

# **Bemessung von Horizontalrechen an Wasserkraftanlagen für die Abwanderung von Lachssmolts und Aalen**

Claudia Berger  
Boris Lehmann

Um Planern und Betreibern Angaben zur Dimensionierung eines Horizontalrechens als Fischschutzeinrichtung zu geben, wurde ein Forschungsprojekt gemeinsam von der EnBW Energie Baden-Württemberg AG und der Technischen Universität Darmstadt initiiert. Hydraulische und verhaltensbasierte Parameter für verschiedene Rechen-Setups wurden anhand ethohydraulischer Versuche mit Lachssmolts und Aalen sowohl im Labor als auch an zwei EnBW-Kraftwerken ermittelt. Zudem wurde mit Fokus auf das Aalverhalten mittels Elektrifizierung die Wirksamkeit eines sogenannten Hybridrechens untersucht.

## **1 Veranlassung und Ziel der Forschungsarbeit**

Auf Grund von EU-weiten und nationalen gesetzlichen Vorgaben werden Maßnahmen zur Herstellung der stromauf und stromab gerichteten Durchgängigkeit sowie dem Schutz der Fischpopulationen gefordert, um die Fließgewässer in einen guten ökologischen Zustand zu überführen. Als Schutzbarriere und zugleich Leithilfe für die Abwanderung gilt derzeit ein schräg zur Anströmung ausgerichteter Horizontalrechen als besonders wirksam und wird daher oft bei neuen oder umzurüstenden Wasserkraftanlagen eingesetzt. Jedoch sind das Verhalten der Fische als auch die hydraulischen Eigenschaften solcher Schrägrechen bis dato nur teilweise untersucht und es bestehen noch Wissenslücken bspw. hinsichtlich der hydraulischen Verluste und dem Zusammenhang zwischen Schrägstellung und Leitwirkung auf Fische.

Die hier vorgestellte Forschungsarbeit beinhaltet sowohl die strömungs- und verlustezeugende Darstellung und Analyse eines realitätsnahen Schrägrechens im Labor und im Freiland an einer EnBW-Wasserkraftanlage, als auch ethohydraulische Versuche mit Lachssmolts und Aalen, die wiederum im Labor und im Freiland durchgeführt wurden. Zusätzlich wurde am Schrägrechen im Labor ein Stromfeld erzeugt, um die Wirksamkeit eines sogenannten Hybridrechens – eine Kombination aus mechanischer Barriere und Verhaltensbarriere – speziell auf Aale hin zu untersuchen. Zur Validierung dieser Laborversuche wurde an einem

weiteren EnBW-Kraftwerk eine ähnliche Hybridbarriere installiert und deren Wirksamkeit für Aale untersucht.

## 2 Ethohydraulische Labor- und Feldstudien mit Lachssmolts

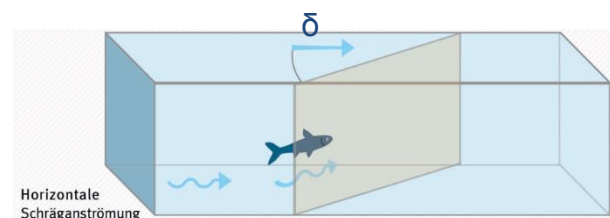
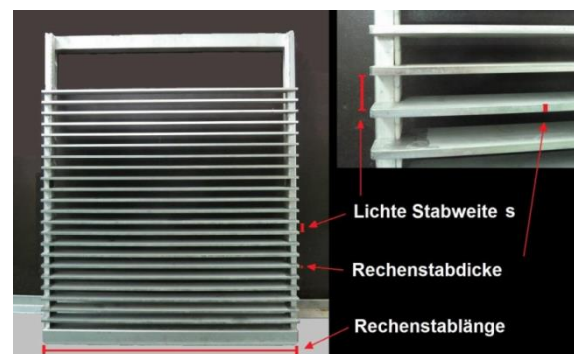
### 2.1 Laborstudien

Im April 2016 wurden in der 2 m breiten und 40 m langen Rinne des wasserbaulichen Forschungslabors der TU Darmstadt ethohydraulische Versuche an unterschiedlichen Anordnungen von Schrägrechen mit Lachssmolts durchgeführt. Im spitzen Winkel zwischen Schrägrechen und Rinnenwand war dabei stets ein Bypass angeordnet, durch den die Fische in das Unterwasser abwandern konnten.

Insgesamt wurden 413 Lachssmolts in unterschiedlichen Gruppen zu je 13 Tieren eingesetzt. Jede Gruppe kam dabei ein bis maximal viermal zum Einsatz, um Lerneffekte bei den Tieren zu vermeiden. Bezüglich der Parameter des Schrägrechens (Anströmwinkel  $\delta$  und Stabweite  $s$ ) als auch der hydraulischen Randbedingungen (querschnittsgemittelte Anströmgeschwindigkeit  $v_a$ ) wurden 22 verschiedene Setups untersucht - jedes Setup wurde dazu mit je 2 bis 5 Gruppen getestet (**Tab. 1** und **Abb. 1**).

**Tabelle 1:** Mit dem Laborrechen durchgeführte Setups mit Lachssmolts

Anströmwinkel $\delta$ [°]	Anströmgeschwindigkeit $v_a$ [m/s]	Stabweite $s$ [mm]		
30	0,4		18	
	0,5		18	30
	0,7		18	
	0,8	10	18	30
45	0,4		18	
	0,5		18	
	0,7		18	
	0,8		18	
55	0,4		18	
	0,5		18	30
	0,7		18	
	0,8	10	18	30
70	0,4		18	
	0,5		18	
	0,7		18	
	0,8		18	



**Abbildung 1:** Definition der geometrischen Rechenparameter (rechts oben, verändert nach *Glock 2016*) und des Anströmwinkels  $\delta$  (rechts unten, verändert nach *Ecologic Institut & IGF Jena 2015*)

Der Rechen im Labor hatte eine Stabdicke von 8 mm sowie eine statische Konstruktion analog zu den meisten bestehenden Horizontalrechentypen. Als Stabprofil für den Rechen wurde ein Rechteckquerschnitt verwendet, welcher nach *Kirschmer (1925)* den ungünstigsten Stabprofilbeiwert besitzt und demnach die höchsten hydraulischen Verluste verursacht (**Abb. 2**). Abgerundete, strömungsgünstig geformte Stabformen verursachen zwar geringere hydraulische Verluste, sind jedoch bzgl. der Herstellung deutlich aufwendiger und daher in der Praxis bisher kaum etabliert. Neben dem Rechen befand sich eine 0,2 m breite schlitzförmige Bypassöffnung als Abwanderungsmöglichkeit (**Abb. 2**, links). Der im Labor verwendete Rechen war situativ ähnlich zum Rechen an der Feldanlage (**Abb. 2**, rechts).

Die in der Rinne maximal mögliche Anströmgeschwindigkeit von 0,8 m/s konnte bei einer Wassertiefe von ca. 0,8 m mit einer Abflussmenge von 960 l/s erzeugt werden. Geringere Anströmgeschwindigkeiten konnten durch entsprechend weniger Durchfluss und mittels einer Stauklappe am Ende der Rinne bewerkstelligt werden.



**Abbildung 2:** Schrägwehre in der Laborrinne mit  $s = 18$  mm Stabweite und  $\delta = 45^\circ$  Anströmwinkel (links); während des Umbaus mit verschiedenen Abstandshaltern für die anderen Stabweiten  $s$  (Mitte); mit  $s = 18$  mm Stabweite an der Feldanlage am Standort Ottenau/Murg während des Einbaus (rechts). (Quelle: EnBW)

Da es in einigen Ländern inzwischen bereits Vorgaben für eine Stabweite von  $s = 10$  mm gibt (z.B. für Lachsentwicklungsgewässer in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz, *Umweltbundesamt (2012)*) wurde diese Stabweite ebenfalls mit in das Versuchsprogramm aufgenommen. Als anderes Extrem wurden auch Versuche mit  $s = 30$  mm durchgeführt, bei denen der Rechen von den Smolts und Aale theoretisch durchschwommen werden konnte.

Ermittelt wurden jeweils die Strömungssignaturen im Nahbereich des Schrägwehres sowie die daraus resultierenden hydraulischen Verluste. Ferner wurde das Verhalten der Fische im Sinne von Meiden, Verharren, Sondieren und eines ggf. erkennbaren Gierverhaltens mit Leitwirkung des Schrägwehres zum Bypass hin analysiert.

**Erkenntnisse:**

Folgende Erkenntnisse konnten während der Laborversuche beobachtet werden:

- Das Gierverhalten (Schrägstellung des Fisches zur Strömung und damit kraftsparendes aber kontrolliertes Driften entlang der Rechenebene Richtung Bypass; *Lehmann et al 2016*) hängt sowohl von der Anströmgeschwindigkeit  $v_a$  als auch vom Anströmwinkel  $\delta$  ab. Mit steigender Anströmgeschwindigkeit  $v_a$  lässt das Gierverhalten nach.
- Schrägrechen mit spitzen Anström winkeln ( $\delta \leq 55^\circ$ ) lösen bei den Smolts zuverlässig ein Gierverhalten aus, was zu einem raschen Auffinden des Bypasses und zu einer Abwanderung führt. Bei stumpfen Winkeln ( $\delta = 70^\circ$ ) kommt es seltener zum Gieren – vielmehr wurde ein ungeordnetes Sondieren im Nahfeld des Rechens als auch ein Flüchten bzw. Zurückziehen nach Oberstrom sowie ein Verharren in strömungsberuhigten Zonen beobachtet, wodurch die Wahrscheinlichkeit zum Auffinden des Bypasses deutlich abnahm.
- Bei hohen Anströmgeschwindigkeiten ( $v_a = 0,8$  m/s) tritt ein längeres Verharren der Smolts in strömungsberuhigten Zonen und häufig auch eine Meidungsreaktionen unmittelbar vor dem Bypass auf – Gründe dafür liegen in den heterogenen Strömungssignaturen, welche bei hohen Anströmgeschwindigkeiten deutlich ausgeprägter sind. Bei niedrigen Anströmgeschwindigkeiten ( $v_a = 0,4$  bis  $0,5$  m/s) verharren nur halb so viele Smolts. Grundsätzlich war zu beobachten, dass die Smolts eher nahe der Rinnenwand verharrten (47% aller Smolts) als in strömungsberuhigten Zonen unmittelbar beim Rechen (vor der Sohlschürze oder vor Stützpfosten; 11% aller Smolts).
- Es konnte bei 42% aller Smolts im Rahmen des Sondierens am Rechen ein sogenanntes „negatives Gieren“ festgestellt werden, d.h. die Smolts bewegten sich weg vom Bypass entlang der Rechenebene hin zum strömungsmoderaten wandnahen Bereich am oberstromigen Ende des Horizontalrechens.
- Bei allen untersuchten Anströmgeschwindigkeiten  $v_a$  wurde nachgewiesen, dass die typischen Verhaltensweisen, wie Sondieren, Gieren, Verharren oder kollektives Schwarmverhalten etwa in gleicher Häufigkeit vorkamen.
- Rechenkontakte mehrten sich mit steigender Anströmgeschwindigkeit kaum.

- Bei den getesteten hohen Anströmgeschwindigkeiten von  $v_a = 0,8$  m/s bestand für die Smolts keine Gefahr des Impingements – hier ist mit Blick auf deren Schwimmleistung davon auszugehen, dass auch höhere Anströmgeschwindigkeiten ein sicheres Navigieren der Smolts im Nahfeld des Rechens kaum beeinflussen.
- Die Anzahl der Rechendurchgänge bei einer Stabweite von 30 mm war gering (5% aller Smolts), obwohl die Smolts problemlos die Räume zwischen den Stäben durchschwimmen konnten. Ein Grund hierfür könnte die visuelle Wahrnehmung der Barriere und/oder die plötzliche Strömungsbeschleunigung im Bereich zwischen den Stäben sein.
- Erkennbare Muster des Schwarmverhaltens (*Lehmann et al (2016)*) wurden grundsätzlich bei jedem Versuch und unabhängig vom Setup und den eingestellten Randbedingungen beobachtet.
- Die Stabweite  $s$  scheint nach bisheriger Auswertung der Daten mit Blick auf die Leitwirkung des Rechens für die Smolts eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse kann für die Bemessung von Schrägrechen für Lachssmolts ein Anströmwinkel von  $\delta = 30^\circ$  bis  $55^\circ$  empfohlen werden. Aufgrund der Erkenntnisse aus *Lehmann et al (2016)* ist davon auszugehen, dass dies auch für die meisten potamodromen Arten gilt.

## 2.2 Feldstudien

Die Feldversuche wurden im Mai 2016 am Ausleitungskraftwerk Ottenau/Murg (Landkreis Rastatt) durchgeführt.

### Fischschutz-, -auf- und -abstiegskomponenten der Wasserkraftanlage

Der dortige Horizontalrechen besitzt einen Anströmwinkel von  $\delta = 45^\circ$ , eine Stabweite von 18 mm mit rechteckigem Stabprofil. Die Rechenlänge beträgt knapp 15 m, die Wassertiefe vor dem Rechen liegt bei ca. 2 m. Der Ausbauabfluss des Kraftwerks beträgt etwa  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ , die maximale Anströmgeschwindigkeit wurde zu  $v_a \approx 0,8$  m/s ermittelt. Am Ende des Rechens ist ein Fischabstieg installiert, der mittels überströmbarer Klappe konstant mit 800 l/s beaufschlagt wird (**Abb. 3**). Durch den danebenliegenden Fischaufstieg fließen konstant 500 l/s. Bei einem Reinigungsvorgang des Rechens wird das Rechengut zum Fischabstieg hin abgeschoben, dort wird temporär die Klappe komplett gelegt und mit dem erhöhten Abfluss das Getreibsel abgespült.



**Abbildung 3:** Luftbild der Situation am Horizontalrechen des Wasserkraftwerks Ottenau (Quelle: verändert nach google.maps)

Für die Feldversuche wurden 60 Lachssmolts mit aktiven Sendern versehen und oberhalb des Rechens in den Kraftwerkskanal eingesetzt. Mittels Empfängern am Streichwehr, Fischabstieg und vor dem Horizontalrechen konnte sowohl der Abwanderungsweg detektiert, als auch über die Signalstärke die Verweildauer im Umfeld der jeweiligen Empfänger bestimmt werden.

Während der Versuchsdauer betrug die Kraftwerksleistung relativ gleichbleibend etwa 171 kW, was eine Anströmgeschwindigkeit von  $v_a = 0,33$  m/s zur Folge hatte (max. 210 kW und damit max. 0,37 m/s).

### Erste Erkenntnisse

Innerhalb von 13 Tagen sind alle 60 besenderten Lachssmolts am Standort abgewandert. Die Abwanderkorridore wurden dabei wie folgt frequentiert:

Fischabstieg: 38 Smolts = 63%

Fischeaufstieg: 15 Smolts = 25%

Streichwehr: 5 Smolts = 8%

Kraftwerk: 1 Smolt = 2%

Unbekannt: 1 Smolt = 2%

Lediglich ein Smolt ist durch den Rechen und das Kraftwerk abgewandert, was die hohe Schutzrate des Rechens belegt. Des Weiteren wurde auch der Fischaufstieg mit 25% stark von den Abwanderern frequentiert, was der günstigen Lage, dem großräumigen Öffnungsquerschnitt und den dortigen Strömungssignaturen geschuldet sein dürfte.

Die Ergebnisse der Feldstudien decken sich insoweit mit den Laborstudien, als dass bei letzteren keine Rechendurchgänge bei 18 mm stattfanden und ein kontrolliertes Abwanderungsverhalten bei einer Anströmgeschwindigkeit von  $v_a = 0,4$  m/s gegeben war. Ebenso bestätigt auch der Anströmwinkel von  $\bar{\delta} = 45^\circ$  sowohl im Labor als auch im Feld eine gute Leitwirkung, welche für ein rasches Auffinden des Bypasses verantwortlich war.

Die detaillierte Auswertung der einzelnen Verweildauern an den jeweiligen Sendern als auch der Verschnitt mit den ermittelten hydraulischen Signaturen steht noch aus.

### 3 Ethohydraulische Labor- und Feldstudien mit Aalen

Im Herbst 2016 wurden im Labor die ethohydraulischen Versuche mit Aalen am Schrägrechen durchgeführt.

#### 3.1 Laborstudien

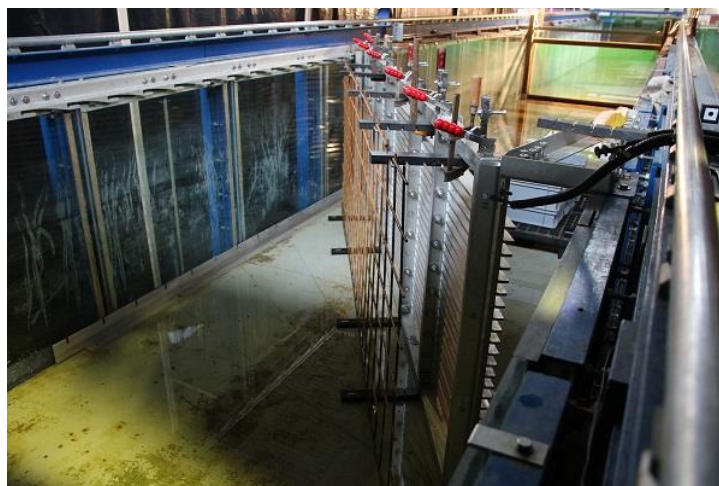
Für die Laborversuche wurden 500 Aale mit einer Länge von 40 bis 80 cm eingesetzt. Die Tiere stammten aus den Catch & Carry Programmen am Neckar (EnBW) und Main (e.on), sowie aus einer Fangaktion des RP Karlsruhe am Rhein. Die einzelnen im Labortest eingesetzten Gruppen umfassten je 6 Aale, jede Gruppe wurde nicht mehr als zweimal und dabei in unterschiedlichen Setups getestet, um das bei Aalen bekannten Lernverhalten weitestgehend ausschließen zu können.

Ohne Elektrifizierung des Rechens wurden 26 verschiedene Setups mit je 2 bis 4 Probandengruppen untersucht; mit Elektrifizierung kamen 16 weitere Setups mit je 2 bis 5 Wiederholungen hinzu (**Tab. 2**). Wie bei den Smolt-Versuchen auch bestand neben dem Schrägrechen ein durchflossener Bypass mit schlitzartiger Öffnung von der Sohle bis zur Wasseroberfläche.

Für die Elektrifizierung wurde ein Stromfeld zwischen den Stäben und hinter dem Rechen erzeugt: hierbei bildete der Rechen die Anode und eine im Abstand von 20-25 cm hinter dem Rechen angeordnete Baustahlmatte die Kathode (**Abb. 4**). Das Stromfeld wurde mit einer schwachen Spannung von 38 V betrieben, welche so auch bspw. bei Weidezäunen eingesetzt wird.

**Tabelle 2:** Mit dem Laborrechen durchgeführte Setups mit Aalen mit und ohne Stromfeld

Anströmwinkel $\delta$ [°]	Anströmgeschwindigkeit $v_a$ [m/s]	Stabweite $s$ [mm]		
30	0,4		18	30 (+ elektrisch)
	0,5		18	30 (+ elektrisch)
	0,7		18	30 (+ elektrisch)
	0,8		18	30 (+ elektrisch)
45	0,4		18 (+ elektrisch)	30 (+ elektrisch)
	0,5		18 (+ elektrisch)	30 (+ elektrisch)
	0,7		18 (+ elektrisch)	30 (+ elektrisch)
	0,8		18 (+ elektrisch)	30 (+ elektrisch)
55	0,4		18	30 (+ elektrisch)
	0,5	10	18	30 (+ elektrisch)
	0,7		18	30 (+ elektrisch)
	0,8	10	18	30 (+ elektrisch)

**Abbildung 4:** Rechen mit dahinter liegender Baustahlmatte als Elektrode von Unterstrom aus gesehen. (Quelle: EnBW)

### Erste Erkenntnisse

Die folgenden fünf verschiedenen Verhaltensweisen von Aalen konnten am Horizontalrechen ohne Elektrifizierung beobachtet werden:

- (1) Schlängelndes Antreiben der Tiere mit der Strömung, was zum Aufprall auf den Rechen oder (zufällig) in den Bypass führt. Ausgehend vom Rechenaufprall schlängeln sich die Tiere entlang der Stäbe bis in den Bypass oder sie zeigen nach dem Anprallen eine Umkehrreaktion mit Abstoßen vom Rechen und Schwimmen ins Oberwasser.
- (2) Mit dem Schwanz voran langsam sondierend (zufällig) direkt in den Bypass einschwimmend gefolgt vom Abwandern durch den Bypass.
- (3) Lange direkt vor dem Rechen verweilend/verharrend ohne erkennbares Such- oder Sondierverhalten und ohne erkennbaren Stress oder Fluchtabsicht.



(4) Schlängeln entlang des Rechens zur Rinnenwand oder nach Oberwasser in ruhigere Zonen.

Damit bestätigen die Beobachtungen die erkannten Verhaltensweisen der Aale aus *Lehmann et al (2016)* und es zeigt sich, dass Aale im Vergleich zu den Smolts überwiegend den direkten Kontakt mit der Barriere aufnehmen und sich von der Rechenschrägstellung keinesfalls ausgeprägt zum Bypass hinleiten lassen.

Zusätzlich konnten weitere aalspezifische Erkenntnisse erarbeitet werden:

- Kürzere Rechen sorgen für eine schnellere Abwanderung. Je länger der Rechen desto häufiger kam es vor, dass kleine Änderungen in den Strömungssignaturen bspw. infolge des Rechenrahmens oder der Stützkonstruktion die Aale zum Verharren oder Flüchten veranlassten. Für die Praxis bedeutet dies, dass die Abwanderedauern an realen Rechenfeldern deutlich länger als bei Smolts sein werden.
- Bei höheren Anströmgeschwindigkeiten ( $v_a \geq 0,7$  m/s) wurde bei den Aalen häufig ein ruckartiges/gestresstes Verhalten beim Anprallen auf den Rechen beobachtet, wodurch benachbarte dort verharrende Aale teils aufgeschreckt wurden und dann ebenfalls gestresst reagierten. Bei niedrigen Geschwindigkeiten ( $v_a \leq 0,5$  m/s) überwiegte ein aktives Sondierverhalten mit stressfreien Berührungen am Rechen.
- Auch bei Anströmgeschwindigkeiten von  $v_a = 0,8$  m/s konnten sich alle Aale vom Rechen lösen und flussaufwärts schwimmen.
- Impingement wurde bei den Aalen am Schrägrechen für die untersuchten Anströmgeschwindigkeiten nicht beobachtet, da infolge des schrägen Verlaufes der Rechenoberfläche beim Wegstoßen des Aales gegen die Strömung rasch genug Raum entstand, der vom Tier für das schlängelnde Wegschwimmen genutzt wurde.
- Rechenpassagen fanden bei Stababständen bis  $s = 18$  mm keine statt.
- Bei Stababständen von  $s = 30$  mm sind 15% der Aale abgewandert. Mit elektrifiziertem Rechen war es bei selber Konfiguration nur 1% der Tiere, was auf eine effektive Scheuchwirkung des elektrischen Feldes schließen lässt.
- Bei den elektrischen Laborstudien wurden grundsätzlich sehr ruckartige Reaktionen beim Abtasten der Stabzwischenräume beobachtet. Dies hatte eine plötzliche Umkehr nach Oberstrom zur Folge. So wurde ein langes Verharren der Aale am Rechen und zwischen den Stäben verhindert, was an bestehenden Wasserkraftanlagen positiv zu bewerten ist, da infolge der Rechenreinigung oft eine hohe Mortalität bei den am Rechen befindlichen Aalen entsteht.

Aufgrund dieser Beobachtungen können für die Bemessung von nicht elektrifizierten Horizontalrechen für Aale die gleichen Empfehlungen wie bei den Lachssmolts gegeben werden – jedoch ist zu beachten, dass die Leitwirkung des Schräg-rechens auf Aale deutlich geringer ausfällt wodurch die Abwanderdauern für Aale länger als bei Smolts sind. Bei der Herstellung eines schwachen elektrischen Felds im Nahfeld des Rechens verringert sich der Kontakt und das Verharren der Aale am Rechen, so dass in diesem Fall die Stabweite auf 30 mm heraufgesetzt werden kann, ohne eine hohe Anzahl an Rechenpassagen befürchten zu müssen.

### 3.2 Feldstudien

Im Feld wurde sowohl das Verhalten der Aale am nicht elektrifizierten Horizontalrechen in Ottenau untersucht, als auch das Verhalten an einer elektrischen Scheuchanlage am EnBW-Unterliegerkraftwerk Rotenfels. Die Versuche laufen seit ca. Mitte November 2016; bis Anfang Januar 2017 waren auf Grund der Niedrigwasserphase erst ca. 50 % der besenderten Aale abgewandert.

#### Versuchsaufbau

Insgesamt wurden 124 Aale besendert und oberhalb vom Kraftwerkskanal Ottenau eingesetzt. Der Versuchsaufbau in Ottenau entspricht dem der Lachssmoltsversuche (**Abb. 3**).



**Abbildung 5:** Luftbild der drei Elektrodenreihen der Scheuchanlage am Kraftwerkskanaleinlauf Rotenfels (Quelle: EnBW)

Die elektrische Scheuchanlage am Kraftwerkskanaleinlauf des WKW Rotenfels wurde aus drei Reihen Schwimmelektroden mit einer Spannung von 80 V installiert und an der Murgsohle mittels Tauchern befestigt (**Abb. 5**).

### Bisherige Erkenntnisse

Bis zum 05.01.2017 waren von 124 Aalen 64 in Ottenau am Horizontalrechen und 40 in Rotenfels an der Elektroscheuche abgewandert (**Tab. 3**).

**Tabelle 3:** Stand der Abwanderung in Ottenau und Rotenfels vom 05.01.2017

Besendert: 124 Aale	Ottenau		Rotenfels	
	Stück	[%]	Stück	[%]
abgewandert in Ottenau	64 von 124		-	
angekommen in Rotenfels	-		40 von 64	
Fischabstieg	22	34,4%	5	12,5%
Fischaufstieg	14	21,9%	2	5,0%
Streichwehr	28	43,8%	15	37,5%
Kraftwerk	0	0,0%	18	45,0%

Die Ergebnisse sind vergleichbar mit denen der Lachssmolts, da auch hier kein Aal über den 18 mm Rechen abgewandert ist, sondern vorwiegend Streichwehr und Fischabstieg benutzt wurden. Dies deckt sich auch mit den Laborstudien bei  $s = 18$  mm. Bei der elektrischen Scheuchanlage hingegen sind bisher fast 50% der Aale durch diese mit der Hauptströmung durch das Kraftwerk abgewandert. Grund dafür ist die große „Stabweite“ der Elektroden von 0,3 bis 0,4 m, was eine situative Ähnlichkeit zu einem Horizontalrechen mit bspw. 30 mm Stababstand nicht mehr ermöglicht. Hieraus wird ersichtlich, dass die Verhaltensbarriere als hinreichende Komponente mechanische Fischschutzanlagen ergänzen/effektivieren kann - als notwendige Komponente muss jedoch stets eine mechanische Barriere (bspw. Rechen) vorhanden sein.

Da sich die Aalwanderzeit über den Januar 2017 ausdehnen kann, werden hier noch Änderungen an den Ergebnissen erwartet.

Eine umfassende Auswertung und Zusammenstellung der Ergebnisse, Erkenntnisse und Empfehlungen erfolgt 2017 im Rahmen einer Dissertation an der TU Darmstadt und wird 2018 in der Schriftenreihe des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt veröffentlicht werden.

## 4 Literatur

- Anderer, P., U. Dumont, E. Massmann, R. Keuneke (2012): Wasserkraftnutzung in Deutschland - Wasserrechtliche Aspekte, ökologisches Modernisierungspotenzial und Fördermöglichkeiten. Schriftenreihe des Umweltbundesamtes 22-2012, Dessau-Roßlau 2012.
- Glock, T. (2016): Experimentelle Ermittlung von 3D-Strömungssignaturen und hydraulischen Verlusthöhen bei schräg angeströmten Rechenanlagen. Masterarbeit an der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt, 2016.
- Kirschmer, O. (1925): Untersuchungen über den Gefällsverlust an Rechen. Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München, München 1925
- Lehmann, B., B. Adam, O. Engler, K. Schneider & V. Hecht (2016): Untersuchungen zum Orientierungs- und Suchverhalten abwandernder Fische zur Verbesserung der Dimensionierung und Anordnung von Fischschutzeinrichtungen vor Wasserkraftanlagen. BfN-Schriftenreihe Naturschutz und biologische Vielfalt (in Druck).

### Autoren:

Dipl.-Ing. Claudia Berger

EnBW Energie Baden-Württemberg AG  
Schelmenwasenstr. 15  
70567 Stuttgart

Tel.: +49 711 28989-396  
E-Mail: [claudia.berger@enbw.com](mailto:claudia.berger@enbw.com)

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann

Technische Universität Darmstadt  
Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik  
Franziska-Braun-Str. 7  
64287 Darmstadt

Tel.: +49 6151 16-21165  
E-Mail: [wabau@wb.tu-darmstadt.de](mailto:wabau@wb.tu-darmstadt.de)