Anschlüssen. Es wird davon ausgegangen, dass mit mindestens CHF 2'000-3'000 für die Installation notwendig sind (ohne Stromverbrauch).

### **5.3 Mechanische Barrieren**

Gemäss des aktuellen Wissensstandes von Axpo AG Hydroenergie, welcher auf umfangreichen Recherchen im Zusammenhang mit Fischabstiegsanlagen für Kraftwerke an der Aare basiert, kann eine Bypassöffnung von Fischen nur aufgefunden werden, wenn diese aktiv durch mechanische

## Bericht

Barrieren zur Bypassöffnung geleitet werden. Dies ist nur mit einem zur Fliessrichtung geneigten Feinrechen möglich, welcher ohne Vergrösserung des zum Kraftwerk zufließenden Querschnittes zu grossen Produktionsverlusten führt. Solche Umbauten sind aufgrund der grossen Investitionen meist nur im Rahmen einer Neukonzessionierung eines Kraftwerks realisierbar.

### 5.4 Weitere Verhaltensbarrieren

Grundsätzlich ist es möglich, Verhaltensbarrieren (elektrische, akustische und optische Scheuchanlagen, Wasserstrahlvorhänge und Luftblasenvorhänge) als Leitsysteme zu verwenden, um die Fische von den gefährlichen Bereichen einer Kraftwerksanlage fernzuhalten und sie aktiv in die Nähe eines Bypasses zu leiten. Gemäss den DWA Themen (2005) wird der positive Effekt einer Verhaltensbarriere nur dann erzielt, wenn die Ortsbewegungen der Fische ungerichtet und ungezielt sind. Da es sich bei der Rückwanderung der adulten Seeforellen im Alpenrhein um eine gerichtete Wanderbewegung handelt, ist davon auszugehen, dass sie wenig Bereitschaft zeigen, ihre biologisch gezielte Wanderung zu unterbrechen.

Im Weiteren sind alle bisher vorliegenden Angaben zur Funktionsfähigkeit von Verhaltensbarrieren sehr unsicher, da diese bisher keiner unabhängigen wissenschaftlichen Überprüfung unterzogen wurden. Deswegen können in den DWA Themen (2005) keine Empfehlungen über den Einsatz zuverlässig wirksamer Verhaltensbarrieren gegeben werden.

### Fazit

Aufgrund der baulichen Gegebenheiten im tiefen Oberwasserkanal des Kraftwerks Reichenau, sowie dem geringen Kenntnisstand in der Forschung, ist der Einsatz der erwähnten Verhaltensbarrieren als Leitsysteme analog der ersten Projektstudie [1] wenig erfolgsversprechend.

## 6 Monitoring

Weil es sich um ein Pilotprojekt handelt, sollte mit dem Bau eines Bypasses beim Kraftwerk Reichenau zur Erfolgskontrolle der Betrieb einer Kontrolleinrichtung möglich sein. Damit sollen Untersuchungen zum Fischabstieg und zur Effektivität der Anlage durchgeführt werden.

In der Projektstudie H 13534 [1] zeigte sich, dass für den Nachweis des Fischabstiegs der Einsatz eines Hamens gegenüber Ortungstechnologien vorteilhaft ist. Weil in der erweiterten Projektstudie der Auslauf der Rohrleitung im Unterwasser gleich positioniert ist wie in der Projektstudie H 13534, wird weiterhin der Einsatz eines Hamens vorgeschlagen (vgl. Abb. 6.1).

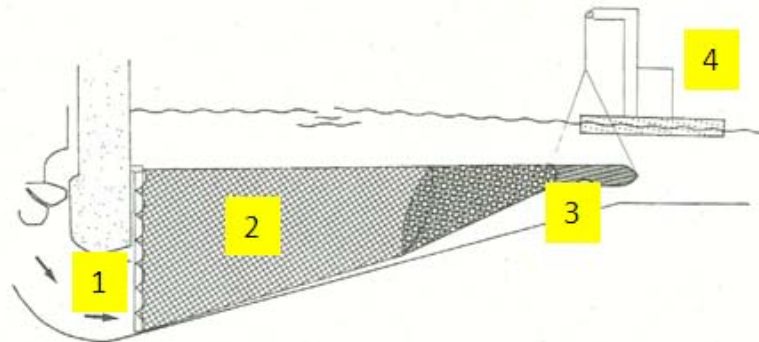


Abb. 6.1 Am Turbinenhaus (1) installierter Hamen (2). Die Maschenweite reduziert sich von der Hameöffnung zum Fangsack (3). Die Bergung des Fangsacks erfolgt mittels Hebezug von einer schwimmenden Plattform (4) aus (DWA Themen, 2005).

Die Bergung des Fangsackes für die Erfolgskontrolle erweist sich jedoch als schwierig, da der Einsatz einer schwimmenden Plattform aufgrund des schwankenden Wasserpegels im Unterwasser kaum möglich ist. Mit einer schwimmenden und gleichzeitig an der linken Stützmauer fixierten Plattform (Prinzip Bootsanlegeplatz) könnte die Erfolgskontrolle jedoch durchgeführt werden. Ohne grössere bauliche Massnahmen inklusive Treppenzugang ans Unterwasser ist der Einsatz einer solchen Plattform jedoch kaum zu realisieren.

Im Weiteren birgt die Betreuung der schwimmenden Plattform und Hebevorrichtung Gefahren für das Personal, welche mit geeigneten Schutz- und Sicherheitsvorkehrungen minimiert werden müssen.

Die Kosten für die Monitoringvorrichtung und die weiteren baulichen Massnahmen sind aufgrund fehlenden Vergleichsanlagen schwierig zu schätzen. Diese sind im Rahmen eines Vorprojekts genauer abzuklären.

## 7 Kostenschätzung

Die Kosten für die beschriebenen Massnahmen für den Fischabstieg belaufen sich ohne Erfolgskontrolle auf ca. CHF 275'000. Im Rahmen einer Vorstudie beinhaltet die Kostenschätzung eine Unsicherheit von  $\pm 30\%$ . Der Anteil von Unvorhergesehenem wird mit 15 % und Bauleitung und Projektierung mit 25 % beziffert. Die genauere Auflistung der Kosten ist aus Tab. 7.1 ersichtlich.

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, ist der Einbau der Fertigteile inkl. Schieber im Zeitraum der Revisionsarbeiten des Kraftwerks Reichenau möglich. Sollten Verzögerungen entstehen, ist mit einer durchschnittlichen betrieblichen Einbusse von CHF 17'500 pro Tag auszugehen.



## Bericht

Kosten für weitere technische Anpassungen (z.B. Licht) wurden bei der Kostenschätzung nicht berücksichtigt, da das Konzept in der Erprobungsphase ausgeführt wird. Im Rahmen der Vorstudie wird davon ausgegangen, dass ca. CHF 2'000-3'000 für eine Installation von Lichtquellen notwendig werden. Zusätzlich ist das Konzept der Erfolgskontrolle im Vorprojekt detaillierter auszuführen. Die Kosten sind in der vorliegenden Schätzung noch nicht beinhaltet. Je nach Aufwand sind für einen Hamen, einen Reusensack inklusive einer schwimmenden oder fixen Plattform CHF 30'000-50'000 vorzusehen.

**Fehler! Keine gültige Verknüpfung.**

Tab. 7.1 Kostenschätzung Fischabstieg Kraftwerk Reichenau (+/- 30 %) ohne Erfolgskontrolle.

## 8 Fischbiologische Beurteilung

In der Projektstudie H 13534 wurden in der Tabelle 7.1 (ab S. 21) die Resultate der Projektstudie zusammengefasst und bewertet. Um die Bewertung der neuen Projektidee mit der Bewertung in der Projektstudie H 13534 vergleichen zu können, werden in nachfolgender Tabelle die fischbiologischen Rahmenbedingungen neu eingeschätzt, verglichen und bewertet.

Rahmenbedingungen	Einschätzung	Bewertung	
		alt	neu
Verhaltensbiologie von adulten Seeforellen während des Abstiegs	<p>Über das Suchverhalten von adulten Seeforellen an Kraftwerksanlagen ist wenig bekannt. Ob sie im Alpenrhein primär bevorzugt in Grundnähe, im Mittelwasser oder oberflächennah suchen, bleibt Gegenstand von Vermutungen. Entsprechend ist die optimale Positionierung von Einstiegsöffnungen in der vertikalen Wassersäule nicht bekannt.</p> <p>Die Bewertung bleibt gegenüber der Projektstudie H 13534 gleich.</p>	~	~
Einlauf in die Rohrleitung/ Auffindbarkeit Kammer	<p>Im Nebenauslass wird es im Gegensatz zur Projektstudie H 13534, in welcher eine geringe Anströmgeschwindigkeit in Richtung des Einlauftrichters vorausgesagt wurde, keine Leitströmung in die neue Kammer geben. Der Eintritt von Fischen in die Kammer durch die vorgesehenen Einstiegsöffnungen basiert somit auf Zufall.</p> <p>Die Bewertung verschlechtert sich gegenüber der Projektstudie H 13534.</p>	☑	~
Fliessgeschwindigkeit im Bypass und Auslauf ins Unterwasser	<p>In der Projektstudie H 13534 wurde eine ständig geöffnete Bypassleitung DN 600 verworfen, weil die Fliessgeschwindigkeit im Rohrdurchlass mit 15.3 m/s deutlich über dem maximalen Grenzwert von 12 m/s liegt. Dies wurde damit begründet, dass die Verletzungswahrscheinlichkeit für adulte Seeforellen aufgrund von seitlichen Scherkräften sehr hoch ist.</p> <p>Der neue Lösungsansatz sieht eine verschliessbare Kammer vor, welche periodisch über ein separates Rohr teilentleert und über die Bypassleitung ganz entleert wird. Aufgrund der in der Kammer verbleibenden Druckhöhe von 4.5 m entsteht beim Öffnen der Bypassleitung eine Fliessgeschwindigkeit von maximal 7 m/s. Diese Fliessgeschwindigkeit liegt unter dem kritischen Grenzwert von 12 m/s und birgt für die abwandernde Seeforellen eine stark reduzierte Verletzungswahrscheinlichkeit.</p>	—	☑

**Bericht**

Rahmenbedingungen	Einschätzung	Bewertung	
		alt	neu
Hydrologische Bedingungen	<p>Aufgrund von betrieblichen Rahmenbedingungen für die Projektstudie H 13534 war vorgesehen, die Bypassleitung nur dann zu öffnen, wenn der Abfluss im Alpenrhein grösser 128 m<sup>3</sup>/s ist (<math>Q_{\text{Ausbau}} = 120 \text{ m}^3/\text{s} + Q_{\text{Dot}} = 3 \text{ m}^3/\text{s} + Q_{\text{Betrieb Fischabstieg}} = 5 \text{ m}^3/\text{s}</math>). Ab diesem Abfluss entsteht für das Kraftwerk Reichenau kein Produktionsverlust, respektive das überschüssige Wasser wird ungenutzt über das Wehr in die Restwasserstrecke geleitet. Während der Hauptabstiegszeit der Seeforellen von Dezember bis März der Bypasses nur während durchschnittlich 3 – 5 Stunden pro Tag im Einsatz gewesen (Mittelwert 1997 – 2007).</p> <p>Mit dem neuen Lösungsansatz wird die Kammer (Volumen 175 m<sup>3</sup>) während der Hauptabstiegszeit von November bis April 4 Mal pro Tag entleert. Dabei entstehen jährliche Produktionsverluste von maximal rund 6'000 kWh.</p>	~	☑
Leitsysteme	Analog der Projektstudie H 13534 kommen im Oberwasserkanal des Kraftwerks Reichenau als Leitsystem nur der Einsatz von Lichtquellen in Frage. Aus technischer Sicht ist der Einsatz von Lichtquellen möglich. Die Lockwirkung ist im Rahmen eines allfälligen Monitorings zu prüfen.	☑	☑
Funktionskontrolle	<p>Analog der Projektstudie H 13534 wird für die Funktionskontrolle vorgeschlagen, einen Hamen zu verwenden.</p> <p>Der Aufwand für die tägliche Kontrolle eines Hamens ist gross und birgt gewisse Sicherheitsrisiken für das Betriebspersonal.</p>	~	~

Tab. 8.1 Bewertung und Erläuterung der Resultate einschliesslich Vergleich mit der Projektstudie H 13534 (☑ = machbar, ~ = Unsicherheitsfaktor gross, — kritisch, ☒ = No Go)

Im Vergleich mit der Projektstudie H 13534 ist die Reduktion der Fliessgeschwindigkeit in der Rohrleitung vom Ober- ins Unterwasser als wesentlichste Verbesserung zu betrachten. Beim Abstieg ist neu davon auszugehen, dass die Verletzungsgefahr für abwandernde Seeforellen gering ist.

Trotzdem wird die Wirksamkeit eines Bypasses auf Höhe des Kraftwerkeinlaufs des Kraftwerks Reichenau als gering bezeichnet. Dies wird insbesondere damit begründet, dass die Einstiegsöffnungen voraussichtlich nur zufällig von abwandernden Seeforellen aufgefunden werden. Ob Seeforellen durch Lichtquellen in den Bereich der Einstiegsöffnungen gelockt werden können, bleibt ungewiss, weil zur Verhaltensweise von abwandernden adulten Salmoniden wenig bekannt ist. Gemäss des aktuellen Wissensstandes von Axpo AG Hydroenergie ist davon auszugehen, dass Bypassöffnungen von Fischen nur aufgefunden werden, wenn diese aktiv durch mechanische Bar-

## Bericht

rieren (Feinrechen) zur Bypassöffnung geleitet werden. Die Realisierung eines solchen Projektes ist jedoch nur im Rahmen eines Neubaus oder bei einer finanziellen Übernahme realistisch, weil der Einlaufquerschnitt im Zulaufkanal zum Kraftwerk deutlich vergrössert werden müsste.

Im Weiteren können mit der Abstieghilfe beim Kraftwerkeinlauf nur solche Seeforellen "abgeholt" werden, welche zuerst durch den Rechen auf Höhe der Wehranlage geschlüpft sind. Dabei handelt es sich vermutlich nur um einen Bruchteil der effektiv abwandernden adulten Seeforellen. Ein Grossteil der Seeforellen wird voraussichtlich weiterhin im Bereich der Wehranlage im Stausee nach einer Abstiegsalternative suchen, welche teilweise bei Wehrüberlauf, oder zu einem zufälligen Zeitpunkt während eines Hochwassers bei abgesenkten Wehrfeldern, gegeben ist.

## 9 Empfehlung

Die technische Machbarkeit der erweiterten Projektstudie für einen Fischabstieg beim KW Reichenau ist gegeben.

Grundsätzlich ist der sichere Fischabstieg nur dann möglich, wenn die Fische mittels mechanischem Leitrechen zu einer Bypassöffnung geleitet werden. Mit der vorliegenden Projektidee sind keine mechanischen Leitsysteme vorgesehen, weil solche aufgrund der Verengung des Querschnitts mit grossen Produktionsverlusten verbunden sind und die hydraulischen Anströmbedingungen verändern. Basierend auf dem aktuellen Wissensstand zur Abwärtswanderung von adulten Salmoniden ist damit zu rechnen, dass die Seeforellen die vorgesehenen Einstiegsöffnungen in die Kammer, welche die Fische nach der Entleerung zur Bypassleitung und schliesslich ins Unterwasser führt, nur vereinzelt und auf Zufall basierend finden werden. Weil ohne mechanische Leitsysteme der Unsicherheitsfaktor zur Funktionstüchtigkeit eines Rohrdurchlasses auf Höhe des Turbineneinlaufs auch mit der neuen Projektidee immer noch gross ist, kann die Umsetzung der geprüften Massnahme nicht empfohlen werden.

Es wird empfohlen, die Resultate eines kürzlich gestarteten Forschungsprojekts zum Fischabstieg an grösseren mitteleuropäischen Flusskraftwerken abzuwarten. Die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW) führt dieses Projekt im Auftrag des Verbandes Aare-Rheinwerke (VAR) und in Zusammenarbeit mit dem Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs (Eawag) durch. Ziel des Projekts ist es, im Rahmen einer Dissertation die hydraulischen und ökologischen Grundlagen des Fischabstiegs mittels baulicher Massnahmen zu erarbeiten und die gewonnenen Ergebnisse in einem physikalischen Modellversuch zu validieren. Anschliessend soll die Bestvariante an einem Prototypkraftwerk geprüft werden. Der Abschluss dieses Forschungsprojekts ist per Ende 2014 vorgesehen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Axpo AG (ehemals NOK, 2009). Fischabstieg beim Kraftwerk Reichenau, Projektstudie, H 13534.
- [2] DWA Themen (2005). Fischschutz- und Fischabstiegsanlage, Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. 2. Korrigierte Auflage, ISBN 3-934063-91-5.
- [3] Peter, A. (2004). Die Seeforelle im Alpenrhein – ist ihre Rückwanderung in den Bodensee wieder möglich? Bündner Fischer 7: 48 - 51.
- [4] Caviezel, R. (2006). Reproduktion der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit ETHZ/Eawag.
- [5] Mendez, R. (2007). Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit ETHZ/Eawag.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Übersichtsplan der Kraftwerke Reichenau AG.....	6
Abb. 3.1	Projektskizze mit einem Rohrdurchlass vom Ober- ins Unterwasser (Fließrichtung links nach rechts) gemäss Projektidee von Kurt Mugwyler vom 3. Juni 2005 (Leiter Instandhaltung mechanisch, Axpo Hydro Surselva AG) .....	9
Abb. 4.1	Neue Projektskizze (nicht massstäblich) .....	11
Abb. 4.2	Prinzipskizze Betonfertigdamm Balken mit vorgesehenen Einstiegsöffnungen (nicht massstäblich) .....	13
Abb. 6.1	Am Turbinenhaus (1) installierter Hamen (2). Die Maschenweite reduziert sich von der Hamenöffnung zum Fangsack (3). Die Bergung des Fangsacks erfolgt mittels Hebezug von einer schwimmenden Plattform (4) aus (DWA Themen, 2005).....	19

## Tabellenverzeichnis

Tab. 7.1	Kostenschätzung Fischabstieg Kraftwerk Reichenau (+/- 30 %) ohne Erfolgskontrolle. ....	20
Tab. 8.1	Bewertung und Erläuterung der Resultate einschliesslich Vergleich mit der Projektstudie H 13534 (☑ = machbar, ~ = Unsicherheitsfaktor gross, — kritisch, ☒ = No Go) .....	22

## Anhangsverzeichnis

Anhang 1	Längsschnitt Nebenauslass, Details erweitertes Projekt Fischabstieg KW Reichenau
----------	--



**Anhang 1    Längsschnitt Nebenauslass, Details erweitertes Pro-  
jekt Fischabstieg KW Reichenau**

LÄNGSSCHNITT NEBENAUSLASS 1:100

