



# Der Seilrechen als neues Fischschutzkonzept - Untersuchung der technischen Machbarkeit

*Fish protection facilities*

*The Flexible Fish Fence – A technical feasibility study*

**Heidi Böttcher, Barbara Brinkmeier, Markus Aufleger**

## **Kurzfassung**

Der Seilrechen ist ein neues Fischschutzkonzept, das zurzeit an der Universität Innsbruck am Arbeitsbereich für Wasserbau entwickelt wird. Er besteht aus horizontal gespannten Seilen, welche vor dem Kraftwerkseinlauf gespannt werden und so einen mechanischen Fischschutz herstellen. Sein Einbau eignet sich besonders für den Neubau überströmbarer Laufwasserkraftwerke oder zur ökologischen Nachrüstung bestehender Wasserkraftanlagen. Anhand erster Untersuchungen an einem physikalischen Modell im Wasserbaulabor der Universität Innsbruck konnte die generelle Funktionsfähigkeit des Seilrechens nachgewiesen werden. In diesem Beitrag steht die Entwicklung eines technischen Konzeptes für den Auflager- und Spannmeechanismus im Vordergrund. Weitere Untersuchungen der Technik und des Fischverhaltens sind an einem Prototypen bzw. einer Pilotanlage geplant.

## **Abstract**

The flexible fish fence is a new fish protection concept, which is being developed at the Unit of Hydraulic Engineering, University of Innsbruck. Horizontally arranged steel cables are installed upstream of the turbine intakes and pose a mechanical barrier to fish. The flexible fish fence is especially practicable for the application on overflowed power plants and within an ecological upgrading of existing hydro power plants. The first experiments were performed in the hydraulic laboratory of the University of Innsbruck to demonstrate the general functionality of the new fish protection concept. This paper concentrates on the technical concept of the flexible fish fence. Further investigations and optimizations of the technology and the fish behavior in front of the barrier are planned on a prototype and a pilot project.

## 1 Einleitung

Fische führen entsprechend ihrer Art und ihres Altersstadiums stromabwärts gerichtete Wanderungen aus, um zwischen bestimmten Zielhabitaten (Laichhabitat, Nahrungshabitat, etc.) zu wechseln und die zeitlichen und räumlichen Ressourcen der Gewässer möglichst optimal nutzen zu können (DWA, 2005). Wasserkraftanlagen unterbinden diese flussabwärts gerichtete Durchgängigkeit zwar nicht vollständig, können jedoch infolge individueller Fischschädigungen dennoch den Bestand der Fischpopulationen gefährden. Zum einen werden die Wanderungen verzögert bzw. vollständig unterbunden, da durch den Aufstau die charakteristische Hauptströmung innerhalb der gesamten Staustrecke abgemindert bzw. vollständig unterbrochen wird. Zum anderen besteht die Gefahr, dass Fische bei der Passage von Wasserkraftanlagen verletzt werden, beispielsweise durch das Überwinden der Wehranlage, Kollisionen mit der Rechenanlage und die Turbinenpassage (DWA, 2005; MUNLV, 2005). Turbinenbedingte Schädigungen sind vom Turbinentyp, Betriebsweise des Kraftwerks, Fischart und Fischgröße abhängig, und stellen das größte Schädigungsrisiko bei der Überwindung einer Wasserkraftanlage dar (Ebel, 2013; DWA, 2005). Die Effekte summieren sich bei der Passage mehrerer Wasserkraftanlagen (Staukette), sodass die wasserkraftbedingte Mortalitätsrate populationsrelevante Auswirkungen mit sich ziehen kann (Keuneke et al., 2011).

Durch Inkrafttreten der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist der Schutz der Fischpopulationen bereits rechtlich verankert, v.a. durch Bewertung der Qualitätskomponenten „Durchgängigkeit“ und „Fischfauna“, die zu einem „guten ökologischen Zustands“ eines Fließgewässers beitragen. In vielen Ländern ist die technische Umsetzung jedoch sehr unpräzise formuliert. Im Gegensatz zum Fischeaufstieg existieren für den Fischschutz und Fischabstieg noch keine standardisierten Bemessungsgrundlagen. Speziell für mittlere und große Wasserkraftanlagen sind in Bezug auf die technische Umsetzung eines wirksamen und wirtschaftlichen Fischschutz bisher noch starke Wissensdefizite vorhanden.

Beim Neubau von kleineren Wasserkraftanlagen werden meist mechanische Feinrechen angeordnet, die länderabhängig lichte Stabweiten im Bereich von 20 mm und kleiner aufweisen müssen. An mittleren und großen Wasserkraftanlagen sind solche Anlagen jedoch zu kostenintensiv (Stahlbedarf, komplexe Rechenreinigung) und technisch schwer umsetzbar (Standfestigkeit von Feinrechen). Die Lösungsansätze für den Fischschutz an diesen Anlagen beruhen derzeit auf dem Einsatz fischschonender Turbinen und der

fischschonenden Betriebsweise von Wasserkraftanlagen (Ebel, 2013; Dumont, 2005).

Seit Frühjahr 2012 wird der Seilrechen als ein neues Fischschutzkonzept für den Einsatz an überströmten Wasserkraftanlagen am Arbeitsbereich für Wasserbau der Universität Innsbruck entwickelt. Der Seilrechen besteht aus horizontal gespannten Seilen, welche die Fische physisch sowie verhaltensbeeinflussend, durch visuelle und hydraulisch-taktile Reize, vor dem Kraftwerkseinlauf zurückhalten. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, den Seilrechen hinsichtlich seiner technischen Umsetzung sowie in seiner Schutz- und Leitwirkung für Fische zu prüfen und zu optimieren.

## 2 Funktionsweise des Seilrechens

Das Grundprinzip besteht darin, dass Seile in einer bestimmten, aus dem Fischschutz geforderten, lichten Weite über den gesamten Fließquerschnitt oberhalb der Wasserkraftanlage horizontal gespannt werden. Während des Normalbetriebes sind die Seile vorgespannt. Im Falle lokaler Verlegungen der Seile durch Laub, Gras oder kleinere Äste können einzelne Seile oder Seilgruppen gelockert werden, um eine Reinigung zu erreichen. Bei höheren Abflüssen werden die Seile auf der Gewässersohle abgelegt, womit der gesamte Querschnitt für Abfluss und Geschwemmsel freigegeben wird. Durch vollständiges oder teilweises Entspannen und Ablegen der Seile kann die Rechenfläche dabei von Treibgut befreit und somit vor Verklausung geschützt werden (Böttcher et al., 2013) Die verschiedenen Betriebsstellungen des Seilrechens sind in Abbildung 2.1 schematisch dargestellt.

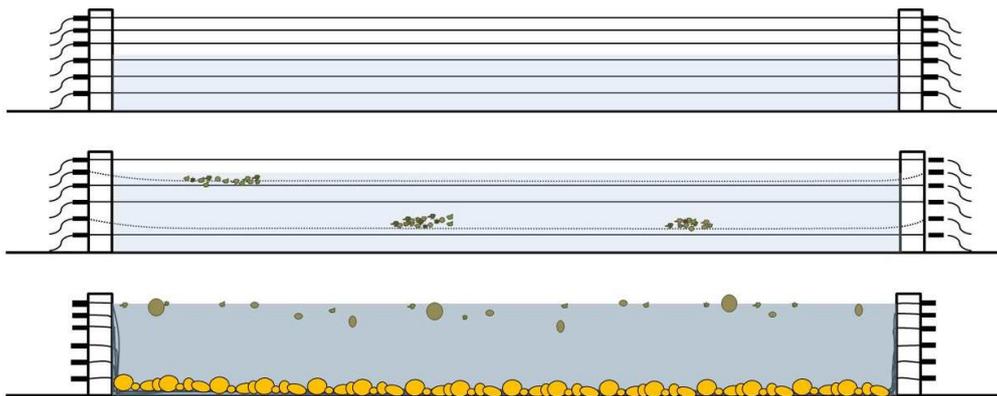


Abbildung 2.1 Prinzipskizze der verschiedenen Betriebsstellung (stark vereinfacht):  
Normalbetrieb (oben), Reinigung durch Ablegen einzelner Seile (Mitte),  
Hochwasserbetrieb (unten)

Bei überströmten Wasserkraftanlagen wird das Treibgut direkt ins Unterwasser abgegeben und bleibt somit dem Ökosystem Fließgewässer erhalten. Dadurch

besteht die Möglichkeit, abhängig von den standortspezifischen Rahmenbedingungen, auf ein aufwändiges Rechenreinigungssystem verzichten zu können. Zum Schutz der Turbinen sind vor den Turbineneinläufen entsprechend größer dimensionierte Recheneinheiten anzuordnen. Auch der Einsatz an konventionellen, nicht überströmten Wasserkraftanlagen ist möglich. Hier ist ein zusätzlicher Turbinenschutz mit Rechenreinigungsanlage jedoch zwingend notwendig. Im Falle der Nachrüstung von Altanlagen wird der Seilrechen der bestehenden Rechenanlage vorgeschaltet. Das vom Seilrechen freigespülte Treibgut wird anschließend durch die bestehende Rechenreinigungsanlage entfernt (Böttcher et al., 2013). Mögliche Anordnungen sind in Abbildung 2.2 dargestellt.

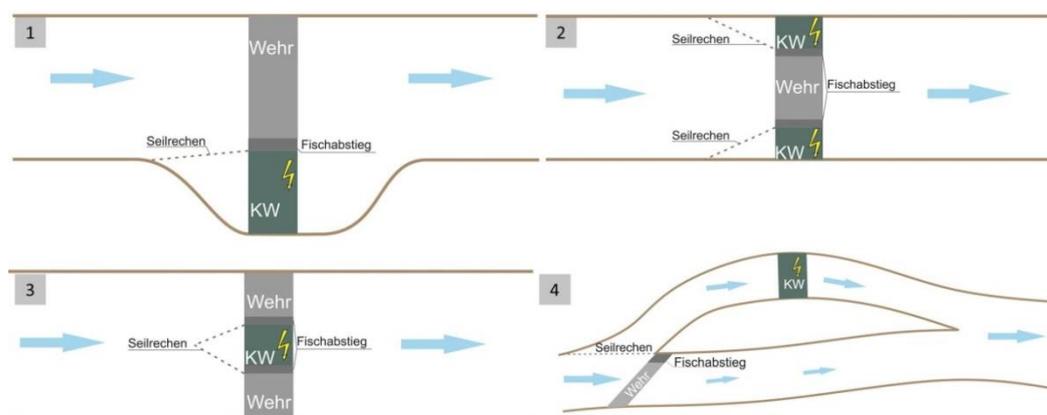


Abbildung 2.2 Anordnungsbeispiele Seilrechen: (1) Buchtenerkraftwerk, (2) Zwillingskraftwerk, (3) Inselkraftwerk, (4) Ausleitungskraftwerk

### 3 Technische Machbarkeit

#### 3.1 Modellversuch

Im April 2012 wurde ein Seilrechen im Wasserbaulabor der Universität Innsbruck im geometrischen Maßstab  $M=1:5$  aufgebaut. Dazu wurde der Seilrechen in einer, im Grundriss gesehen, schrägen Anordnung von ca.  $45^\circ$  zur Strömungsrichtung in ein bestehendes Modellgerinne eingebaut (vgl. Abbildung 3.1).

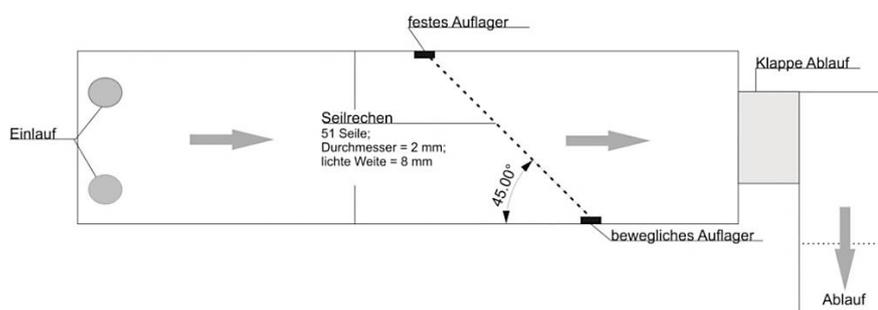


Abbildung 3.1 Anordnung des Seilrechens im Modellversuch

Abbildung 3.2 zeigt die Ergebnisse eines Versuchsdurchlaufs in welchem die Betriebszustände unter Eintrag von Laub getestet wurden. Es wurden ebenfalls Versuche mit Holz durchgeführt. Dabei wurden jeweils zwei unterschiedliche hydraulische Lastfälle getrennt für Laub und Holz untersucht. Das Material wurde nicht maßstabsgetreu zerkleinert, sondern im Naturzustand in das Gerinne eingegeben, was bezüglich des Verklausungszustandes tendenziell einen sehr ungünstigen Zustand abbildet. Trotz des stark vereinfachten Spann- und Auflagermechanismus konnte ein Großteil des Materials während des Ablegens und Wiederanspannens mobilisiert werden. Die lichte Weite zwischen den Seilen wurde unter maximal einstellbarer hydraulischer Belastung ( $Q_{\text{Modell}} = 311 \text{ l/s}$ ,  $v_{\text{Modell}} = 0,22 \text{ m/s}$ ) sowie unter Eintrag von Laub und kleinen Ästen eingehalten. Die Schwingungen der Seile fielen ebenfalls sehr gering aus. Der Durchhang der Seile betrug während der Versuche wenige mm. Er soll in Natura bei Spannweiten von 70 – 100 m mehrere Dezimeter betragen. In weiteren Untersuchungen an einem Prototyp soll der Einfluss des Durchhanges auf das Seilverhalten (Schwingen, Lageabweichung bei stärkerer Strömung, etc.) näher untersucht werden. In jedem Fall sind in Natura zusätzliche Seile über die Höhe des Durchhanges oberhalb des maximalen Wasserspiegels bzw. Stauziels anzuordnen (Böttcher, 2013).

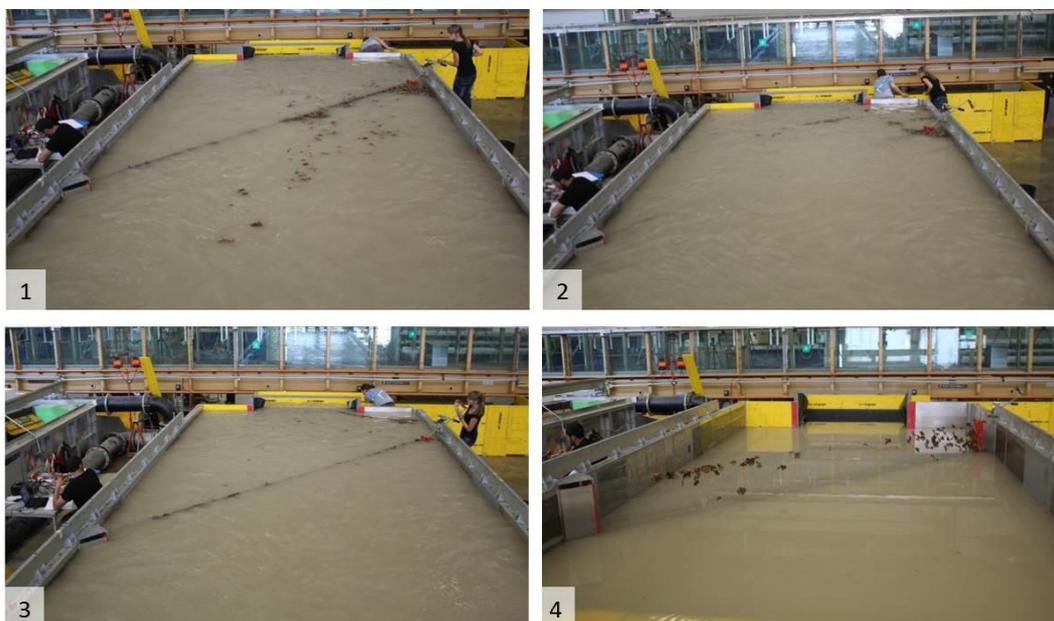


Abbildung 3.2 Versuch unter Zugabe von Laub: (1) Anfangszustand (gespannte Seile), (2) Ablegen der Seile, (3) Wiederanspannung der Seile, (4) Endzustand nach Mobilisierung der verlegten Fläche

### 3.2 Auflager- und Spannmechanismus

Die Einhaltung einer konstanten lichten Weite bei möglichst geringem Durchhang sowie die Steuerbarkeit einzelner Seile und Seilgruppen wurden als

Randbedingungen für die Entwicklung des technischen Konzepts vorausgesetzt. Unter vereinfachter Annahme eines „leeren Seils“, das zwischen zwei auf gleicher Höhe angeordneten Auflagern gespannt ist, kann bei bekannter Seillänge, -durchmesser und den Materialeigenschaften des Seils für jede beliebige Länge die erforderliche Vorspannkraft für einen maximal tolerierbaren Durchhang errechnet werden. Bei Spannweiten zwischen 70 und 100 m wurde der maximal tolerierbare Durchhang vorerst mit 15 cm gewählt. Die erforderlichen Vorspannkraft pro Seil mit einem Durchmesser von 8 mm betragen demnach 15 bis 30 kN pro Seil. Abbildung 3.3 stellt die Abhängigkeit des Seildurchhanges von der Vorspannkraft für Seillängen zwischen 70 und 100 m graphisch dar. Wie in Abbildung 3.3 deutlich wird, ergeben sich für lange Spannweiten entsprechend hohe Anforderungen an die technische Ausführung der Auflager und die Fundamente.

Gemeinsam mit der Firma Albatros Engineering, die u.a. auf die Bereiche Seil- und Sondermaschinenbau spezialisiert ist, wurde ein technisches Konzept für eine Spann- und Auflagertechnik für den Seilrechen entworfen. Die Steuerung der Seile erfolgt über ein Hydrauliksystem.

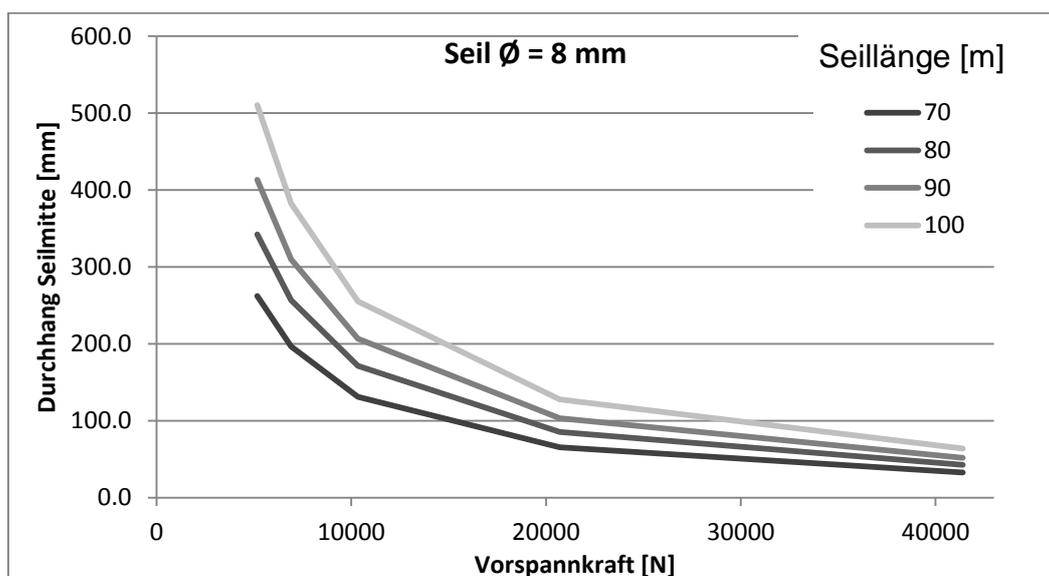


Abbildung 3.3 Abhängigkeit des Seildurchhanges von der Vorspannkraft für ein 70, 80, 90 und 100 m langes Drahtseil

Die Seile werden dabei entsprechend den standorttypischen Anforderungen einzeln und gruppenweise über jeweils einen Hydraulikzylinder gesteuert. Damit wird ermöglicht, dass die Seile einzeln, kombiniert (z.B. jedes zweite Seil oder auch nur eine begrenzte Anzahl der obersten Seile) oder vollständig bedient werden können. Je nach Größe der Anlagen werden die Hydraulikzylinder durch ein bzw. mehrere Hydraulikaggregate betrieben. Hierdurch können die Seile über das Hydrauliksystem gut mit einer konstanten Vorspannkraft

gespannt werden. Dies ermöglicht eine konstante Position der Seile, die für die Gewährleistung einer konstanten lichten Weite unerlässlich ist. Wichtige technische Parameter (u.a. Seilweg, Systemdrücke) können über Sensoren erfasst und in die Regeltechnik der Steuerung integriert werden. Die Steuerung des Seilrechens soll über eine Schnittstelle in der zentralen Leittechnik des Kraftwerkes möglich sein.

Abbildung 3.4 stellt die verschiedenen Betriebszustände schematisch dar. Rechenverlegungen werden über Differenzdrucksensoren oder Beobachtung erkannt. Die Seile werden dann teilweise oder vollständig (siehe oben) gelockert und das Rechengut freigegeben. Diese Steuerung soll automatisiert werden. Im Hochwasserfall, wenn die Turbinen außer Betrieb sind, können alle Seile auf dem Boden abgelegt werden (vgl. Bild 4 in Abbildung 3.4).

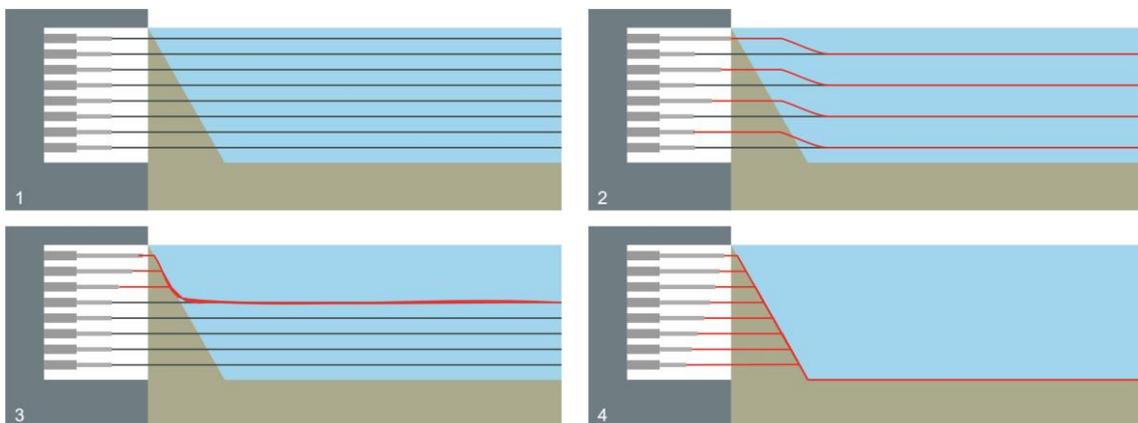


Abbildung 3.4 Hydraulische Steuerung des Seilrechens: Betriebszustand (1), Lockerung / Legung jedes zweiten Seils (2), Lockerung der oberen Seilgruppe (3), Freilegung des Seilrechens (4)

Da bei größeren Abflüssen die Seile am Gewässerboden abgelegt sind, kann der Anprall größerer Schwimmstoffe (z.B. Baumstämme) an den Seilen vermieden werden. Sollten dennoch lokale Lastkonzentrationen auftreten, so geben die Hydraulikzylinder automatisch nach (bei gleichbleibendem Systemdruck). Überbelastungen und Schäden am Seilsystem kann so wirksam entgegnet werden.

### 3.3 Optimierung der Geometrie und Bauart

Die Freilegung des Seilrechens im Hochwasserfall erfordert das komplette Ablegen der Seile auf der Gewässersohle. In Abhängigkeit von der Wassertiefe des Rechenquerschnittes können sich sehr große Ablegelängen und dementsprechende Hublängen ergeben, die durch Hydraulikzylinder nicht mehr ausführbar wären. Die Geometrie des Seilrechens muss entsprechend

angepasst werden, indem beide Auflagerseiten mit einer Böschungsneigung ausgeführt werden. Aus einfachen geometrischen Überlegungen heraus, die in Abbildung 3.5 grafisch dargestellt sind, reduziert sich die Ablegelänge mit der Abnahme des Winkels  $\alpha$  von der anfänglich vollen Wassertiefe bis zur reduzierten Ablegelänge von  $\Delta l = c-a$ . Die Ausführung des Böschungswinkels  $\alpha$  ist letztendlich von den standorttypischen Rahmenbedingungen vor Ort abhängig.

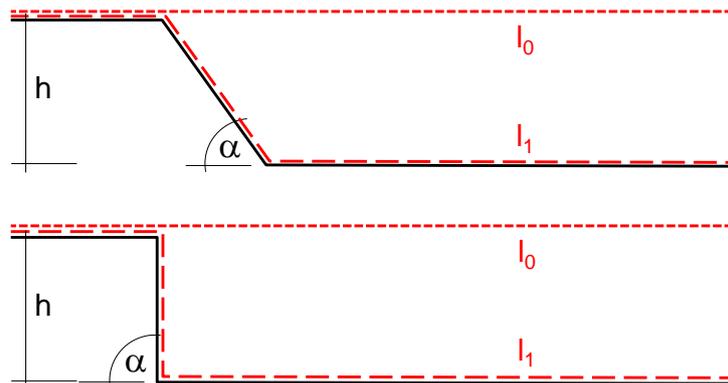


Abbildung 3.5 Reduktion der Ablegelängen von einem senkrechten Ufer (unten) bis zum flach geneigten Ufer (oben)

Die Spanntechnik wird nach dem von Albatros Engineering optimierten Konzept modulartig in einen Betonschacht mit zwei Kammern eingebaut (vgl. Abbildung 3.6). Dies ermöglicht die komplette Fertigstellung im Werk und eine einfache Montage vor Ort. Es können so ebenfalls Zylindermodule unterschiedlicher Größe (in Abhängigkeit der Ablegelänge) einfach eingebaut werden.

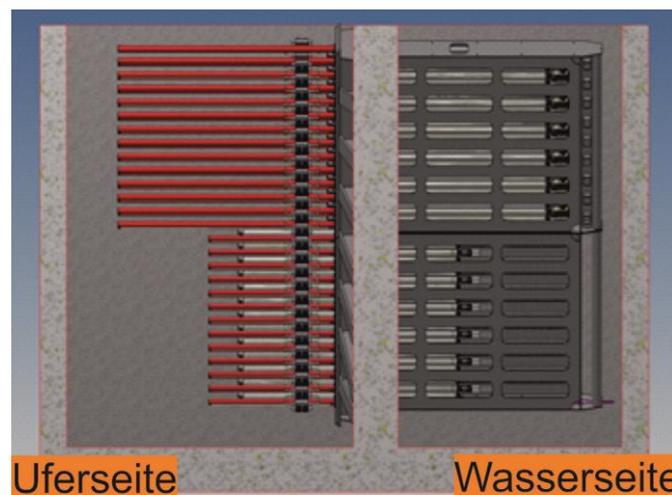


Abbildung 3.6 Lagerung der Hydraulikzylinder in Betonschacht (Bild: Albatros Engineering)

## 4 Fischschutz und Fischabstieg

Die Ergebnisse des physikalischen Modellversuches zeigten, dass eine konstante lichte Weite eingehalten werden kann. Die horizontale Anordnung erweist sich bezüglich der Fischschutzwirkung im Vergleich zu vertikal angeordneten Stäben als vorteilhaft (Holzner & Blankenburg, 2007 und 2009). Durch die zur Anströmrichtung horizontal geneigte Anordnung wird ein gewisser Leiteffekt erzielt (Ebel, 2013) unter der Voraussetzung, dass am unterstromigen Ende des Seilrechens eine Abstiegsmöglichkeit zur Verfügung steht. Während des Betriebes ist mit geringen Schwingungen zu rechnen. Es wird vermutet, dass sich diese Schwingungen auf das Fischverhalten in Form eines Scheueffekts auswirken. Weiterhin ist eine Kombination mit zusätzlich ausgesendeten, verhaltensbiologisch wirksamen Reizen, z.B. Licht, Schall oder elektrische Impulse denkbar und soll weiter untersucht werden. Genaue Aussagen zur verhaltensbiologischen Wirkung des Seilrechens können erst durch einen ethohydraulischen Versuch getroffen werden.

## 5 Ausblick

Das technische Konzept soll durch den Bau eines Prototyps an einem Pilotprojekt im Labor und unter natürlichen Randbedingungen weiter untersucht und optimiert werden. Hauptaugenmerk dieser Untersuchungen wird dabei auf die Reinigungsfähigkeit des Seilrechens und das mechanische Verhalten der Seile unter natürlichen Strömungsbedingungen gelegt. Weiterhin sind zusätzliche Untersuchungen zum Fischverhalten bzw. der Fischschuttfunktion in einem Laborgerinne sowie an einer Pilotanlage des Seilrechens geplant.

## Referenzen

- Böttcher, Heidi; Brinkmeier, Barbara; Aufleger, Markus (2013). Der Seilrechen als innovative Fischschutzanlage, 16. Internationales Anwenderforum Kleinwasserkraftwerke. Eigenverlag, S. 76 - 81.
- Ebel, Guntram (2013). Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. BGF, Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel (Band 4); Halle (Saale).
- DWA (2005). Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. DWA Themen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Dumont, Ulrich (2005): Entwicklung eines beispielhaften bundeseinheitlichen Genehmigungsverfahrens für den wasserrechtlichen Vollzug mit Anwendungsbeispielen im Hinblick auf die Novellierung des EEG – Gutachten für das Umweltbundesamt. Ingenieurbüro Flocksmühle, Aachen, abrufbar unter: <http://www.floeksmuehle.com/img/c6ea762a3558aa18.pdf>.

Holzner, M., Blankenburg D. (2009). Vorversuche zur Eignung horizontaler Rechenanlagen für den Schutz von Fischen an Kraftwerkseinläufen, Ergänzende Ausführungen, Mskr., 5 S. Mengkofen.

MUNLV (2005). Handbuch Querbauwerke. Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, abrufbar unter: [https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/handbuch\\_querbauwerke.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/handbuch_querbauwerke.pdf).

Keuneke, Rita; Dumont, Ulrich (2011). Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmenplanes zur umweltverträglichen Wasserkraftnutzung, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, abrufbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-praxiserprobung-eines-massnahmenplanes>

## **Adressen der Autoren**

Dipl.-Ing. Heidi Böttcher

Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck

AT-6020 Innsbruck, Technikerstr. 13

Email: [heidi.boettcher@uibk.ac.at](mailto:heidi.boettcher@uibk.ac.at)

DI Dr. Barbara Brinkmeier,

Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck

AT-6020 Innsbruck, Technikerstr. 13

Email: [barbara.brinkmeier@uibk.ac.at](mailto:barbara.brinkmeier@uibk.ac.at)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Aufleger

Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck

AT-6020 Innsbruck, Technikerstr. 13

Email: [markus.aufleger@uibk.ac.at](mailto:markus.aufleger@uibk.ac.at)