

# BFS

BÜROGEMEINSCHAFT  
FÜR FISCH- & GEWÄSSERÖKOLOGISCHE STUDIEN  
Marburg – Frankfurt

Fische – Makrozoobenthos – Gewässerökologie – FFH – EG-WRRL – Wasserbau

Beratung – Konzeption – Planung

Dr. Dirk Hübner

Büro Marburg

---

## Effizienzkontrolle eines speziellen Aalabstieges an der Wasserkraftanlage Ruhlmühle (Spree)



im Auftrag  
des Sächsischen Landesamtes  
für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Marburg, Dezember 2015

---

**BFS Büro Marburg**

Über dem Grund 1  
D-35041 Marburg-Michelbach

Tel.: 06420 8391418  
dirk-huebner@arcor.de

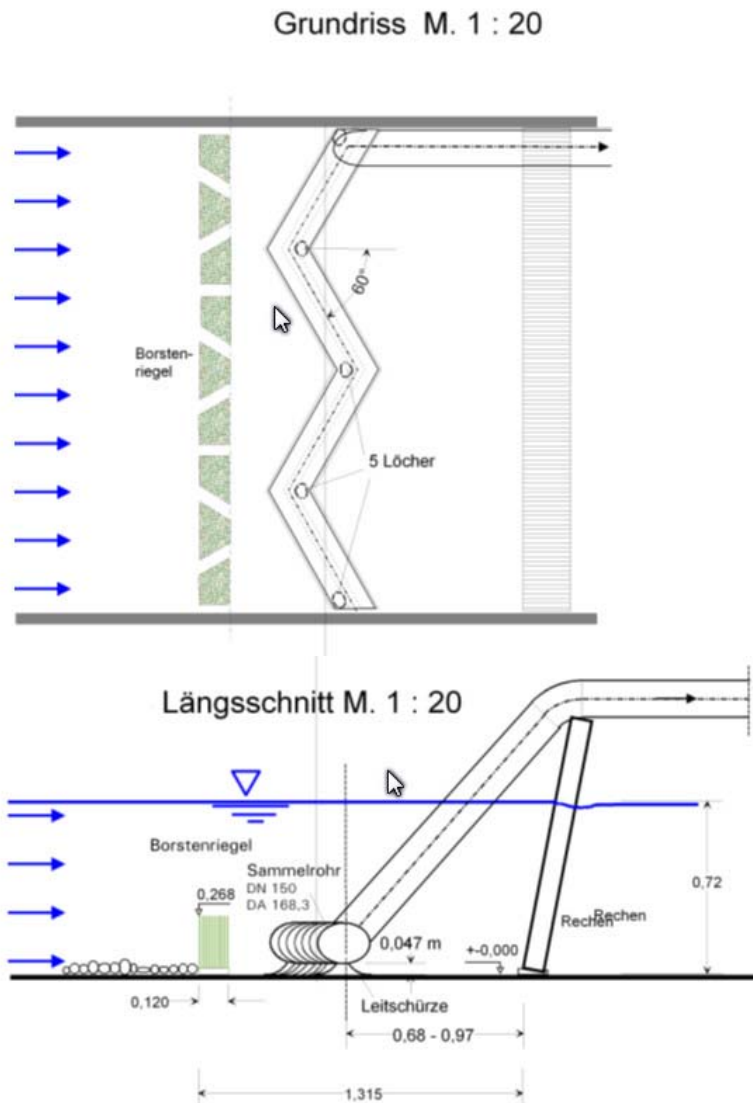
# Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Aufgabenstellung.....	1
2	Untersuchungsgebiet .....	3
3	Standortbeschreibung WKA Ruhlmühle.....	5
4	Material und Methoden .....	7
4.1	<i>Untersuchungsdesign Besatz- und Wiederfangversuch.....</i>	7
4.2	<i>Untersuchungszeiträume.....</i>	8
4.3	<i>Initiierung eines Hochwassers für Besatz- und Wiederfangversuch.....</i>	9
4.4	<i>Herkunft, Markierung und statistische Hauptwerte der Versuchstiere.....</i>	9
4.5	<i>Eingesetzte Fanggeräte für die Abwanderungskorridore .....</i>	11
4.6	<i>Ermittlung der methodenbedingten Schäden .....</i>	14
4.7	<i>Schadensklassen .....</i>	15
4.8	<i>Verzögerte Mortalität .....</i>	16
5	Ergebnisse .....	17
5.1	<i>Abfluss und Höhe der Aalabwanderung während der Abwanderungssaison 2015.....</i>	17
5.2	<i>Einfluss des Abflusses auf die Abwanderung der Versuchstiere nach Besatz.....</i>	18
5.3	<i>Wiederfangraten der Versuchstiere.....</i>	21
5.4	<i>Verteilung der Aale auf die Abwanderungskorridore .....</i>	22
5.4.1	<i>Verteilung der verschiedenen Gruppen auf die Abwanderungswege .....</i>	22
5.4.2	<i>Einfluss von Abfluss und Rechenreinigung auf das Abwanderungsverhalten.....</i>	25
5.5	<i>Zeitdauer bis zur Abwanderung über die verschiedenen Abwanderungskorridore .....</i>	30
5.6	<i>Größenselektivität in den Abwanderungskorridoren.....</i>	31
5.6.1	<i>Aalabstieg.....</i>	31
5.6.2	<i>Bodennahes Loch seitlich neben dem Rechen .....</i>	31
5.7	<i>Methodenbedingte Schadensrate.....</i>	32
5.8	<i>Schädigungen in den Abwanderungskorridoren.....</i>	32
5.9	<i>Abwanderung sonstiger Fischarten und Krebse.....</i>	33
6	Diskussion.....	34
7	Schlussfolgerungen.....	37
8	Danke.....	38
9	Literaturverzeichnis .....	38
10	Anhang.....	40

## 1 Anlass und Aufgabenstellung

Europaweit sind die Aalbestände in den letzten zwei Jahrzehnten stark rückläufig (KNÖSCHE et al. 2004), sodass sie sich die nach Einschätzung des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES 2003) und der Europäischen Kommission „außerhalb biologisch sicherer Grenzen“ befinden und demnach „eine rationelle Nutzung der Bestände“ nicht mehr möglich ist. Deshalb trat im September 2007 die sogenannte „Aalverordnung“ auf europäischer Ebene in Kraft (Verordnung Nr. 1100/2007 EG). Sie umfasst Maßnahmen, die zur „Wiederauffüllung“ des Bestandes des Europäischen Aals dienen sollen. Dabei werden gesetzliche Vorgaben zu Fang- und Besatzquoten der Aale gemacht. Des Weiteren sollen zur Sicherung einer ausreichenden Reproduktion 40% aller abwandernden Blankaale das Meer unbeschadet erreichen. Dabei ist der Aal im Fluss auf seiner obligatorischen Abwanderung vom Süßwasser zu den Laichplätzen in das Meer der Sargasso-See besonders bei der Passage der Wasserkraftanlagen gefährdet. Je nach Turbinentyp betragen die Mortalitätsraten pro Anlage zwischen 0 und 100 % (DÖNNI et al. 2001, HOLZNER 1999, 2000, Schneider et al. 2011, Ebel 2013). Bei den häufigen Turbinentypen wie Kaplan und Francis liegen die Mittelwerte der Schädigungsrate zwischen 10 und 97 % (EBEL 2013). Deshalb wurde im Jahr 2008 an der Versuchs- und Prüfanstalt für Umwelttechnik und Wasserbau (VPUW) der Universität Kassel ein spezielles Aalabstiegssystem entwickelt, welches der speziellen bodenorientierten Abwanderung des Aals Rechnung tragen sollte. Mithilfe umfangreicher Verhaltensbeobachtungen (ethohydraulischen Untersuchungen) an mehreren Abstiegsvarianten im Labor wurde eine Lösung gefunden, die den erfolgreichen Abstieg von 90 % der Versuchstiere ermöglichte (HÜBNER 2009, HASSINGER & HÜBNER 2009). Das Grundkonzept dieses Aalabstiegs besteht aus dem Anbieten eines Strömungsschattens am Gewässergrund in Form einer quer vom Rechen angebrachten lückigen Reihe von Borstenriegeln. Diese erlaubt es den Aalen, vor dem Rechen auf der gesamten Gewässerbite nach dem Abstiegsweg zu suchen. Der Abstiegsweg wird in Form eines Sammelrohres angeboten, das in regelmäßigen Abständen Löcher hat. Damit der Aal die Löcher in den Abstieg findet, hat das Sammelrohr eine Zick-Zack-Form, die den an dem Rohr entlangschwimmenden Aal in die Innenecken führt. Dort befinden sich sowohl oberstrom als auch unterstrom die Abstiegslöcher. Damit der Aal dort das Loch erreicht, steht das Rohr auf einer konkav gebogenen Schürze, die den Aal nach oben in das Loch führt. Das Sammelrohr schließt an ein Bypassrohr an, welches als Heber fungiert. In der Regel mündet das Ende des Bypassrohres im dritten Becken eines Fischaufstiegspasses oder in einem speziell zu ergänzenden Aalabstiegspass mit drucklosem Abfluss. Der Grund dafür ist, dass zur Herstellung von günstigen Strömungsverhältnissen im gesamten Aalabstiegssystem nur wenige Zentimeter Höhendifferenz zwischen Oberwasser und dem Ende des Bypassrohres notwendig sind. Im Fischaufstiegspass angekommen, können die

Aale weiter selbstständig in das Unterwasser der Wasserkraftanlage schwimmen.



**Abbildung 1:** An der Universität Kassel entwickeltes Aalabstiegssystem.

Mittlerweile wurde dieser Aalabstieg an einzelnen Wasserkraftwerksstandorten in Eder, Ruhr, Lahn, Main, Rhein, Spree und Flöha eingebaut (KRÄTZ 2012 und mündliche Mitteilungen). Die Rückmeldungen einiger Wasserkraftwerksbetreiber ließen positive Rückschlüsse auf die Wirkung dieses Systems zu. Im Jahr 2011 wurde für den Zeitraum einer Abwanderungssaison die Anzahl der über den Aalabstieg abwandernden Aale am Standort Edermünde (Eder) erfasst. Dabei wurden bis zu 272 abwandernde Aale pro Nacht im Aalabstieg gefangen (KRÄTZ 2012, HÜBNER & HASSINGER 2013). Aufgrund fehlender Untersuchungen zu dem Gesamtaufkommen der abwanderungswilligen Aale pro Nacht konnte die Effektivität des Aalabstieges jedoch nicht bestimmt werden. Der Grund dafür war unter anderem die Lage und Dimension der Wasserkraftanlage, die es methodisch schwierig machte, alle Abwanderungswege zu untersuchen.

Diese Möglichkeit ist seit dem Jahr 2013 gegeben, nachdem 2 Aalabstiege in der oberen Spree eingebaut worden sind. Insbesondere der Standort der Wasserkraftanlage Ruhlmühle eröffnete aufgrund seiner Lage und Dimension die Möglichkeit, die Effizienz des Aalabstieges zu untersuchen. Der Abwanderungsweg durch die Turbine war wegen der geringen Anströmgeschwindigkeiten vor dem Rechen und der Stababstandsweite von 15 mm im Rechen weitgehend ausgeschlossen. Dadurch entfielen methodisch aufwändige und kostenintensive Untersuchungen mit einem Hamen im Turbinenauslaufkanal. Auch der Abwanderungsweg über das Wehr konnte selbst bei Hochwasser theoretisch weitgehend verschlossen werden. Dies war möglich, da der Abfluss der Spree durch die Landestalsperrenverwaltung (LTV) mithilfe von gezieltem Rückstau und Abfluss von oberhalb der Ruhlmühle liegenden Talsperren so gesteuert werden kann, dass ein Wehrüberfall und damit eine Abwanderung über das Wehr am Standort Ruhlmühle verhindert werden können. Zugleich gab es an der Spree ein mehrjähriges Aalmonitoring, wobei die Aalbestände untersucht wurden. Damit waren optimale Rahmenbedingungen geschaffen, um die Effizienz des Aalabstieges zu untersuchen. Im Jahr 2015 wurde deshalb das BFS Marburg beauftragt, die Aalabwanderungskorridore an dem Standort Ruhlmühle zu begutachten.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Wasserkraftanlage Ruhlmühle befindet sich in der Ortschaft Mühlrose-Ruhlmühle (Gemeinde Trebendorf, Niederschlesischer Oberlausitz Kreis). Diese liegt an der Spree zwischen Boxberg und Spreewitz etwa 15 km östlich von Hoyerswerda bzw. 10 km westlich von Weißwasser.

Die Spree entspringt im Oberlausitzer Bergland in Neugersdorf in ca. 400 m Höhe. Bis zum Anlagenstandort Ruhlmühle durchfließt sie die Oberlausitz von Süden nach Norden. Dabei wird die Spree nördlich von Bautzen durch die gleichnamige Talsperre eingestaut. Diese dient vor allem zur Niedrigwasseraufhöhung. Unmittelbar vor dem Pegel Sprey, der sich ca. 7,5 km oberhalb der Ruhlmühle befindet, mündet der Schwarze Schöps in die Spree. Dieser besitzt ein etwa gleich großes Einzugsgebiet wie die ankommende Spree. Der Schwarze Schöps verfügt ebenfalls mit der Talsperre Quitzdorf über ein Staureservoir. Im Mündungsgebiet der Spree befindet sich die nördliche Grenze des Biosphärenreservats Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft.

Im Oberwasser der Ruhlmühle ist die Struktur der Spree nach der Strukturgütedatenbank des Sächsischen Umweltamtes<sup>1</sup> nur mäßig verändert (Farbe Grün), im Unterwasser sogar

---

<sup>1</sup> <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8584.htm#article8888>

nur gering verändert (Farbe Hellblau). Die Spree gehört in diesem Abschnitt aufgrund ihres Gefälles zur Barbenregion (HUET 1949, 1962). Diese Fischregion wird natürlicherweise vom Aal besiedelt.



**Abbildung 2:** Lage der WKA Ruhlmühle. Ausschnitt aus der Karte Gewässerstrukturgüte.

Laut hydrologischen Hauptwerten des Pegels Sprey (MST. Nr. 582080 bei Flusskilometer 283,6) hat die Spree an der Ruhlmühle ein Einzugsgebiet  $A_e$  von ca. 1592,59 km<sup>2</sup>. Da aus der Spree für die Flutung der stillgelegten Tagebaurestlöcher ständig Wasser entnommen wird, sind die Abflussmengen besonders bei mittleren und niedrigen Abflüssen stark gedämpft. Die Hauptwerte<sup>2</sup> sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

Statistische Hauptwerte	Wasserstand (cm)	Durchfluss (m <sup>3</sup> /s)
MNQ	57	4,25
MQ	94	11,3
MHQ	247	54,5

**Tabelle 1:** Statistische Hauptwerte des Pegels Sprey.

<sup>2</sup> <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/hwims/portal/web/wasserstand-pegel-582080>

### 3 Standortbeschreibung WKA Ruhlmühle

Die Wasserkraftanlage Ruhlmühle liegt am Flusskilometer 275 der Spree (Rechts-Hochwert 4671930/5707400) in der Gemeinde Trebendorf (Gemarkung Mühlrose). Die Spree ist dort ca. 20,5 m breit und wird mit einem 11,6 m breiten Wehr aufgestaut. Das Wehr besitzt eine bewegliche Fischbauchklappe als Wehraufsatz. Die Wehrhöhe beträgt 3,5 m. Die Anlage befindet sich auf der rechten Uferseite und ist mit einer Kaplan-Spiralturbine ausgestattet. Diese hat ein Schluckvermögen von 8 m<sup>3</sup>/s, was gleichzeitig der maximal zulässigen Entnahmemenge entspricht. Die Nutzfallhöhe der Anlage beträgt 4,6 m. Damit kann die Turbine bis zu 320 kW erzeugen.

Dem Kraftwerksrechen ist ein Grobrechen vorgelagert. Beide können durch ein Schütz getrennt werden. Die Anströmgeschwindigkeit vor dem 5,2 m breiten Kraftwerksrechen beträgt 0,5 m/s. Im Zuge des Einbaues des Aalabstieges wurde auch der Rechen erneuert. Der Rechen hat einen 12-mm-Stababstand und ist als sogenannter „Fischschonrechen“ ausgeführt. Er besteht aus glattem Edelstahl, an den sich kaum Ablagerungen ansetzen können, und besitzt abgerundete Rechenstäbe, die mit einer gefederten Plastikleiste abgestreift werden können. Beides dient dem Schutz der Fische, falls sie Kontakt mit dem Rechen haben. Das Rechengut wird mit der Rechenreinigung in eine 72 cm breite Rinne hinter den Rechen geschoben. Danach öffnet sich ein Schütz am Ende der Rinne und das Wasser läuft durch oberflächennahe Einschnitte des Rechens nach. Dadurch werden Laub und Treibgut in einen Kanal gespült. Dieser Kanal verläuft unter der Wasserkraftanlage hindurch und endet im Unterwasser.

Die Fischaufstiegsanlage ist ein Mäanderfischpass und wird teilweise unter der Wasserkraftanlage an der rechten Uferseite durchgeführt. Der Pass hat im Oberwasser der Anlage einen sohnahen Anschluss vor dem Rechen, der in dieser Untersuchung neben dem eingebauten Aalabstieg als Abstiegskorridor für die Aale diente. Zudem ist der Pass durch eine Bohrung des obersten Beckens oberflächennah an das Oberwasser angeschlossen. Während der gesamten Untersuchungsdauer war diese obere Öffnung vor dem Rechen verschlossen.



<p>Oberwasser der WKA Ruhlmühle</p>	<p>Unterwasser der WKA Ruhlmühle</p>
	
<p>Kraftwerksrechen mit Abschwemmrinne</p>	<p>Fischschonrechen im Detail</p>
	
<p>Abschwemmrinne hinter dem Rechen</p>	<p>Ende des Abschwemmkanals und Einstieg des Fischpasses im Unterwasser</p>
	
<p>Sammelrohr des Aalabstiegs mit der davorliegenden Borstenreihe. Links Bypassrohrführung durch das Loch neben dem Rechen</p>	<p>Position vom Ende des Bypassrohres des Aalabstiegs im Fischpass (Rohrende ist zur Kontrolle kurzzeitig nach oben gedreht)</p>

**Abbildung 3:** Situation an der Wasserkraftanlage Ruhlmühle.



## 4 Material und Methoden

### 4.1 Untersuchungsdesign Besatz- und Wiederfangversuch

Nach Angaben der sächsischen Fischereibehörde des LfULG ist der Aalbestand in der oberen Spree und deren Hauptzuflüssen unmittelbar oberhalb der WKA Ruhlmühle derzeit äußerst niedrig<sup>3</sup>. Deshalb wurden für die Funktionskontrolle der Aalabstiege an der WKA Ruhlmühle markierte Versuchstiere in das Oberwasser eingesetzt. Diese Vorgehensweise hat zugleich mehrere Vorteile:

1. Die Anzahl der abwanderungswilligen Aale im Untersuchungszeitraum war bekannt. Dadurch waren halbquantitative Aussagen für die Bewertung jedes Abwanderkorridores möglich.
2. Eine Vorschädigung der Tiere durch oberhalb liegende Wasserkraftanlagen oder sonstige Gefahrenquellen war ausgeschlossen und damit eine falsch negative Beurteilung des Zustandes der Fische nach Passage der verschiedenen Abstiegskorridore unmöglich.
3. Da der Besatzzzeitpunkt bekannt war, konnte die Zeitdauer bis zur Passage der jeweiligen Abwanderkorridore ermittelt werden. In der Regel sind derartige Aussagen zur Zeitdauer nur mithilfe von teuren optischen Überwachungssystemen (z.B. DIDSON Sonar) möglich.
4. Durch den Vergleich des Abwanderverhaltens zwischen markierten und unmarkierten Aalen konnten die gewonnenen Ergebnisse zu den einzelnen Abwanderkorridoren besser eingeordnet werden.
5. Der Untersuchungszeitraum konnte durch den Einsatz von Versuchstieren stark beschränkt werden, sodass die Untersuchung noch vor Beendigung des Aalmonitoringprojektes an der Spree möglich war (s. auch Kap. Untersuchungszeitraum).

Ein Großteil der Versuchstiere wurde von Mitarbeitern der sächsischen Fischereibehörde des LfULG schon vor Beginn der intensiven Untersuchung mit der Farbe blau markiert und oberhalb der Wasserkraftanlage in die Spree gesetzt. Der erste Besatz von 50 Tieren fand am 02.11.2015 und der zweite Besatz von 102 Tieren kurz vor Start der intensiven Untersuchung am 08.11.2015 statt. Durch den Besatz vor Versuchsbeginn sollte gewährleistet sein, dass die Tiere bis zur intensiven Untersuchungsphase ausreichend an die Verhältnisse in der Spree adaptiert waren und damit ein natürliches Abwanderverhalten aufweisen sollten. Gleichzeitig war durch die absehbaren trockenen Wetterverhältnisse ab

---

<sup>3</sup> Spree: Bautzen bis Landesgrenze 202 Aale bei 91 Befischungen zwischen 1994 bis 2013, Schwarzer Schöps: 140 Aale bei 63 Befischungen zwischen 1994 bis 2014, Weißer Schöps: 1 Aal bei 15 Befischungen zwischen 1994 bis 2013

dem Besatzzeitpunkt gewährleistet, dass die Aale nicht schon vor Beginn der intensiven Untersuchungsphase mit einem Hochwasser abwandern würden.

Der letzte Besatz wurde am 10.11.2015 innerhalb der intensiven Untersuchungsphase durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 78 Aale in das Oberwasser der Anlage gesetzt.

Insgesamt sind damit 230 markierte Versuchstiere in die Spree gesetzt worden.

## **4.2 Untersuchungszeiträume**

Der Untersuchungszeitraum gliedert sich in drei Abschnitte mit unterschiedlicher Kontrollintensität:

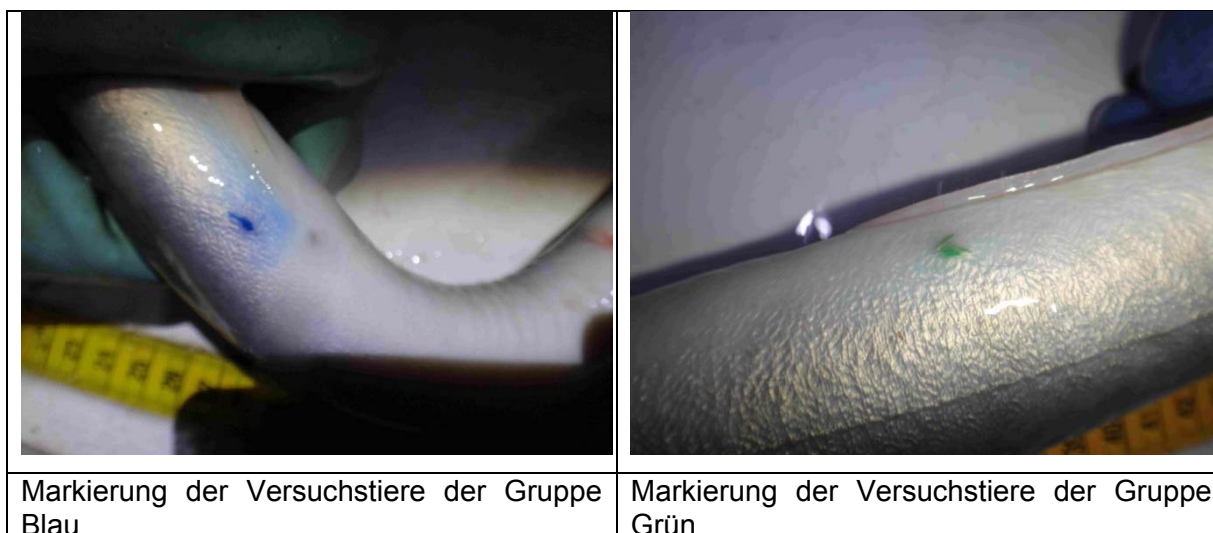
1. Ab dem Einsetzen der Aalabwanderung im Juli 2015 wurde täglich der Abwanderungsweg über den Aalabstieg und über das bodennahe Rohr seitlich neben dem Rechenfuß kontrolliert. Die Kontrolle fand jeden Morgen nach Beendigung der nächtlichen Aalabwanderung durch den Wasserkraftwerksbesitzer, Herrn Bieder, statt.
2. Die intensive Untersuchungsphase fand über 5 Nächte vom 09.11. bis zum 14.11.2015 statt. In dieser Zeit wurden die markierten Aale vor die Wasserkraftanlage gesetzt und neben den Abwanderungskorridoren Aalabstieg und bodennahes Rohr zusätzlich die Abwanderung über den Rechen bzw. über die Rechenreinigung kontrolliert. Die Kontrolle der Abwanderung über den Aalabstieg und das bodennahe Rohr fand stündlich statt. Die Kontrolle des Abwanderungsweges über den Rechen war intensiver, da nach jedem Rechenreinigungsvorgang das Treibgut nach Aalen durchsucht wurde und auch zwischen den Reinigungsvorgängen das Auffangnetz kontrolliert wurde.
3. Nach der intensiven Untersuchungsphase wurde die tägliche Kontrolle der Abwanderung über den Aalabstieg und das bodennahe Rohr seitlich neben dem Rechen vom Wasserkraftwerksbetreiber fortgeführt. Sie fand bis zur Beendigung der Aalabwanderungssaison 2015/2016 statt. Da die natürlichen Hochwässer im Jahr 2015 erst ab Mitte November einsetzten, war der Abwanderungsdruck der Aale sehr hoch. Bereits Mitte Dezember 2015 waren die Blankaale größtenteils aus dem oberen Spreesystem abgewandert und die Untersuchungsphase wurde beendet.

### **4.3 Initiierung eines Hochwassers für Besatz- und Wiederfangversuch**

Wegen der ungewöhnlichen Trockenheit im Herbst 2015 waren auch während der intensiven Untersuchungszeit keine natürlichen Hochwässer zu erwarten. Es war zu befürchten, dass die eingesetzten Versuchstiere nicht abwandern würden und damit ein Wiederfang an den verschiedenen Abwanderungskorridoren bzw. deren Kontrolle nicht möglich wäre. Deshalb wurden mithilfe der Landestalsperrenverwaltung (LTV) in Sachsen 2 künstliche Hochwässer innerhalb der intensiven Untersuchungsphase initiiert. Dazu wurde aus der Talsperre Bautzen am 09.11.2015 ab 8:00 Uhr die Abgabe auf ca. 5 m<sup>3</sup>/s erhöht, wobei der Zielwert am Pegel Sprey von ca. 8,5 m<sup>3</sup>/s erreicht werden sollte. In der ersten Kontrollnacht am 09.11.2015 erhöhte sich der Abfluss deutlich ab 22:00 Uhr und erreichte zwischen 2:00 Uhr und 3:00 Uhr den Maximalabfluss von 7,41 m<sup>3</sup>/s bevor er anschließend leicht auf 7,24 m<sup>3</sup>/s bis zu den frühen Morgenstunden absank. Tagsüber sank der Abfluss am 10.11.2015 bis 4,87 m<sup>3</sup>/s ab. Die Spree war jedoch durch das Hochwasser immer noch deutlich getrübt. Am frühen Morgen des 10.11.2015 wurde durch die LTV der Zuleiter Bärwalde geöffnet und dadurch die zweite Hochwasserwelle initiiert. Diese führte am Standort Ruhlmühle in der Nacht vom 10.11. zum 11.11. 2015 ab 20:00 Uhr zu einem deutlichen Anstieg des Abflusses mit einem Maximalabfluss von 8,26 m<sup>3</sup>/s zwischen 23:00 Uhr und 0:00 Uhr. Die zweite Abflusswelle sank nur langsam bis in den frühen Morgenstunden am Ende der Aalabwanderung ab und erreichte einen Wert von 7,41 m<sup>3</sup>/s. Der Abfluss der Spree blieb auch tagsüber verhältnismäßig hoch und stieg bis in die Mittagsstunden (12:00 Uhr) auf einen Abfluss von 7,58 m<sup>3</sup>/s an. Das Wasser war weiterhin trüb. In der dritten Kontrollnacht vom 11.11. bis 12.11.2015 sank der Abfluss stark ab, da zuvor durch das LTV der Zuleiter Bärwalde geschlossen worden war und die Talsperrenabgabe aus der Talsperre Bautzen auf ihren Vorgabewert reduziert wurde. Die vierte und fünfte Kontrollnacht fanden dementsprechend bei niedrigen Abflüssen der Spree statt. In beiden Nächten war das Wasser der Spree nicht mehr getrübt.

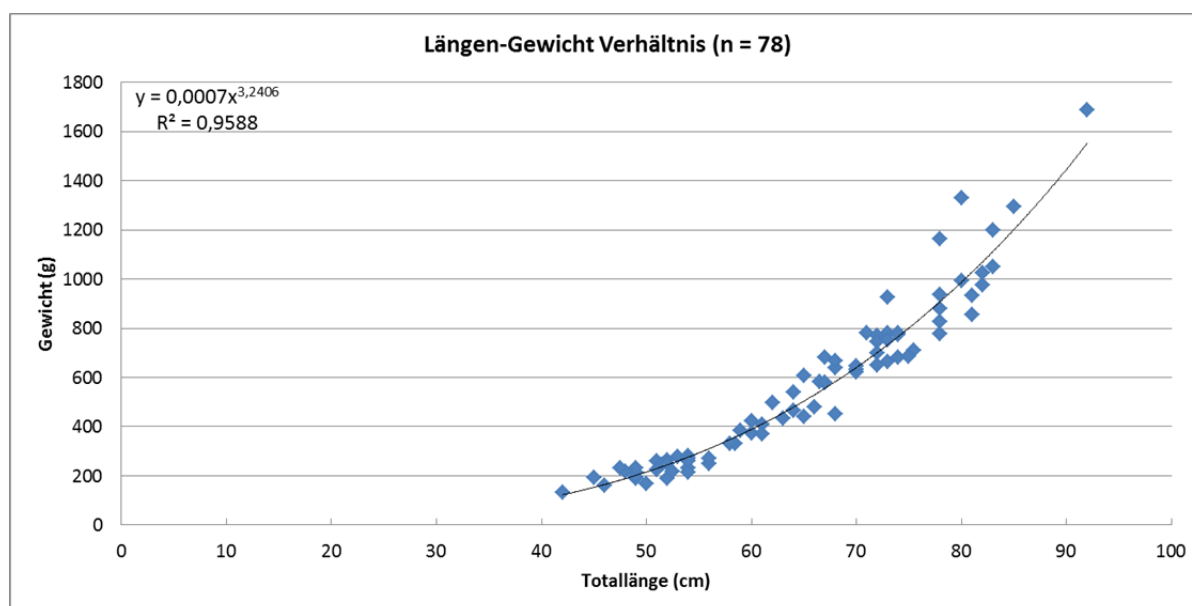
### **4.4 Herkunft, Markierung und statistische Hauptwerte der Versuchstiere**

Aus der Havel wurden von einem ortsansässigen Berufsfischer insgesamt 230 Blankaale bezogen und in der Teichanlage des LfULG zwischengehältet. Insgesamt 152 Tiere wurden am 30.10.2015 mit der Farbe blau auf ihrer hellen Unterseite markiert. Am 08.11.2015 wurden 78 Aale für einen Besatzversuch mit der Farbe Grün markiert. Die Markierung erfolgte mithilfe eines Dermajet (Firma Akra), der die Farbe mit hohem Druck in die Unterhaut appliziert.



**Abbildung 4:** Markierungen der Versuchstiere.

Alle grün markierten Aale wurden vor den Besatzversuch gemessen und gewogen. Dabei war eine positive Korrelation zwischen Totallänge und Gewicht festzustellen ( $R^2 = 0,9588$ ).



**Abbildung 5:** Längen-Gewichtsbeziehung der Versuchstiere mit grüner Markierung.

Die blau markierten Aale wurden durch Mitarbeiter des LfULG besetzt und vorher nicht gemessen und gewogen. Die Daten zur den Längen dieser Tiere stammen deshalb ausschließlich von den Wiederfängen dieser Gruppe. Die nachfolgende Tabelle zeigt die statistischen Hauptwerte beider Besatzgruppen.

Statistische Hauptwerte	Versuchstiere: Markierung grün (n= 78)	Versuchstiere: Markierung blau (n = 61)
Mittlere Totallänge (cm)	64,9	54,7
Maximale Totallänge (cm)	92	78
Minimale Totallänge (cm)	42	35
Standardabweichung Totallänge	11,8	10,2

**Tabelle 2:** Statistische Hauptwerte der Versuchstiere.

#### **4.5 Eingesetzte Fanggeräte für die Abwanderungskorridore**

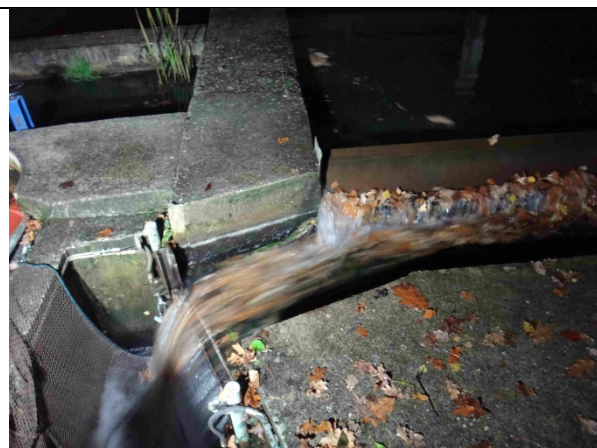
Folgende Fanggeräte wurden verwendet, um die Aale in den verschiedenen Abwanderungskorridoren abzufangen:

Abwanderungskorridor Rechen: Während der Zeitdauer der intensiven Untersuchung des Aalabstieges über insgesamt 5 Nächte wurde das Rechengut kontrolliert. Dazu wurden das Treibgut und die Aale durch ein Netz mit der Maschenweite 15 x 15 mm am Ende der Abschwemmrinne aufgefangen. Dieses Netz wurde nach jedem Rechenreinigungsvorgang kontrolliert. Dazu wurde das Netz vollständig angehoben und das Schwemmgut nach Aalen durchsucht. Zwischen den Reinigungsvorgängen wurde unregelmäßig kontrolliert, ob Aale unabhängig von der Rechenreinigung über den Rechen in die Abschwemmrinne abwanderten.

Abwanderungskorridor Aalabstieg: Am Ende des Auslaufes des Aalabstiegsrohres in die Fischaufstiegsanlage wurde ein Auffangfass mit einem Durchmesser von 45 cm und einer Höhe von 82 cm installiert. Die Aale fielen in das Fass durch eine Kehle. Die Kehle stammte von einer handelsüblichen Aalreuse aus Plastik mit den Maßen 60 x 50 cm. Das Fass war mit einer Lochung von 13 mm versehen, damit das Wasser aus dem Aalabstieg ablaufen konnte. Dieser Wanderkorridor wurde während der intensiven Untersuchungsphase von 5 Nächten stündlich kontrolliert. Außerhalb dieses Zeitraumes fand die Kontrolle einmal am Tag am frühen Morgen nach Ende der nächtlichen Aalabwanderung statt.

Abwanderungskorridor bodennahes Loch seitlich neben dem Rechenfuß: Das bodennahe Loch befindet sich in der Mauer auf der rechten Uferseite am Fuße des Rechens. Es ist der sohnnahe Einlauf in die Fischaufstiegsanlage, die an der Ruhlmühle als Mäanderfischpass ausgeführt ist. Der Einlauf wird als Rohrleitung vom Rechenfuß nach oben in das letzte Becken des Mäanderfischpasses geführt. Die Rohrleitung ist mit einem Durchmesser von 0,5

m verhältnismäßig breit. Allerdings wird der Querschnitt des Rohres durch die Leitung des Aalabstieges etwas verringert. Die Leitung wird in Form eines flexiblen Gummi-Spiralsaug-Druckschlauches der Firma Hübner (Innendurchmesser: 150 mm) durch das Rohr auf das Niveau des letzten Beckens geführt und von dort aus weiter bis in das viertoberste Becken der Fischaufstiegsanlage. Der oberflächennahe Zulauf in die Fischaufstiegsanlage befindet sich oberhalb des bodennahen Einlaufes in der Mauer der rechten Uferseite. Er hat ebenfalls einen Durchmesser von 0,5 m und endet im oberen Becken der Fischaufstiegsanlage. Diese Leitung wurde während der gesamten Untersuchungszeit verschlossen, damit oberflächennah schwimmendes Treibgut (Laub, Äste) die nachfolgende Fangkammer im vorletzten oberen Becken des Fischpasses nicht verstopfen konnte. Dadurch war der oberflächennahe Abwanderkorridor für die Aale verschlossen. Die Fangkammer im vorletzten Becken des Fischpasses wurde genutzt, um die Aale, die durch das bodennahe Loch am Rechenfuß abwanderten, abzufangen. Die Kammer umfasste das gesamte Becken und hatte eine Länge von ca. 1,4 m und eine Breite von ca. 1,1 m. Beide Schlitze des Beckens waren mit Lochgittern (12 mm x 12 mm) abgesperrt, wobei in das obere Gitter eine Kehle von 60 x 50 cm eingebaut war. Das gesamte Becken war mit einem Lochgitter mit den Maßen 12 mm x 12 mm abgedeckt. Während des intensiven Untersuchungszeitraumes über 5 Nächte wurde das Becken stündlich kontrolliert. Außerhalb dieses Zeitraumes fand die Kontrolle täglich jeden Morgen nach Ende der nächtlichen Aalabwanderung statt.



Spülvorgang der Abschwemmrinne hinter dem Rechen



Rechengut im Auffangnetz



Aal im Rechengut



Auffangfass für den Aalabstieg



Reusenkehle im Auffangfass



Stündliche Kontrolle des Aalabstiegs in der Nacht



Kontrolle des Aalabstiegs nach Ende nächtlicher Abwanderung



**Abbildung 6:** Fanggeräte der Abwanderungskorridore und deren Kontrolle.

#### **4.6 Ermittlung der methodenbedingten Schäden**

Beim Fang der abwandernden Aale können diese methodenbedingte Schädigungen davontragen. So können beim Netz- oder Reusenfang typische, rautenförmige Maschenabdruckmuster bzw. Gittermuster auf der Körperoberfläche entstehen, wenn die Fische zu stark an die Begrenzungen der Fangvorrichtung gedrückt werden. Generell müssen dann die methodenbedingten Schäden durch Optimierung der Fangtechnik minimiert werden. Um den Anteil der methodenbedingten Schäden an der festgestellten Gesamtschädigung quantifizieren zu können, wurden jeweils 20 Aale in die Fangvorrichtungen der Abwanderungskorridore Aalabstieg und bodennahes Loch am Rechenfuß gesetzt. Auf eine Kontrolle der methodenbedingten Schäden im Abwanderungskorridor Rechen wurde verzichtet, da das Netz sofort nach jedem Rechenreinigungsvorgang kontrolliert wurde und sich die Aale deshalb nur sehr kurz dort aufhielten. Die Anzahl der eingesetzten Aale entsprach erwartungsgemäß der festgestellten Anzahl in den Fangkammern. Die Tiere wurden dort eine Stunde lang belassen, was der maximalen Aufenthaltsdauer gefangener Aale in den Fanggeräten während der intensiven Untersuchungsphase entspricht. Anschließend wurde eine Schädigungsanalyse aller Tiere durchgeführt (s.u.), um die methodenbedingte Schädigungsrate (Referenzschädigung) zu ermitteln.





**Abbildung 7:** Ermittlung der methodenbedingten Schäden.

#### 4.7 Schadensklassen

Alle wiedergefangenen Fische in den Abwanderungskorridoren wurden auf sichtbare Verletzungen hin untersucht. Dadurch sollten Schäden, die bei der Abwanderung der Tiere durch Hindernisse im Abwanderungsweg oder zu große hydraulische Belastungen entstehen können, registriert werden. Die jeweiligen Verletzungen wurden standardisiert mit Angabe der Verletzungsart, des Verletzungsausmaßes und sichtbarer Infektionen protokolliert. Waren die Fische tot, wurde dies ergänzend zum Verletzungsbild vermerkt. Fische, die aufgrund sichtbarer Merkmale bereits als „länger tot“ (starr, trübe Augen, blasse Kiemen, verpilzt, angefressen usw.) zu erkennen waren, wurden im Protokoll markiert, um sie bei der späteren Auswertung von standortbedingt frisch verendeten Tieren zu unterscheiden. Die Klassifizierung der Verletzungen erfolgte nach dem Schema der Arbeitshilfe (2015):

VK	Verletzungsart	Verletzungsausmaß	Infektion
I	Keinerlei sichtbare Verletzungen		
II	Schuppenverluste, Blutpunkte im Auge, Hämatome und Schürfwunden ohne offene Wunden, Fleischwunden	einseitig, beidseitig	Verpilzung, bakterielle Entzündung
III	offene Wunden, Fleischwunden, Schnittverletzungen, offene Abschürfwunden	einseitig, beidseitig	Verpilzung, bakterielle Entzündung
IV	Teilamputationen, Frakturen der Wirbelsäule		Verpilzung, bakterielle Entzündung
V	Amputation, Totaldurchtrennung		Verpilzung, bakterielle Entzündung

**Tabelle 3:** Verletzungsarten und die sich daraus ableitenden Verletzungskategorien (VK), sowie ergänzende Daten zu Verletzungsausmaß und Infektionen.

Allein aus den Verletzungskategorien sind noch keine sicheren Aussagen zur Schädigung ableitbar, da äußerlich nicht sichtbare Verletzungen vorliegen können. Aus diesem Grund ist zusätzlich zu berücksichtigen, ob die Tiere tot oder lebendig im Fanggerät vorgefunden wurden. Durch Kombination dieser Informationen mit der Verletzungskategorie wurden nach der Arbeitshilfe (2015) drei Schädigungskategorien gebildet. Kategorie „A“ umfasst alle lebenden, unverletzten und leichtverletzten Fische, bei denen eine bleibende Beeinträchtigung nach der Passage des WKA-Standortes unwahrscheinlich ist. In Kategorie „B“ werden die Fische eingestuft, die ebenfalls leben, aber mäßige Verletzungen aufweisen. Bei dieser Gruppe ist beispielsweise aufgrund sekundärer Infektionen, einer schlechten allgemeinen Konstitution oder einem erhöhten Prädationsrisiko von einer Beeinträchtigung der Fitness oder einem vorzeitigen Tod auszugehen. Die Kategorie „C“ umfasst Fische der Verletzungskategorie IV und V, die mit hoher Wahrscheinlichkeit kurzfristig diesen Verletzungen erliegen werden, sowie alle toten Tiere.

Zustand	Verletzungskategorien				
	I	II	III	IV	V
lebend	A (gering/keine)		B (mittel)	C (letal/präletal)	
tot	C (letal)				

**Tabelle 4:** Kombination der Verletzungskategorie mit dem Zustand der Fische (tot/lebend) zur Ableitung der Schädskategorien.

#### 4.8 Verzögerte Mortalität

Da anlagenbedingte Schädigungen mit zeitlicher Verzögerung zum Tode führen können, wurden die abgefangenen Aale über 48 Stunden gehältert. Eine Hälterungsdauer von 48 Stunden ist in vielen nordamerikanischen Studien Standard (SCHILT 2007) und bildet die Gesamtmortalität hinreichend ab, ohne dabei eine hohe hälterungsbedingte Mortalität hervorzurufen. Mittlerweile wurde diese Methode mehrfach in Deutschland praktiziert (SCHNEIDER et al. 2012, SCHNEIDER & HÜBNER 2014, WAGNER 2016) und in der Arbeitshilfe (2015) zum Standard erklärt. Bei der Hälterung sorgte eine Pumpe für einen permanenten Wasseraustausch zwischen Hälterungsbecken und der Spree. Nach Ablauf der Zeit wurden alle Tiere hinsichtlich ihrer Vitalität (lebend/tot) und ihrer Schäden kontrolliert (s.o.).

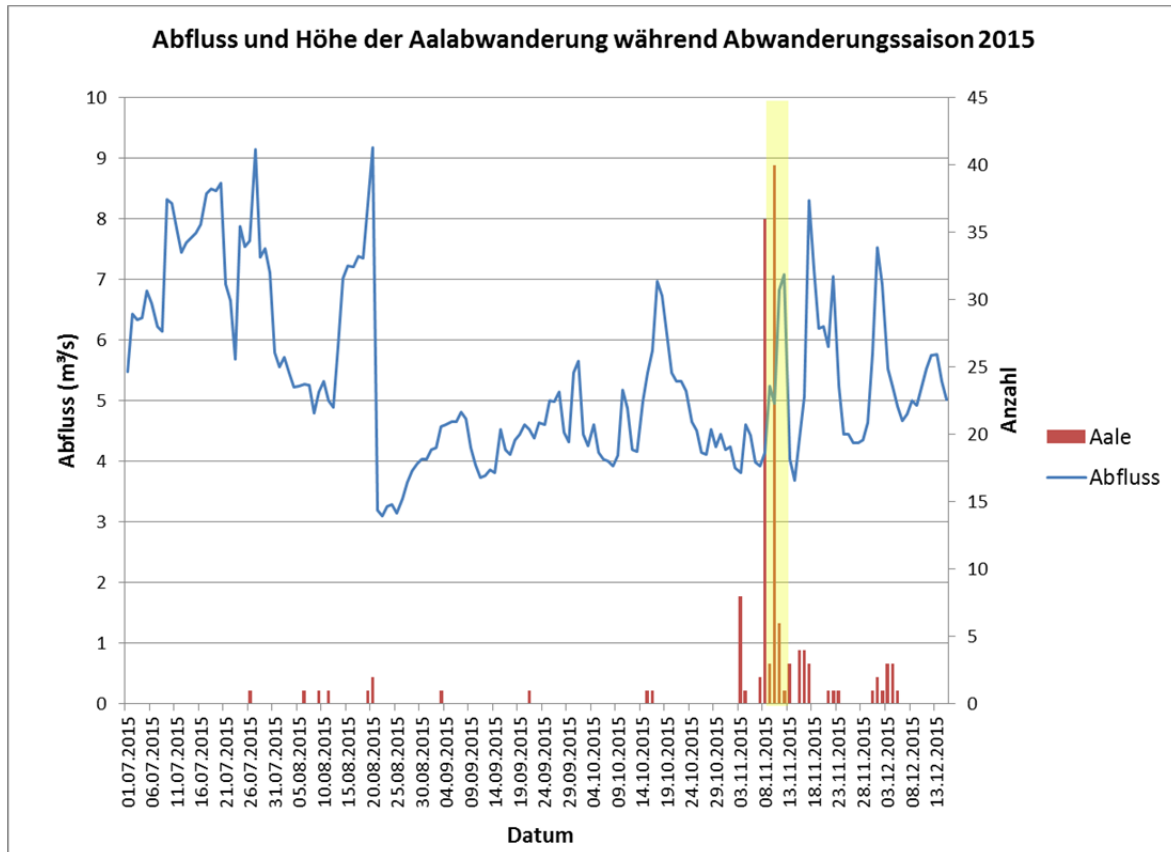
## 5 Ergebnisse

### ***5.1 Abfluss und Höhe der Aalabwanderung während der Abwanderungssaison 2015***

Im Jahr 2015 wurde am 26.07. der erste abwandernde Blankaal an der Ruhlmühle gefangen. Die Abwanderung wurde durch Hochwässer mit Abflussspitzen von 8,3 bis 9,2 m<sup>3</sup>/s ausgelöst. Diese hatten am 09.07. begonnen und dauerten noch an, als der 60 cm lange Aal 17 Tage später an der Ruhlmühle gefangen wurde. In den darauffolgenden Tagen wurden, trotz fallender Wasserstände, drei weitere große Blankaaale gefangen. In den Nächten zwischen dem 19. und 20.08. kam es erneut zu einem sehr starken Anstieg des Abflusses von 7,4 auf 9,2 m<sup>3</sup>/s und anschließend zu einem extremen Abfall auf 3,2 m<sup>3</sup>/s. In diesem Zeitraum wanderten ebenfalls 3 Aale ab. Im September und Oktober wanderten insgesamt nur 4 Tiere ab. Auffallend dabei ist, dass, selbst als die Spree am 15.10. erstmals im Herbst wieder merklich von 4,2 auf 7 m<sup>3</sup>/s anstieg, lediglich 2 Aale gefangen wurden. Bei einem normalen Aalbestand in der Spree hätte dieser Anstieg den Start in die Hauptsaison der Aalabwanderung im Jahr 2015 bedeutet und es wären dementsprechend viele Aale zu erwarten gewesen. Die bis zu diesem Zeitpunkt festgestellten Abwanderungsraten lassen auf einen sehr geringen Aalbestand in der oberen Spree schließen und bestätigen damit die Ergebnisse der vom LfULG durchgeführten Elektrobefischungen der letzten Jahre.

Zu einem merklichen Anstieg der Aalabwanderung kam es erst nach dem Besatz von 50 markierten Aalen am 02.11. und von 102 Aalen am 08.11. durch das LfULG außerhalb der intensiven Untersuchungsphase. Auch der weitere Besatz von 78 Aalen am 10.11. innerhalb der intensiven Untersuchungsphase führte vermehrt zu Fängen abwandernder Blankaaale. Dabei konnte nur teilweise ein Zusammenhang zwischen Abfluss und Aalabwanderung festgestellt werden (s.u.). Bis zum Ende der intensiven Untersuchungsphase am 14.11. waren die meisten besetzten Aale abgewandert und die Höhe der Abwanderung pro Nacht nahm wieder stark ab. Die Anzahl der abgewanderten Tiere pro Nacht blieb auch bei den aus der Spree stammenden Aalen ab Mitte November gleich groß und überschritt niemals den Wert 3. Allerdings stiegen die Abwanderungszahlen ab Mitte November in der ersten Hochwasserphase deshalb deutlich an, weil die wenigen natürlich abwandernden Aale zusammen mit den wenigen vom Besatz übriggebliebenen Aalen zusammen abwanderten. So wurden in der ersten Hochwasserphase vom 15.11. bis zum 23.11. nach der intensiven Untersuchungsphase insgesamt 14 Aale abgefangen. Diese verteilten sich auf 2 Hochwasserspitzen, wobei die meisten Tiere (Max. 4 pro Nacht) auf die erste Spitze entfielen. Von allen abwandernden Tieren war die Hälfte markiert und stammte somit aus dem Besatz der Wiederfangversuche. Das zweite Hochwasser nach der intensiven Untersuchungsphase fand vom 30.11. bis 05.12. statt. Dabei wanderten insgesamt 11 Aale

ab, wovon 6 Tiere markiert waren. Das nachfolgende Hochwasser vom 11.12. bis 13.12. führte zu keiner weiteren Aalabwanderung. Es wurde deshalb davon ausgegangen, dass die meisten Blankaale die obere Spree bereits verlassen hatten. Somit wurde das Monitoring der Aalabwanderung eingestellt.



**Abbildung 8:** Abflussverhältnisse und Höhe der Aalabwanderung während des Untersuchungszeitraums. Die Phase intensiver Untersuchung ist gelb unterlegt.

## 5.2 Einfluss des Abflusses auf die Abwanderung der Versuchstiere nach Besatz

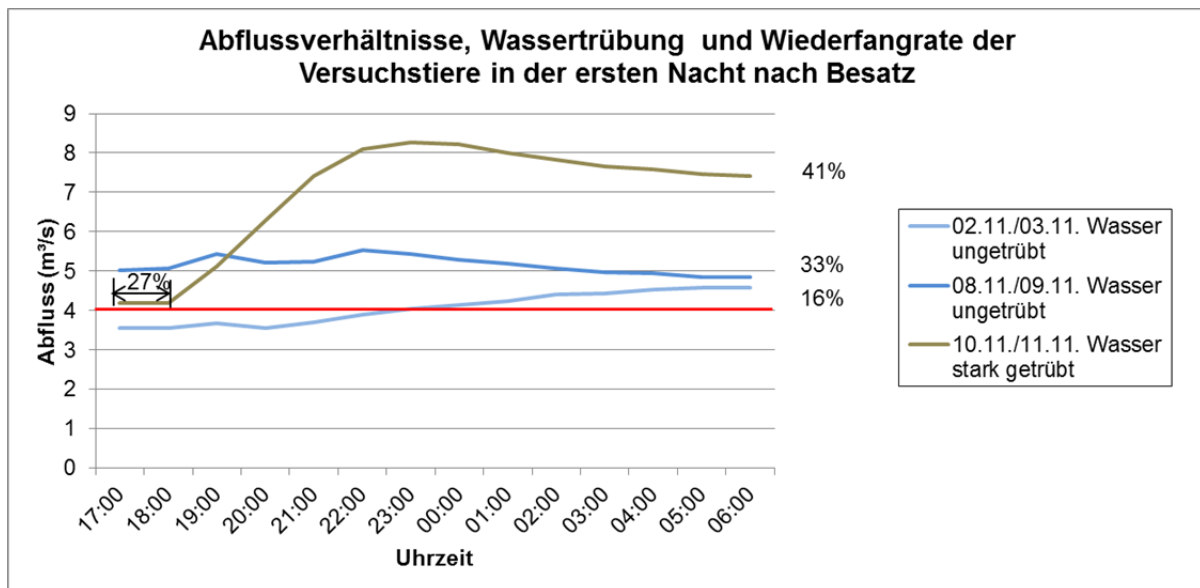
Durch den Besatz und Wiederfang der Aale zu unterschiedlichen Zeitpunkten und Abflüssen konnte das Abwanderungsverhalten der Besatztiere näher untersucht werden. Bei allen drei Besatzversuchen war auffällig, dass die meisten Tiere bereits in der ersten Nacht nach dem Besatz gefangen wurden. Von den 50 am 02.11. besetzten markierten Aalen wanderten 8 Aale ab, obwohl der Abfluss der Spree vom 02.11 auf den 03.11. nur leicht angestiegen war (von 3,6 auf 4,6 m³/s). Allerdings wurden keine unmarkierten Tiere gefangen, die eine natürliche Aalabwanderung in der Spree angezeigt hätten. Insgesamt lag die Wiederfangrate vom Besatz nach der ersten Folgenacht bei 16 %. Kurz vor Beginn der intensiven Untersuchungsphase fand der zweite Besatz am 08.11. statt. Danach wurden von den 102

besetzten Aalen in der ersten Folgenacht 36 Tiere wiedergefangen (Wiederfangrate 33 %). In dieser Nacht stieg der Abfluss zuerst geringfügig von 5,0 m<sup>3</sup>/s auf 5,5 m<sup>3</sup>/s an und sank danach auf 4,8 m<sup>3</sup>/s ab. Zudem war eine natürliche Aalabwanderung feststellbar (insgesamt 2 unmarkierte Aale). Am 10.11., innerhalb der intensiven Untersuchungsphase, wurden 78 Blankaale besetzt und in der darauffolgenden Nacht die höchste Abwanderungsrate mit insgesamt 40 Tieren verzeichnet. In dieser Nacht stieg der Abfluss zuerst von 4,2 m<sup>3</sup>/s auf 8,3 m<sup>3</sup>/s an und sank daraufhin auf 7,4 m<sup>3</sup>/s ab. Ursache für den starken Anstieg war das künstliche Hochwasser, das vom LTV initiiert wurde. Die Wiederfangrate vom Besatz lag in der ersten Folgenacht mit 49 % am höchsten. Zusätzlich wanderten 2 unmarkierte Aale natürlicherweise in der Spree ab.

Interessanterweise wurden weder von den am 02.11. noch von den am 08.11. besetzten blau markierten Aalen so hohe Stückzahlen pro Nacht wiedergefangen wie in der ersten Nacht nach Besatz. Auch die beiden durch die LTV initiierten Hochwässer in den nachfolgenden Nächten (09.11./10.11. und 10.11./11.11) konnten die Wiederfänge pro Nacht in dieser Besatzgruppe nicht erhöhen. Dasselbe Ergebnis war auch bei den am 10.11. besetzten grün markierten Aalen feststellbar. Hier wurde ebenfalls die höchste Anzahl an Wiederfängen pro Nacht in der ersten Folgenacht nach Besatz registriert. Allerdings konnte die Wirkung eines Hochwassers auf die Abwanderung bei dieser Besatzgruppe nicht getestet werden, da ab der zweiten Folgenacht (11.11. auf 12.11.) nur fallende Wasserstände innerhalb der intensiven Untersuchungsphase vorkamen. Bemerkenswert ist bei dieser grün markierten Besatzgruppe jedoch, dass in der ersten Folgenacht 27 % der Tiere innerhalb von 2 Stunden nach Besatz abwanderten, obwohl der Abfluss der Spree noch nicht durch das künstlich erzeugte Hochwasser stark anstieg (s. auch Kap. 5.4.2). Als der Wasserstand nach den 2 Stunden stark anstieg, wanderten mit der Welle lediglich weitere 14 % der Besatzaale ab. Somit war der Effekt eines steilen Anstiegs des Wasserstandes auch bei Aalen dieser grün markierten Besatzgruppe nicht sehr hoch.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass stark steigende Abflüsse bei Besatz- und Wiederfangversuchen nicht zwangsläufig zu hohen Wiederfangraten führen. Während bei natürlich im Gewässer vorkommenden Aalen offensichtlich bestimmte Abflussgrenzwerte und damit sicherlich Trübungsgrade des Wassers überschritten sein müssen, reagierten Versuchstiere unabhängig davon zum Teil mit sofortiger Abwanderung, nachdem sie von einer Hälterung in einen Fluss gesetzt wurden. Insofern ist der Besatzzeitpunkt sehr entscheidend für die Planung von Besatz- und Wiederfangversuchen. Allerdings konnte die Abwanderungsrate ohne Anstieg der Wasserstände bei der Besatzgruppe Grün nur in einer kurzen Zeitspanne von 2 Stunden aufgenommen werden. Vermutlich wären in dieser Zeit sehr viel weniger Tiere abgewandert, wenn das Wasser nicht von dem Hochwasser der davorliegenden Nacht getrübt gewesen wäre. Damit bleiben die Faktoren steigende Abflüsse

und Wassertrübungen auch für besetzte Versuchstiere weiterhin eine wichtige Hintergrundkulisse für deren flussabwärts gerichtete Wanderung.



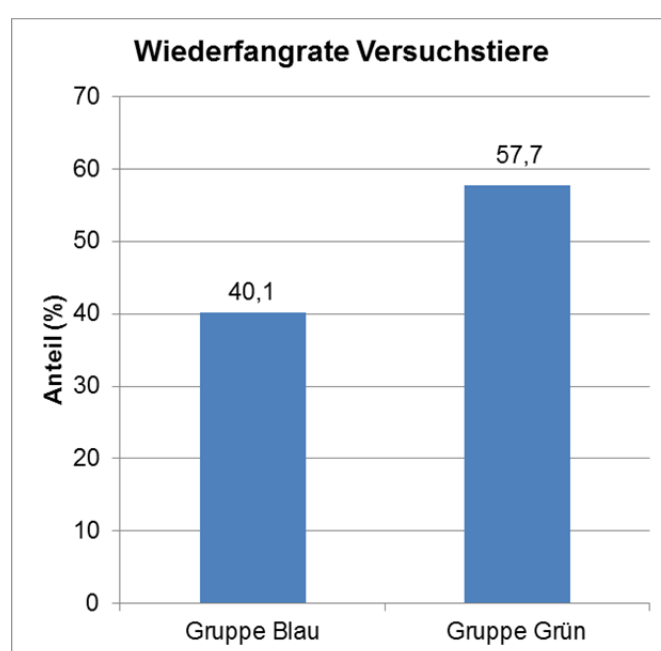
**Abbildung 9:** Abiotische Faktoren und Höhe der Wiederfangrate der Versuchstiere in der ersten Folgenacht nach Besatz. Rote Linie ist Abfluss bei MNQ.



**Abbildung 10:** Trübung der Spree tagsüber, nach erster Hochwasserwelle in der Nacht.

### 5.3 *Wiederfangraten der Versuchstiere*

Insgesamt wurden 152 Tiere mit einer blauen Markierung in die Spree gesetzt und davon 61 Tiere innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraumes wiedergefangen. Damit liegt die Wiederfangrate bei 40,1 %. Die Besatzgruppe mit grüner Markierung umfasste 78 Tiere. Davon wurden innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraums insgesamt 45 Aale wiedergefangen was einer sehr hohen Wiederfangrate von 57,7 % entspricht. Allerdings wurden zwei Tiere nach Besatz nachweislich durch äußere Einflüsse geschädigt und deshalb laut ARBEITSHILFE (2015) aus der Bewertung als Versuchstiere für die Abwanderungskorridore ausgeschlossen.



**Abbildung 11:** Wiederfangraten der Versuchstiere der Gruppen Blau und Grün innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraumes.

Die Wiederfangrate der Versuchstiere in der Gruppe Blau wurde durch eine Störung im Stromnetz des Betreibers stark beeinflusst. Einen Tag nach Besatz von 102 blau markierten Aalen kam es am 09.11. zu einer Überlast im Stromnetz. Deshalb wurde die Turbine der Ruhlmühle am 09.11. zeitweise durch den Netzbetreiber zwangsabgeschaltet. Dies hatte zur Folge, dass der gesamte Abfluss der Spree über das Klappenwehr neben der Wasserkraftanlage geleitet wurde. Der Wehrüberfall war deshalb in der Zeit von 6:30 Uhr bis 8:30 Uhr und von 11:00 Uhr bis 14:00 Uhr extrem groß. In dieser Zeit könnten wegen der plötzlich stark veränderten Strömungsverhältnisse im Oberwasser der Anlage trotz des Tageslichtes viele der blau markierten Aale über das Wehr abgewandert sein. Der Anteil der über das Wehr abgewanderten Tiere konnte leider nicht bestimmt werden. Erst 3 Stunden vor Beginn der intensiven Untersuchungsphase der ersten Nacht normalisierten sich die

Abflussverhältnisse wieder, da die Turbine der Ruhlmühle durch den Netzbetreiber wieder angeschaltet worden war.



**Abbildung 12:** Wehrüberfall nach Zwangsabschaltung der Turbine durch den Netzbetreiber.

Die Wiederfangrate der Versuchstiere in der Gruppe Grün war in unbekannter Anzahl durch Prädation reduziert. Kurz nach Besatz am 10.11. wurde beobachtet, wie mehrere Fischotter im Oberwasser der Wasserkraftanlage die besetzten Aale jagten und fraßen (Bieder, mündliche Mitteilung).

## **5.4 Verteilung der Aale auf die Abwanderungskorridore**

### **5.4.1 Verteilung der verschiedenen Gruppen auf die Abwanderungswege**

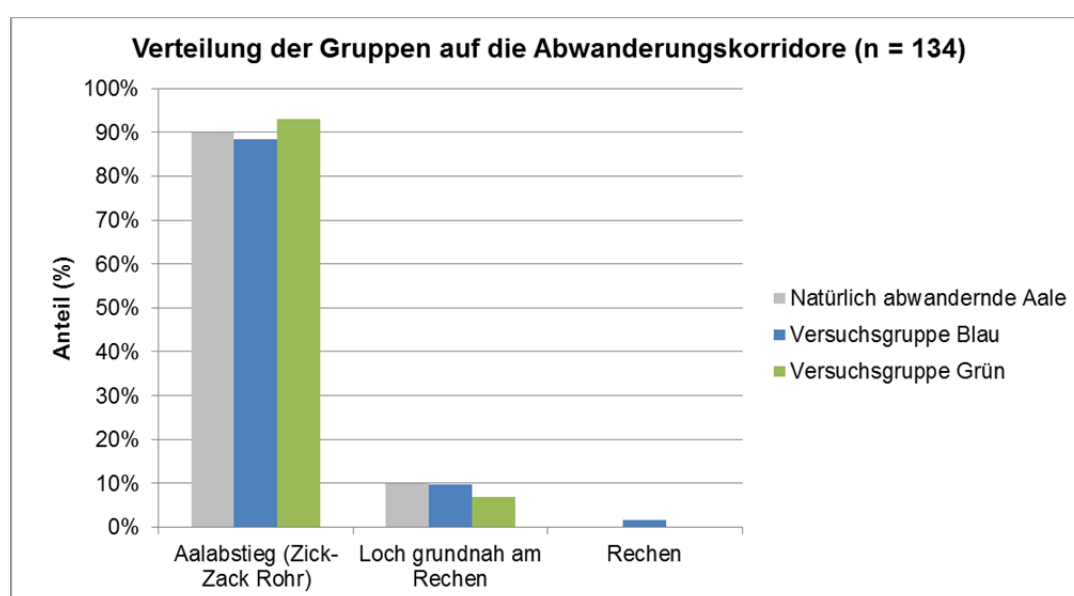
Über die gesamte Untersuchungsphase vom 01.07. bis 15.12.2015 konnte die Verteilung von insgesamt 134 Aalen auf die verschiedenen Abwanderungswege an der Wasserkraftanlage Ruhlmühle aufgenommen werden. Dabei ist zu beachten, dass außerhalb der intensiven Untersuchungsphase vom 01.07. bis 08.11. und vom 15.11. bis 15.12.2015 der Abwanderungsweg über den Rechen nicht aufgenommen wurde, da aus personellen Gründen das Rechengut nicht ununterbrochen kontrolliert werden konnte. Die Ergebnisse lassen aber darauf schließen, dass dieser Abwanderungsweg insgesamt zu vernachlässigen ist (s.u.).

Außerhalb der intensiven Untersuchungsphase sind in 163 Nächten insgesamt 81 Aale abgewandert, davon 77 Tiere über den Aalabstieg (95 % aller gefangenen Tiere) und 4 Tiere (5 % aller gefangenen Tiere) über das bodennahe Loch am Rechenfuß auf der rechten Uferseite. Innerhalb der intensiven Untersuchungsphase wanderten in 5 Nächten insgesamt 53 Aale ab, davon 44 Tiere über den Aalabstieg (83 % aller gefangenen Tiere), 8 Tiere durch



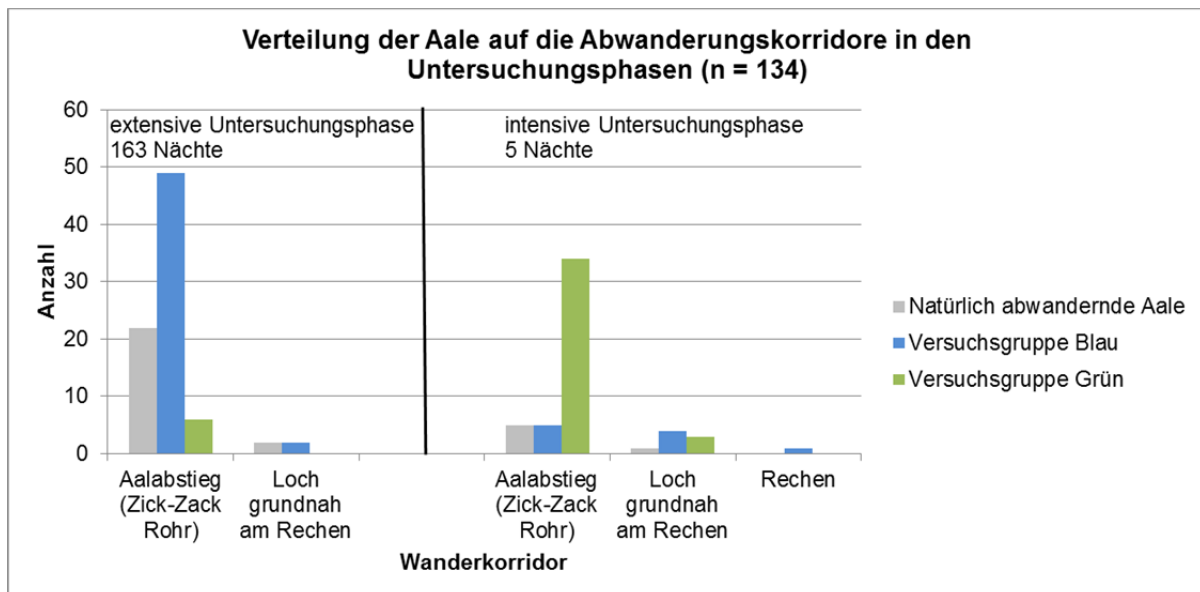
das bodennahe Loch am Rechenfuß (15 % aller gefangenen Tiere) und 1 Tier mit Treibgut über den Rechen in die Abschwemmrinne (2 % aller gefangenen Tiere).

Betrachtet man die verschiedenen Versuchsgruppen, so ergeben sich keine Unterschiede bezüglich ihrer Verteilung auf die verschiedenen Abwanderungskorridore. Insgesamt wanderten 90 % aller natürlich in der Spree vorkommenden Aale über den Aalabstieg und 10 % über das bodennahe Rohr am Rechenfuß ab. Von den wiedergefangenen Aalen der Versuchsgruppe Blau benutzten 88 % den Aalabstieg, 10% das bodennahe Rohr und 2 % den Weg über den Rechen zur Abwanderung an der WKA Ruhlmühle. Bei der Versuchsgruppe Grün wanderten 93 % über den Aalabstieg und 7 % über das bodennahe Loch am Rechenfuß ab.



**Abbildung 13:** Verteilung der verschiedenen Gruppen auf die Abwanderungskorridore.

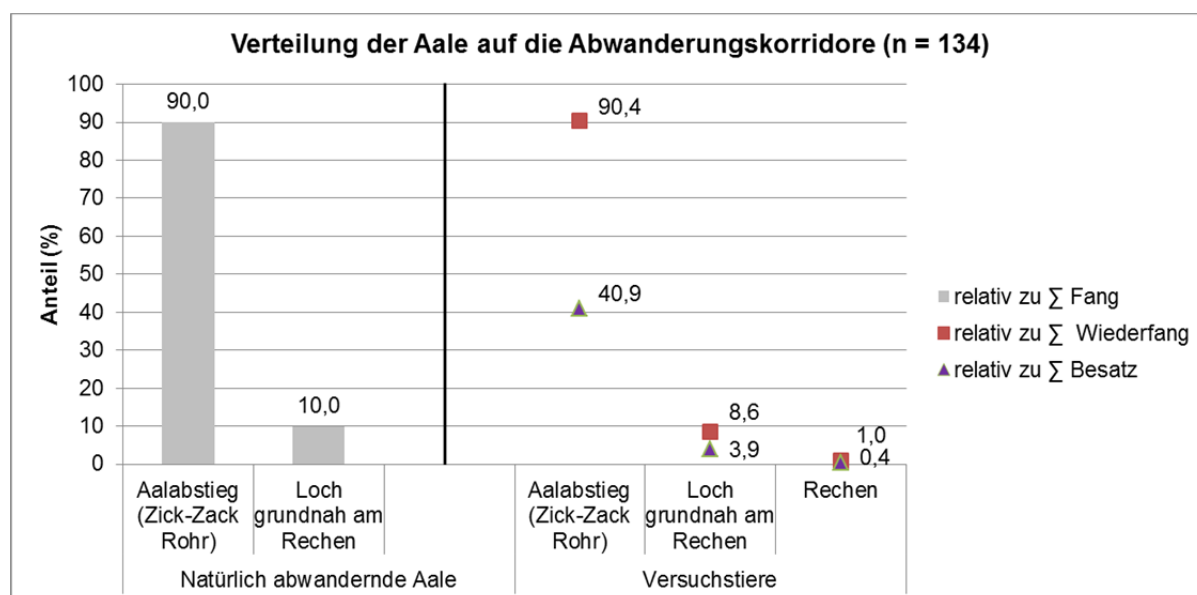
Wesentliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen gab es lediglich bezüglich ihrer unterschiedlichen Wanderungsaktivität in den beiden Untersuchungsphasen. So fand die natürliche Abwanderung der Aale in der Spree vor allem außerhalb der intensiven Untersuchungsphase statt. Dies galt auch für die Versuchsgruppe Blau. Dagegen fand die Abwanderung der Versuchsgruppe Grün vor allem innerhalb der intensiven Untersuchungsphase statt. Die Ursache für das unterschiedliche Abwanderungsverhalten der beiden Versuchstiergruppen lag in den verschiedenen Besatzzeitpunkten.



**Abbildung 14:** Verteilung der Aale auf die Abwanderungskorridore in den beiden Untersuchungsphasen.

Fasst man die Verteilung der gefangenen Versuchstiere auf die Abwanderungskorridore zusammen und stellt sie der Verteilung der natürlich abwandernden Aale in der Spree gegenüber, so wird deutlich, dass die Abwanderungsrate über den Aalabstieg annähernd gleich ist (90,4 % vs. 90,0 %). Berechnet man den Anteil ausgehend von der Grundgesamtheit des Besatzes, so sind insgesamt 41 % der besetzten Aale über den Aalabstieg abgewandert. Auch der Anteil der natürlich abwandernden Aale, die den Abstieg über das bodennahe Loch seitlich neben dem Rechen nutzten, ist mit dem Anteil der gefangenen Versuchstiere vergleichbar (10 % vs. 8,6 %). Ausgehend vom Besatz beträgt der Anteil der Versuchstiere, die diesen Abwanderungsweg nutzten, 3,9 %. Der Anteil der wiedergefangenen Aale, die den Weg über den Rechen gewählt haben, war mit 1 % bzw. mit 0,4 % (Besatztiere) äußerst gering.

Insgesamt zeigen alle Ergebnisse deutlich, dass sich das Verhalten der verschiedenen Gruppen bezüglich der Wahl der angebotenen Abwanderungswege nicht unterschieden hat. Aale aller Gruppen bevorzugten eindeutig den Aalabstieg, um in das Unterwasser der Ruhlmühle zu wandern.

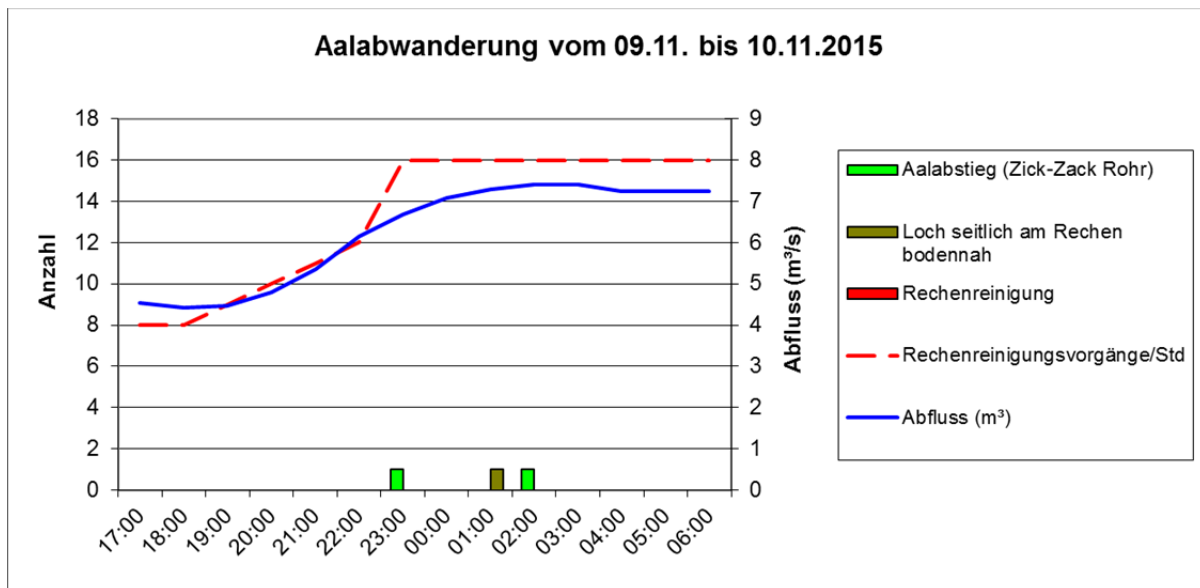


**Abbildung 15:** Gegenüberstellung der Verteilung von natürlich abwandernden Aalen und der Versuchstiere auf die Abwanderungskorridore.

#### 5.4.2 Einfluss von Abfluss und Rechenreinigung auf das Abwanderungsverhalten

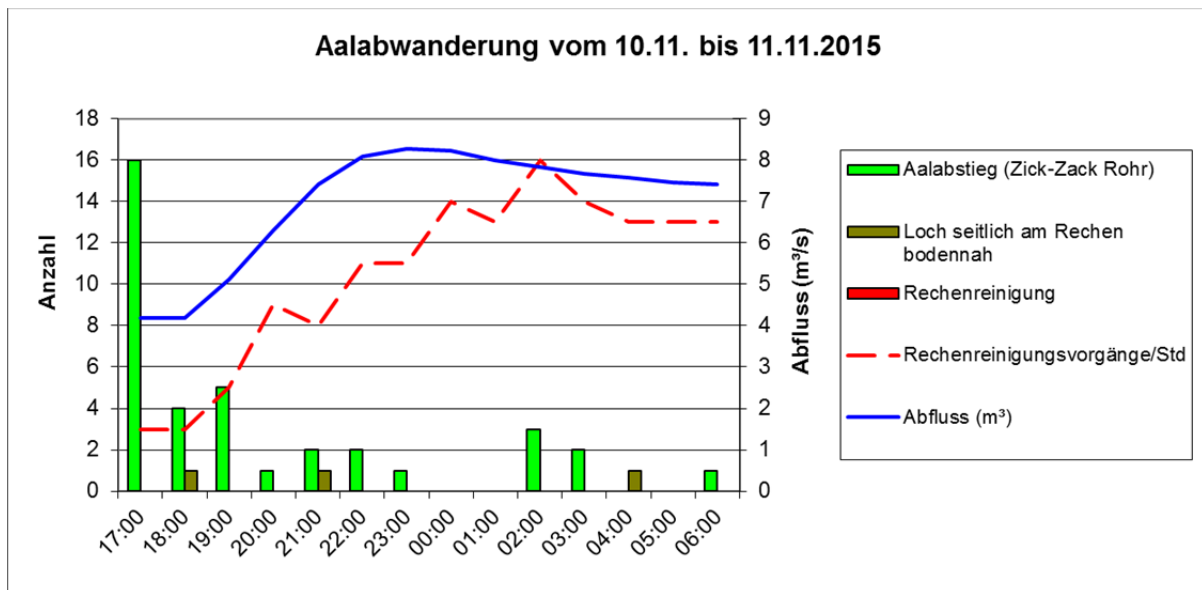
Innerhalb der intensiven Untersuchungsphase von 5 Nächten konnte das Abwanderungsverhalten der Aale in Abhängigkeit vom Abfluss und den Rechenreinigungsvorgängen dokumentiert werden.

In der ersten Nacht vom 09.11. zum 10.11. erzeugte der LTV eine Hochwasserwelle (max. Abfluss: 7,4 m<sup>3</sup>/s) am Standort Ruhlmühle. Da die Spree bereits in der Vornacht phasenweise leicht angestiegen war, befand sich schon vor Eintreffen der Welle sehr viel Laub im Wasser und die Rechenreinigung lief 8-mal pro Stunde. Als die Welle den Standort gegen 19:00 Uhr erreichte, lief die Rechenreinigung ununterbrochen, da große Laubmassen mit dem steigenden Abfluss den Fluss hinunterschwammen. Dabei erreichte die Rechenreinigung die maximale Auslastung von 16 Reinigungsvorgängen pro Stunde. Erst nachdem die Spree ein deutliches Hochwasser (> 6,6 m<sup>3</sup>/s) führte, wurden überhaupt Aale gefangen. Es handelte sich lediglich um 3 Tiere, wovon ein unmarkierter und ein blau gekennzeichnete Aal über den Aalabstieg sowie ein weiteres blau markiertes Tier über das bodennahe Rohr abwanderten. Die geringe Anzahl abwandernder Aale wird nicht auf die Störung durch die Rechenreinigung zurückgeführt, sondern auf die außerordentlich geringe Anzahl der Aale in der Spree bzw. die weitgehende Abwanderung der Versuchsgruppe Blau kurz nach Besatz in der Nacht davor.



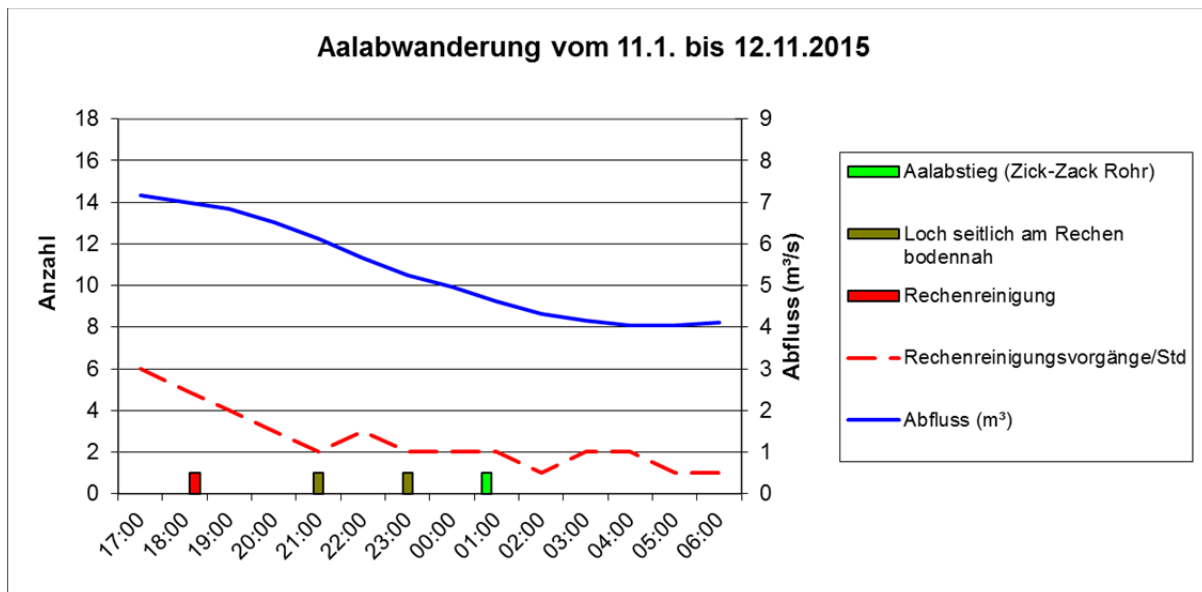
**Abbildung 16:** Abflussverhältnisse, Rechenreinigungsintervall, Zeitpunkt und Anzahl der Aale in den Abwanderungswegen während der intensiven Untersuchungsphase.

In der Nacht vom 11.11. zum 12.11. erzeugte das LTV die zweite Hochwasserwelle (max. Abfluss 8,3 m³/s). Kurz davor wurde die Versuchsgruppe Grün besetzt, die zu 27 % bereits vor dem Eintreffen der Welle abwanderte (s.o.). Ab 18:00 Uhr stieg das Wasser sehr stark an und die Anzahl der Rechenreinigungsvorgänge erhöhte sich von 8-mal die Stunde auf 16-mal die Stunde. Unabhängig von der Anzahl der Rechenreinigungsvorgänge wanderten die Aale weiter ab. Die Anzahl der Abwanderungen hing vor allem von dem Besetzzeitpunkt der Versuchsgruppe Grün ab, die in der ganzen Nacht den Großteil der abwandernden Aale stellte und innerhalb kurzer Zeit abwanderte. Von den 40 gefangenen Aalen gehörten lediglich 5 Tiere der Versuchsgruppe Blau an und nur 2 weitere kamen aus der Spree. Insofern war eine starke Abnahme der Abwanderung hauptsächlich grün markierter Aale trotz steigenden Abflusses zu beobachten. Auch als die Rechenreinigung 16-mal die Stunde lief, stiegen die Aale noch weiter ab. Bis auf 3 Aale, die das grundnahe Rohr zum Abstieg benutzten, wanderten alle Tiere über den Aalabstieg in das Unterwasser der Wasserkraftanlage.



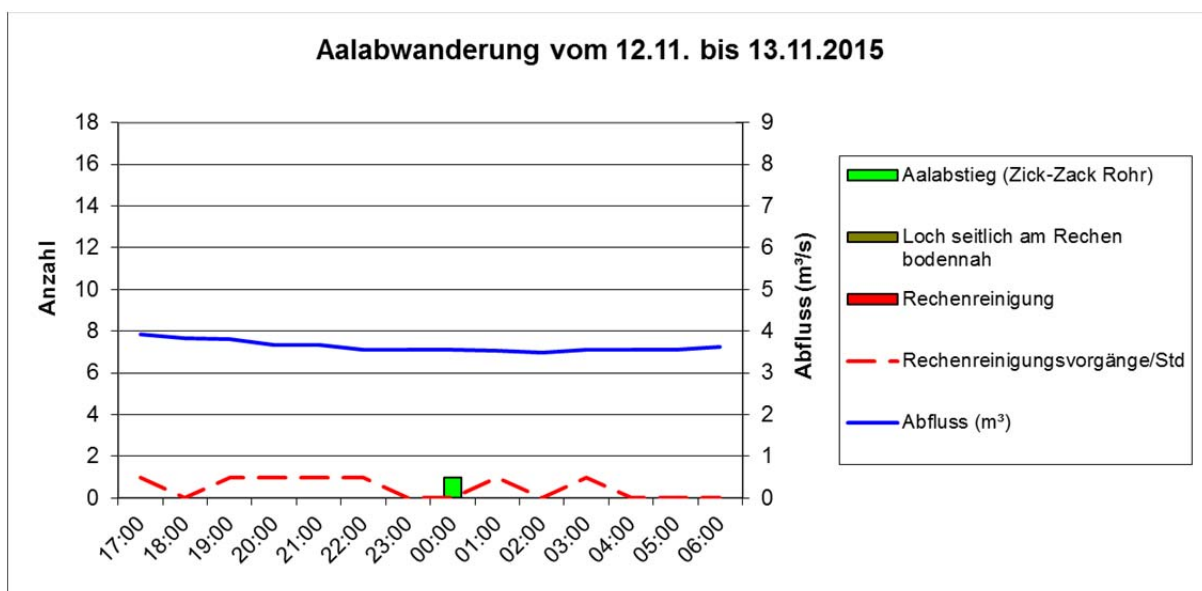
**Abbildung 17:** Abflussverhältnisse, Rechenreinigungsintervall, Zeitpunkt und Anzahl der Aale in den Abwanderungswegen während der intensiven Untersuchungsphase.

In der Nacht vom 11.11. zum 12.11. konnte keine Hochwasserwelle mehr erzeugt werden und es kam zu einem starken Rückgang des Abflusses (von 7,2 m<sup>3</sup>/s auf 4,1 m<sup>3</sup>/s). Zu Beginn der Nacht wurde gegen 18:00 Uhr der Abstieg eines einzigen Aales über den Rechen beobachtet. Es handelte sich um ein Tier der Versuchsgruppe Blau mit einer Totallänge von 52 cm. Die Rechenreinigung lief zu dieser Zeit noch 5-mal die Stunde. Es war deutlich zu sehen, wie der Aal durch die Rechenreinigung mit dem Laub am Rechen nach oben geschoben wurde. Er wurde abgefangen, nachdem er in die Abstiegsrinne transportiert worden war und von dort aus mit der Spülung in das Auffangnetz geschwemmt wurde. Das Tier wies keinerlei Verletzungen auf. Der Wasserstand der Spree sank bis 1:00 Uhr weiter ab. Nur in dieser Zeitspanne wurden 3 weitere Aale gefangen. Es handelte sich um 2 Versuchstiere der Gruppe Blau, die über das bodennahe Rohr abwanderten und ein Tier der Versuchsgruppe Grün, das den Aalabstieg nutzte. Zudem wurden 2 weitere Tiere der Versuchsgruppe Grün am Rechen abgefangen, die aufgrund ihrer starken Vorverletzungen (s. Kap. 5.8) aus den Versuchen ausgeschlossen wurden.



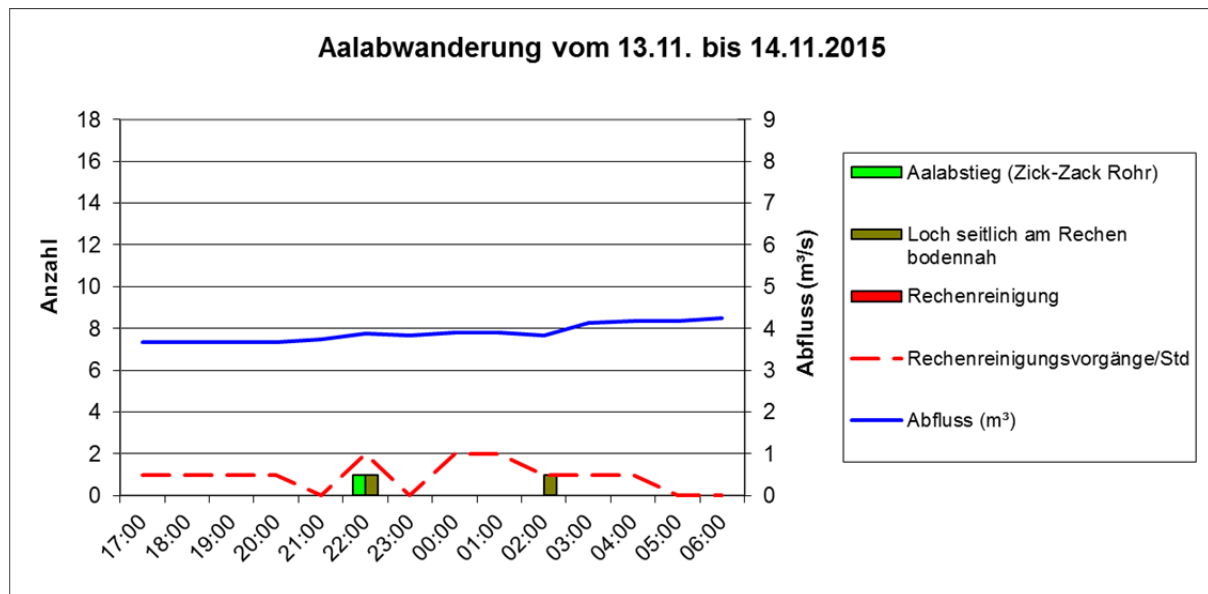
**Abbildung 18:** Abflussverhältnisse, Rechenreinigungsintervall, Zeitpunkt und Anzahl der Aale in den Abwanderungswegen während der intensiven Untersuchungsphase.

In der Nacht vom 12.11. zum 13.11. hatte die Spree einen insgesamt geringen Abfluss mit leicht fallender Tendenz (von 3,9 m<sup>3</sup>/s bis 3,5 m<sup>3</sup>/s). Das Wasser war mittlerweile wieder völlig ungetrüb, die Laubschichten verschwunden und die Rechenreinigung lief höchstens 1-mal pro Stunde. In der gesamten Nacht wurde nur der Abstieg eines blau markierten Aals über dem Aalabstieg dokumentiert.



**Abbildung 19:** Abflussverhältnisse, Rechenreinigungsintervall, Zeitpunkt und Anzahl der Aale in den Abwanderungswegen während der intensiven Untersuchungsphase.

In der Nacht vom 13.11. zum 14.11. waren die Abfluss- und Trübungsverhältnisse wie in der Nacht davor sehr gering. Allerdings war etwas mehr Laub auf dem Fluss, sodass die Rechenreinigung bis max. 2-mal pro Stunde lief. Insgesamt wanderten in der Nacht nur 3 grün markierte Aale ab. Zwei Tiere nutzten das bodennahe Rohr und ein Tier den Aalabstieg.



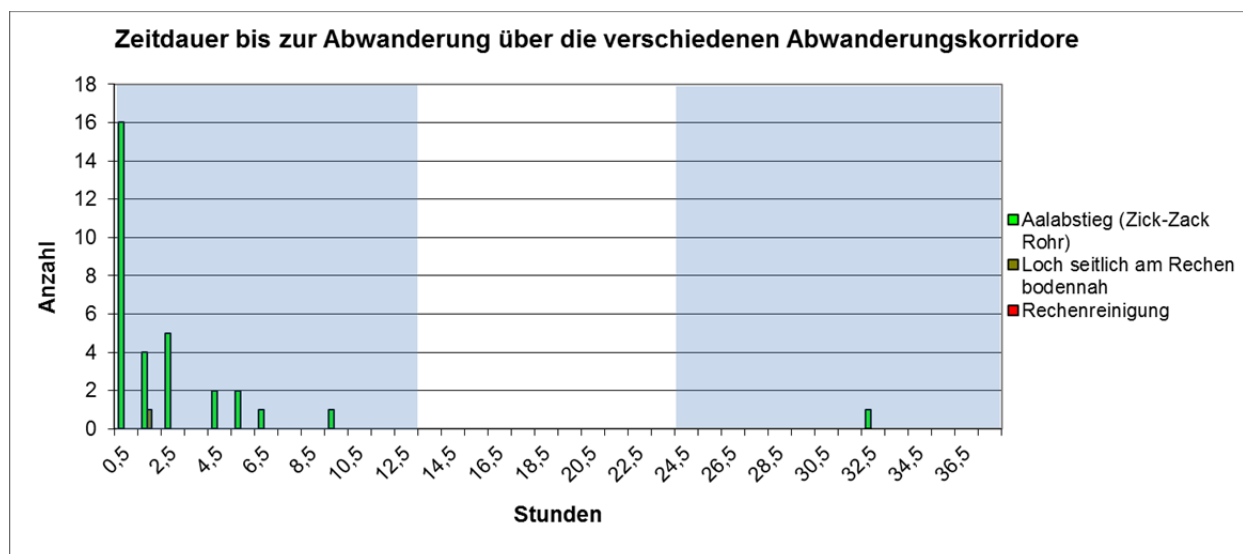
**Abbildung 20:** Abflussverhältnisse, Rechenreinigungsintervall, Zeitpunkt und Anzahl der Aale in den Abwanderungswegen während der intensiven Untersuchungsphase.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Fahrt des Rechenreinigers keinerlei negative Auswirkungen auf den Abstieg der Aale hatte. Inwieweit sich die Tiere kurzzeitig durch die Bewegungen des Rechenreinigers erschreckten und sich zurückzogen konnte nicht beurteilt werden, da keine Verhaltensbeobachtungen mittels eines DIDSON Sonars durchgeführt wurden. Insgesamt konnte keine Korrelation zwischen den Abwanderungsintervallen und den Intervallen der Rechenreinigungsvorgänge festgestellt werden. Deshalb sind die Störungen durch den Reiniger trotz der räumlichen Nähe zu den Abstiegswegen zu vernachlässigen.

Ein Einfluss des Abflusses auf die Aalabwanderung war insbesondere in den letzten zwei Nächten feststellbar, als erwartungsgemäß bei niedrigen Wasserständen und klarem Wasser kaum Abwanderung stattfand. In den anderen Nächten überlagerte dagegen der Zeitpunkt der Besatzmaßnahmen der Versuchstiere das natürliche Abwanderungsverhalten bei verschiedenen Abflüssen. Allerdings ist es durch den äußerst geringen natürlichen Aalbestand der Spree kaum möglich, einen Zusammenhang zwischen Aalabwanderung und Abfluss herzustellen.

## 5.5 Zeitdauer bis zur Abwanderung über die verschiedenen Abwanderungskorridore

Innerhalb der intensiven Untersuchungsphase konnte die Zeitdauer zwischen dem Besatz der Versuchsgruppe Grün und deren Abwanderung über die verschiedenen Abwanderungskorridore untersucht werden. Mit Eintritt der Dämmerung um 16:30 Uhr dürfte die Abwanderung der besetzten Tiere eingesetzt haben. Bei der Kontrolle um 17:00 Uhr wurden 21 % der gesetzten Tiere bereits wiedergefangen. Um 18:00 Uhr weitere 6,4 % und um 19:00 Uhr ebenfalls 6,4 %. Insgesamt waren innerhalb 9,5 Stunden nach Besatz in der ersten Nacht 41 % der besetzten Aale abgewandert. Da bis auf 1 Tier alle Aale über den Aalabstieg abgewandert sind, wurde vor allem die zeitliche Komponente bis zur Abwanderung über den Aalabstieg gemessen. Es lässt sich feststellen, dass am Rechen ankommende Aale innerhalb kürzester Zeit den Weg über den Aalabstieg in das Unterwasser finden. Dabei spielt für die schnelle Abwanderung die Größe der Aale keine Rolle, da bereits innerhalb der ersten 30 Minuten Tiere mit einer Totallänge zwischen 45-82 cm abgewandert sind.



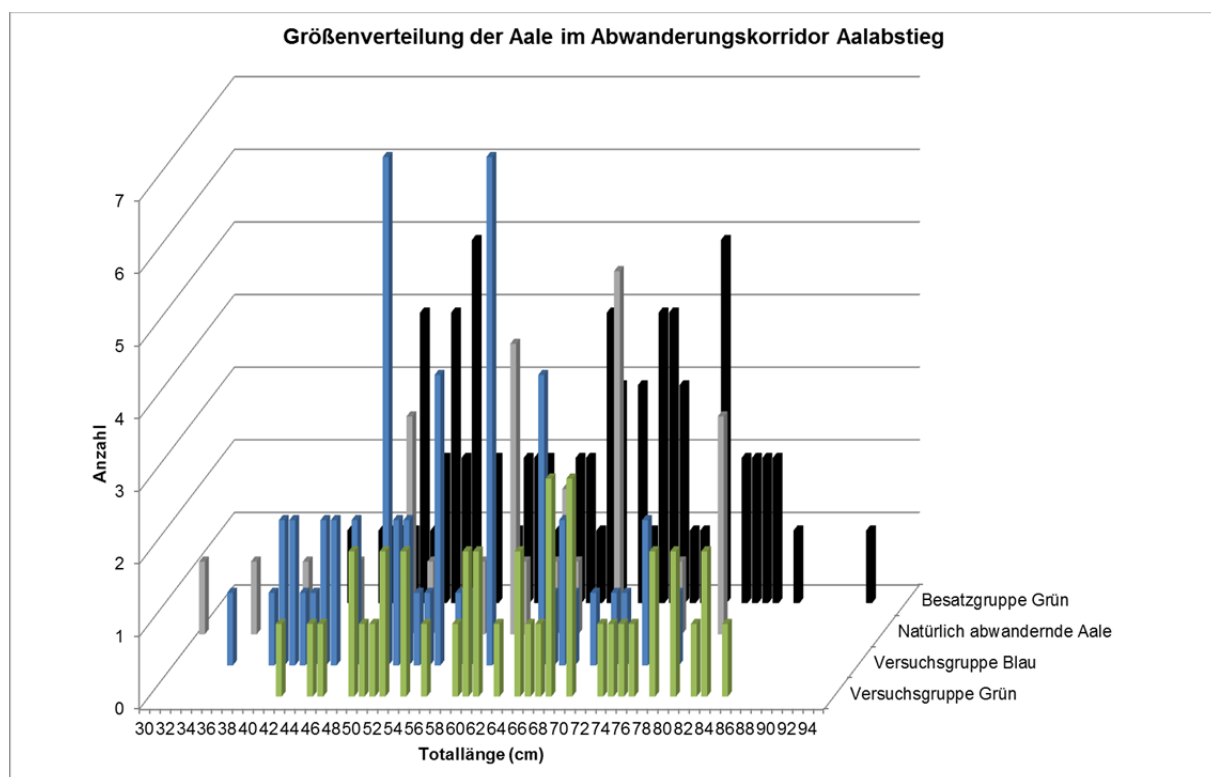
**Abbildung 21:** Zeitdauer bis zur Abwanderung über die verschiedenen Abwanderungskorridore. Grau unterlegt: Abwanderungszeit in der Nacht.



## 5.6 Größenselektivität in den Abwanderungskorridoren

### 5.6.1 Aalabstieg

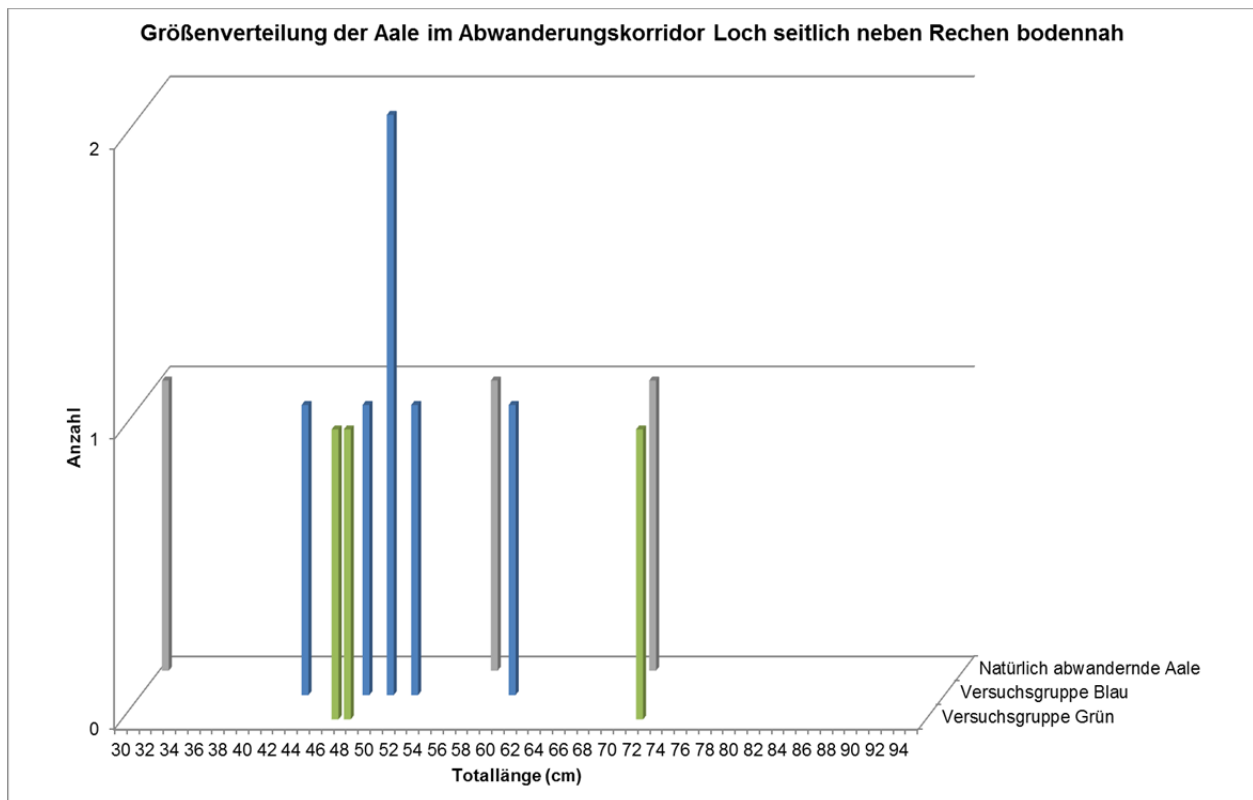
Die Längenverteilung der gefangenen Aale im Abwanderungskorridor Aalabstieg zeigte deutlich, dass dieses Abstiegssystem für Tiere aller Größen geeignet ist. Zusätzlich zu einem sehr großen Tier (TL = 92 cm) wurden in der Versuchsgruppe der grün markierten Aale alle Größen von 42 cm bis 85 cm fast lückenlos in dem Aalabstieg wiedergefangen. Von Versuchsgruppe Blau wurden insgesamt etwas kleinere Tiere mit Totallängen von 35 cm bis 78 cm in dem Aalabstieg gefangen. Noch kleiner waren die natürlich abwandernden Aale in der Spree (TL 30 cm bis 80 cm), die diesen Abstiegsweg nutzten.



**Abbildung 22:** Längenfrequenz der Aale im Abwanderungskorridor Aalabstieg.

### 5.6.2 Bodennahes Loch seitlich neben dem Rechen

Das Loch in der rechten Ufermauer am Fuß des Rechens wurde ebenfalls von allen drei verschiedenen Gruppen der Aale zum Abstieg genutzt. Wie im Aalabstieg stammten die größten Tiere aus der Versuchsgruppe Grün (47-72 cm), die zweitgrößten aus der Versuchsgruppe Blau (43-60 cm) und die Kleinsten aus der Gruppe der natürlich in der Spree abwandernden Aale (30-70 cm). Deshalb kann auch bei diesem Abwanderungsweg nicht von einer Größenselektivität ausgegangen werden.



**Abbildung 23:** Längenfrequenz der Aale im Abwanderungskorridor Loch seitlich neben dem Rechenfuß.

### 5.7 Methodenbedingte Schadensrate

Nach einer Stunde, was der Länge eines Kontrollintervalls entspricht, wurden die in die Fanggeräte eingesetzten Aale auf Schäden hin untersucht. Es konnten weder bei den Aalen im Auffangfass für den Abwanderungsweg Aalabstieg noch bei den Aalen in der Fangreuse für den Abwanderungsweg bodennahes Loch am Rechenfuß sichtbare Schäden gefunden werden. Deshalb wurde die fangbedingte Schadensrate auf Null festgesetzt.

### 5.8 Schädigungen in den Abwanderungskorridoren

Bei der makroskopischen Untersuchung aller gefangenen Tiere konnten keine sichtbaren Verletzungen festgestellt werden. Alle Tiere überstanden die 48 Stunden Hälterung problemlos und wurden danach in einem sehr guten Zustand in die Spree gesetzt. Demnach ist davon auszugehen, dass alle abwandernden Aale sich nicht in den verschiedenen Abwanderungskorridoren verletzt oder sonstigen Schaden erlitten haben.

2 Tiere kamen kurz vor Beginn der Versuche durch Fremdeinwirkung zu Schaden und wurden in der Nacht vom 11.11. zum 12.11. mehr oder minder stark verletzt am Rechen geborgen. Dabei wies ein Tier eine Bisswunde am Schwanz auf (Schadkategorie C). Diese Wunde wurde durch einen Fischotter kurz nach Besatz der Versuchsgruppe Grün am 10.11.

im Oberwasser der Wasserkraftanlage verursacht. Laut Wasserkraftwerksbetreiber jagten die Otter die frisch eingesetzten Aale und fraßen eine unbekannte Anzahl (Bieder, mündliche Mitteilung). Der am Rechen abgefangene Aal mit Bisswunde überlebte die 48 Stunden Hälterung nicht, da sich die Wunde in dieser Zeit infiziert hat. Der zweite verletzte Aal gehörte ebenfalls der Versuchsgruppe Grün an. Er hatte sich seine Verletzungen bei einem Spülvorgang des Aalrohres zugezogen. Diese Spülung des Rohres wurde am 11.11. kurz vor Beginn der nächtlichen Kontrolle notwendig, da die mit dem Hochwasser mittransportierten Laubmassen das Sammelrohr im Laufe des Tages verstopft hatten. Bei dem Spülvorgang wurde der Aal an die Oberfläche geschleudert und tauchte 5 Minuten später verletzt am Rechen auf. An der Körperseite waren deutlich bogenförmige Abdrücke zu sehen, die von den Einstiegsöffnungen des Rohres stammten (Schadkategorie B). Das Tier überlebte die 48 Stunden Hälterung. Die beiden verletzten Tiere wurden laut ARBEITSHILFE (2015) aufgrund ihrer Vorschädigung nicht in die Bewertung der Abwanderungswege einbezogen.



**Abbildung 24:** Vorgeschädigte und daher aussortierte Versuchstiere.

## 5.9 Abwanderung sonstiger Fischarten und Krebse

Im Aalabstieg wurden während der gesamten Untersuchungsphase von 168 Nächten insgesamt 3 Cypriniden mit einer Totallänge von 6 bis 15 cm gefangen. Davon wurde ein Tier in der intensiven Untersuchungsphase gefangen und konnte als Plötze (*Rutilus rutilus*) bestimmt werden. Zudem nutzten ein Zander (*Sander lucioperca*) mit einer Länge von 10 cm, ein Hecht (*Esox lucius*) mit einer Länge von 15 cm und ein Wels (*Silurus glanis*) mit einer Länge von 30 cm den Aalabstieg zur Abwanderung. Viel häufiger, mit einer Anzahl von 34 Individuen, wurde der Aalabstieg von Kamberkrebse (*Orconectes limosus*) genutzt.

Dagegen wanderten über das bodennahe Loch neben dem Rechen viel mehr Fische ab. Am häufigsten wurden Cypriniden abgefangen, davon 22 mit einer Totallänge von 5-10 cm. Zusätzlich wurde ein größeres Exemplar mit einer Länge von 25 cm gefangen. Ein kleines Tier mit einer Länge von 10 cm wurde während der intensiven Untersuchungsphase abgefangen und als Blei (*Abramis brama*) identifiziert. Zudem wurde während dieser Phase ein Zander mit 13 cm Länge und ein Flussbarsch (*Perca fluviatilis*) mit 15 cm Länge gefangen. Zusätzlich wurden 5 Welse mit Totallängen zwischen 30 bis 40 cm nachgewiesen. Von den Kamberkrebse wurden nur insgesamt 4 Tiere in der Reuse entdeckt.

## 6 Diskussion

Die Untersuchung der Aalabwanderungswege an der Wasserkraftanlage Ruhlmühle diente einer ersten Effizienzkontrolle des Aalabstiegssystems (Zick-Zack-Rohr), das mithilfe von ethohydraulischen Untersuchungen an der Universität Kassel entwickelt wurde (HÜBNER 2009, HASSINGER & HÜBNER 2009). Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass es methodisch richtig war, die Effizienz mithilfe einer Kombination aus kontinuierlichem Monitoring der Aalabwanderung und gezieltem Besatz von Versuchstieren zu untersuchen. In der hier dargestellten Untersuchung erfolgte das Monitoring der Abwanderung in der oberen Spree über eine ganze Saison hinweg. Trotz des insgesamt niedrigen Aalvorkommens in diesem Gewässersystem war das qualitative Ergebnis mit einer Abwanderung von 90,0 % der natürlich vorkommenden Aale über den Aalabstieg schon sehr richtungsweisend. Mithilfe der Besatzversuche konnte zum einem weitgehend ausgeschlossen werden, dass der beim Monitoring nicht aufgenommene Abstiegskorridor über den Rechen bzw. die Rechenreinigung einen bedeutenden Abwanderungsweg darstellt. Zum anderen konnte das Ergebnis des Monitorings quantitativ überprüft und damit richtig eingeordnet werden.

Die Qualität der Daten von den Besatz- und Wiederfangversuchen wird als außerordentlich gut bewertet. Die Wiederfangraten beider Versuchstiergruppen lagen mit 40 % bzw. 58 % sehr hoch, obwohl es zu einem nicht quantifizierbaren Verlust von Versuchstieren durch den zeitweise erhöhten Abfluss über das Wehr bzw. durch Prädation nach Besatz kam. Dadurch wurde die Grundgesamtheit erniedrigt, sodass die tatsächliche Wiederfangrate in beiden Gruppen noch höher gelegen haben dürfte. Vergleichbare Besatz- und Wiederfangversuche in der Staustufe Kostheim am Main haben in einem deutlich niedrigeren Wiederfangergebnis markierter Aale (8,75 %) resultiert. Allerdings wanderte am Main ein Großteil der Aale durch den 20-mm-Rechen und konnte somit während der Untersuchungsdauer nicht gefangen werden. Deshalb blieben beim Wiederfang vor allem große Aale vom Besatz (TL >62 cm) übrig, die aufgrund ihrer Körpergröße nicht leicht durch den Rechen passieren konnten (SCHNEIDER et al. 2012).

Die Verteilung der abwandernden Versuchstiere auf die verschiedenen Abwanderungskorridore zeigte, dass der Aalabstieg deutlich bevorzugt wurde. Dabei lag der Anteil aller gefangenen Versuchstiere, die diesen Abwanderungsweg nutzten, genauso hoch wie bei den natürlich abwandernden Aalen in der Spree (90,4 %). Diese erstaunliche Übereinstimmung zeigt, dass die gemessenen Anteile mit hoher Wahrscheinlichkeit konstant anzunehmen sind. Gestützt wird diese Aussage durch die Tatsache, dass in Laboruntersuchungen ebenfalls dieselbe Verteilung aller Versuchstiere auf die Abstiegskorridore festgestellt wurde (90,4 %) (HÜBNER 2009, HASSINGER & HÜBNER 2009)! Es ist deshalb davon auszugehen, dass dieses gute Ergebnis an der Wasserkraftanlage Ruhlmühle auf alle anderen Wasserkraftanlagen mit vergleichbaren Rahmenbedingungen übertragbar ist. Dies betrifft kleine Wasserkraftanlagen mit einem Wasserkraftrechen und Stababstand von  $\leq 15$  mm und einer Anströmgeschwindigkeit vor dem Rechen von  $\leq 0,5$  m/s.

Neben der hohen Effektivität dieses Abstiegssystems ist auch die zeitliche Komponente bis zum Abstieg von hoher Bedeutung, da nur ein schneller Abstieg die Energieressourcen der Tiere schont und letztendlich eine erfolgreiche Vermehrung der Aale gewährleistet. So ist bekannt, dass einige Aale unter Umständen viele Stunden oder gar Tage benötigen, um an Wasserkraftanlagen erfolgreich über Bypässe abzustiegen (TRAVADE et al. 2010). Der Besatzversuch mit der Versuchsgruppe Grün zeigte, dass bereits 21 % der besetzten Aale innerhalb von 30 Minuten abwanderten und nach 2,5 Stunden insgesamt 34 % der Tiere abgewandert waren. Dies steht in Übereinstimmung mit den Laboruntersuchungen, wonach Aale, die das Abstiegssystem erreichen, in wenigen Sekunden bis Minuten durch die schräggestellten Wände des Zick-Zack-Rohres zum Abstiegsloch des Sammelrohres hingeleitet werden, einschwimmen und im Rohr problemlos in das Unterwasser absteigen (HÜBNER 2009). Diese schnelle Auffindbarkeit des Aalabstiegs verhindert zudem, dass die Aale lange vor dem Rechen suchen müssen. Dadurch wird vermieden, dass die Aale der Hauptströmung folgend durch den Rechen schwimmen. Wie Laboruntersuchungen zeigten, ist dies für Aale mit einer Totallänge  $\leq 60$  cm bei einem 15-mm-Rechen problemlos möglich. Die Passage erfolgt sehr schnell, wenn der Abstiegsweg nicht gefunden wird oder nicht zur Verfügung steht (HÜBNER 2009). Beobachtungen im Freiland mithilfe eines DIDSON Sonars zeigen ebenfalls, dass Aale, die aufgrund ihrer Körperdimensionen durch den Rechen passen und den Bypass zur Abwanderung nicht finden, den Rechen ohne zu zögern schnell durchschwimmen (SCHNEIDER et al. 2012). In der Ruhlmühle war ein 12-mm-Rechen eingebaut, sodass vielleicht erst Aale mit  $\leq 55$  cm Totallänge den Rechen passieren könnten. Insgesamt gehörten bei den Fängen im Aalabstieg der Ruhlmühle 37,3 % der Aale der gefährdeten Größenklasse mit Totallängen  $\leq 55$  cm an, wodurch gezeigt wurde, dass auch diese den Abstieg schnell gefunden haben. Aale größerer Körperdimensionen versuchen ebenfalls bei mangelnder Auffindbarkeit eines Abwanderungsweges sich durch

den Rechen zu zwängen. Gelingt ihnen dies nicht, dann hängen sie sich mit dem Schwanz zwischen die Rechenstäbe und versuchen diesen auseinanderzudrücken (HÜBNER 2006). Dabei werden sie oft von der Rechenreinigung erfasst und getötet. Da dies bei der Untersuchung an der Ruhlmühle nicht festgestellt wurde, muss auch der Abstieg der größeren Aale sehr schnell erfolgt sein. Diese Annahme wird zudem bekräftigt durch die Auswertung der Dauer zwischen Besatz und Abstieg der Versuchsgruppe Grün sowie den Vergleich der Längenverteilungen zwischen Besatz und Wiederfang. Generell wurde der Aalabstieg von allen Größenklassen der Gruppe Grün genutzt. Dieses Resultat steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Versuchsgruppe Blau und den natürlich abwandernden Aalen in der Spree. Da der Aalabstieg ein schnelles Abwandern der Tiere längenunspezifisch ermöglicht, wird eine Schädigung der Aale am Rechen bzw. durch die Rechenreinigung oder durch die Turbine nach Passage des Rechens effektiv verhindert.

Die Weiterleitung der Aale durch das Rohrsystem in den Fischpass führte bei den Aalen an der Ruhlmühle zu keiner Schädigung. Die hydraulischen Rahmenbedingungen, die sowohl den schnellen und verletzungsfreien Einstieg der Aale in das Sammelrohr als auch eine Weiterleitung mit niedrigen Durchflussgeschwindigkeiten im Rohr ermöglichen, waren demnach richtig berechnet und eingehalten worden (HÜBNER & RAHN 2013). Neuere Laboruntersuchungen unterstützen die Annahme, dass vergleichsweise niedrige Strömungsgeschwindigkeiten notwendig sind, damit Aale in einem Rohrsystem zügig Winkelbögen mit verschiedenen Krümmungsgraden passieren können (HASSINGER et al. 2015). In diesem Zusammenhang muss auch der Wirkungsgrad des bodennahen Loches an der rechten Ufermauer am Rechenfuß an der Ruhlmühle gesehen werden. Das Loch und die Weiterleitung im Rohr sind sehr groß und das Gefälle zwischen dem Oberwasser und dem obersten Fischpassbecken sehr gering. Deshalb müssen die Strömungsgeschwindigkeiten am Loch und im Rohr ebenfalls sehr niedrig sein. Aus diesem Grund zeigten die Aale wohl keine Schreckreaktion, wie sie bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten (0,4 m/s - 0,5 m/s) an Löchern auftritt (GÖHL 2004, HÜBNER 2009). Somit passierten insgesamt 9 % aller an der Ruhlmühle gefangenen Aale diesen Abwanderungskorridor. Das Loch ist deshalb nicht vergleichbar mit den Abstiegslöchern der meisten Wasserkraftanlagen, die in den Ufermauern neben dem Rechen angebracht sind. Diese haben in der Regel einen sehr viel kleineren Durchmesser als 150 mm. Dabei wird meist versucht, die Aale durch eine hohe Eintrittsgeschwindigkeit an den Löchern in den Abwanderungsweg zu führen (LECOUR & RADKE 2006). Dies ist jedoch nachweislich wegen o.g. Schreckreaktionen der Aale kontraproduktiv. Zudem wird die Senkenströmung der Löcher schon nach wenigen Zentimetern durch die Hauptströmung in die Turbine vernichtet, sodass die Abstiegslöcher nicht für die abwandernden Aale auffindbar sind. Verhaltensbeobachtungen im Freiland zeigen, dass dadurch viele Aale selbst an mehr als 2 Meter großen Öffnungen vorbeischwimmen und den Abwanderungsweg nicht finden können (SCHNEIDER & HÜBNER

2014). Dadurch führen einfache Bypassöffnungen nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Auch die Abwanderungsrate von 9 % der Aale an der Ruhlmühle durch das bodennahe Loch muss aufgrund der mangelnden Auffindbarkeit für diese Tiere als unzureichend eingestuft werden.

## 7 Schlussfolgerungen

Insgesamt führen die Untersuchungen des Aalabstieges an der Ruhlmühle zu folgendem Resümee:

1. Der spezielle Aalabstieg weist eine hohe Effektivität auf. Insgesamt 90 % aller gefangenen Aale wanderten über das Zick-Zack-Rohr ab. Das Ergebnis entspricht den Messergebnissen aus den Laboruntersuchungen.
2. Der Abstieg durch den Aalabstieg erfolgt innerhalb weniger Minuten, da die Auffindbarkeit und Passage dieses Abstiegssystems sehr gut ist.
3. Die Abwanderung durch den Aalabstieg verläuft verletzungsfrei.
4. Für die Abwanderung anderer Fischarten als den Aal ist der Aalabstieg nicht geeignet. Allerdings ist er ein Abwanderungskorridor für Krebse.
5. Ein bodennahes Bypassloch neben dem Rechen wurde selbst mit seinem großen Durchmesser von 150 mm und für Aale hydraulisch günstigen, geringen Eintrittsgeschwindigkeiten nur von vergleichsweise wenigen Tieren als Abwanderungsweg genutzt (Effektivität von ca. 10 %).
6. Für Besatzversuche mit Aalen bei Funktionskontrollen an Abstiegswegen von Wasserkraftanlagen ist neben dem Abfluss vor allem der Besatzzeitpunkt entscheidend, um höhere Wiederfangraten zu erzielen.

## 8 Danke

Ich bedanke mich bei Herrn Bieder (WKA Ruhlmühle) für die Aufnahme der Aalabstiegszahlen über den Aalabstieg und das bodennahe Loch am Rechenfuß außerhalb der intensiven Untersuchungsphase, sowie für die gute Zusammenarbeit während der intensiven Untersuchungsphase. Außerdem möchte ich mich bei Herrn Heller (LfULG) und Herrn Gause (LfULG) für die Mitarbeit bei der Organisation und der Durchführung bei den nächtlichen Kontrollen bedanken.

## 9 Literaturverzeichnis

- ARBEITSHILFE (2015): SCHMALZ, W., WAGNER, F. & SONNY, D: Arbeitshilfe zur standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Unter Mitarbeit des BFS Frankfurt und BFS Marburg. Im Auftrag des Ecologic Institute. 215 S.
- DÖNNI, W., K.J. MAIER, & VICENTINI, H. (2005): Bestandentwicklung des Aals (*Anguilla anguilla*) im Hochrhein. Situationsanalyse und Ergebnisse erster Untersuchungen. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 69. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern 2001. 78 S.
- EBEL, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurblogische Grundlage, Modellierungen und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie, Band 4, 483 S. Halle (Saale)
- GÖHL, C. (2004): Bypasseinrichtungen zum Abstieg von Aalen an Wasserkraftanlagen. Bericht des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Nr. 98 München 2004
- HASSINGER, R. & HÜBNER D. (2009): Entwicklung eines neuartigen Aal-Abstiegssystems mithilfe von Laborversuchen. Korrespondenz Wasserwirtschaft (KW) 2 Nr. 5: 276-281
- HASSINGER, R., HÜBNER D., WALTER, F. & FRIEDRICH, I. (2015): Optimierung der Leitungsführung des Bypass-Rohres für ein Aalabstiegs-System mit Hilfe von Verhaltensbeobachtungen an Blankaalen. Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau. 36 S.
- HOLZNER, M. (1999): Untersuchungen zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich. Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Bayern. Heft 1. München 1999
- HOLZNER, M. (2000): Untersuchungen über die Schädigung von Fischen bei der Passage des Main-Kraftwerkes Dettelbach. München, technische Universität, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau, Dissertation
- HÜBNER, D. (2009): Funktionskontrolle eines neuartigen Aalabstieges mit unterschiedlicher Einstiegsanordnung einschließlich des Tests eines neuartigen fischschonenden Rechens. – Laboruntersuchungen-. Im Auftrag der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Wasserbau und Umwelttechnik (Universität Kassel) 62 S.



- HÜBNER & HASSINGER (2013): Funktionskontrolle eines neuartigen Aalabstieges mit unterschiedlicher Einstiegsanordnung Laboruntersuchungen und erste Freilandergebnisse. SVK Tagungsband, 11 S.
- HÜBNER, D. & RAHN, S. (2013): Hydraulische Bemessung zum Bau eines Aalabstiegsystems am Wasserkraftstandort Ruhlmühle an der Spree. Im Auftrag des Sächsischen für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. 5. S.
- HUET, M (1949): Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweiz. Z. Hydrol. 11:322-351
- HUET, M. (1962): Influence du courant sur la distribution des poissons dans les eaux courantes. - Schweiz. Z. Hydrol. 24: 412-431.
- ICES (2003): Report of EIFAC/ICES Working Group on Eels. Pasaia (Spain). 5.10.-11.10.2003, 50 S.
- KNÖSCHE, R., SCHRECKENBACH, K., SIMON, J., EICHHORN, T., PIETROCK, M., THÜRMER, CH. (2004): Aalwirtschaft in Brandenburg. Entwicklung der Aalbestände, Schadfaktoren und nachhaltige Aalwirtschaft. Herausgeber: Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, Band 15. 78 S.
- KRÄTZ, D. (2012): A new bypass-system for migrating European Eel (*Anguilla anguilla* L.). Hydroenergia 2012 Breslau/Poland 2012
- LECOUR, C. & RATHCKE, P.C. (2006): Binnenfischerei in Niedersachsen. Abwanderung von Fischen im Bereich von Wasserkraftanlagen. Untersuchungen an den Wasserkraftanlagen Müden/Dieckhorst, Dringenauer Mühle/Bad Pyrmont und Hannover-Herrenhausen. Hrsg. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Institut für Fischkunde Cuxhaven-Binnenfischerei. 49 S.
- SCHILT, C.R. (2007): Review: Developing fish passage and protection at hydropower dams. - Applied Animal Behaviour Science 104 (2007) 295–325
- SCHNEIDER, J., HÜBNER, D. & KORTE, E. (2012): Funktionskontrolle der Fischaufstiegs- und Fischabstiegshilfen sowie Erfassung der Mortalität bei Turbinendurchgang an der Wasserkraftanlage Kostheim am Main. Auftraggeber: WKW Staustufe Kostheim/Main GmbH & Co. KG. 141 S.
- TRAVADE, F., LARINIER, M., SUBRA, S., GOMES, P. & DE-OLIVEIRA, E. (2010): Behaviour und passage of European silver eels (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 398 (1) 19 pages
- SCHNEIDER, J.; HÜBNER, D. (2014): Funktionskontrolle der Fischwechselanlagen am Main-Kraftwerk Kostheim. WasserWirtschaft 7-8/2014: 54-59.
- WAGNER, F. (2016): Vergleichende Analyse des Fischabstieges an drei Wasserkraftanlagen einer Kraftwerkskette. WasserWirtschaft 2/3/2016: 35-41
- VERORDNUNG (EG) 1100/2007: Im Amtsblatt der Europäischen Union L 248/17 (22.11.2007) Verordnung 1100/2007 des Rates vom 18. September 2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestandes des Europäischen Aals.

## 10 Anhang

Totallänge (cm)	Versuchsgruppe Grün					
	Grün Besatz	Grün Aalabstieg in	Grün Aalabstieg au	Grün Loch bodenn	Grün Loch bodenn	Grün Rechen inner
40						
41						
42	1	1				
43						
44						
45	1	1				
46	1	1				
47	1				1	
48	1				1	
49	4			2		
50	1	1				
51	2	1				
52	4	2				
53	2					
54	5	2				
55						
56	2	1				
57						
58	1					
59	2	1				
60	2	2				
61	2	1		1		
62	1					
63	1	1				
64	2					
65	2	1		1		
66	1	1				
67	4			1		1
68	3	3				
69						
70	3	3				
71	1					
72	4				1	1
73	4	1				
74	3	1				
75	1	1				
76	1			1		
77						
78	5	2				
79						
80	2	2				
81	2					
82	2	1				
83	2	2				
84						
85	1	1				
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92	1					
93						
94						
95						

**Tabelle 5:** Verteilung der Aale Versuchsgruppe Grün auf die Abwanderungskorridore in den verschiedenen Untersuchungsphasen

Totallänge (cm)	Versuchsgruppe Blau				
	Blau Aalabstieg in	Blau Aalabstieg au	Blau Loch bodenn	Blau Loch bodenn	Blau Rechen inner
34					
35		1			
36					
37					
38					
39		1			
40		2			
41		2			
42		1			
43		1	1		
44		2			
45		2			
46					
47		2			
48			1		
49					
50		7	1	1	
51		2			
52		2	1		1
53		1			
54	1				
55		4			
56					
57		1			
58	1				
59					
60	1	6		1	
61					
62					
63					
64					
65	1	3			
66		1			
67		2			
68		1			
69					
70		1			
71					
72		1			
73		1			
74					
75		2			
76					
77					
78	1				
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					
91					
92					
93					
94					
95					

**Tabelle 6:** Verteilung der Aale Versuchsgruppe Blau auf die Abwanderungskorridore in den verschiedenen Untersuchungsphasen

	Gruppe natürlich abwandernde Aale in der Spree				
	Unmarkiert	Unmarkiert	Unmarkiert	Unmarkiert	Unmarkiert
Totallänge (cm)	Aalabstieg in	Aalabstieg au	Loch bodenn:	Loch bodenn:	Rechen inner
30		1		1	
31					
32					
33					
34					
35		1			
36					
37					
38					
39					
40		1			
41					
42					
43					
44					
45		1			
46					
47					
48					
49					
50	1	2			
51					
52	1				
53					
54					
55					
56					
57	1		1		
58					
59					
60		4			
61	1				
62					
63					
64		1			
65		2			
66	1				
67					
68					
69					
70		5		1	
71					
72					
73					
74					
75					
76		1			
77					
78					
79					
80		3			

**Tabelle 7:** Verteilung der natürlich abwandernden Aale auf die Abwanderungskorridore in den verschiedenen Untersuchungsphasen

Stunden	Aalabstieg (Zick-Zack Rohr)	Loch seitlich am Rechen bodennah
0,5	16	
1,5	4	1
2,5	5	
3,5		
4,5	2	
5,5	2	
6,5	1	
7,5		
8,5		
9,5	1	
10,5		
11,5		
12,5		
13,5		
14,5		
15,5		
16,5		
17,5		
18,5		
19,5		
20,5		
21,5		
22,5		
23,5		
24,5		
25,5		
26,5		
27,5		
28,5		
29,5		
30,5		
31,5		
32,5	1	
33,5		
34,5		
35,5		
36,5		
37,5		

**Tabelle 8:** Zeitdauer bis zum Abstieg nach Besatz in der Versuchsgruppe Grün. Grau unterlegt ist die Abwanderungszeit in der Nacht