



# 20 JAHRE AKTIVE PARTNERSCHAFT FÜR DEN AAL AN MOSEL UND SAAR

Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz & innogy SE





**20 JAHRE  
AKTIVE PARTNERSCHAFT  
FÜR DEN AAL  
AN MOSEL UND SAAR**

Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz & innogy SE

## IMPRESSUM

**Herausgeber:** Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (vormals LUWG)  
Kaiser-Friedrich-Str. 7 • 55116 Mainz

**Autoren:** Elena-Maria Klopries, M.Sc. RWTH (IWW), Lothar Kroll (LfU),  
Lothar Jörgensen † (SGD Nord), Susanne Teggers-Junge (RWE Power AG),  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf RWTH (IWW)

**Lektorat:** Maja Wagener, formwerk5, Kroppach

**Titelbild:** Werbeverlag Möhn, 54666 Irrel

**Druck:** Bastian Druck GmbH, 54343 Föhren

**Auflage:** 2000 Exemplare

© November 2016

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

# 20 JAHRE AKTIVE PARTNERSCHAFT FÜR DEN AAL AN MOSEL UND SAAR

Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz & innogy SE

Im Jahr 1995 haben die damaligen Bezirksregierungen Trier und Koblenz für das Land Rheinland-Pfalz mit der RWE Energie AG (später: RWE Power, heute innogy SE) als Betreiberin der Mosel- und Saarwasserkraftwerke eine einvernehmliche Einigung über die „Entschädigungen für Fischereischäden an Mosel und Saar“ geschlossen. Das Ausmaß der betriebsbedingten Schäden insbesondere an abwandernden Aalen durch die großen Mosel- und Saarwasserkraftwerke wurde 1993 in einem Großversuch in der Mosel belegt. Technische Lösungsmöglichkeiten waren entweder nicht vorhanden oder erschienen beiden Seiten als absolut unbrauchbar. Eine reine Geldwertentschädigung wäre dem eigentlichen Problem nicht gerecht geworden. Erstmals in Deutschland wurde daher vereinbart, mit einem Teil des vereinbarten Geldbetrages „... unter Wahrung der Belange der Kraftwerksbetreiber gemeinsam nach den besten Lösungen zur Verhinderung oder erheblichen Verringerung der Fischereischäden zu suchen, um damit den Erfordernissen des materiellen Fischereischutzes Rechnung zu tragen“. Hierdurch entstand eine neue Qualität in Form einer gemeinsamen Verantwortung und es begann ein vielgestaltiger Weg in der Suche nach Erfolg versprechenden Lösungen.

In einer Klausurtagung zur zielorientierten Projektplanung in Bernkastel-Kues 1996 unter Beteiligung von über 40 auch internationalen Fachleuten wurde die Projektstruktur mit den dazugehörigen Zielen und Aktivitäten erarbeitet. Die Konferenz hat drei bis heute gültige Aktivitätsfelder beschrieben:

1. Sofortmaßnahmen (Aale fischen und in sichere Gewässer überführen)
2. Untersuchungen zur Verhinderung des Eindringens von Aalen in Turbinen
3. Untersuchungen zur Vorhersage der Aalwanderungen für betriebliche Steuerungszwecke

Eine gemeinsame Projektleitung unter Beteiligung der Berufsfischer der Mosel legte Aktivitäten zur Erreichung von Teilzielen fest. Die Berufsfischer der Mosel beteiligten sich seit Beginn der Initiative durch die intensive Befischung der laichreif werdenden Blankaale für den LKW-Transport zum Niederrhein; ihre Arbeit wird nach wie vor mit marktüblichen Preisen für den Ankauf der Blankaale entschädigt. Zusammen mit den Transporten und den Finanzierungen von Fischereigeräten wurden mit der „Fang- und Transportmaßnahme“ in über 20 Jahren bisher insgesamt ca. 1,4 Mio. € investiert. Für Forschungsaufträge an Universitäten u. ä. mit teilweise aufwendigen Freilandversuchen zur Verfolgung der beiden mittel- bis langfristigen Aktivitätsfelder 2 und 3 wurden noch einmal ca. 1 Mio. € über die Zeit eingesetzt.

Ein „goldener Weg“ zur baulich-funktionalen Lösung der Schäden an abwandernden Fischen bei bestehenden, alten und zumal in recht engen Tälern liegenden großen Wasserkraftanlagen konnte bisher nicht erarbeitet werden. Jedoch wurden schadensmindernde Maßnahmen im Betrieb entwickelt und seit 2012 eingesetzt. Durch die „Sofortmaßnahme“ wurden bisher fast 85 Tonnen laichreif werdende Aale (ca. 120.000 Tiere) unversehrt in den Rhein verbracht.

Seit Einführung der Wasserrahmenrichtlinie mit der Qualitätskomponente Fische als ein Maßstab für die Beurteilung der Gewässergüte im Jahre 2000 und mehr noch nach Einführung der EU-Aalverordnung im Jahr 2007 rückte die nicht ungehinderte Abwanderung der Wanderfische in unseren mit Wasserkraft belegten Flüssen in den Fokus der Fachöffentlichkeit. Die Methoden der Aalschutz-Initiative (ASI) Rheinland-Pfalz/innogy SE wurden – auch wenn die Sofortmaßnahme nur als kurzfristiger Übergangsweg geplant war – allgemein anerkannt und nunmehr europaweit bekannt gemacht. An Main, Neckar und Weser entstanden im Verlauf der letzten Jahre ähnliche Fang- und Transport-Projekte.

Die Projektergebnisse wurden der Fachwelt bisher vereinzelt vorgestellt. In der nunmehr vorliegenden Schrift werden detailliert und zusammenfassend die Ideen und Erkenntnisse dieses erfolgreichen „Joint Venture Pilotprojektes“ dargestellt. In einigen Aufgabenfeldern gibt es noch unzureichende Kenntnisse und die Weiterentwicklung von Schutzkonzepten ist erforderlich.

Wir wünschen dem Projekt und allen Beteiligten weiterhin viel Erfolg und Synergien aus der Bearbeitung der Thematik an anderen Stellen.



A handwritten signature in blue ink that reads "Stefan Hill".

Dr. Stefan Hill  
Präsident des Landesamtes für Umwelt  
Rheinland-Pfalz



A handwritten signature in blue ink that reads "Holger Himmel".

Dr. Holger Himmel  
Bereichsvorstand Erneuerbare Energien  
innogy SE

## EINLEITUNG

Zur langfristigen Sicherstellung des Erhalts der Aalpopulation in Europa ist es essenziell, dass die Zahl der abwandernden Blankaale, die ihr Laichgebiet in der Sargassosee unbeschadet erreichen, auf einem hohen Niveau gehalten wird. Aktuelle Ursachen für den kritischen Populationszustand des Aals werden neben unklaren ozeanischen Einflüssen im kontinentalen Bereich bei der Wasserkraft einschließlich des Pumpenbetriebs bei Entwässerung und Kühlwasserentnahme, bei der Fischrei und durch den Fraßdruck des Kormorans gesehen. Belastend kommt der europaweit meist technisch ausgeführte Gewässerausbau, ein eingeschleppter Parasit sowie eine hohe Schadstoffaufnahme hinzu.

Mit dem Ziel der Reduzierung der Schädigung des Aals an den Wasserkraftanlagen der Mosel ist im Jahr 1995 die Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG gegründet worden. Um sowohl die Interessen der Fischerei als auch der Wasserkraftbetreiber zu wahren, versucht die Aalschutz-Initiative, Wege für einen effektiven Schutz des Aals zu finden. Dafür verfolgt die Aalschutz-Initiative mehrere Projektaktivitäten:

- Projektaktivität A – Fischen und Umsetzen → kurzfristig
- Projektaktivität B – Früherkennen und Steuern → mittel- bis langfristig
- Projektaktivität C – Abweisen und Umlenken → langfristig

Im Zuge der Verfolgung der Ziele der Projektaktivitäten sind bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen und Studien von der Aalschutz-Initiative und ihren Kooperationspartnern durchgeführt worden. Derzeit wird vor allem eine Kombination aus den ersten beiden Aktivitäten verfolgt, da das Projektziel C Abweisen und Umlenken im Zeitraum 2001 bis 2003 in einer entsprechenden Studie als technisch nicht umsetzbar beziehungsweise wirtschaftlich nicht tragfähig dargestellt wurde.

Im Zuge der Aktivität Fischen und Umsetzen werden jährlich etwa 10.000 bis 15.000 Blankaale im Oberwasser vor den Wasserkraftanlagen abgefischt und zum Rhein transportiert, von wo sie ohne die Passage einer weiteren Wasserkraftanlage ihren Weg zur Sargassosee fortsetzen können. Gleichzeitig wird zu Zeiten erhöhter Blankaalwanderung der Betrieb aller zehn deutschen Wasserkraftanlagen fischangepasst ausgeführt. Auf diese Weise wird die Verletzungswahrscheinlichkeit der durch die Turbinen abwandernden Blankaale reduziert. Aufgrund des hohen Schädigungspotenzials abwandern der Fische entlang einer Kette von Wasserkraftanlagen an einem Flusslauf (z. B. Mosel) sind die Projektaktivitäten der Aalschutz-Initiative besonders wichtig. Durch den kombinierten Einsatz dieser beiden Maßnahmen kann die kumulierte Schädigungsziffer der abwandernden Blankaale erheblich reduziert werden.

Parallel zu den laufenden Maßnahmen wird von der Aalschutz-Initiative in allen Bereichen Forschungsaufwand betrieben, um den Schutz des Aals an der Mosel und der Saar noch weiter zu verbessern. Nur wenn eine interdisziplinäre Zusammenarbeit stattfindet und die vielseitigen Ansprüche an die Nutzung der Mosel und Saar bei der Betrachtung bestmöglich miteinbezogen werden, kann eine funktionierende Lösung zum Erhalt des Aalbestands gefunden werden.



## Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis   | III       |
| Tabellenverzeichnis   | VI        |
| Abkürzungsverzeichnis   | VII       |
| Verzeichnis der Schriften und Dokumente der Aalschutz-Initiative        | VII       |
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Veranlassung.....   | 1         |
| 1.2 Vorgehensweise.....   | 2         |
| <b>2 Mosel und Saar</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1 Hydrologische Verhältnisse .....                                    | 3         |
| 2.2 Naturräumliche Gegebenheiten und anthropogene Beeinflussungen ..... | 6         |
| 2.3 Ausbau der Mosel und der Saar .....                                 | 9         |
| 2.4 Schifffahrt.....  | 12        |
| 2.5 Wasserkraft .....   | 13        |
| 2.6 Fischerei .....   | 16        |
| <b>3 Die Gefährdung des Europäischen Aals an Mosel und Saar</b>         | <b>20</b> |
| 3.1 Einleitung.....   | 20        |
| 3.2 Biologische Grundlagen .....  | 20        |
| 3.2.1 Entwicklungszyklus.....   | 20        |
| 3.2.2 Schwimmverhalten des Aals.....                                    | 23        |
| 3.3 Bestandsentwicklung des Aals.....                                   | 25        |
| 3.3.1 Allgemein.....  | 25        |
| 3.3.2 Gründe für den aktuellen Rückgang.....                            | 28        |
| 3.3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen .....                                | 29        |
| 3.3.4 Mosel und Saar .....  | 30        |
| 3.3.5 Mögliche Maßnahmen zur Erhöhung der Abwanderung.....              | 33        |
| 3.4 Gefährdung des Aals an Wasserkraftanlagen.....                      | 36        |
| 3.4.1 Allgemein.....  | 36        |
| 3.4.2 Schädigungsmechanismen.....                                       | 38        |
| 3.4.3 Mortalitätsziffern .....  | 40        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>4</b> | <b>Die Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG</b>          | <b>42</b>  |
| 4.1      | Geschichte der Aalschutz-Initiative.....                              | 42         |
| 4.1.1    | Anlass der Gründung und Finanzierung.....                             | 42         |
| 4.1.2    | Projektaktivitäten und vorbereitende Arbeiten .....                   | 48         |
| 4.2      | Projektaktivität A – Fischen und Umsetzen .....                       | 54         |
| 4.2.1    | Konzept.....  | 54         |
| 4.2.2    | Maßnahmen und Ergebnisse.....   | 55         |
| 4.2.3    | Wirkung.....  | 555        |
| 4.3      | Projektaktivität B – Früherkennen und Steuern .....                   | 58         |
| 4.3.1    | Konzept.....  | 58         |
| 4.3.2    | Maßnahmen und Ergebnisse.....   | 59         |
| 4.3.3    | Wirkung.....  | 83         |
| 4.4      | Projektaktivität C – Abweisen und Umlenken .....                      | 84         |
| 4.4.1    | Konzept.....  | 84         |
| 4.4.2    | Maßnahmen und Ergebnisse.....   | 87         |
| 4.4.3    | Wirkung.....  | 97         |
| <b>5</b> | <b>Fazit/Bilanz/Zielerreichung</b>                                    | <b>100</b> |
| 5.1      | Hauptziel.....  | 100        |
| 5.2      | Unterziel A .....   | 100        |
| 5.3      | Unterziel B .....   | 100        |
| 5.4      | Unterziel C.....  | 101        |
| 5.5      | Wissensmehrung.....   | 102        |
| 5.6      | Projektstruktur und eingesetzte Mittel.....                           | 102        |
| <b>6</b> | <b>Ausblick</b>   | <b>103</b> |
| <b>7</b> | <b>Autoren und Mitwirkende</b>  | <b>106</b> |
|          | Autoren.....  | 106        |
|          | Mitwirkende - Berufsfischer der Mosel und Fischereiverband (FUW)..... | 107        |
|          | <b>Schlussbemerkung</b>   | <b>109</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>   | <b>110</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 2.1: Verlauf der Mosel und ihrer Zuflüsse  | 4  |
| Abbildung 2.2: oben: Abflusslängsschnitt der Mosel , unten: langjährige Monatsmittelwerte des Abflusses in % des mittleren Abflusses   | 5  |
| Abbildung 2.3: Blick auf Senheim im Jahr 1957 vor dem Ausbau der Mosel   | 6  |
| Abbildung 2.4: Ortsansicht von Valwig mit Aalschokker  | 7  |
| Abbildung 2.5: Camping-Insel Ziehfurt bei Winnigen und Flussauenlandschaft der Mosel   | 8  |
| Abbildung 2.6: Moselstaustufe Fankel im Bau  | 10 |
| Abbildung 2.7: oben: prinzipieller Aufbau eines Moselkraftwerks, unten: Foto des Kraftwerks Wintrich mit Blick vom Unterwasser   | 11 |
| Abbildung 2.8: Gütertransport auf der Mosel von 1986 bis 2014  | 12 |
| Abbildung 2.9: Wasserkraftanlagen im Verlauf der Mosel   | 13 |
| Abbildung 2.10: Blick auf eine Rohr-Kaplan-Turbine in Relation ihrer Größe zu einem Menschen   | 14 |
| Abbildung 2.11: Prinzipskizze des Schaltverhaltens bei wirkungsgradoptimierter Normalsteuerung bei steigendem Durchfluss   | 16 |
| Abbildung 2.12: Einsatz Schokker unterhalb der Staustufe Fankel im Jahr 1993   | 17 |
| Abbildung 2.13: Moselfischer   | 18 |
| Abbildung 2.14: Reusenfischerei auf der Mosel, links: Moselfischer Müllen, Stauhaltung Enkirch; rechts: Moselfischer Schmitt, Stauhaltung Detzem   | 19 |
| Abbildung 3.1: Lebenszyklus des Aals   | 21 |
| Abbildung 3.2: Umkehrreaktion eines Aals vor einem Rechen während eines Laborversuchs in der Versuchshalle des IWW im Oktober 2015   | 24 |
| Abbildung 3.3: Zeitreihe des Glasaalaufkommens   | 27 |
| Abbildung 3.4: Verlauf des Glasaalfangs in Den Oever (NL) (Einheitsfang) und des NAO-Index zwischen 1950 und 2007  | 29 |
| Abbildung 3.5: Übersicht der rechtlichen Rahmenbedingungen   | 30 |
| Abbildung 3.6: Darstellung der theoretisch berechneten kumulierten Zahl der geschädigten Blankaale aus den einzelnen Staustufen bis in den Rhein mit den und ohne die Aktivitäten der Aalschutz-Initiative | 33 |
| Abbildung 3.7: wartende Kormorane an der Fischaufstiegsanlage im Unterwasser der Wasserkraftanlage Detzem  | 35 |
| Abbildung 3.8: Darstellung der Gefährdungsbereiche und möglicher Beeinträchtigungen abwandernder Blankaale an einem Stauwehr mit Wasserkraftanlage und Schleuse  | 37 |
| Abbildung 3.9: Längsschnitt durch eine Wasserkraftanlage mit horizontaler Kaplanturbine  | 37 |
| Abbildung 3.10: Schematische Darstellung des Druckverlaufs in einer Kaplanturbine  | 39 |
| Abbildung 4.1: Vorstellung der Aalschutz-Initiative der Fachöffentlichkeit auf einer Pressekonferenz in Trier  | 42 |
| Abbildung 4.2: Aufteilung der Finanzmittel der Aalschutz-Initiative vor und nach Einführung des Euro   | 43 |
| Abbildung 4.3: oben: Schema der Versuchsanordnung des Fischereiversuchs an der Wasserkraftanlage Fankel  | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 4.4: Durchtrennte Aale aus dem Fischereiversuch unterhalb der Staustufe Fankel   | 46 |
| Abbildung 4.5: Wirbelverletzung eines Aals   | 46 |
| Abbildung 4.6: Darstellung der theoretisch berechneten Zahl abwandernder Blankaale im Verlauf der Mosel  | 47 |
| Abbildung 4.7: Projektaktivitäten der Aalschutz-Initiative   | 48 |
| Abbildung 4.8: links: Titelseite der Dokumentation zur Konferenz in Bernkastel-Kues im April 1996, rechts: Teilnehmer der Konferenz beim Gruppen-Brainstorming   | 49 |
| Abbildung 4.9: Titelseiten der Tagungsbände zu Konferenzen, die unter Mitarbeit der Aalschutz-Initiative ausgerichtet wurden, links: Symposium in Veichtshöchheim, rechts: Symposium zur Aalschutz-Initiative in der Zentralwarte Fankel | 50 |
| Abbildung 4.10: Zeitreihe der Maßnahmen und Untersuchungen im Rahmen der Aalschutz-Initiative seit 1995  | 51 |
| Abbildung 4.11: Titelseiten der Literaturrecherche von THON (1999) der deutschen und englischen Version  | 52 |
| Abbildung 4.12: Fang von Aalen mit einer Reuse   | 55 |
| Abbildung 4.13: Oben: Wöchentliche Route des Blankaal-Transportes per LKW von der unteren Saar/Obermosel bis Rhein/Rolandseck. Unten: Entwicklung der Fangmengen der Fang- und Transportmaßnahme zwischen 1997 und 2015                  | 56 |
| Abbildung 4.14: Darstellung der theoretisch berechneten Zahl abwandernder Blankaale im Verlauf der Mosel unter dem Effekt der Projektaktivität <i>Fischen und Umsetzen</i>   | 57 |
| Abbildung 4.15: Zusammenhang zwischen der Fangmenge an der Staustufe Fankel im Jahr 1993 und der Mondphase, dem Abfluss sowie der Wassertemperatur   | 59 |
| Abbildung 4.16: Forschungsfloß Feyen   | 61 |
| Abbildung 4.17: Titelseiten der Berichte zu den Messkampagnen an den Staustufen Enkirch und Lehmen beispielhaft für die Jahre 2011 und 2014  | 63 |
| Abbildung 4.18: Oben: Kran zum Heben und Senken der Reusenkörbe, unten: Reusenkorb, der gehoben wird   | 64 |
| Abbildung 4.19: Versuchsaufbau der Fischereiversuche an den Staustufen Lehmen und Enkirch  | 65 |
| Abbildung 4.20: Ergebnis der Sohlaufnahme an der Staustufe Enkirch   | 66 |
| Abbildung 4.21: Ergebnis der Geschwindigkeitsmessungen an der Staustufe Enkirch  | 67 |
| Abbildung 4.22: Vorläufiges Projektschema – Entwicklung eines Frühwarnsystems zur Prognose der Blankaalwanderung an der Mosel  | 68 |
| Abbildung 4.23: Von der Aalschutz-Initiative und dem IWW entwickelte Detektorreuse   | 70 |
| Abbildung 4.24: Schematische Darstellung der Turbinenmortalität oben: im Normalbetrieb, unten: im fischangepassten Betrieb   | 72 |
| Abbildung 4.25: links: Titelseite des Abschlussberichts zur fischangepassten Steuerung, rechts: Titelseite des vom IWW entwickelten Steuerungshandbuchs  | 73 |
| Abbildung 4.26: Prinzipskizze des Schaltverhaltens der Wasserkraftanlage Wintrich bei wirkungsgrad-optimierter Steuerungsweise und bei fischangepasster Steuerungsweise  | 74 |
| Abbildung 4.27: Muscheldiagramm einer Turbine für das Moselkraftwerk Wintrich  | 76 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 4.28: Differenz der Schädigungsziffern zwischen der wirkungsgradoptimierten und der fischangepassten Steuerungsweise bei einer Fallhöhe von 7 m und steigendem Durchfluss an der Wasserkraftanlage Wintrich | 77  |
| Abbildung 4.29: Turbinenhamen im Einsatz am Auslauf der landseitigen Turbine der Wasserkraftanlage Wintrich an der Mosel  | 79  |
| Abbildung 4.30: Ergebnisse der Fischereiversuche an der Wasserkraftanlage Wintrich in den Jahren 2009 und 2010  | 80  |
| Abbildung 4.31: Titelseite des Berichts zu den Untersuchungen zur Längenhäufigkeitsverteilung   | 81  |
| Abbildung 4.32: Längen-Masse-Beziehung der am 4. September 2008 und am 16. Oktober 2008 untersuchten Aale   | 82  |
| Abbildung 4.33: Übersicht ausgewählter mechanischer Barrieren und Verhaltensbarrieren   | 85  |
| Abbildung 4.34: Prinzipskizze eines Winkelrechens   | 86  |
| Abbildung 4.35: Lageplan der Wasserkraftanlage Wintrich im Maßstab 1:2.000  | 88  |
| Abbildung 4.36: Simulierte Fließgeschwindigkeiten im Anströmbereich der Wasserkraftanlage Wintrich  | 89  |
| Abbildung 4.37: Geschwindigkeitskomponenten   | 90  |
| Abbildung 4.38: Vertikales Geschwindigkeitsprofil an Mosel-km 212 in der Stauhaltung Trier  | 91  |
| Abbildung 4.39: Modellvarianten des physikalischen Modellversuchs am IWW  | 92  |
| Abbildung 4.40: Titelseite des Abschlussberichts zu den physikalischen Modellversuchen an Fischschutzrechen am IWW  | 93  |
| Abbildung 4.41: Darstellung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Energieverlusthöhe, Anströmgeschwindigkeit und Anströmwinkel  | 94  |
| Abbildung 4.42: Verhältnis Einbauwinkel und Anströmwinkel an der Wasserkraftanlage Wintrich   | 95  |
| Abbildung 4.43: Untersuchte Bypassvarianten A bis E für die Wasserkraftanlage Wintrich  | 97  |
| Abbildung 7.1: Teilnehmer des jährlichen Arbeitstreffens der Aalschutz-Initiative in Bernkastel-Andel am 17. März 2016  | 108 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 2.1: Hydrologische Kenndaten der Mosel .....  | 4  |
| Tabelle 2.2: Hydrologische Kenndaten der Saar .....   | 6  |
| Tabelle 2.3: Übersicht der deutschen Moselkraftwerke .....  | 15 |
| Tabelle 3.1: Berechnung der geschädigten Blankaale bei der Abwanderung durch<br>Wasserkraftanlagen in der Mosel.....  | 32 |
| Tabelle 3.2: Anzahl und Anteil der geschädigten Blankaale nach Modellberechnungen, aufgeteilt nach<br>den drei bedeutendsten kontinentalen Mortalitätsfaktoren..... | 34 |
| Tabelle 3.3: Schadensbilder bei Fischen nach der Passage der Turbine.....   | 40 |
| Tabelle 3.4: Zuordnungskriterien der verschiedenen Verletzungsklassen und Übersicht der<br>Verletzungsraten an der Wasserkraftanlage Dettelbach .....               | 40 |
| Tabelle 3.5: Mortalitätsziffer von Blankaalen an Wasserkraftanlagen mit Kaplan turbinen .....   | 41 |
| Tabelle 4.1: Wirkung der Projektaktivität A – <i>Fischen und Umsetzen</i> .....   | 58 |
| Tabelle 4.2: Beispielrechnung: Veränderung der Gesamtschädigung und Gesamtleistung<br>für Turbinen 1 und 2 des Wasserkraftwerks Wintrich.....                       | 75 |
| Tabelle 4.3: Lage der Moselkraftwerke und bevorzugte Turbine bei fischangepasster Betriebsweise .....   | 78 |
| Tabelle 4.4: Übersicht der Untersuchungsergebnisse der Fischereiversuche 2009 und 2010 an der<br>Wasserkraftanlage Wintrich .....                                   | 79 |
| Tabelle 4.5: Wirkung der Projektaktivität B – <i>Früherkennen und Steuern</i> .....   | 84 |
| Tabelle 4.6: Wirkung der Projektaktivität C – <i>Abweisen und Umlenken</i> .....  | 99 |

## Abkürzungsverzeichnis

|             |  |
|-------------|--|
| ASI         | Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG  |
| ASI Nr.     | Laufende Nummer der Schriften der ASI  |
| ASR         | Abfluss- und Stauzielregelung  |
| EMFF        | Europäischer Meeres- und Fischereifonds  |
| FFH-RL      | Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie   |
| ICES        | International Council for the Exploration of the Sea   |
| IKSMS       | Internationale Kommission zum Schutz der Mosel und der Saar  |
| IWW         | Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University                 |
| LfU         | Landesamt für Umwelt   |
| PCB         | Polychlorierte Biphenyle   |
| SEO         | Société électrique de l'Our  |
| SGD Nord    | Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord   |
| WRRL        | Wasserrahmenrichtlinie   |
| WSD Südwest | Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest<br>(heute: GDWS – Generaldirektion Wasser und Schifffahrt) |
| WSV         | Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes  |

## Verzeichnis der Schriften und Dokumente der Aalschutz-Initiative

- ASI Nr. 01 JÖRGENSEN, L.; KROLL, L. OBERWAHRENBROCK, K. (1998): Auswertung des Fischereiversuchs vom 4. September bis 12. Dezember 1993. Trier.
- ASI Nr. 02 RWE ENERGIE AG; LAND RHEINLAND-PFALZ (1995): Vereinbarung über Entschädigung für Fischereischäden an Mosel und Saar.
- ASI Nr. 03 KÖNGETER, JÜRGEN; SPORK, V. (1995): Moselkraftwerk Wintrich. Fließgeschwindigkeitsmessungen im Einlaufbereich des Kraftwerks. Forschungsbericht. Aachen.
- ASI Nr. 04 BEZIRKSREGIERUNG TRIER (HG.) (1998): Schutz der Fischerei an Wasserkraftanlagen in stauregulierten Flüssen. Dokumentation der Konferenz von 18. und 19. April 1996 in Bernkastel-Kues. Unter Mitarbeit von L. Kroll und K. Oberwahrenbrock. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. 3. Aufl.
- ASI Nr. 05 ECKMANN, R. (2003): Übersicht über neuere Ergebnisse zur Biologie und Ökologie der Aale (*Anguilla* spp.). In: RWE POWER AG (Hg.): Symposium zur Aalschutz-Initiative. 11. Juli 2003.

- ASI Nr. 06 OBERWAHRENBROCK, K.; KROLL, L.; JÖRGENSEN, L.; SYMADER, W. (1998): Entwicklung eines Modells zur Vorhersage von Aalabwanderungszeiten („Frühwarnsystem“). Erster Zwischenbericht. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG.
- ASI Nr. 07 BEZIRK UNTERFRANKEN – FACHBERATUNG FÜR FISCHEREI; AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG (Hg.) (1998): Fische und Turbinen. Schutz der Fische vor Verletzungen in den Kraftwerksanlagen staugeregelter Flüsse. Symposium in Veitshöchheim, 16. und 17. November 1998.
- ASI Nr. 08 AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG (1999): Projektfortschrittsbericht 1. Stand der Arbeiten an den Projektzielen a, b und c zum Januar 1999. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. Trier.
- ASI Nr. 09 THON, M. (1999): Schutz des wandernden Flusssaales (*Anguilla anguilla* L.) unter besonderer Berücksichtigung seines allgemeinen und speziellen Wanderverhaltens (insbesondere des Phänotyps „Blankaal“) unter besonderer Berücksichtigung der Bedingungen mehrfach genutzter, stauregulierter Flüsse. Literaturrecherche im Auftrag der Bezirksregierung Trier im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. Englische Übersetzung "Protection of Migrating Silver Eels (*Anguilla anguilla* L.) in Regulated Rivers" von Seaman, Matthias N.L. im März 1999.
- ASI Nr. 10 MATTUKAT, F. (2000): Hydroakustische Untersuchungen zur Aalabwanderung und Überprüfung von Standort und Fängigkeit des in der Mosel angebrachten Hamens. Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Abt. Biologie und Ökologie der Fische, Berlin.
- ASI Nr. 11A KROLL, L. (2000): Laufwasserkraftwerke und der Schutz wandernder Fische – Lösungswege zur Koexistenz. Ein Bericht der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG (Teil 1). Vortrag auf dem 30. IWASA in Aachen.
- ASI Nr. 11B RETTEMEIER, K. (2000): Laufwasserkraftwerke und der Schutz wandernder Fische – Lösungswege zur Koexistenz. Ein Bericht der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG (Teil 2). Vortrag auf dem 30. IWASA in Aachen.
- ASI Nr. 12 ZIMMERMANN & BARINKA (2000): Auftrag für eine Tragwerksplanung von Konstruktionsvarianten für Aalfangvorrichtungen. Trier.
- ASI Nr. 13 TEGGERS-JUNGE, S. (2000): Fortschritte der Aalschutz-Initiative Mosel. Presse- und Informationsgespräch. Untersuchungen zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich. TU München. Versuchsanstalt Oberrach, 2000.
- ASI Nr. 14 REUTER, CHRISTIAN; RETTEMEIER, K.; REUBER, J. (2001): Projektziel C – Vermeidung von Fischschäden durch den Turbinenbetrieb. Entwicklung eines Fischschutzrechensystems. Abschlussbericht zu den experimentellen Untersuchungen. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG.
- ASI Nr. 15 SCHWANENBERG, D.; THORWARTH, J.; KOWALSKI, R. L. (2002): Bestimmung der Strömungsverhältnisse in den Stauhaltungen Trier und Wintrich der Mosel im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft RWTH Aachen; VALITEC. Aachen.

- ASI Nr. 16 BEHRMANN-GODEL, J.; KOWALSKI, R. L. (2002): Untersuchung zur Abwanderung der Blankaal (*Anguilla anguilla* L.) in Bezug zum Strömungsregime in der stauregulierten Mosel. Projektfortschrittsbericht. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG.
- ASI Nr. 17 KUTSCHERA, G.; RETTEMEIER, K.; KÖNGETER, J. (2003): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftwerken im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. Fischschutzrechen. Forschungsbericht. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen.
- ASI Nr. 18 OBERE FISCHEREIBEHÖRDE RHEINLAND-PFALZ (2003): Tagungsband Symposium zur Aalschutz-Initiative 11. Juli 2003.
- ASI Nr. 19 WOCHER, H. (2003): Voruntersuchungen zur autonomen Registrierung abwandernder Blankaal (*Anguilla anguilla*) in der Mosel. Projektbericht zu Händen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG. Universität Koblenz.
- ASI Nr. 20 KUTSCHERA, G.; REUTER, C. (2005): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen Im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG. Abschlussbericht. Aachen.
- ASI Nr. 21 MOLTRECHT, M. (2005): Die Aalschutz-Initiative an der Mosel – Untersuchungen und Aktivitäten zur Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftwerken. Mitteilung der RWE Power AG.
- ASI Nr. 22 NOTERMANN, F.; REUTER, C. (2006): Entwicklung einer fischfreundlichen Turbinensteuerung im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG. Abschlussbericht. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen.
- ASI Nr. 23 ASI (2007): Aalschutz-Initiative Mosel. Eine Initiative vom Land Rheinland-Pfalz und RWE Power. Faltblatt. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG.
- ASI Nr. 24 BECKER, B.; REUTER, C. (2008): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen – Implementierung und Prüfung von Aalschutzmaßnahmen. Anlage 1: Umsetzung der Optimierungsuntersuchungen in die Anlagensteuerung (Steuerungshandbuch). Forschungsbericht. Aachen.
- ASI Nr. 25 BECKER, B.; NOTERMANN, F.; REUTER, C.; SCHÜTTRUPF HOLGER (2009a): Entwicklung einer fischfreundlichen Turbinensteuerung für Laufwasserkraftwerke an der Mosel. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 53 (1), S. 4–12.
- ASI Nr. 26 BECKER, B.; QUAST, N.; SCHÜTTRUPF, H. (2009b): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen. Anlage 2: Entwicklung und In-situ-Test einer Aalreuse mit Aktivitätsdetektor. Forschungsbericht. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen.
- ASI Nr. 26 BECKER, B.; REUTER, C. (2008): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen – Implementierung und Prüfung von Aalschutzmaßnahmen. Anlage 1: Umsetzung der Optimierungsuntersuchungen in die Anlagensteuerung (Steuerungshandbuch). Forschungsbericht. Aachen.

- ASI Nr. 27 DR. RADKE, R. (2009): Längenhäufigkeitsverteilung und Altersbestimmung von Blankaa-  
len aus der Mosel im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz. Forschungsber-  
richt.
- ASI Nr. 28 BECKER, B.; GIER, F.; ROGER, S. (2010): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraft-  
anlagen, Anlage 3: Identifikation eines fängigen Standortes für die Detektorreue, Test  
der Detektorreue, Geräuschaufnahmen unter Wasser, 16. Februar 2010.
- ASI Nr. 29 TEGGERS-JUNGE, S.; KROLL, L. (2010): Fischschutz in staugeregelten Flüssen. Anlass, Ziel-  
setzung und Struktur des Projektes. In: LUWG (Hg.): Fischschutz in staugeregelten Flüs-  
sen. Mainzer Arbeitstage. Mainz, 29. April 2010. LUWG, S. 31–36.
- ASI Nr. 30 GIER, F.; ROGER, S.; LORKE, S. (2011): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftan-  
lagen. Anlage 4: Auswertung der Fangergebnisse der Fischereiversuche 2010. For-  
schungsbericht. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH  
Aachen.
- ASI Nr. 31 O. A. (2013): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen. Implementie-  
rung und Prüfung von Aalschutzmaßnahmen, Zusammenstellung der Anlagen 1 bis 4.
- ASI Nr. 32 WENDLING, D. (2012): Verbesserung des Aalabstiegs in stauregulierten Gewässern. Mas-  
terarbeit. Fachhochschule Trier.
- ASI Nr. 33 KROLL, L. (2012): Projektkonzeption und „Soforthilfe“ (Fang und Transport von Aalen) an  
Wasserkraftanlagen der Mosel und Saar. Forum Fischschutz und Fischabstieg. Umwelt-  
bundesamt. Bonn, 2012.
- ASI Nr. 34 WENDLING, D. (2012): Datenerhebung und -aufbereitung im Rahmen der Messkampagne  
2011. Abschlussbericht 23. April 2012. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE  
Energie AG. Fachhochschule Trier.
- ASI Nr. 35 ASI (2013): Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/ RWE Power AG. Faltblatt. Hg. v. Aal-  
schutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG.
- ASI Nr. 36 WENDLING, D. (2013): Datenerhebung und -aufbereitung im Rahmen der Messkampagne  
2012. Abschlussbericht vom 22. März 2013. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-  
Pfalz/RWE Energie AG. Fachhochschule Trier.
- ASI Nr. 37 WENDLING, D. (2014): Datenerhebung und -aufbereitung im Rahmen der Messkampagne  
2013. Bericht zur Messkampagne 2013 vom 26. Februar 2014. Hg. v. Aalschutz-Initiative  
Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. Fachhochschule Trier.
- ASI Nr. 38 WENDLING, D. (2015): Datenerhebung und -aufbereitung im Rahmen der Messkampagne  
2014. Bericht zur Messkampagne 2014 vom 19. Mai 2015. Hg. v. Aalschutz-Initiative  
Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. Fachhochschule Trier.
- ASI Nr. 39 INGENIEURBÜRO SCHMID (2015): Bericht zu den Peilungen auf der Mosel im Oberwasser  
der Staustufen Lehmen und Enkirch. Messungen vom 19. und 20. März 2015. Auftragge-  
ber: Rheinland-Pfalz Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord. Unter Mitarbeit von  
H. Niesler.

# 1 Einleitung

## 1.1 Veranlassung

Der Europäische Aal (*Anguilla anguilla*) hatte bis Mitte des 20. Jahrhunderts eine nachhaltig überlebensfähige Populationsgröße, und für viele Berufsfischer war die Aalfischerei von hoher wirtschaftlicher Bedeutung (FEUNTEUN ET AL., 2000). Seit den 1980er-Jahren ist der Bestand des Aals jedoch stark rückläufig. Dies zeigt sich vor allem im sinkenden Glasaalaufkommen an den europäischen Küsten (ICES, 2008). Die Gründe für den Rückgang können neben Veränderungen in den Strömungen des Atlantischen Ozeans auch die Verunreinigung der Gewässer mit lipophilen Stoffen (zum Beispiel PCB) (PALSTRA ET AL., 2006) oder der Befall mit dem aus Asien stammenden Schwimmbblasenwurm sein (ARZBACH ET AL., 2005; KAMMANN ET AL., 2014). Des Weiteren behindern vor allem Querbauwerke, wie Wehre, Staustufen, Abstürze und Stützschnellen, die Durchgängigkeit der Gewässer und schränken so die Auf- und Abwanderungsmöglichkeiten auch des Aals ein. Während bereits die Mehrzahl der Querbauwerke mit Einrichtungen zum Fischaufstieg ausgestattet ist und somit die Wanderung der Aale in ihre Aufwuchshabitate nur geringfügig behindert wird, müssen die abwandernden Blankaale während ihrer Laichwanderung zur Sargassosee oftmals die Wasserkraftanlagen durch die Turbinen passieren. Die Passage der Turbinen hat häufig Schädigungen der Aale durch Druckeffekte, Turbulenzen, Scherkräfte oder Kollisionen zur Folge und führt dazu, dass Tiere ihre Laichwanderung nicht erfolgreich weiterführen können.

Die Mosel ist ein staureguliertes Gewässer, in dessen Verlauf es insgesamt 31 Staustufen und 17 Wasserkraftanlagen gibt (IKSMS, 2010). Aale, die aus diesem Gewässersystem abwandern, müssen zum Teil mehrere Wasserkraftanlagen nacheinander passieren, um in den Rhein und schließlich ins Meer zu gelangen. Die Passage jeder Wasserkraftanlage reduziert dabei die Wahrscheinlichkeit, dass die Aale es unbeschadet bis zum Meer schaffen.

In verschiedenen Fischereiversuchen an der Mosel wurden an einzelnen Wasserkraftanlagen die Schädigungsziffern für abwandernde Aale ermittelt. Dabei wurde zum einen eine mittlere Schädigungsziffer von 23 % ermittelt und zum anderen in einem Einzelversuch eine Schädigungsziffer von 60 % (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999; GIER ET AL., 2011). Zum Erhalt des Aalbestands in der Mosel und der Saar ist im Jahr 1995 die Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG gegründet worden. Das Ziel der Initiative ist es, „unter Wahrung der Belange der Kraftwerksbetreiber gemeinsam nach den besten Lösungen zur Verhinderung oder erheblichen Verringerung der Fischereischäden zu suchen“ (RWE ENERGIE AG UND LAND RHEINLAND-PFALZ, 1995). Hierfür sind von der Aalschutz-Initiative drei Projektaktivitäten erarbeitet worden, die kurz-, mittel- und langfristig den Schutz des Aals ermöglichen sollen:

- Projektaktivität A – *Fischen und Umsetzen*
- Projektaktivität B – *Früherkennen und Steuern*
- Projektaktivität C – *Abweisen und Umlenken*

Neben den drei Projektaktivitäten hat sich die Initiative ebenfalls zum Ziel gesetzt, durch Forschung und Entwicklung zur Verbesserung der Schutzstrategien beizutragen. Das Land Rheinland-Pfalz finanziert zur Stärkung des Aalbestands und zur Erhaltung des Aallebensraums Mosel Besatzmaßnahmen.

Mit dieser Jubiläumsschrift sollen die bisher durchgeführten Maßnahmen der Aalschutz-Initiative und ihrer Kooperationspartner dargestellt und für eine Standortbestimmung der einzelnen Projektaktivitäten sowie des übergeordneten Projektziels zusammengefasst werden. Des Weiteren soll auf der Grundlage der vorhandenen Wissensdefizite der aktuelle Forschungsbedarf im Bereich des Aalschutzes innerhalb des Projekts identifiziert werden.

## 1.2 Vorgehensweise

Zunächst werden in Kapitel 2 die hydrologischen Verhältnisse und die verschiedenartigen Nutzungen der Mosel dargestellt. Als mitteleuropäischer Fluss, der durch die Staatsgebiete von Frankreich, Luxemburg und Deutschland fließt, stellt die Mosel einen bedeutenden Lebensraum für eine Vielzahl von Pflanzen und Tieren sowie einen wichtigen Verkehrsweg für die Binnenschifffahrt dar.

In Kapitel 3 wird dargestellt, welchen Einfluss die Wasserkraftanlagen an der Mosel insbesondere auf die Wanderung der Blankaale haben. Dabei wird zunächst auf den Entwicklungszyklus und das Wanderverhalten der katadromen Fischart eingegangen. Anschließend wird der Rückgang der Population in Europa dargestellt. Für einen effizienten Schutz des Aals ist es essenziell, zu wissen, welche Faktoren für den Rückgang des Aals relevant sind. Daher wird kurz auf alle bekannten möglichen Ursachen eingegangen. Obwohl die genaue Ursachenkombination nicht eindeutig geklärt werden kann, scheint die wasserkraftbedingte Schädigung der Aale an der Mosel einen signifikanten Einfluss auf die Zahl der erfolgreich abwandernden Blankaale zu haben. Daher werden die Gefährdungsbereiche für den Aal an einer Wasserkraftanlage beschrieben und die Schadensmechanismen und Schadensraten, die auftreten können, erläutert.

Kapitel 4 beschäftigt sich mit den einzelnen Aktivitäten und Maßnahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG. Es erfolgen für jede Projektaktivität eine Erläuterung des Konzepts, eine Darstellung der durchgeführten Maßnahmen und die Bewertung der Projektaktivitäten.

In Kapitel 5 erfolgen eine Synthese der Maßnahmen und kritische Bewertung der Zielerreichung sowie ein Ausblick über potenziell umsetzbare Forschungsschwerpunkte.

## 2 Mosel und Saar

### 2.1 Hydrologische Verhältnisse

Die Mosel entspringt nahe dem *Col de Bussang* in den französischen Vogesen. Auf ihrer kompletten Fließstrecke von rund 520 km fließt die Mosel zunächst 278 km durch französisches Staatsgebiet. Im Anschluss bildet sie für eine Strecke von 36 km zwischen dem Großherzogtum Luxemburg und der Bundesrepublik Deutschland das deutsch-luxemburgische Kondominium und wird von den beiden Staaten gemeinschaftlich verwaltet. Anschließend fließt sie über 206 km durch deutsches Gebiet und mündet bei Koblenz in den Rhein (vgl. Abbildung 2.1). Das oberirdische Einzugsgebiet der Mosel liegt überwiegend in den Vogesen, den Ardennen, dem Hunsrück sowie der Eifel und wird geologisch weitestgehend dem Rheinischen Schiefergebirge zugeordnet. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 28.146 km<sup>2</sup> (WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST, 2007). Bezüglich des Einzugsgebiets ist die Mosel der größte, bezüglich des Abflusses der drittgrößte Nebenfluss des Rheins. Sie selbst hat ebenfalls zahlreiche kleinere und größere Zuflüsse. Die größten und bedeutsamsten Gewässer, die in die Mosel münden, sind (WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST, 2007):

- Saar (Einzugsgebiet: 7.363 km<sup>2</sup>, MQ: 74,3 m<sup>3</sup>/s)
- Sauer (Einzugsgebiet: 4.259 km<sup>2</sup>, MQ: 40,9 m<sup>3</sup>/s)
- Meurthe (Einzugsgebiet: 3.085 km<sup>2</sup>, MQ: 41,1 m<sup>3</sup>/s)

An insgesamt 37 Pegeln in Frankreich, Luxemburg und Deutschland wird der aktuelle Wasserstand im Verlauf der Mosel gemessen und so der Abfluss der Mosel bestimmt. Die Messungen dienen neben der Bestimmung der Wassertiefe und der Beurteilung der Schiffbarkeit der Mosel auch der Vorhersage von Hochwasserereignissen und sind daher für die Anwohner und Nutzer der Mosel von besonderer Bedeutung. Die Abflussvariabilität ist an der Mosel aufgrund des wenig aufnahmefähigen Rheinischen Schiefergebirges, durch das sie in Deutschland fließt, sehr groß (BUSSKAMP UND SCHMIDT, 2003). Wie ein Vergleich mit der Weser zeigt, die einen ähnlichen mittleren Abfluss (MQ) aufweist, ist das Verhältnis von mittlerem Hochwasserabfluss (MHQ) und mittleren Niedrigwasser (MNQ) an der Mosel besonders hoch (Tabelle 2.1). Auch die Abflussvariabilität der Extrema (höchster jemals gemessener Hochwasserabfluss und niedrigster gemessener Abfluss) ist an der Mosel wesentlich höher als an den meisten anderen deutschen Flüssen der Mittelgebirge.



**Abbildung 2.1:** Verlauf der Mosel und ihrer Zuflüsse (Quelle: Google Earth)

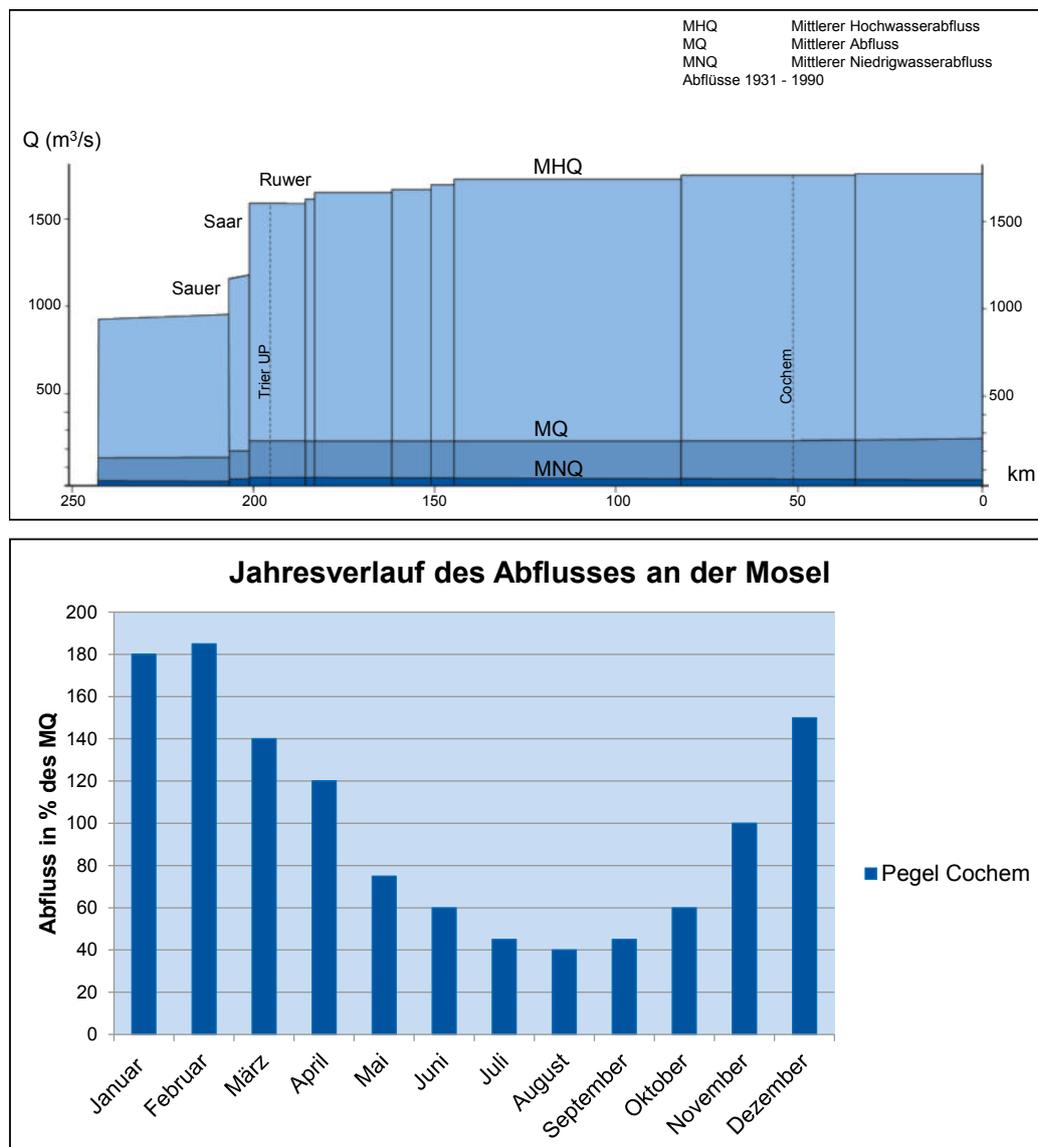
**Tabelle 2.1:** Hydrologische Kenndaten der Mosel (WASSER- UND SCHIFFFAHRTS DIREKTION SÜDWEST, 2007)

| Abflüsse am Pegel Cochem                  | Mosel (Cochem) |                   | Weser (Intschede) |                   |
|---|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| NNQ                                       | 10             | m <sup>3</sup> /s | 60                | m <sup>3</sup> /s |
| MNQ                                       | 58             | m <sup>3</sup> /s | 123               | m <sup>3</sup> /s |
| MQ  | 316            | m <sup>3</sup> /s | 323               | m <sup>3</sup> /s |
| MHQ                                       | 2110           | m <sup>3</sup> /s | 1250              | m <sup>3</sup> /s |
| HHQ                                       | 4170           | m <sup>3</sup> /s | 3500              | m <sup>3</sup> /s |
| Abflussvariabilität (MHQ/MNQ)             | 37,9           | -                 | 10,1              | -                 |
| Abflussvariabilität der Extrema (HHQ/NNQ) | 417            | -                 | 58,3              | -                 |

Über das Jahr schwanken der Abfluss und der Wasserstand an der Mosel in der Form, dass es im Spätsommer und Herbst zu ausgeprägten Niedrigwasserphasen kommt, bei denen der Abfluss weniger als 50 % des MQ beträgt. Im Gegensatz dazu kommt es im hydrologischen Winterhalbjahr aufgrund von

Niederschlägen und Schneeschmelze zu erhöhten Abflüssen, die um mehr als 75 % über dem MQ liegen können (Abbildung 2.2). Ab Trier fließen keine nennenswerten Zuflüsse mehr in die Mosel, wodurch der Abfluss zwischen Trier und Koblenz über die letzten 200 km Fließstrecke nahezu konstant bleibt (Abbildung 2.3).

Die Saar entspringt wie die Mosel in den Vogesen und entsteht aus dem Zusammenfluss der Roten und Weißen Saar in *Hermelange* bei *Saarebourg*. Auf ihrer kompletten Fließstrecke von 227 km fließt die Saar zunächst 117 km auf französischem Gebiet. Im Anschluss bildet die Saar über 11 km die Grenze zwischen Frankreich und Deutschland und mündet schließlich nach 99 km auf deutschem Gebiet bei *Konz* in die Mosel. Das oberirdische Einzugsgebiet der Saar beträgt 7.363 km<sup>2</sup>. Die Abflussvariabilität der Saar ist ebenso wie die der Mosel sehr groß (Tabelle 2.2).



**Abbildung 2.2:** oben: Abflusslängsschnitt der Mosel (nach: WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST, 2007), unten: langjährige Monatsmittelwerte des Abflusses in % des mittleren Abflusses (Quelle der Daten: EHLSCHIED ET AL., 2002)



**Abbildung 2.3:** Blick auf Senheim im Jahr 1957 vor dem Ausbau der Mosel (Foto: LHA/KO OTTO LOHAUSEN, 1957)

**Tabelle 2.2:** Hydrologische Kenndaten der Saar (WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST, 2007)

| Abflüsse am Pegel Fremersdorf             |      |                   |
|---|------|-------------------|
| NNQ                                       | 9,1  | m <sup>3</sup> /s |
| MNQ                                       | 18,1 | m <sup>3</sup> /s |
| MQ  | 74,3 | m <sup>3</sup> /s |
| MHQ                                       | 659  | m <sup>3</sup> /s |
| HHQ                                       | 1420 | m <sup>3</sup> /s |
| Abflussvariabilität (MHQ/MNQ)             | 36,4 |                   |
| Abflussvariabilität der Extrema (HHQ/NNQ) | 156  |                   |

## 2.2 Naturräumliche Gegebenheiten und anthropogene Beeinflussungen

Die ozeanisch, mit vermehrt winterlichem Regenfall geprägte Mosel im deutschen Staatsgebiet war vor dem Ausbau zur Großschiffahrtsstraße (vgl. Abschnitt 2.3) ein sehr temperamentvoll (sehr hoher Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser) und zügig fließendes, der Barbenregion zugerechnetes Gewässer. Sie fließt auf deutschem Staatsgebiet über recht wasserundurchlässiges devonisches Schiefergestein, und ihre Sohle bestand aus hartem, steinig-kiesigem Substrat mit ausgeprägten pflanzenbestandenen und strömungsberuhigten Ufersäumen und Uferbuchten mit weicherem Sediment. Die Ufer waren flach, reich strukturiert und um ein Mehrfaches länger im Vergleich zu dem Zustand nach dem Ausbau der Mosel. Dies sind für die Artenvielfalt und die Bioproduktion sehr wichtige Faktoren (Abbildung 2.4).



**Abbildung 2.4:** Ortsansicht von Valwig mit Aalschokker (Foto: LHA/KO OTTO LOHAUSEN, 1958)

Das in einem engen Tal mit praktisch fehlender Aue tief eingeschnittene Gewässer war durch einen Wechsel von Woogstrukturen (Gumpen, Kaulen) mit großen Wassertiefen mit geringem Gefälle und flachen Furtstrecken (Quarzriegel) mit starkem Gefälle gekennzeichnet. Nach ersten Flussregulierungen (Buhnen, Längswerke) zwischen 1838 und 1890 wurde im Jahr 1941 der alte Plan zur Stauregulierung mit dem Bau des Stauwehres Koblenz begonnen und nach gemeinsamen Verträgen mit Frankreich und Luxemburg zwischen 1957 und 1964 vollendet. Obwohl das Wehr Koblenz einen weitgehend funktionierenden Fischpass erhielt, verschwanden nach Fertigstellung des Wehres (1951) auch die bis dahin schon spärlichen Meldungen von Lachsfängen im Oberlauf beziehungsweise in Seitengewässern der Mosel.

Durch die vielgestaltigen Uferbereiche und zugelassenen Überflutungsflächen bestand vor dem Ausbau eine hochgradig nischenvernetzte, amphibische Flussauenlandschaft, welche charakteristisch für das Ökosystem Mosel war. Die Artendiversität und fischereiliche Produktivität waren hoch und stabil. Der Ausbau der Mosel zu einer stauregulierten Großschifffahrtsstraße mit Stauwehren und einer Besiedlungsmöglichkeit bis zu den neuen, uferorientierten Straßen bedeutete eine rigorose Veränderung im Naturhaushalt.



**Abbildung 2.5:** Camping-Insel Ziehfurt bei Winningen und Flussauenlandschaft der Mosel  
(Foto: LHA/KO FRITZ GUTMANN, 1958)

Um den natürlichen Lebensraum der Mosel und der Saar zu schützen, wurden Teile des Moselgebiets im Jahr 2005 in die Liste der Natura-2000-Schutzgebiete aufgenommen. Mit Natura 2000 wird ein zusammenhängendes Netz aus Naturschutzgebieten innerhalb der Europäischen Union bezeichnet, das gemäß der sogenannten Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) dem Ziel der „Sicherung der Artenvielfalt durch die Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen“ (Art. 1 Abs. 1, RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT, 1992) dienen soll. Die FFH-Gebiete „Mosel“ und „Moselhänge und Nebentäler der unteren Mosel“ umfassen zusammen etwa 170 km<sup>2</sup> (LUWG, 2012A, 2012B).

Durch anthropogene Beeinflussungen der Mosel und der Saar ergeben sich mitunter große Probleme in Hinblick auf die Aufrechterhaltung der natürlichen Lebensräume. Aufgrund der Einleitung unzureichend geklärter Abwässer (Mosel bis in die 1970er-Jahre, Saar bis in die 1990er-Jahre), insbesondere in Hinblick auf den ungünstig veränderten Sauerstoffhaushalt in den Stauhaltungen, sowie durch die Belastungen aus der Montanindustrie der heute als „Saar-Lor-Lux“ bezeichneten Region kam es bis zur Stau- regulierung der Mosel zu deutlich spür- und sichtbaren Belastungen: Die Moselufer waren verschmutzt und schwarz vor abgeschwemmter Kohle, Fische schmeckten nach Phenol, und es kam zu häufigen großen Fischsterben infolge Sauerstoffmangels oder eingeleiteter Gifte, wie zum Beispiel Cyanid. Auch

heute können bei Fischarten mit einem hohen Fettgehalt noch zu hohe PCB-/Dioxin-Gehalte festgestellt werden, die sich aus der ehemaligen bedenkenlosen Verwendung von Hydraulik- und Transformatorölen in der Montanindustrie herleiten lassen.

Durch den Ausbau von Mosel und Saar (vgl. Abschnitt 2.3) und dem damit einhergegangenen Bau von Querbauwerken ist die auf- und abwärtsgerichtete Durchgängigkeit der Fließgewässer stark beeinträchtigt. Im Bericht der Internationalen Kommission zum Schutz der Mosel und der Saar (IKSMS, 2010) sind alle Querbauwerke, die die Durchwanderbarkeit der Mosel und ihrer Nebenflüsse einschränken, aufgelistet. Demzufolge gibt es an der Mosel 31 und an der Saar 26 Querbauwerke mit Höhendifferenzen zwischen 0,3 m und 9 m (Mosel) sowie 1 m und 14,5 m (Saar), die die Auf- und Abwärtspassierbarkeit und damit die Populationsstabilität der vorkommenden Arten teilweise erheblich einschränken.

Eine weitere anthropogene Beeinflussung stellt die Belastung der Fließgewässer mit Schadstoffen dar. Ein Beispiel ist die Belastung mit Polychlorierten Biphenylen (PCB), die einen negativen Einfluss auf die Entwicklung von Fischembryonen haben können (PALSTRA ET AL., 2006). Das Mosel-Saar-System ist durch eine hohe Belastung mit PCB und Dioxinen charakterisiert, die aber deutlich rückläufig ist (IKSR, 2011).

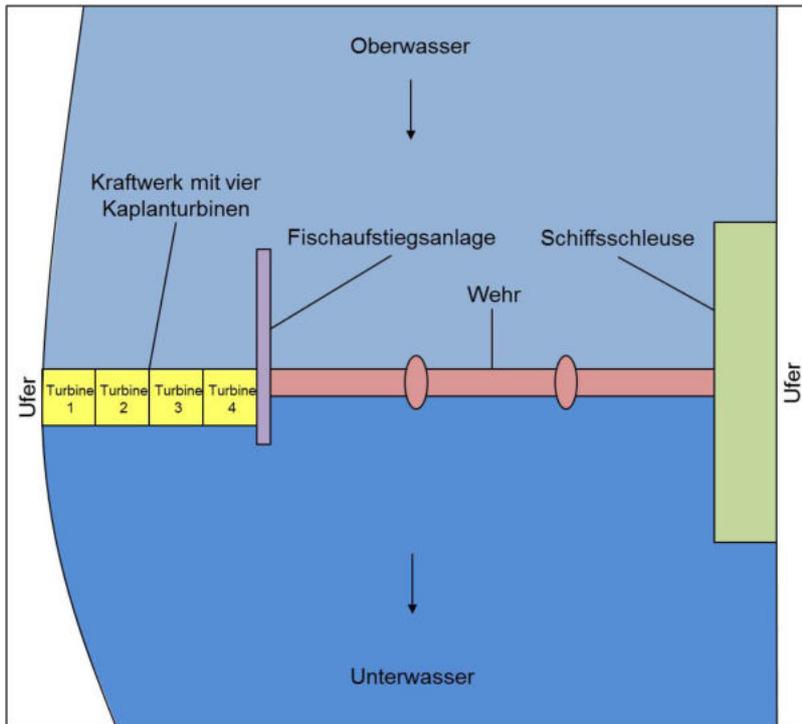
### 2.3 Ausbau der Mosel und der Saar

In der Mosel bestehen aufgrund der Lage im deutschen Schiefergebirge in besonderem Maße natürliche Schwankungen des Abflusses und damit einhergehend Unterschiede beim Wasserstand. Diese große Unstetigkeit des Abflusses und des Wasserstands birgt für die Schifffahrt allgemein an diesen Gewässertypen, so auch für die Mosel, eine große unternehmerische sowie wirtschaftliche Unsicherheit. In besonders niederschlagsarmen Jahren kann es vorkommen, dass der Mindestwasserstand, der von der heutigen Binnenschifffahrt gewünscht wird, während der Niedrigwasserphasen im Sommer und Herbst an bis zu sechs Monaten unterschritten wird, was eine Befahrbarkeit der Mosel mit heutigen Containerschiffen unmöglich macht. Diesem unternehmerischen und wirtschaftlichen Risiko wurde mit dem „Vertrag vom 27. Oktober 1956 zwischen der Bundesrepublik Deutschland[,] der Französischen Republik und dem Großherzogtum Luxemburg über die Schiffbarmachung der Mosel“ gegengewirkt (BRETANO ET AL., 1956). In Artikel 1 des Vertrags ist festgelegt, dass die Mosel zwischen *Diedenhofen* (*Thionville*, Frankreich) und *Koblenz* (Deutschland) für 1.500-Tonnen-Schiffe befahrbar gemacht wird. Der dafür erforderliche Ausbau der Mosel und die Errichtung von Staustufen wurde gemeinschaftlich von den drei Vertragsparteien geplant und durchgeführt, wobei jedes Land für die Abschnitte seines Staatsgebietes verantwortlich war (Art. 2, Art. 6 BRETANO ET AL., 1956). Dabei wurde in Artikel 1 ebenfalls festgelegt, dass die Bedürfnisse aller Nutzer der Mosel, wie „der Elektrizitätswirtschaft, der Landeskultur, der Fischerei, der Wasserwirtschaft und des Fremdenverkehrs“, beim Ausbau der Mosel berücksichtigt werden sollen (BRETANO ET AL., 1956).



**Abbildung 2.6:** Moselstaustufe Fankel im Bau (Foto: LHA/KO OTTO SCHMITT, 1961)

Der Ausbau der Mosel zur Großschifffahrtsstraße von Thionville (Frankreich) bis Koblenz hat vom Vertragsschluss im Jahre 1956 bis zur Eröffnung im Jahre 1964 acht Jahre in Anspruch genommen und umgerechnet fast 400 Millionen Euro gekostet. Heute sind im Verlauf der Mosel 31 Staustufen und andere Querbauwerke mit Fallhöhen von 0,3 m bis 9 m vorhanden. An 17 dieser Querbauwerke sind zusätzlich Wasserkraftanlagen zur Erzeugung regenerativer Energie installiert. Die Staustufen ermöglichen die Großschifffahrt auf der Mosel auf einer Strecke von 394 km. Bis auf wenige Ausnahmen sind alle Staustufen ab der französischen Grenze baulich gleich gestaltet. Das heißt, sie bestehen aus einer Schiffschleuse, einem Wehr, einem Trennpfeiler mit Fischaufstiegsanlage und einem Kraftwerk (vgl. Abbildung 2.7). Durch den laufenden Ausbau der Wasserstraße haben einige Staustufen, wie Fankel und Zeltingen, eine zweite Schiffahrtsschleuse erhalten. Diese neuartige Anordnung wird sukzessive an weiteren Staustufen folgen (WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST, 2007). Ebenfalls erfolgt als Ausgleichmaßnahme für den Ausbau der Wasserstraße sowie zur Verbesserung der biologischen Durchgängigkeit ein Fischpassneubau. Die Staustufe Koblenz hat im Jahr 2011 im Vorgriff auf diese Entwicklung einen modernen Fischpass mit vielfältigen Beobachtungspunkten (Monitoring) erhalten, der im September 2011 eröffnet wurde.



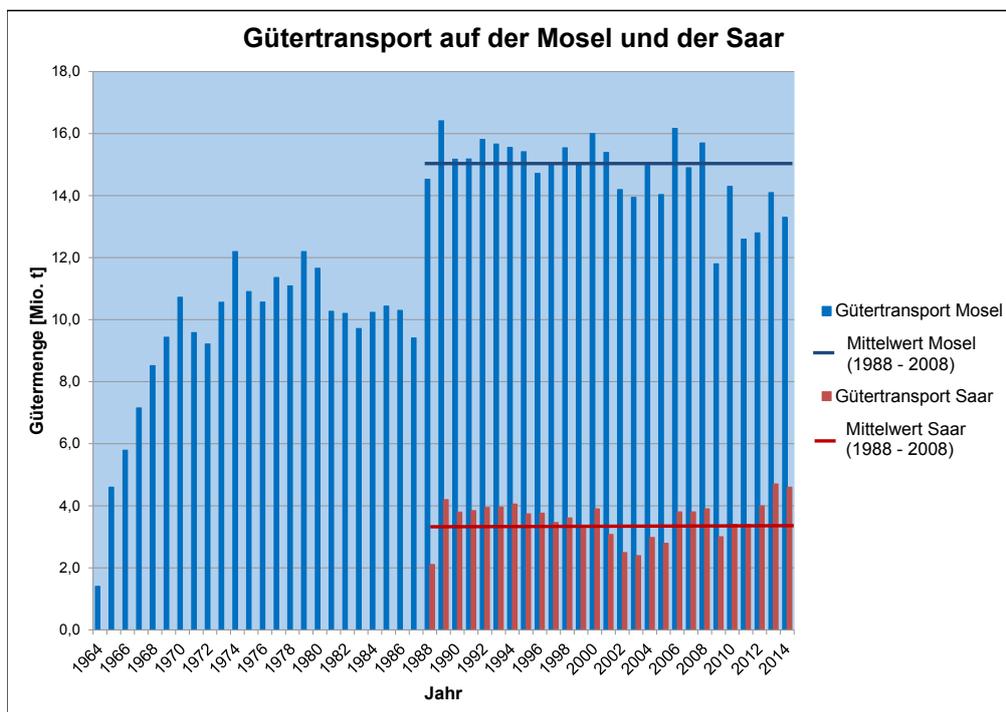
**Abbildung 2.7:** oben: prinzipieller Aufbau eines Moselkraftwerks, unten: Foto des Kraftwerks Wintrich mit Blick vom Unterwasser (Foto: RWE POWER AG)

Fünf Jahre nach der Beendigung des Moselausbaus im Jahr 1964 wurde damit begonnen, auch den größten Zufluss der Mosel, die Saar, zur Großschifffahrtsstraße auszubauen. Die Gründe hierfür lagen vor allem in Bedenken der saarländischen Montanindustrie, die nach dem Ausbau der Mosel finanzielle Nachteile befürchtete (WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST, 2007). Die Großschifffahrtsstraße wurde im Jahr 1987 zwischen Konz und Dillingen und im Jahr 1988 zwischen Dillingen und Lisdorf eröffnet und trägt seitdem zum Gütertransport zwischen Frankreich, Luxemburg und Deutschland bei. In der Ausbaustrecke befinden sich bis heute sechs Staustufen, die alle aus einem drei- beziehungsweise vierfeldrigen Wehr, einer großen und kleinen Schiffsschleuse, einem Wasserkraftwerk und einer Fischaufstiegsanlage bestehen.

## 2.4 Schifffahrt

Seit dem Ausbau der Mosel zur Großschifffahrtsstraße von 1956 bis 1964 ist die Mosel für Schiffe bis zu 1.500 Tonnen ganzjährig befahrbar. Durch die insgesamt 28 Staustufen kann selbst bei schwankenden Abflüssen sichergestellt werden, dass die Mindestwassertiefe eingehalten wird und gleichzeitig alle Brückenbauwerke passierbar sind. Dabei wird durch die gezielte Steuerung der Abflüsse an den Kraftwerken und Wehren der jeweiligen Staustufen das von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest (WSD) vorgegebene Stauziel in der im Oberstrom gelegenen Stauhaltung sichergestellt. Die zulässige Toleranz beim Stauziel beträgt dabei  $\pm 5$  cm (WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST, 2011), mit Ausnahme der Staustufe Trier, wo aufgrund der dort mündenden Zuflüsse der Sauer und der Saar eine größere Schwankung zulässig ist.

Der Gütertransport auf der Mosel stellt einen bedeutenden Nutzungsaspekt des Fließgewässers dar. Zwischen 1988 und 2008 betrug der Mittelwert der transportierten Gütermengen 15,2 Mio. Tonnen (vgl. Abbildung 2.8). Im Jahr 2009 kam es, ausgelöst durch die weltweite Finanzkrise, zu einem Einbruch des Gütertransports um 25 %. Bis zum Jahr 2014 stieg der Wert wieder bis auf 13,3 Mio. Tonnen an. Jedoch liegt dieser Wert noch immer unterhalb des langjährigen Mittelwerts von 1988 bis 2008. Die durchschnittliche Menge der transportierten Güter auf der Saar zwischen 1988 und 2006 betrug 3,4 Mio. Tonnen (WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST, 2007).



**Abbildung 2.8:** Gütertransport auf der Mosel von 1986 bis 2014 (Quelle der Daten: WASSER-UND SCHIFFFAHRTS-VERWALTUNG DES BUNDES, 18. Februar 2014 und persönliche Mitteilung WSV)

Die Binnenschifffahrt ist sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch aus volkswirtschaftlicher Sicht von großem Interesse. Die berechneten Kosten pro transportierter Tonne auf einer Vergleichsstrecke liegen

für die Binnenschifffahrt laut einer Studie der PLANCO CONSULTING GMBH, ESSEN und der BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2007) unterhalb derer für den Transport über Straßen und Schienen (Wasserstraße: ~ 7,7 €, Bahn: ~ 10 €, Straße: ~ 36,3 €). Auch bei Betrachtung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten, die etwa die externen Kosten für Lärm, Unfälle, Klimagase und Luftverschmutzung miteinbeziehen, ist die Binnenschifffahrt günstiger als die anderen beiden Verkehrsmittel.

Neben dem Gütertransport nimmt auch die Personenschifffahrt eine wichtige Rolle auf der Mosel und der Saar ein. Die Zahl der Personenschiffe, die an der Schleuse in Koblenz registriert wurden, betrug im Mittel der Jahre 1988 bis 2006 1.550 und an der Schleuse Kanzem an der Saar 212.

## 2.5 Wasserkraft

An 17 der 28 Staustufen an der Mosel ist neben dem Wehr, der Schleuse und der Fischaufstiegsanlage auch eine Wasserkraftanlage installiert. Fünf dieser Wasserkraftanlagen befinden sich auf dem französischen Staatsgebiet und werden von der *Société électrique de l'Our* (SEO) betrieben. Sie haben eine Leistung von insgesamt 14,9 MW. Auf dem luxemburgisch-deutschen Teil der Mosel befinden sich zwei Wasserkraftanlagen, die eine Gesamtleistung von 12,3 MW aufweisen und ebenfalls von der SEO betrieben werden. Die meisten Wasserkraftanlagen gibt es im unteren Teil der Mosel, auf deutschem Gebiet (vgl. Abbildung 2.9). Diese zehn Wasserkraftanlagen werden von der RWE Power AG betrieben und haben eine Leistung von 180 MW. In Abbildung 2.9 sind die zehn deutschen, die zwei luxemburgisch-deutschen und zwei der französischen Wasserkraftanlagen dargestellt.

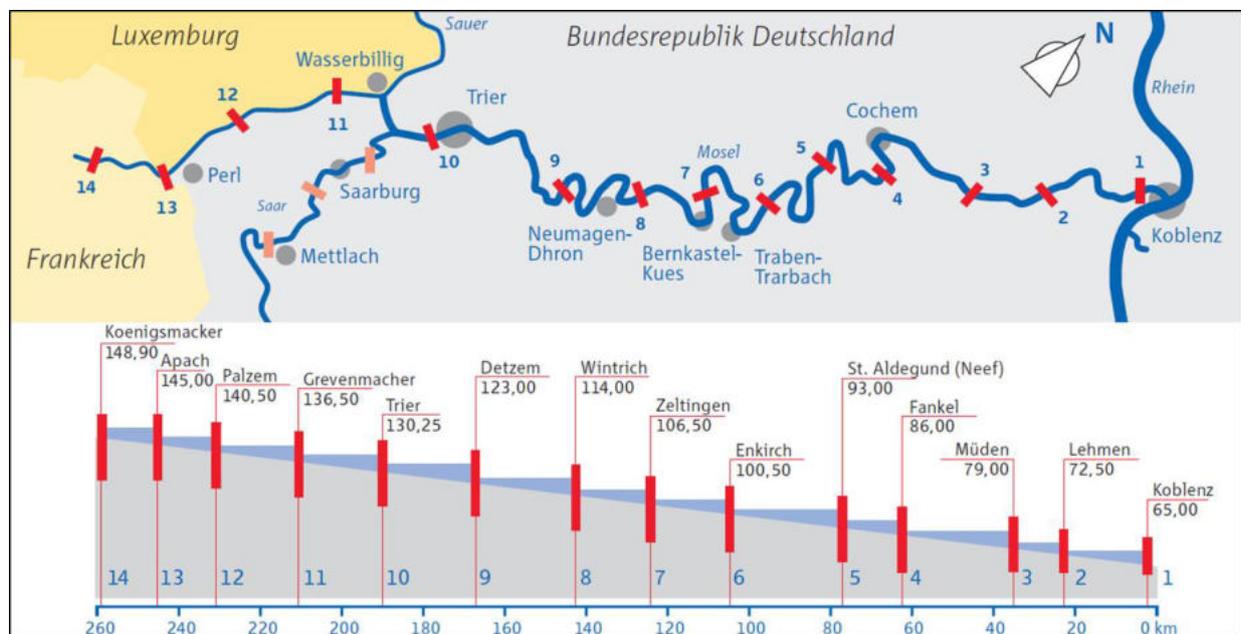


Abbildung 2.9: Wasserkraftanlagen im Verlauf der Mosel (Quelle: RWE POWER AG, 2004)

Bei den deutschen Anlagen gibt es aus baulicher Sicht eine Unterscheidung der Wasserkraftanlagen Lehmen bis Trier und der Anlage Koblenz. Während die neun Anlagen von Lehmen bis Trier nahezu identisch sind und mit vier Rohr-Kaplan-Turbinen betrieben werden (vgl. Abbildung 2.10), sind in der Wasserkraftanlage Koblenz (Inbetriebnahme 1951) vier senkrechte Kaplanturbinen installiert.



**Abbildung 2.10:** Blick auf eine Rohr-Kaplan-Turbine in Relation ihrer Größe zu einem Menschen (Foto: RWE POWER AG)

Die Fallhöhe bei den erstgenannten Anlagentypen variiert zwischen 6 m und 9 m, und damit einhergehend variiert die Leistung je Anlage zwischen 13,6 MW und 24 MW. Die Ausbauwassermenge beträgt hier  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  und bei der Wasserkraftanlage Koblenz  $380 \text{ m}^3/\text{s}$  (vgl. Tabelle 2.3).

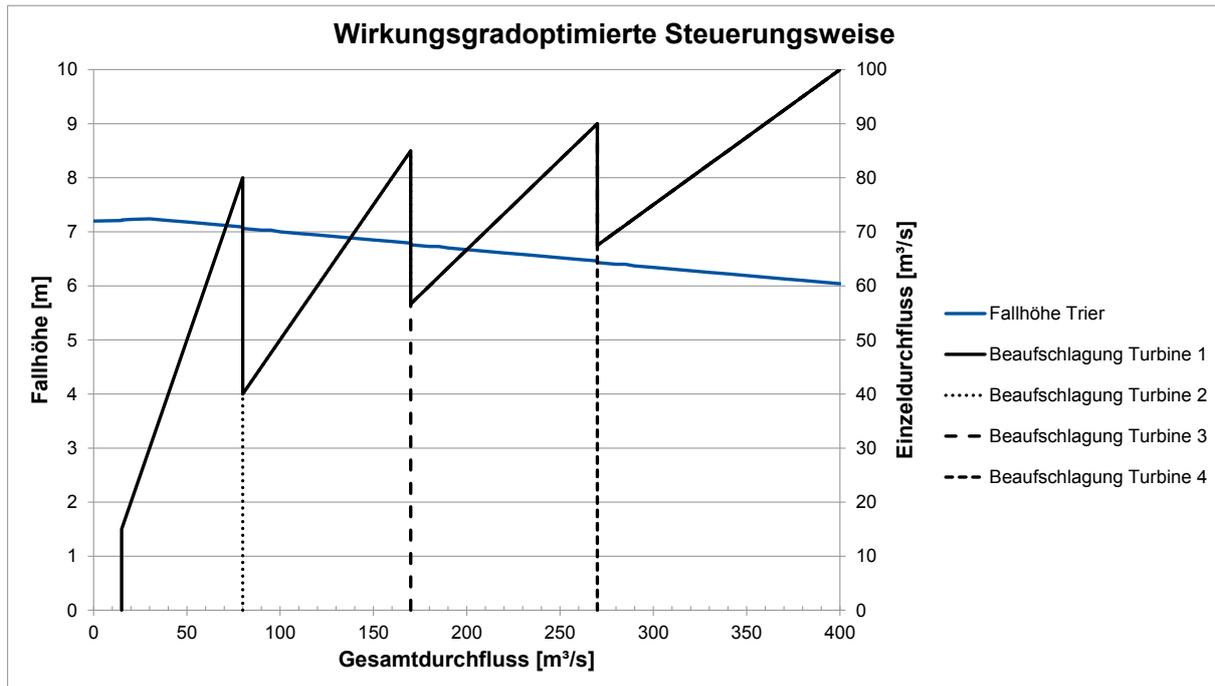
Die Steuerung der zehn deutschen und zwei luxemburgisch-deutschen Wasserkraftanlagen an der Mosel erfolgt durch die Zentralwarte Fankel der RWE Power AG. Dabei wird die Höhe des Wehrabflusses und des Kraftwerkabflusses zentral über einen Verteiler geregelt. Diese automatisierte Abfluss- und Stauzielregelung (ASR) wird seit 2007 schrittweise an den deutschen Wasserkraftanlagen implementiert und soll der Kompensation von schnell einsetzenden, großen Abflussänderungen dienen. Auf diese Weise soll die Einhaltung der Stauzieltoleranz von  $\pm 5 \text{ cm}$  verlässlicher ermöglicht werden. Die Wasserkraftanlagen werden im Normalbetrieb vollautomatisch nach der „Joint-Control-Steuerung“ (RWE POWER AG, 2001) betrieben.

**Tabelle 2.3:** Übersicht der deutschen Moselkraftwerke (nach: RWE POWER AG, 2004)

| Name                | Lage<br>[Mosel km] | Leistung<br>[MW] | Fallhöhe [m] | Ausbauwassermenge<br>[m <sup>3</sup> /s] |
|---------------------|--------------------|------------------|--------------|--|
| Koblenz             | 2                  | 16,0             | 5,3          | 380                                      |
| Lehmen              | 21                 | 20,0             | 7,5          | 400                                      |
| Müden               | 37                 | 16,4             | 6,5          | 400                                      |
| Fankel              | 59                 | 16,4             | 7,0          | 400                                      |
| St. Aldegund (Neef) | 78                 | 16,4             | 7,0          | 400                                      |
| Enkirch             | 103                | 18,4             | 7,5          | 400                                      |
| Zeltingen           | 124                | 13,6             | 6,0          | 400                                      |
| Wintrich            | 141                | 20,0             | 7,5          | 400                                      |
| Detzem              | 166                | 24,0             | 9,0          | 400                                      |
| Trier               | 196                | 18,8             | 7,2          | 400                                      |

Je nachdem, wie groß der Abfluss über die Wasserkraftanlage gemäß ASR ist, werden eine bis vier Turbinen je Anlage genutzt. Dabei werden die einzelnen Turbinen nach Möglichkeit wirkungsgradoptimiert betrieben. Der Wirkungsgrad hängt dabei vom Durchfluss und dem Wasserstand im Oberwasser der Staustufe ab. Steigt beziehungsweise sinkt der Abfluss über einen bestimmten Schwellenwert (Umschaltpunkt) wird eine weitere Turbine zu- beziehungsweise abgeschaltet und der Abfluss möglichst optimal auf die jeweils aktiven Turbinen aufgeteilt.

In Abbildung 2.11 ist das Prinzip eines typischen Schaltverhaltens der Moselkraftwerke dargestellt. Beim sinkenden Abfluss werden andere Umschaltpunkte gewählt als beim steigenden Abfluss. Diese sogenannte Hysterese reduziert die Zahl der Anfahr- und Abstellvorgänge der Turbinen bei wechselnden Abflüssen und schützt so die Turbinen vor vermeidbarem Verschleiß. Neben der Joint-Control-Steuerung kann in Sonderfällen, wie etwa bei häufigen Schleusungen, der Betrieb auch auf Handbetrieb umgestellt werden.



**Abbildung 2.11:** Prinzipskizze des Schaltverhaltens bei wirkungsgradoptimierter Normalsteuerung bei steigendem Durchfluss (nach: NOTERMANN UND REUTER, 2006)

Auf die oben beschriebene Art und Weise werden von den deutschen Moselkraftwerken jährlich etwa 800 GWh Strom produziert. Einschränkungen bei der Produktion erfahren die Wasserkraftanlagenbetreiber durch die Stauzielvorgaben der WSV, das Betriebswasser für die Schleusen sowie die Fischpässe und die Abschaltung der Anlagen bei Hochwasser. Einschränkungen können sich auch durch die fischangepasste Betriebsweise zum Schutz des Aals ergeben, die zurzeit erprobt wird. Nähere Informationen zur fischangepassten Betriebsweise sind in Abschnitt 4.3.2 dargestellt.

## 2.6 Fischerei

Die Bedeutung der Moselfischerei als ein wichtiger Bestandteil ortsnaher und relativ sicherer Ernährung ist bereits durch die mittelalterlichen Gründungen von Fischerzünften, durch Erlässe von Fischereiregeln und durch die städtische Abgabekontrolle öffentlicher Fischmärkte belegt. Die Zahl der vom Fischfang lebenden Fischer sank von circa 80 vor dem 2. Weltkrieg auf 28 nach dem schifffahrtsbedingten Ausbau. Die vormals eingesetzten Großgeräte (vgl. Abbildung 2.12) mussten wegen der geänderten Tiefen- und Strömungsverhältnisse gegen eine Vielzahl von handhabbaren Kleinreusen (Aalfischerei) ausgetauscht werden.



**Abbildung 2.12:** Einsatz Schokker unterhalb der Staustufe Fankel im Jahr 1993 (Foto: KROLL, 1993)

Mit dieser Methode des Netzfangs werden neben dem Zander und dem selten gewordenen Hecht insbesondere im Raum Trier/Luxemburg junge, etwa zweijährige Rotaugen gefangen. Sie stellen dort als „gebackener Moselfisch“ eine regionaltypische Speise dar. Möglichkeiten der Reusen- und Netzfischerei sind durch die Schifffahrt in einem sehr engen Gewässer wie der Mosel erheblich eingeschränkt und mit vermehrten Vorsichtsmaßnahmen und Risiken gegenüber Wellenschlag, Schwall und Sunk verbunden. Von den vormals vorhandenen Wirtschaftsfischarten wie Lachs, Maifisch, Flusneunauge, Nase (an der Mosel „Makrel“ genannt), Barbe, Brachse und Hecht blieb neben Barsch und Rotauge nur der Aal als sogenannter Brotfisch übrig. Dessen Lebensraum wurde durch die losen Steinschüttungen als Uferschutz gegen den schifffahrtsbedingten Wellenschlag in der Mosel verbessert. Seit dem Ausbau der Mosel ist nur der Zander als neue wirtschaftlich bedeutende Fischart in der Mosel dazugekommen.

Für Aale wurden und werden Aufstiegsmöglichkeiten in den Fischpässen, in denen teilweise besondere Aalleitern integriert sind, ermöglicht. Zusätzlich werden alle Stauhaltungen großflächig mit Farmaalen oder Aalbrut besetzt. Beim Neubau der Fischaufstiegsanlage in Koblenz wurde neben einer vorteilhaften Sohlbindung des Hauptfischpasses eine zusätzliche, besondere Einstiegsöffnung für den Aal (Aalleiter) integriert.

Den betriebswirtschaftlichen Notwendigkeiten folgend ist die Zahl der Stauhaltungen seit längerer Zeit identisch mit der Anzahl der staatlichen Verpachtungen (Fischereirecht = Landeseigentum) an berufsfischereiliche Betriebe. Von diesen zehn Betrieben arbeiten lediglich noch vier im Haupterwerb, sechs betreiben die Fischerei als Nebenerwerb (vgl. Abbildung 2.13). Die Entwicklung der Angelfischerei hat sich in den letzten Jahrzehnten vom freien Zugang „zu Tisches Notdurft“ zu einem staatlich geordneten

Freizeitbetrieb großen Ausmaßes entwickelt: Im Jahr 2014 wurden an der Mosel etwa 1.600 Angelscheine für das gesamte Fließgewässer sowie 2.500 Angelscheine für die einzelne Stauhaltungen über die Pächter der Moselstauungen ausgegeben. An der Saar waren es im Jahr 2014 1.075 Angelscheine.



**Abbildung 2.13:** Moselfischer, von links nach rechts: oben: H.-J. Weber, E. Müllen, M. Schmitt, H. Schneider, unten: H. Seiler †, J. Birnfeld (Foto: KROLL, 1995)

Anfang der 1990er-Jahre wurde in einem Gutachten für die BfG der Bestand, das heißt, die gesamte Biomasse aller Fischarten, auf 270 kg/ha geschätzt (BORCHARDT in: VON LANDWÜST, 1996). Die tatsächliche Entnahme aus dem Gewässer (= Ertrag) lag zu dieser Zeit mit 30 kg/ha bis 45 kg/ha etwa bei der Hälfte der auf 60 kg/ha bis 90 kg/ha geschätzten, maximalen nachhaltigen Entnahmemenge (= Ertragsfähigkeit). Auf die Berufsfischerei entfallen Schätzungen zufolge etwa ein Fünftel der Ertragsfähigkeit. Seit Anfang der 1980er-Jahre ist die Ertragsfähigkeit der Mosel durch gezieltes Fernhalten von produktionssteigernden Nährstoffen (Gewässerreinigung) gesunken. Nach heutigen Schätzungen liegt diese nur noch etwa bei 30 kg/ha bis 50 kg/ha. Darüber hinaus hat sich die zunehmende Fischentnahme durch die steigende Zahl an Kormoranen als konkurrierender Faktor für die Berufsfischer entwickelt. Die Entnahme durch den Kormoran liegt derzeit schätzungsweise bei einem Fünftel der Ertragsfähigkeit.

Die wenigen Berufsfischer, die nach der Schiffbarmachung und gleichzeitiger Inbetriebnahme der Wasserkraftanlagen ihre zuvor betriebenen Aalschokker oder Aalhamen wieder einsetzten, konnten diese wegen der zur Fängigkeit notwendigen Anströmung nur direkt hinter den Turbinen im Unterwasser positionieren. Dabei wurden die turbinenbedingten Aalschäden sichtbar. Der hohe technische und personelle Aufwand sowie Anforderungen im Bereich der Sicherheit führten bald zu einer vollständigen Einstellung der Schokkerfischerei und Umstellung der Aalfischerei auf Kleinreusen (Abbildung 2.14).

Die Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG (vgl. Abschnitt 4) wurde von allen Berufsfischern gewünscht und bei Vertragsunterzeichnung 1995 einheitlich begrüßt. Bis heute unterstützen alle Berufsfischer tatkräftig die Initiative; ihre Arbeit im Rahmen der Projektaktivität *Fischen und Umsetzen* – der Fang der abwanderungswilligen Blankaale vor der Turbinenpassage und der Verkauf der gefangenen Blankaale zu marktüblichen Preisen an die ASI zum Weitertransport zum Rhein – stellt eine bedeutsame Einkommensstützung dar.



**Abbildung 2.14:** Reusenfischerei auf der Mosel, links: Moselfischer E. Müllen, Stauhaltung Enkirch; rechts: Moselfischer M. Schmitt, Stauhaltung Detzem

## 3 Die Gefährdung des Europäischen Aals an Mosel und Saar

### 3.1 Einleitung

Ein Ergebnis der Projektfindungskonferenz der Aalschutz-Initiative in Bernkastel-Kues am 18. und 19. April 1996 (vgl. Abschnitt 4.1) war die Übereinstimmung aller Teilnehmer darin, dass eine internationale Literaturrecherche über das Wissen zum Wanderverhalten und zu Schutzstrategien des Aals vonnöten sei. Insbesondere die beteiligten Ingenieure verlangten nach belastbaren Zahlen zu Körpergrößen, Schwimmtiefe, Grenzwerte für leitende Strömungen und vielem mehr. Eine solche Studie wurde im März 1998 in Deutsch und Englisch veröffentlicht (THON, 1999).

Auch wenn viele neue Untersuchungsergebnisse seit dem Jahr 1998 hinzugekommen sind, ist die Studie nach wie vor grundlegend für das grundsätzliche Wissen über den Aal und weitere Überlegungen. Eine Neuauflage des Werks ist daher geplant.

### 3.2 Biologische Grundlagen

Der Europäische Aal (*Anguilla anguilla* L.) gehört zur Gattung der Aale und zählt zur Klasse der Knochenfische. Je nachdem, welche Unterscheidungskriterien angesetzt werden, zählen neben dem Europäischen Aal noch 14 bis 18 weitere Arten zur Gattung der Aale. Der Europäische und der Amerikanische Aal sind jedoch die einzigen beiden Atlantischen Aalarten. Sie unterscheiden sich äußerlich nur wenig voneinander, haben jedoch abgesehen vom Laichgebiet keine gemeinsamen Lebensräume.

#### 3.2.1 Entwicklungszyklus

Der Aal durchläuft im Laufe seines Lebens nach seinem Eistadium vier bekannte Entwicklungsstadien (vgl. Abbildung 3.1):

- Weidenblattlarve
- Glasaal
- Gelbaal
- Blankaal

Der Aal führt sehr lange, flussabwärts gerichtete Laichwanderungen durch: er verhält sich katadrom (gr. abwärtslaufend). Das bedeutet, seine Aufwuchshabitate liegen in Binnen- oder Küstengewässern, während sein Laichgebiet im Meer liegt. Abhängig von der Bestandsdichte und der Lebensraumkapazität verbringen die Aale den Großteil ihres Lebens im Süßwasser oder verbleiben im küstennahen Salzwasser. Steigt die Bestandsdichte der jungen Aale über 8.000 St./ha, so erhöht sich die Zahl der Aale, die bis in die Mittel- und Oberläufe der Flüsse hinaufwandern und dort heranwachsen (KNÖSCHE, 2015B). Unabhängig von den Aufwuchshabitaten liegt der Laichplatz aller Aale vermutlich in der Sargassosee in der Nähe der Bahamas.

Es konnte allerdings trotz zahlreicher Expeditionen und Forschungen bisher kein Aal beim Laichen beobachtet werden (SPANGENBERG, 2005; DEKKER, 2008; AARESTRUP ET AL., 2009). Die kleinsten Larven des Aals sind im Gebiet der Sargassosee gefangen worden, sodass es wahrscheinlich scheint, dass der Aal dort laicht.

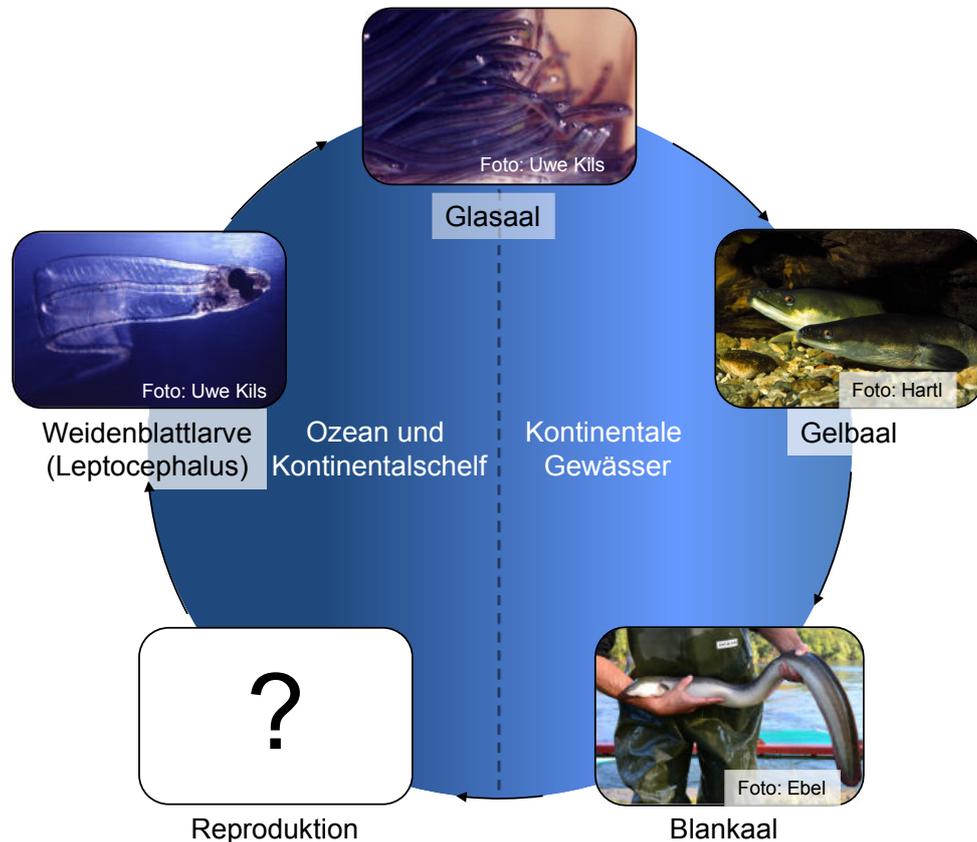


Abbildung 3.1: Lebenszyklus des Aals

Die Larven des Aals werden aufgrund ihrer schmalen, hochrückigen Körperform Weidenblattlarven (Leptocephalus) genannt. Sie haben einen fast vollständig durchsichtigen Körper, und ihre Körpergröße beträgt zwischen wenigen Millimetern bis zu 80 mm (TESCH, 1983). Im Verlauf der nächsten Monate gelangen die Weidenblattlarven überwiegend zu den europäischen und afrikanischen Küsten. Der genaue Ablauf der 6.000 km bis 7.000 km langen Wanderung ist bislang unklar. Es scheint nach TESCH (1983), SPANGENBERG (2005) und DEKKER (2008) sicher, dass starke ostwärts gerichtete Meeresströmungen im Atlantik die Larven zum Kontinent verdriften.

Inwieweit die Larven sich zusätzlich aktiv in Richtung der europäischen Küste bewegen, ist noch nicht geklärt. Während bislang davon ausgegangen wurde, dass die Wanderung der Larven mehrere Jahre dauert, zeigen Untersuchungen an den Gehörsteinen (Otolithen) von Glasaalen von WANG UND TZENG (2000), dass Aallarven bereits nach durchschnittlich 350 Tagen den europäisch-afrikanischen Kontinentalschelf erreichen.

Mit Erreichen des Kontinentalschelfs wandeln sich die Larven in sogenannte Glasaale um. Diese sind genauso wie die Weidenblattlarven unpigmentiert, besitzen jedoch bereits die typische länglich-runde Körperform der ausgewachsenen Aale (TESCH, 1983). Nach ihrer Metamorphose zu Glasaalen haben die Tiere eine Größe von 5 bis 10 cm und beginnen ihren Weg zu ihren Aufwuchshabitaten. Diese können sehr unterschiedlich sein und sowohl Küsten- als auch Übergangs- und Binnengewässer umfassen.

Im Zuge der Besiedlung ihrer Aufwuchshabitate durchleben die Aale eine erneute Verwandlung. Ihre Körperfärbung wechselt von durchsichtig zu einem dunkelbraunen Farbton an der Körperoberseite und einem gelblichen Farbton an der Körperunterseite. In diesem Stadium werden die Aale Gelbaale genannt. Gelbaale können während des Wechsels ihrer Nahrungshabitate regelmäßig weite Strecken flussauf- beziehungsweise flussabwärts wandern, wobei die Übergangsgewässer zwischen Küsten- und Binnenbereichen keine Grenze darstellen (KNÖSCHE, 2015b). Die Zeitspanne, die Aale im Gelbaalstadium verbringen, variiert je nach Aufwuchshabitat, Umweltbedingungen, Nahrungsangebot und Geschlecht der Aale. Am verbreitetsten ist die Ansicht, dass die kontinentale Phase des Aals bis zu 20 Jahre dauert. Allerdings variieren die Angaben je nach Autor. FEUNTEUN ET AL. (2000) geben an, dass der Lebenszyklus des Aals (inklusive Larven-, Glasaal- und Blankaalstadium) 5 bis 18 Jahre dauern kann, wobei männliche Aale etwa 3 bis 8 Jahre im Gelbaalstadium verbringen, ihre weiblichen Artgenossen hingegen 5 bis 15 Jahre. Auch DEKKER (2008) gibt eine ähnliche Dauer von bis zu 20 Jahren für den gesamten Lebenszyklus des Aals an. TESCH (1983) hingegen gibt eine etwas kürzere Zeitspanne von 4 bis 12 Jahren beziehungsweise etwa 10 Jahren für das Gelbaalstadium an.

Am Ende der Gelbaalphase entwickeln sich die Aale zu sogenannten Blankaalen. Diese zeichnen sich durch eine hellere Pigmentierung der Haut an der Körperunterseite verglichen mit den Gelbaalen aus. Im Zuge der Entwicklung zum Blankaal erfolgen neben der farblichen Veränderung auch eine Zunahme des Augendurchmessers sowie eine Verlängerung der Flossen (TESCH, 1983; PALSTRA ET AL., 2011). Bis zum Einsetzen des sogenannten Blankwerdens nimmt der Körperfettgehalt der Aale stetig zu und kann 25 % bis 30 % erreichen. Männliche Aale erreichen das Blankaalstadium durchschnittlich bereits bei einer Körperlänge von 25 cm bis 45 cm, während weibliche Aale durchschnittlich ab einer Körpergröße von 50 cm aufwärts (in der Mosel 65 cm) blank werden. Ist die Reifung zum Blankaal abgeschlossen, begehen sich die Tiere auf den Weg von ihren Aufwuchs- und Nahrungshabitaten zu ihren Laichplätzen in der Sargassosee. Diese 6.000 km bis 7.000 km lange Wanderung dauert mehrere Monate, abhängig davon, aus welchem Gebiet sie abwandern. Je weiter westlich das Aufwuchshabitat der Aale liegt, desto kürzer ist die Wanderung. So beträgt die Wanderungsdauer für Aale, die an der irischen Westküste abwandern, nach AARESTRUP ET AL. (2009) etwa 5 bis 6 Monate.

Von der eigentlichen Wanderung der Blankaale im offenen Meer ist bislang nur sehr wenig bekannt. AARESTRUP ET AL. (2009) haben im Jahr 2006 einen Versuch mit insgesamt 22 Blankaalen durchgeführt, die mit Sendern ausgestattet und an der irischen Küste ausgesetzt wurden. Die gewonnenen Daten deuten darauf hin, dass die Tiere in einer Tiefe von 200 m bis 1.000 m gewandert sind und dabei 5 km bis 25 km pro Tag zurückgelegt haben. Mithilfe der Sender konnten die ersten 1.300 km der Wanderung durch den Atlantik nachvollzogen werden. Die Richtung, die die Aale dabei eingeschlagen haben, deutet auf die Sargassosee als Laichplatz des Aals hin. Obwohl noch keine laichenden Aale beobachtet werden konnten, scheint es sicher, dass die Aale aufgrund der strapaziösen Wanderung nach dem Laichen verenden. Ähnliche Hinweise liefern auch Untersuchungen des Japanischen Aals (*Anguilla japonica*), der neben dem Europäischen und dem Amerikanischen Aal die dritte Aalart der Nordhalbkugel darstellt. Dieser laicht in den tropischen Breitengraden des westlichen Nordpazifiks, was durch belegbare Funde

von Aaleiern nachgewiesen werden konnte (AIDA ET AL., 2003; TSUKAMOTO ET AL., 2011; AOYAMA ET AL., 2014). Sein Laichgebiet ähnelt somit der Sargassosee in Hinblick auf die Temperatur und die Nähe zu einer starken Meeresströmung (im Falle des Japanischen Aals der Nordäquatorialstrom). Auch vom Japanischen Aal konnten bislang keine Blankaale beobachtet werden, die das Laichen überlebt haben.

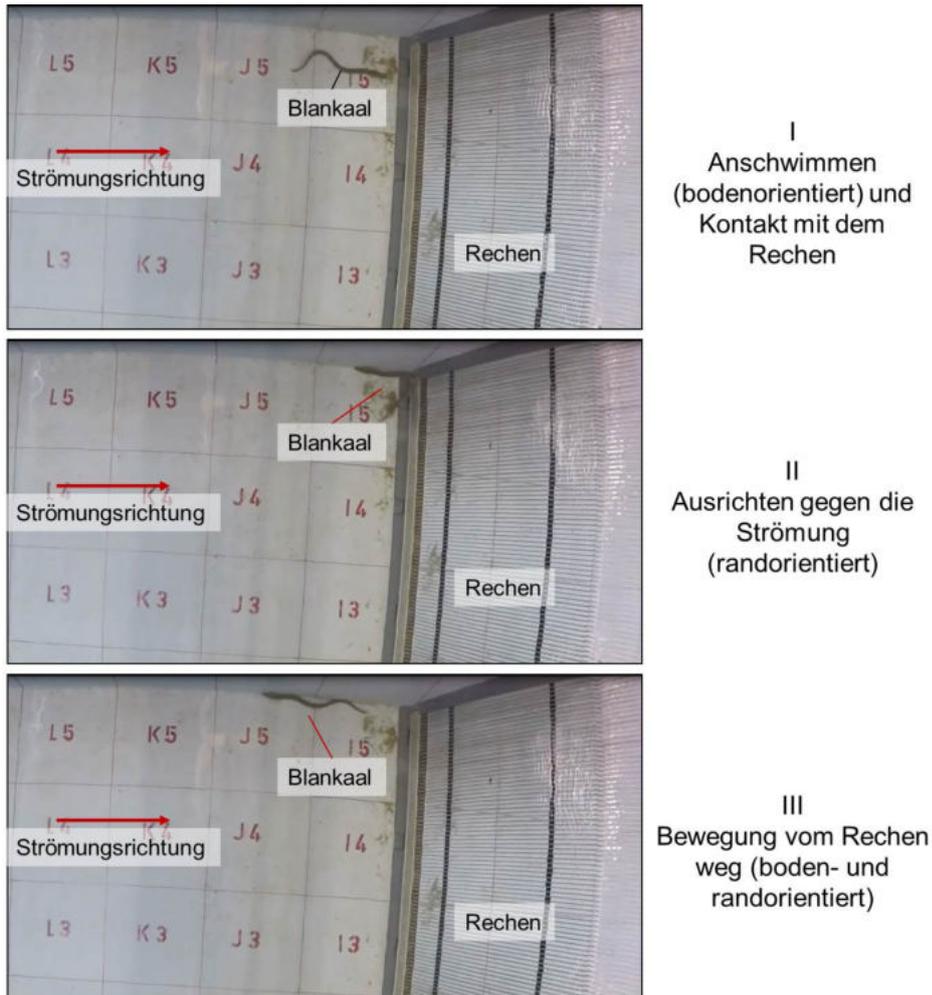
Eine Besonderheit des Aals ist die Fähigkeit, bei geringen Bestandsdichten überwiegend weibliche Aale hervorzubringen (KNÖSCHE, 2015B). Die geschlechtliche Differenzierung der Aale tritt erst ab einer Körpergröße von mindestens 11 cm ein. Ein Aal, der sich in diesem Lebensstadium in einem Gebiet mit geringer Bestandsdichte befindet, hat dabei eine größere Wahrscheinlichkeit, sich zu einem weiblichen Aal zu entwickeln, als ein Aal, der sich in einem Gebiet mit hoher Bestandsdichte befindet (ACOU ET AL., 2011). Auf diese Weise kann auch bei einer geringen Bestandsdichte eine für den erfolgreichen Populationsbestand ausreichend große Zahl an weiblichen Aalen sichergestellt werden.

Auch die überdurchschnittlich hohe Eizahl der weiblichen Blankaale von 2 Mio. bis 3 Mio. Stück pro Weibchen ist eine Besonderheit des Aals, die es ihm ermöglicht, auch bei geringer Zahl laichender Blankaale eine große Zahl an Nachkommen zu erzeugen.

### 3.2.2 Schwimmverhalten des Aals

Neben dem Entwicklungszyklus und der Verbreitung des Aals ist das Schwimmverhalten von großer Bedeutung für die Beschreibung der Besonderheiten des Aals. Das rheotaktische Verhalten beschreibt die Orientierung eines Fisches an der Strömung in einem Gewässer. Eine positive Rheotaxis liegt dann vor, wenn sich ein Fisch gegen die Strömung richtet. Dieses Verhalten zeigt der Aal zum Beispiel während des Glasaalstadiums beziehungsweise als sogenannter Steigaal bei der Wanderung flussaufwärts zu seinen Aufwuchshabitaten. Eine negative Rheotaxis beschreibt das entgegengesetzte Verhalten, das heißt, die Ausrichtung und Bewegung der Fische mit der Strömung. Eine negative Rheotaxis kommt bei dem Aal während des Blankaalstadiums vor, wenn er seine Wanderung flussabwärts zur Sargassosee antritt (TESCH, 1983; BÖS ET AL., 2012; EBEL, 2013).

Ausgehend von den Erfahrungen der Berufsfischer, dass abwandernde Aale sich am ehesten bei ihrer stromaufwärts gerichteten Schwimmbewegung oberhalb von Hindernissen fangen lassen, kann eine Umkehrreaktion der Aale als typisches Verhaltensmuster vermutet werden. In Laborversuchen konnte diese Umkehrreaktion abwanderungswilliger Blankaale ebenfalls gezeigt werden (RUSSON ET AL., 2010; ADAM UND LEHMANN, 2011; Abbildung 3.2). Dieses Verhalten ließ sich teilweise in Freilanduntersuchungen mit besenderten Aalen bestätigen (BEHRMANN-GODEL UND KOWALSKI, 2002; WOCHER, 2003). Hierbei sind besenderte Blankaale im Oberwasser von Wasserkraftanlagen ausgesetzt worden, und ein Teil der Testtiere zeigte nach vorherigem Anschwimmen an die Wasserkraftanlage eine Umkehrreaktion wieder flussaufwärts. Ob dieses Verhalten durch Kontakt mit einem Anlagenteil, die Vibrationen der Rechenstäbe oder dem Lärm der laufenden Turbinen ausgelöst wurde, konnte nicht eindeutig erklärt werden. Bekannt ist jedoch, dass sich Aale weniger an optischen als an taktilen Reizen orientieren und daher häufig die Nähe von oder den Kontakt mit Strukturen im Gewässer, wie der Sohle oder einem Rechen, suchen (PIPER ET AL., 2015).



**Abbildung 3.2:** Umkehrreaktion eines Aals vor einem Rechen während eines Laborversuchs in der Versuchshalle des IWW im Oktober 2015 (Draufsicht)

Abhängig von der Situation, in der sich ein Aal befindet, führt er unterschiedliche Schwimmleistungen aus. So kann die Schwimmleistung generell in drei Leistungsniveaus unterteilt werden (BEAMISH, 1978; TURNPENNY ET AL., 1998):

- Dauergeschwindigkeit: Diese Geschwindigkeit kann über einen längeren Zeitraum (> 200 Minuten) aufrechterhalten werden, ohne dass Ermüdungserscheinungen bei dem Fisch auftreten.
- Gesteigerte Schwimmleistung: Diese Geschwindigkeit kann für eine Zeitspanne von 15 Sekunden bis 200 Minuten aufrechterhalten werden. Sie führt jedoch zu körperlicher Erschöpfung.
- Sprintgeschwindigkeit: Die Sprintgeschwindigkeit ist die maximal mögliche Schwimmgeschwindigkeit des Fisches und kann für einen Zeitraum von bis zu 15 Sekunden gehalten werden. Die Sprintgeschwindigkeit ist dabei die Geschwindigkeit, mit der sich die Aale während der oben beschriebenen Fluchtreaktion fortbewegen.

-

Neben der Schwimmdauer hat auch die Wassertemperatur einen Einfluss auf die Schwimmleistung von Fischen. Liegt die Wassertemperatur in niedrigen Bereichen ( $\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), so ist die Schwimmleistung mitunter stark beeinträchtigt (TURNPENNY ET AL., 1998). EBEL (2013) gibt für den Aal eine artspezifische Gleichung (vgl. Gleichung 3.1) zur Berechnung der Dauerschwimmleistung des Aals bei  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  an.

$$\log(U) = 0,276230 + 0,56695 \cdot \log(TL) - 0,132955 \cdot \log(t) \quad (3.1)$$

$u$  = Schwimmggeschwindigkeit [m/s]

$TL$  = Totallänge [m]

$t$  = Schwimmdauer [s]

Diese Gleichung beruht auf der Auswertung von insgesamt 43 Datensätzen zur Schwimmleistung von Aalen und ergibt für einen 80 cm langen Blankaal eine Dauerschwimmgeschwindigkeit von 0,48 m/s. Bei einer Wassertemperatur von  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ergibt sich aus einer analog ermittelten Gleichung nach EBEL (2013) eine Dauerschwimmgeschwindigkeit von 0,67 m/s.

Die schlängelnde Schwimmbewegung der Aale ist besonders energieeffizient. So benötigt ein Aal durchschnittlich 80 % weniger Energie zur Fortbewegung als andere Fischarten. Neben der Art der Schwimmbewegung spielt bei der Einsparung von Energie auch der Schwimmkorridor eine wichtige Rolle. Bei der abwärts gerichteten Wanderung schwimmen Aale häufig in den Bereichen der Hauptströmung. Dies zeigen Beobachtungen von Berufsfischern mit Aalschokkern, die nach eigenen Aussagen die größten Fangerfolge erzielten, wenn sie ihre Fanggeräte in Richtung der Hauptströmung ausbringen konnten. Die dort vorherrschenden hohen Fließgeschwindigkeiten bewirken, dass die Aale für die Abwärtswanderung nur einen geringen Eigenenergieverbrauch haben (KNÖSCHE, 2015B). Zusammen mit der Fließgeschwindigkeit des Wassers können Aale somit eine Wandergeschwindigkeit von  $> 1\text{ m/s}$  erreichen.

### 3.3 Bestandsentwicklung des Aals

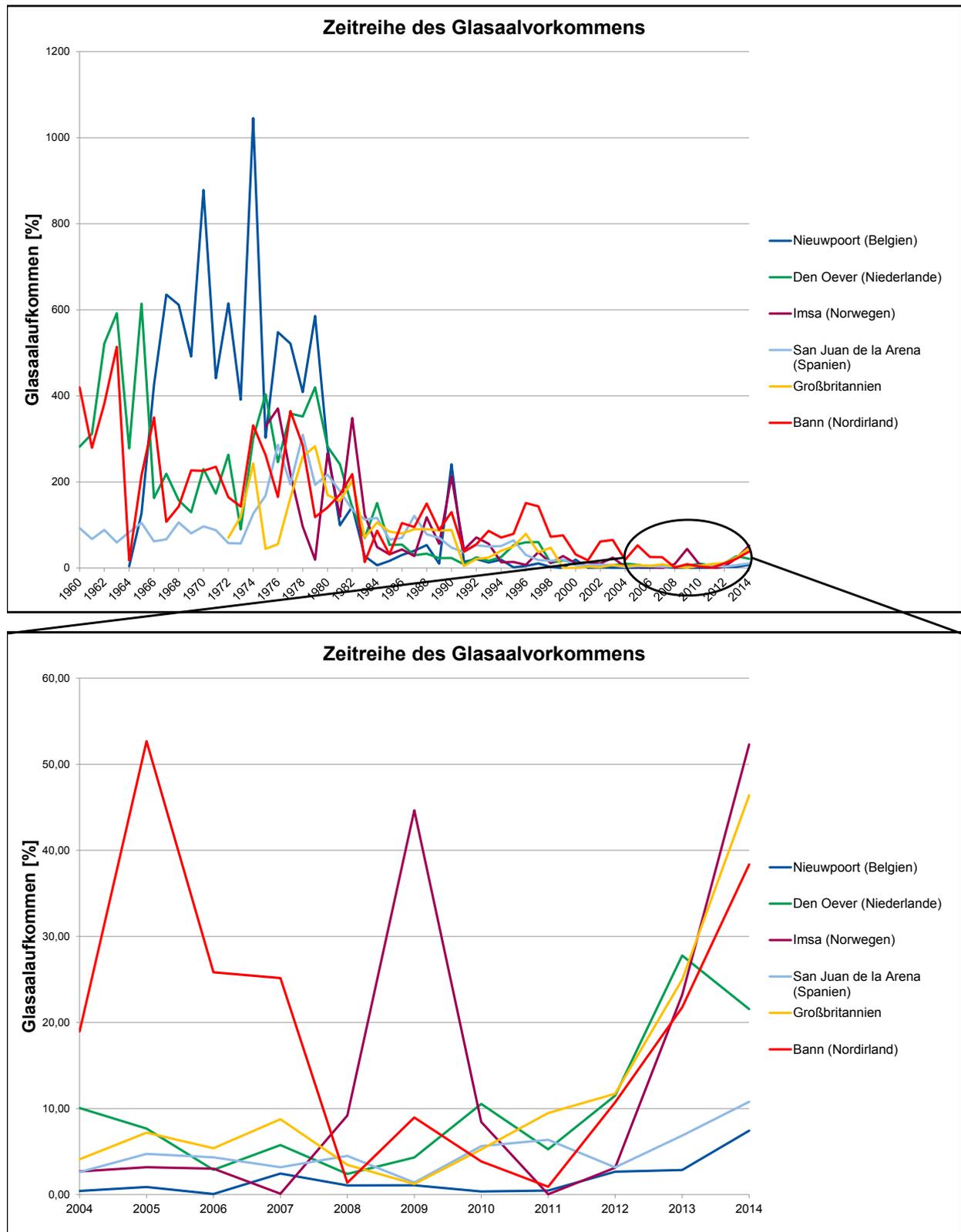
#### 3.3.1 Allgemein

Indizien über die Entwicklung des Aalbestands können anhand von fischereilichen Aufzeichnungen über die Glasaal- und Blankaalfänge abgeleitet werden. Die Höhe der Blankaalfänge wird oftmals durch den vorherigen Besatz beeinflusst und kann daher die tatsächliche Bestandsentwicklung nur bedingt widerspiegeln. Die Glasaalfänge hingegen geben quantitative Angaben hinsichtlich des natürlichen Aufstiegs und eignen sich somit besser zur Abschätzung der realen Bestandsentwicklung als die Blankaalfänge. Bei den Glasaalfängen sind die Einflüsse des Besatzes durch das Wirken von ozeanischen Einflussfaktoren während der Wanderung der Aallarven abgeschwächt beziehungsweise überlagert.

In einer ausführlichen Populationsstudie von KNÖSCHE (2015B) über den Europäischen Aal sind die Entwicklung des Aalbestands in Europa sowie die Bedeutung möglicher Einflussfaktoren auf die Bestandsentwicklung allgemein in Deutschland und im Speziellen an der Mosel untersucht worden. Als Indikator für die Bestandsentwicklung sind die Glasaalfänge in unterschiedlichen europäischen Küstenregionen untersucht worden. Dabei lässt sich mit leichten Unterschieden in Hinblick auf die genaue zeitliche Positionierung einzelner Minima und Maxima ein analoger Verlauf der Höhe der Glasaalfänge erkennen (Abbildung 3.3). In der Zeit zwischen 1960 und 1980 liegen überwiegend hohe Glasaalzahlen vor. Es lassen sich jedoch auch vereinzelt niedrigere Glasaalfänge beobachten.

Dieser Verlauf deutet darauf hin, dass der Bestand des Aals in Europa natürlichen Schwankungen unterliegt, bei denen zeitweise auftretende niedrige Bestände wieder kompensiert werden können. Seit Ende der 1980er-Jahre beziehungsweise Anfang der 1990er-Jahre ist jedoch ein deutlicher Rückgang mit sehr niedrigen Fangraten zu erkennen. Die Zahl der Glasaalfänge steigt erst seit dem Jahr 2012 wieder leicht an (ICES, 2013; UBL, 2014; Abbildung 3.3).

Der Rückgang des Aalbestands Ende des 20. Jahrhunderts konnte nicht nur für den Europäischen Aal beobachtet werden, sondern auch für den Amerikanischen und Japanischen Aal sind analoge Verläufe beobachtet worden. Hierbei sind sowohl das Ausmaß als auch der Zeitpunkt des Rückgangs vergleichbar.



**Abbildung 3.3:** Zeitreihe des Glasaalaufkommens (Quelle der Daten: ICES, 2014). Jede Zeitreihe wurde mit dem jeweiligen Mittelwert der Jahre 1979 bis 1994 skaliert.

### 3.3.2 Gründe für den aktuellen Rückgang

In vielen Arbeiten, die sich mit der derzeitigen Bestandsentwicklung des Aals beschäftigen, werden die möglichen Einflussfaktoren für den Rückgang untersucht (DEKKER, 2004; ARZBACH ET AL., 2005; PALSTRA ET AL., 2006; DEKKER, 2008; ICES, 2008; ENVIRONMENT AGENCY, 2009; KAMMANN ET AL., 2014; KNÖSCHE, 2015B). Die möglichen Einflussfaktoren sind dabei häufig nach ozeanischen und kontinentalen Faktoren getrennt:

#### **Ozeanische Faktoren:**

- Änderung der Verdriftung der Aallarven durch Änderung der Nordatlantischen Oszillation (NAO)
- Schwankungen des Nahrungsangebots der Aallarven aufgrund von Änderungen der Wassertemperatur im Atlantik

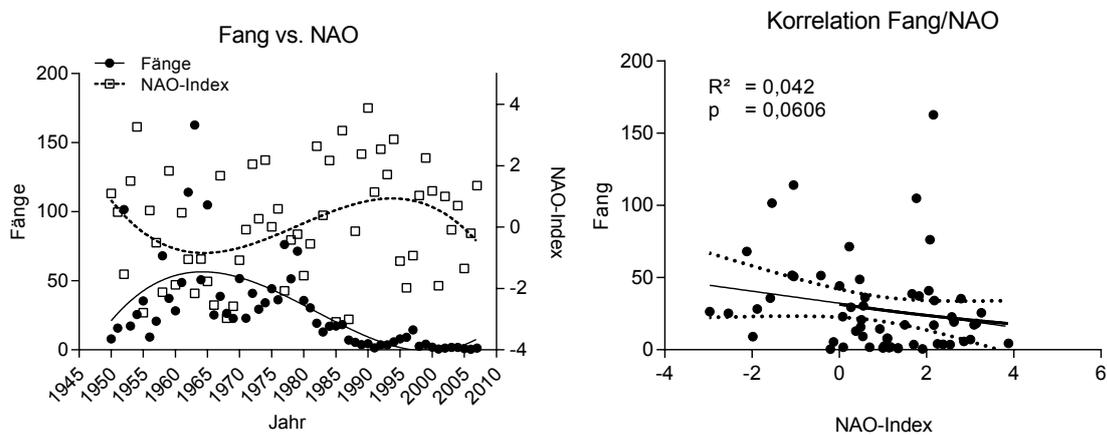
#### **Kontinentale Faktoren:**

- Erreichen eines kritischen Wertes der Beeinträchtigung der Durchgängigkeit der Fließgewässer durch Querverbauung
- Erreichen eines kritischen Wertes der wasserkraftbedingten Mortalität
- Veränderung der Fischereiintensität
- Anstieg der Kormoranpopulation in Europa
- Erreichen eines kritischen Wertes der Schadstoffbelastung der Gewässer
- Belastung mit neuen Krankheitserregern und Parasiten

Obgleich es schwierig ist, die Gründe für den Rückgang des Aalbestands eindeutig zu identifizieren, lassen alle bisherigen Untersuchungsergebnisse darauf schließen, dass es einen multikausalen Zusammenhang zwischen mehreren Einflussfaktoren und der Bestandsentwicklung gibt (ICES, 2001A, 2001B; DEKKER, 2008; KNÖSCHE, 2015B). Als einer der maßgeblichen Faktoren kann die Veränderung des Verlaufs des Golfstroms in den letzten Jahrzehnten genannt werden. Durch Temperaturschwankungen, beziehungsweise Abnahme von Winden und durch Veränderungen des atmosphärischen Drucks werden die Intensität und die Richtung des Golfstroms ständig leicht verändert. Ein Indikator für diese Veränderung ist der sogenannte NAO-Index, der die Unterschiede des atmosphärischen Drucks zwischen den Azoren und Reykjavik (Island) beschreibt.

Als Maß für die Intensität des Glasaalaufkommens kann hier der sogenannte Glasaaleinheitsfang gewählt werden. Dieser ist ein relatives Maß für die Zahl der gefangenen Glasaale pro Zeit- und Geräteeinheit. Im Falle der Reusenfischerei ergibt sich so die Zahl der gefangenen Glasaale pro Reuse und Tag. Beim Vergleich der Glasaaleinheitsfänge in Den Oever (Niederlande) und dem NAO-Index der Jahre 1950 bis 2007 lässt sich ein gegenläufiger Trend bei den beiden Zeitreihen erkennen (Abbildung 3.4). Das Maximum des Glasaalfangs um das Jahr 1965 fällt mit einem lokalen Minimum des NAO-Index zusammen, und die anschließende Abnahme des Glasaalfangs verläuft zeitlich parallel mit einer Zunahme des NAO-Indexes. Dieser Zusammenhang kann als Indiz dafür gesehen werden, dass die Veränderung des Golfstroms einen Anteil an der Entwicklung des Glasaalaufkommens hat. Als Ergebnis verschiedener Regressionsanalysen lässt sich ein Zusammenhang zwischen den beiden Zeitreihen fest-

stellen, der jedoch nur ein Bestimmtheitsmaß von 4 % mit  $p = 0,06$  (eigene Berechnungen der Autoren, Abbildung 3.4) bis 21 % mit  $p < 0,01$  (KNÖSCHE, 2015B) aufweist. Das bedeutet, dass die Bestandsentwicklung statistisch in begrenztem Maße auf die Veränderung des NAO-Index beziehungsweise des Golfstroms zurückzuführen ist, aber noch weitere Parameter einen Einfluss zu haben scheinen.



**Abbildung 3.4:** links: Verlauf des Glasaalfangs in Den Oever (NL) (Einheitsfang) und des NAO-Index zwischen 1950 und 2007; rechts: Regressionsgerade mit 95 % Konfidenzintervall

### 3.3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Der Rückgang des Glasaalaufkommens und die damit einhergehende Bedrohung der Tierart haben dem Rat der Europäischen Gemeinschaft im Jahr 2007 den Anlass gegeben, die Verordnung Nr. 1100/2007, die sogenannte Aal-Verordnung, zu verabschieden. In dieser Verordnung werden die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union dazu verpflichtet, den Aal in seinem natürlichen Verbreitungsgebiet zu erhalten. Die genaue Vorgabe sieht vor, dass aus jedem nationalen Aaleinzugsgebiet mindestens 40 % der Biomasse an Blankaalen, die natürlicherweise ohne menschliche Beeinflussung ins Meer wandern würde, unversehrt ins Meer und somit auf den Weg zu ihren Laichplätzen gelangt (Artikel 2 Absatz 4, RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT, 2007).

Dafür sieht die Verordnung vor, dass die Länder für jedes Aaleinzugsgebiet Aalmanagementpläne erstellen, in denen die konkret geplanten Maßnahmen für den Schutz des Aals enthalten sind (Artikel 2 Absatz 3). Für alle deutschen Flussgebiete außer der Donau müssen Aalmanagementpläne erstellt werden. Nach Artikel 2 Absatz 8 der Aal-Verordnung können die Maßnahmen der Managementpläne folgende Aspekte umfassen:

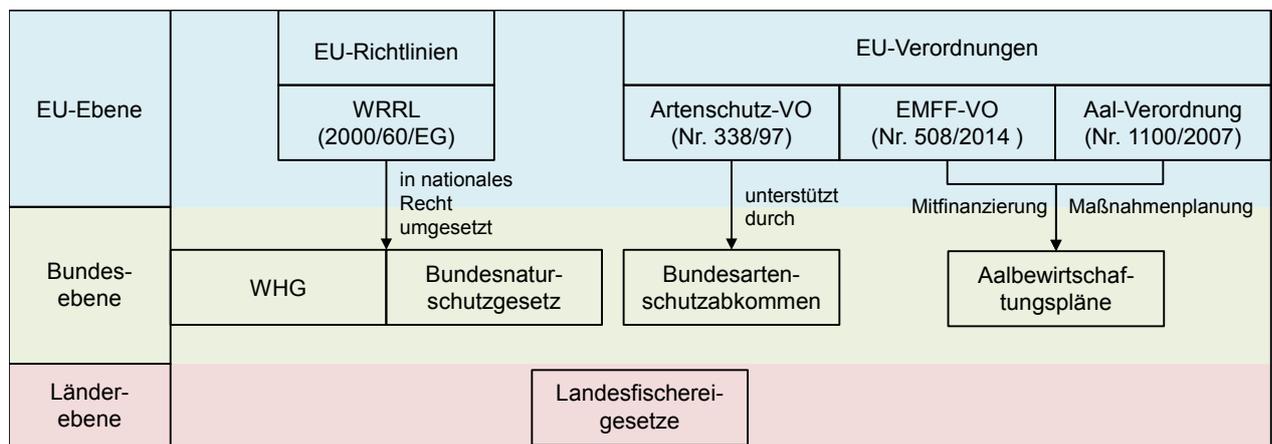
- Reduzierung der kommerziellen Fischerei und der Sportfischerei
- Besatzmaßnahmen
- Verbesserung der Durchgängigkeit
- Fang und Transport von Blankaalen
- Maßnahmen gegen Raubtiere

- Befristete Abschaltung von Wasserkraftanlagen
- Maßnahmen in Bezug auf die Aquakultur

Für die Planung und Durchführung der Maßnahmen ist der jeweilige Mitgliedsstaat verantwortlich.

Neben der genannten europäischen Verordnung sind ebenfalls die Verordnungen Nr. 508/2014, (Europäische Meeres- und Fischereifonds – EMFF-VO) und Nr. 338/97 (Artenschutzverordnung) sowie die Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie – WRRL) in Hinblick auf den Rückgang des Aalbestandes anwendbar (DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2000; RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT, 2006).

Die europäischen Richtlinien werden in der Bundesrepublik Deutschland auf Bundes- und Länderebene durch nationale Gesetze, wie etwa das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und die Landesfischereigesetze, angewendet (Abbildung 3.5).



**Abbildung 3.5:** Übersicht der rechtlichen Rahmenbedingungen

### 3.3.4 Mosel und Saar

#### a) Aalbestand ohne anthropogene Einflüsse

Das Mosel-Saar-Gebiet als Teil des Rhein-Einzugsgebiets gehört zum natürlichen Verbreitungsgebiet des Aals. Obwohl die Forderung, dass mindestens 40 Gewichts-% der ohne menschliche Beeinträchtigungen möglichen Menge an Blankaalen (Referenzzustand  $R_0$  vor 1980) aus allen Aalverbreitungsgebieten eines Landes abwandern können müssen (RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT, 2007), rechtlich nicht auf einzelne Gewässer übertragen werden muss, kann dieses Ziel auch in einem Nebengewässer des Rhein-Einzugsgebiets als Richtwert für die Erhaltung einer stabilen Aalpopulation angesehen werden. Daher wird an dieser Stelle mit dem Zielwert von 40 % für das Mosel-Saar-System weitergearbeitet. Um die Erreichung dieses Ziels überprüfen und quantifizieren zu können, ist es erforderlich, neben dem Ist-Zustand der Abwanderung auch den Referenzzustand zu bestimmen.

Für die Mosel ist dieser Referenzzustand im Zuge einer Populationsstudie von KNÖSCHE (2015B) bestimmt worden. Aus den fischereilichen Ertragsdaten der 1950er-Jahre ist unter Berücksichtigung der Fängigkeit der damals genutzten Fanggeräte, der Veränderung der Wasserfläche und des zu der Zeit vorherrschenden NAO-Index die Referenzmenge von 7 kg/ha geschätzt worden. 7 kg entsprechen in etwa dem Gewicht von zehn ausgewachsenen weiblichen Blankaalen. Dieser Wert liegt im oberen Bereich der im Zuge der Umsetzung der Aalbewirtschaftungspläne der deutschen Länder berechneten Referenzwerte von 0,5 kg/ha bis 7,2 kg/ha (FLADUNG ET AL., 2012).

#### *b) Aalbestand mit anthropogenen Einflüssen*

Bei den anthropogenen Einflüssen hinsichtlich des Aalbestands werden die drei kontinentalen Mortalitätsfaktoren „Wasserkraft“, „Angler und Fischer“ sowie „Kormorane“ berücksichtigt. Bei den hier dargestellten Werten handelt es sich um eine Schätzung, die anhand der in KROLL (2015B) angegebenen Werte erstellt wurde und lediglich einen Überblick über die Größenordnung der genannten Mortalitätsfaktoren geben soll.

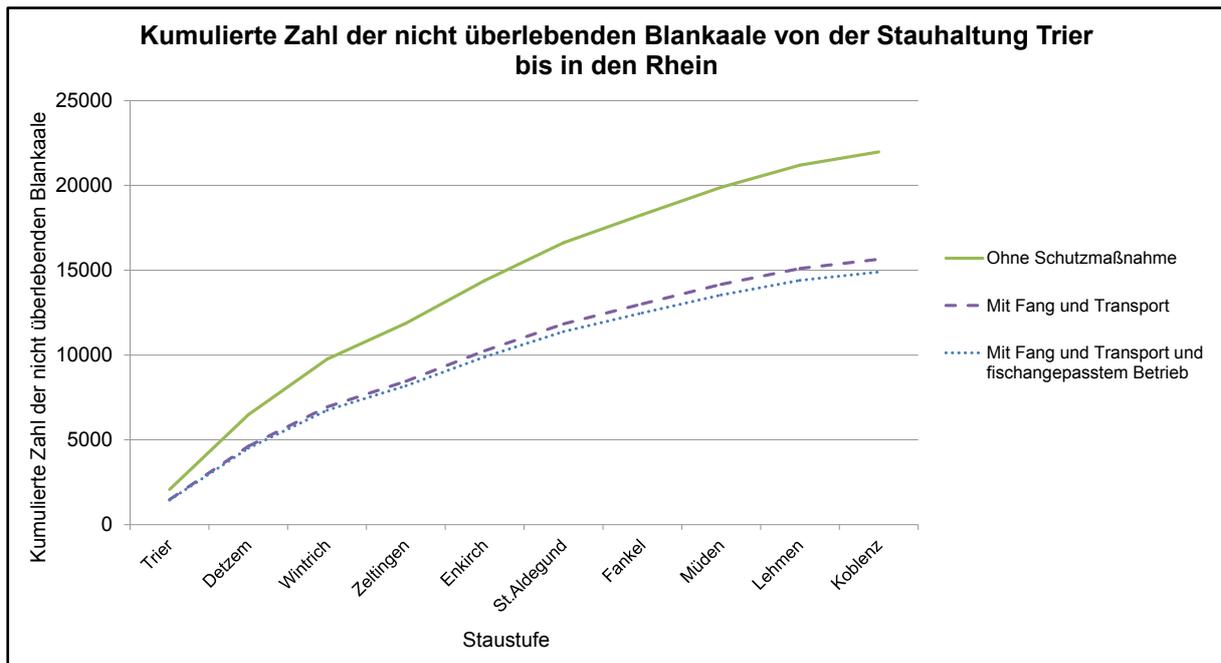
Zur Bestimmung der Referenzmenge werden hier die im vorherigen Abschnitt vorgestellten 7 kg/ha (~ 10 Individuen pro Hektar) natürlicherweise abwandernder Blankaale und eine Gewässerfläche der Mosel von Koblenz bis Trier von 3.402 ha verwendet. Hieraus ergeben sich 34.020 natürlicherweise abwandernde Blankaale. Anhand dieser Referenzmenge wird dargestellt, wie groß der Anteil an Blankaalen ist, die durch die genannten Mortalitätsfaktoren nicht aus der Mosel abwandern können.

Für die wasserkraftbedingte Mortalität wird die Zahl der überlebenden beziehungsweise nicht überlebenden Blankaale für jede Staustufe berechnet (vgl. Tabelle 3.1 und Abbildung 3.6). Das heißt, für jede Stauhaltung wird gesondert die Zahl der bei der Passage der unterhalb der Stauhaltung liegenden Wasserkraftanlagen überlebenden beziehungsweise nicht überlebenden Individuen berechnet. Hierbei wird mit einer Menge abwandernder Blankaale von 28.523 Stück gerechnet (KROLL, 2015B). Diese setzt sich aus der oben genannten Gewässerfläche der Mosel (3.402 ha) und einer angenommenen tatsächlichen Abwanderung von 8 bis 9 Blankaalen je ha zusammen.

Die Schädigungsziffern je Wasserkraftanlage werden mit der in EBEL (2008) aufgeführten Formel zur Bestimmung der Schädigung von Blankaalen an Wasserkraftanlagen berechnet. Als Schädigungsziffer wird hier das Verhältnis in Prozent von geschädigten Aalen zu allen die Wasserkraftanlage passierenden Aalen definiert. Es sei angemerkt, dass die Höhe der berechneten Schädigungsziffer zum einen von den kraftwerksspezifischen Parametern „Drehzahl“, „Zahl der Laufradschaufeln“ und „Durchmesser der Laufradschaufeln“ abhängt, die für jeden Standort unterschiedlich sind, und zum anderen von der Länge der Blankaale, die für alle Standorte einheitlich angesetzt wird. Nicht berücksichtigt wurde das wechselnde Abflussgeschehen über das Jahr gesehen. Bei Abflüssen oberhalb der Ausbauwassermenge stehen zusätzlich und bei Stillstand der Turbinen im Hochwasserfall alleine die Wehre als offener Wanderkorridor zu Verfügung.

**Tabelle 3.1:** Berechnung der geschädigten Blankaale bei der Abwanderung durch Wasserkraftanlagen in der Mosel (nach: KROLL, 2015B)

| Stauhaltung  | Trier | Detzem | Wintrich | Zeltingen | Enkirch | St. Aldegund | Fankel | Müden | Lehmen | Koblenz | Gesamt |
|--|-------|--------|----------|-----------|---------|--------------|--------|-------|--------|---------|--------|
| Populationsgröße [Stk.]  | 2.163 | 4.670  | 3.605    | 2.431     | 2.993   | 2.809        | 2.281  | 2.532 | 2.540  | 2.499   | 28.523 |
| ohne Schutzmaßnahme  |       |        |          |           |         |              |        |       |        |         |        |
| Überlebende bis in den Rhein   | 91    | 255    | 334      | 313       | 470     | 588          | 628    | 917   | 1.227  | 1.724   | 6.547  |
| Nichtüberlebende nach Passage aller Staustufen                             | 2.072 | 4.415  | 3.271    | 2.118     | 2.523   | 2.221        | 1.653  | 1.615 | 1.313  | 775     | 21.976 |
| Anteil der Überlebenden an der Population                                  | 0 %   | 1 %    | 1 %      | 1 %       | 2 %     | 2 %          | 2 %    | 3 %   | 4 %    | 6 %     | 23 %   |
| Anteil der Nichtüberlebenden an der Population                             | 7 %   | 15 %   | 11 %     | 7 %       | 9 %     | 8 %          | 6 %    | 6 %   | 5 %    | 3 %     | 77 %   |
| mit Fischen und Umsetzen (Fang und Transport)                              |       |        |          |           |         |              |        |       |        |         |        |
| Abtransportierte Blankaale   | 622   | 1.344  | 1.038    | 700       | 861     | 808          | 656    | 729   | 731    | 719     | 8.208  |
| Überlebende bis in den Rhein   | 65    | 182    | 238      | 223       | 335     | 419          | 447    | 653   | 874    | 1.228   | 4.663  |
| Nichtüberlebende nach Passage aller Staustufen                             | 1.476 | 3.144  | 2.329    | 1.508     | 1.797   | 1.582        | 1.178  | 1.150 | 935    | 552     | 15.652 |
| Überlebende (abgewandert und transportiert)                                | 687   | 1.526  | 1.276    | 923       | 1.196   | 1.227        | 1.103  | 1.382 | 1.605  | 1.947   | 12.871 |
| Anteil der Überlebenden an der Population                                  | 2 %   | 5 %    | 4 %      | 3 %       | 4 %     | 4 %          | 4 %    | 5 %   | 6 %    | 7 %     | 45 %   |
| Anteil der Nichtüberlebenden an der Population                             | 5 %   | 11 %   | 8 %      | 5 %       | 6 %     | 6 %          | 4 %    | 4 %   | 3 %    | 2 %     | 55 %   |
| mit Fischen und Umsetzen (Fang und Transport) und fischangepasstem Betrieb |       |        |          |           |         |              |        |       |        |         |        |
| Abtransportierte Blankaale   | 622   | 1.344  | 1.038    | 700       | 861     | 808          | 656    | 729   | 731    | 719     | 8.208  |
| Überlebende bis in den Rhein   | 97    | 262    | 327      | 294       | 425     | 512          | 526    | 739   | 951    | 1.282   | 5.415  |
| Nichtüberlebende nach Passage aller Staustufen                             | 1.444 | 3.064  | 2.240    | 1.437     | 1.707   | 1.489        | 1.099  | 1.064 | 858    | 498     | 14.900 |
| Überlebende (abgewandert und transportiert)                                | 719   | 1.606  | 1.365    | 994       | 1.286   | 1.320        | 1.182  | 1.468 | 1.682  | 2.001   | 13.623 |
| Anteil der Überlebenden an der Population                                  | 3 %   | 6 %    | 5 %      | 3 %       | 5 %     | 5 %          | 4 %    | 5 %   | 6 %    | 7 %     | 48 %   |
| Anteil der Nichtüberlebenden an der Population                             | 5 %   | 11 %   | 8 %      | 5 %       | 6 %     | 5 %          | 4 %    | 4 %   | 3 %    | 2 %     | 52 %   |



**Abbildung 3.6:** Darstellung der theoretisch berechneten kumulierten Zahl der geschädigten Blankaale aus den einzelnen Staustufen bis in den Rhein mit den und ohne die Aktivitäten der Aalschutz-Initiative (Werte aus KROLL, 2015B)

Der aufsummierte Anteil der nicht überlebenden Blankaale an der Gesamtpopulation über die gesamten Staustufen wird auch als kumulierte Schädigungsziffer bezeichnet und liegt hier bei 77 % ohne die Aktivitäten der Aalschutz-Initiative und bei 52 % mit Fischen und Umsetzen (Fang und Transport) sowie fischangepasstem Betrieb.

Als Ergebnis der oben dargestellten überschlägigen Berechnung ergibt sich, dass unter Berücksichtigung aller Projektaktivitäten der Aalschutz-Initiative derzeit theoretisch 44 % der Blankaal-Referenzmenge durch Wasserkraftanlagen geschädigt werden. Weitere 6 % unterliegen nach Modellberechnungen der Mortalität durch Kormorane und 7 % der Mortalität durch die Fischerei (Angler und Berufsfischer) (Tabelle 3.2). Insgesamt ergibt sich somit eine Schädigung von 57 % und umgekehrt eine Abwanderung von 43 %. Das Ziel eines Abwanderungsanteils von 40 %, das rechtlich nur für das Einzugsgebiet des deutschen Rheins verbindlich ist, hier aber als Beurteilungskriterium zur Erhaltung einer stabilen Aalpopulation in einem einzelnen Gewässer gilt, wird somit bei alleiniger Betrachtung der Mosel auf rheinland-pfälzischem Gebiet knapp erreicht.

### 3.3.5 Mögliche Maßnahmen zur Erhöhung der Abwanderung

Die Zahl der erfolgreich aus der Mosel abwandernden Blankaale hängt zum einen von der Grundmenge an „blank“ werdenden Aalen und zum anderen von der Höhe der einzelnen Mortalitätsfaktoren ab. Um die Zahl der erfolgreich abwandernden Blankaale zu erhöhen (Erreichung des 40-%-Ziels – Referenzzustand  $R_0$  vor 1980 – auch für die Mosel), kommen somit einerseits Maßnahmen in Frage, die die Grundmenge der Blankaale erhöhen, und andererseits Maßnahmen, die die Höhe der Mortalitätsfaktoren reduzieren.

Durch die Erhöhung des Besatzes könnte die Zahl der sich jährlich entwickelnden Blankaale steigen. Auch wenn der prozentuale Anteil der trotz der bekannten Mortalitätsfaktoren überlebenden Blankaale etwa gleich bleibt, kann die Zahl der erfolgreich abwandernden Blankaale bei Verstärkung des Besatzes erhöht werden. Da die in der Mosel vorkommenden Aale zum Großteil auf den Besatz zurückzuführen sind, kann eine zukünftige Steigerung des Blankaalaufkommens durch einen vermehrten Aufstieg über die sukzessive verbesserten Fischpässe (Programm der WSV im Rahmen des Baus zweiter Schiffsschleusen), wie etwa über den bereits sanierten Fischpass Koblenz, erwartet werden.

**Tabelle 3.2:** Anzahl und Anteil der geschädigten Blankaale nach Modellberechnungen, aufgeteilt nach den drei bedeutendsten kontinentalen Mortalitätsfaktoren

| Eingangsdaten   |            | Quelle                          |
|---|------------|---------------------------------|
| Gewässerfläche (inkl. Saar und Sauer)   | 3.402 ha   | (KROLL, 2015B)                  |
| Natürliche Abwanderung  | 7 kg/ha    | (KNÖSCHE, 2015A)                |
| Gewicht pro Blankaal  | 0,7 kg/St. | (KNÖSCHE, 2015A)                |
| Natürliche Abwanderung (Referenzmenge $R_0$ )   | 34.020 St. | *                               |
| <b>Wasserkraft</b>  |            |                                 |
| Anzahl geschädigter Blankaale ohne Schutzmaßnahmen  | 21.976 St. | *                               |
| Anteil geschädigter Blankaale an $R_0$ ohne Schutzmaßnahmen   | 65 %       | *                               |
| Anzahl geschädigter Blankaale mit Fischen und Umsetzen (Fang und Transport)                                       | 15.652 St. | *                               |
| Anteil geschädigter Blankaale an $R_0$ mit Fischen und Umsetzen (Fang und Transport)                              | 46 %       | *                               |
| Anzahl geschädigter Blankaale mit Fischen und Umsetzen (Fang und Transport) und fischangepasstem Betrieb          | 14.900 St. | *                               |
| Anteil geschädigter Blankaale an $R_0$ mit Fischen und Umsetzen (Fang und Transport) und fischangepasstem Betrieb | 44 %       | *                               |
| <b>Kormoran</b>   |            |                                 |
| Schädigungsziffer   | 0,4 kg/ha  | (KNÖSCHE, 2015A)                |
| Anzahl geschädigter Blankaale   | 1.944 St.  | *                               |
| Anteil geschädigter Blankaale an $R_0$  | 6 %        | *                               |
| <b>Angler und Fischer</b>   |            |                                 |
| Schädigungsziffer Angler  | 0,2 kg/ha  | (KROLL, PERSÖNLICHE MITTEILUNG) |
| Schädigungsziffer Berufsfischer   | 0,3 kg/ha  | (KROLL, PERSÖNLICHE MITTEILUNG) |
| Anzahl geschädigter Blankaale (Angler und Berufsfischer)  | 2.430 St.  | *                               |
| Anteil geschädigter Blankaale an $R_0$ (Angler und Berufsfischer)   | 7 %        | *                               |
| * aus aufgeführten Daten berechnet  |            |                                 |

Da die Fischerei einen der kontinentalen Mortalitätsfaktoren an der Mosel darstellt, könnte durch die Reduzierung der Fischereiintensität die Menge der erfolgreich abwandernden Blankaale erhöht werden. Der in der Mosel angesetzte Wert der fischereilichen Entnahme von 0,5 kg/ha (Mortalität 7 %) liegt heute deutlich niedriger als vor Beginn der Aalschutz-Initiative beziehungsweise der Diskussion um die besondere Schadstoffbelastung der Aale, da die gefangenen Blankaale fast ausschließlich lebend in den Rhein umgesetzt werden (vgl. Abschnitt 4.2). Die Auswirkungen selbst bei vollständiger Einstellung der Fischerei wären also verhältnismäßig gering. Gravierender für den Erfolg solcher Maßnahmen ist die Tatsache, dass der Aalbesatz durch die Fischerei ausgeführt wird. Eine Einschränkung oder gar ein Verbot der Fischerei könnte daher dazu führen, dass der Besatz ausbleibt, was die positiven Auswirkungen durch die verringerte Fischereimortalität mehr als wettmachen würde.

Die Kormoranpopulation an der Mosel hat einen Einfluss in der Größenordnung von 6 %, sodass eine Reduzierung der Zahl der Kormorane sich zwar positiv auf den Blankaalbestand auswirken könnte, diese Auswirkungen aber verhältnismäßig gering ausfallen würden. Außerdem wäre eine lokale Reduzierung des Kormoranbestands etwa durch Abschuss nicht sehr erfolgreich, da die Kormoranzahl europaweit sehr hoch ist und eine lokale Dichtereduzierung schnell durch Zuwanderung aus anderen Regionen kompensiert würde. Eine Möglichkeit wäre die Vergrämung von Kormoranen an Stellen, an denen die Blankaale dem Fraßdruck durch die Kormorane besonders ausgesetzt sind. Eine solche Stelle kann beispielsweise am Auslass einer Wasserkraftanlage sein, wenn die Blankaale von der Turbinenpassage orientierungslos sind.



**Abbildung 3.7:** wartende Kormorane an der Fischaufstiegsanlage im Unterwasser der Wasserkraftanlage Detzem (Foto: KROLL, 2015)

Als dritter und mit rund 44 % maßgeblicher kontinentaler Mortalitätsfaktor wurde die wasserkraftbedingte Mortalität identifiziert. Um die Auswirkungen der wasserkraftbedingten Mortalität zu reduzieren, kann zum einen die Schädigungsziffer während der Turbinenpassage der Blankaale verringert und zum anderen die Wahrscheinlichkeit der Turbinenpassage vermindert werden. Ersteres lässt sich unter anderem über eine angepasste Betriebsweise während des Abwanderungszeitraums realisieren (vgl. Abschnitt 4.3).

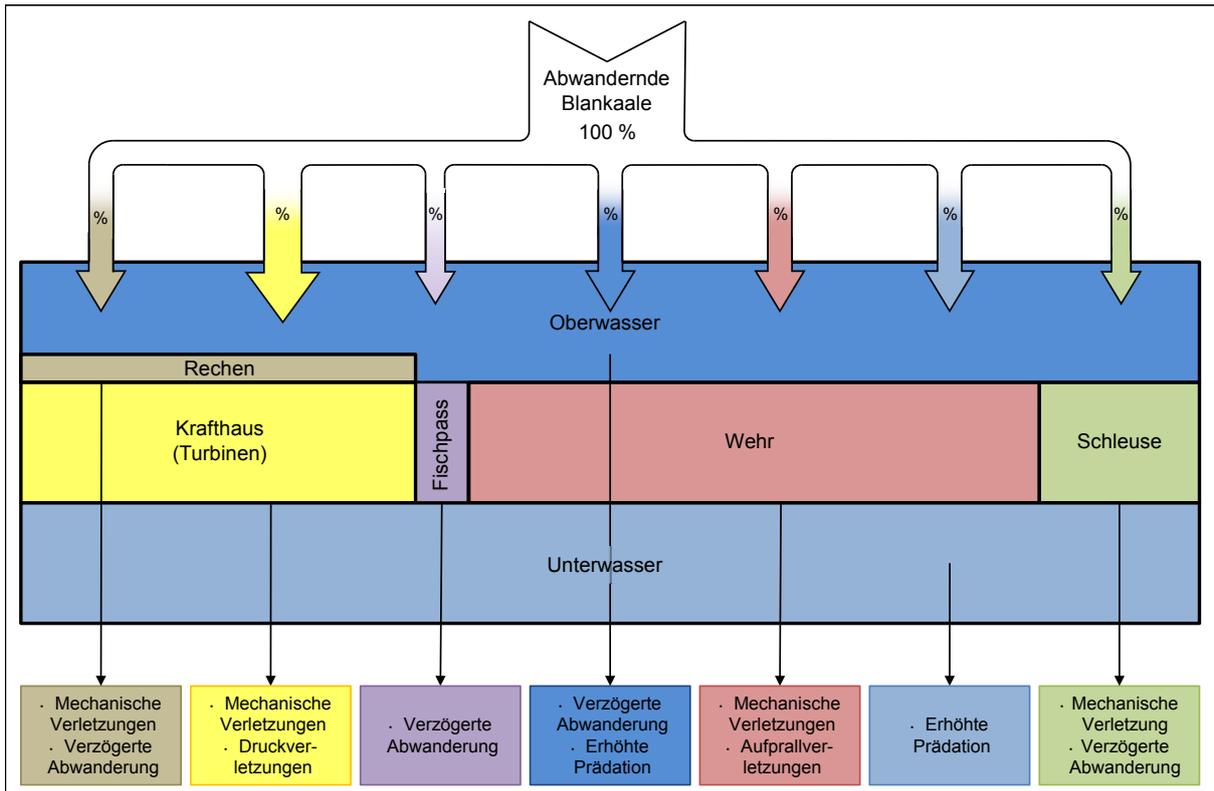
Für die zweite Alternative kommen sowohl die Sofortmaßnahme *Fischen und Umsetzen (Fang und Transport)* als auch der Bau von physikalischen Leitsystemen oder Barrieren, wie Rechen-Bypass-Systeme, in Frage (vgl. Abschnitt 4.2 und 4.4). Die so mögliche Reduzierung der Mortalität würde sicherlich dazu beitragen, das 40-%-Ziel langfristig zu erreichen. Offen ist jedoch noch, wie die technische Umsetzbarkeit, die ökologische Wirksamkeit und die wirtschaftliche Tragbarkeit der Maßnahmen speziell für die Mosel ausfallen. Bevor die Herangehensweise der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG in Hinblick auf diese Maßnahmen dargestellt wird, soll im nächsten Abschnitt zunächst ein kurzer Überblick über die Gefährdung des Aals durch Wasserkraftanlagen gegeben werden.

### 3.4 Gefährdung des Aals an Wasserkraftanlagen

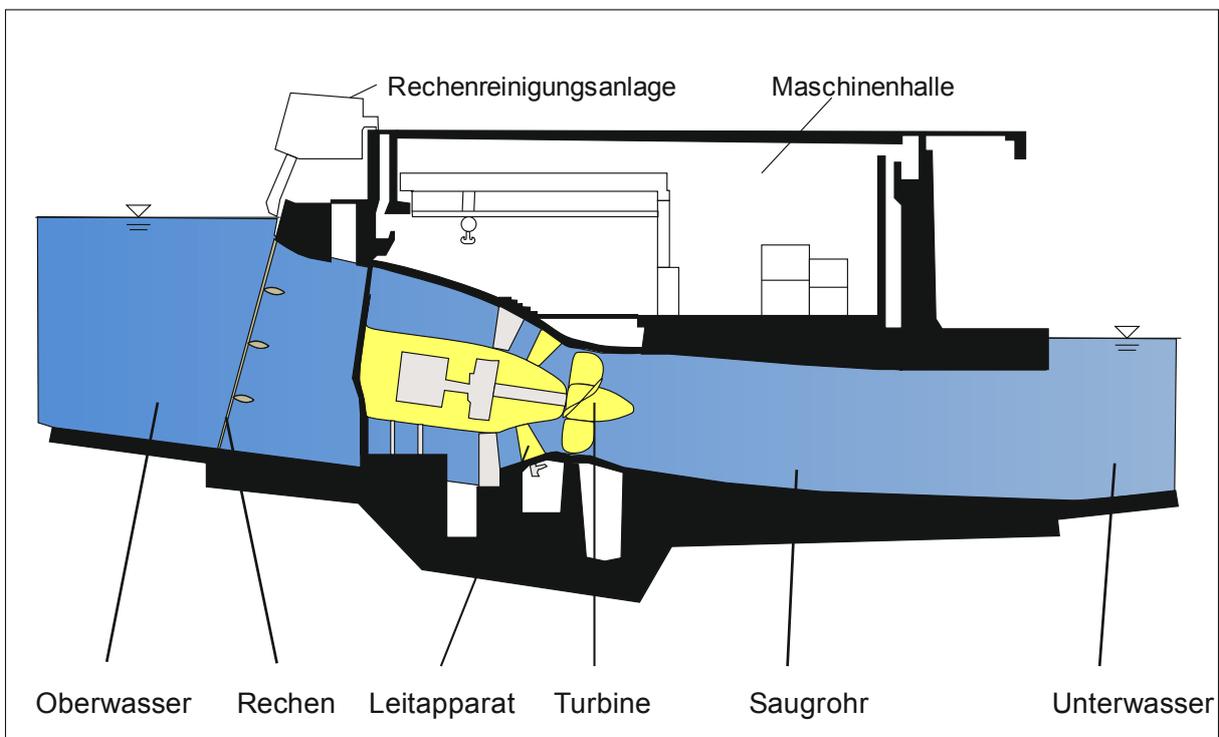
#### 3.4.1 Allgemein

An dieser Stelle soll dargestellt werden, welches Ausmaß die Schädigung abwandernder Blankaale an Wasserkraftanlagen annehmen kann. Die Schädigung beziehungsweise allgemein die Gefährdung abwandernder Aale an einer Wasserkraftanlage beschränken sich dabei nicht allein auf den Bereich der Turbine (vgl. Abbildung 3.8 und Abbildung 3.9). Auch Rechenanlagen, Bypasseinrichtungen, die Wehranlage und das Ober- sowie Unterwasser der Anlage können für abwandernde Aale gefährlich werden. Neben direkten körperlichen Schädigungen sind auch indirekte Schädigungen durch physiologischen Stress und eine Desorientierung möglich. Für jeden Standort muss jedoch individuell hinsichtlich hydrologischer und biologischer Gesichtspunkte bewertet werden, wie hoch der Anteil der abwandernden Blankaale über diese denkbaren Abwanderungswege ist.

Die häufigsten negativen Auswirkungen sind dabei die Verzögerung der Abwanderung durch die Unterbrechung des Wanderweges, die erhöhte Prädation durch den verlängerten Aufenthalt der Fische im Ober- und Unterwasser der Wasserkraftanlage und mechanische Verletzungen durch Aufprall oder Kollision (VON RABEN, 1955, 1957; MONTÉN, 1985; TURNPENNY ET AL., 2000; FEUNTEUN ET AL., 2000; LARINIER UND TRAVADE, 2002; WINTER ET AL., 2006; WINTER ET AL., 2007). Auf die Beschreibung der einzelnen Gefährdungsbereiche wird an dieser Stelle verzichtet. Im Folgenden wird die Schädigung des Aals beim Durchgang durch die Turbine näher beschrieben.



**Abbildung 3.8:** Darstellung der Gefährdungsbereiche und möglicher Beeinträchtigungen abwandernder Blankaale an einem Stauwehr mit Wasserkraftanlage und Schleuse



**Abbildung 3.9:** Längsschnitt durch eine Wasserkraftanlage mit horizontaler Kaplanturbine

Bei der Beschreibung der Schädigung des Aals lassen sich unterschiedliche Schädigungsmechanismen und Schädigungsziffern unterscheiden. Diese hängen von der spezifischen Gestaltung der betrachteten Wasserkraftanlage und anderer Parameter, wie der Größe des Fisches und dem Durchfluss durch die Turbinen, ab. Im Folgenden wird zunächst auf die verschiedenen Schädigungsmechanismen beziehungsweise die Ursachen der Schädigung eingegangen, und anschließend werden die Schädigungsziffern, wie sie an unterschiedlichen Wasserkraftanlagen ermittelt wurden, dargestellt.

### 3.4.2 Schädigungsmechanismen

Bei der Passage einer Wasserkraftanlage durch die Turbinen können Fische auf unterschiedliche Art und Weise verletzt werden. Die Schädigungsfaktoren lassen sich grundsätzlich in hydraulisch und mechanisch bedingte Faktoren unterteilen. Die häufigsten Ursachen für Verletzungen sind dabei Druckeffekte, Scherkräfte und Turbulenzen sowie Kollisionen (VON RABEN, 1955; MONTÉN, 1985; DAVIES, 1988; COOK ET AL., 1997; COUTANT UND WHITNEY, 2000; HOLZNER, 2000; LARINIER UND TRAVADE, 2002; SALE ET AL., 2002). Im Folgenden werden die Ursachen in Kürze erläutert:

- Druckeffekte: Schlagartige Druckänderungen sind für die meisten Fische nur schlecht zu kompensieren. Wie stark Fische geschädigt werden, hängt von der Höhe und Geschwindigkeit der Druckänderung ab. Die Höhe des Drucks nimmt vom Turbineneinlauf bis zur Turbine kontinuierlich zu. Beim Durchlaufen der Turbine nimmt der Wasserdruck schlagartig ab und fällt teilweise auf einen Wert, der unterhalb des Atmosphärendrucks liegt. Anschließend nimmt der Druck bis zum Auslass des Turbinenbereichs wieder langsam zu, bis der Atmosphärendruck erreicht wird (DAVIES, 1988) (vgl. Abbildung 3.10). Von den Änderungen des Drucks sind vor allem das Seitenlinienorgan und die luftgefüllten Bereiche des Fischkörpers betroffen. So kann es bei einer starken Kompression dazu kommen, dass die Schwimmblase der Fische platzt (LARINIER UND TRAVADE, 2002).
- Turbulenzen und Scherkräfte: Turbulente Strömungen sind dadurch gekennzeichnet, dass es zu Wirbelungen oder Änderungen der Strömungsrichtung auf allen Größenskalen kommt. Diese Änderungen der Geschwindigkeitsrichtung können dazu führen, dass die Fische von verschiedenen Strömungen erfasst werden und durch das entstehende Moment in eine Drehbewegung geraten. Diese unkontrollierte Bewegung erhöht die Gefahr der Kollision mit Anlagenteilen, wodurch es zu Prellungen, Abschürfungen oder Platzwunden bei den Fischen kommen kann (DAVIES, 1988).
- Kollisionen: Fische, die den Triebwasserkanal einer Wasserkraftanlage passieren, können mit beweglichen und unbeweglichen Anlagenteilen kollidieren. Dabei führen die Schläge, die die Fische durch die Turbinenschaufeln und den Leitapparat erfahren, oftmals zu Platzwunden, Blutergüssen und Teilsowie Totaldurchtrennungen. Eine Kollision mit unbeweglichen Anlagenteilen verursacht häufig Abschürfungen und Prellungen (DAVIES, 1988).

Für alle drei genannten Schädigungsursachen gilt, dass das Ausmaß der Schädigung von der Gestaltung und dem Betrieb der Turbine abhängt (DAVIES, 1988). COOK ET AL. (1997) stellen zudem fest, dass die Bestimmung des genauen Ortes der Schädigung sehr schwierig ist, da es praktisch unmöglich ist, den Durchgang eines Fisches durch eine Turbine unter realen Bedingungen zu beobachten. Daher ist es schwierig, die tatsächlichen Schädigungsprozesse und deren Eintrittshäufigkeit verlässlich anzugeben. Einfacher zu beobachten sind die unterschiedlichen Schädigungsarten, die durch die Schädigungsmechanismen hervorgerufen werden (vgl. Tabelle 3.3).

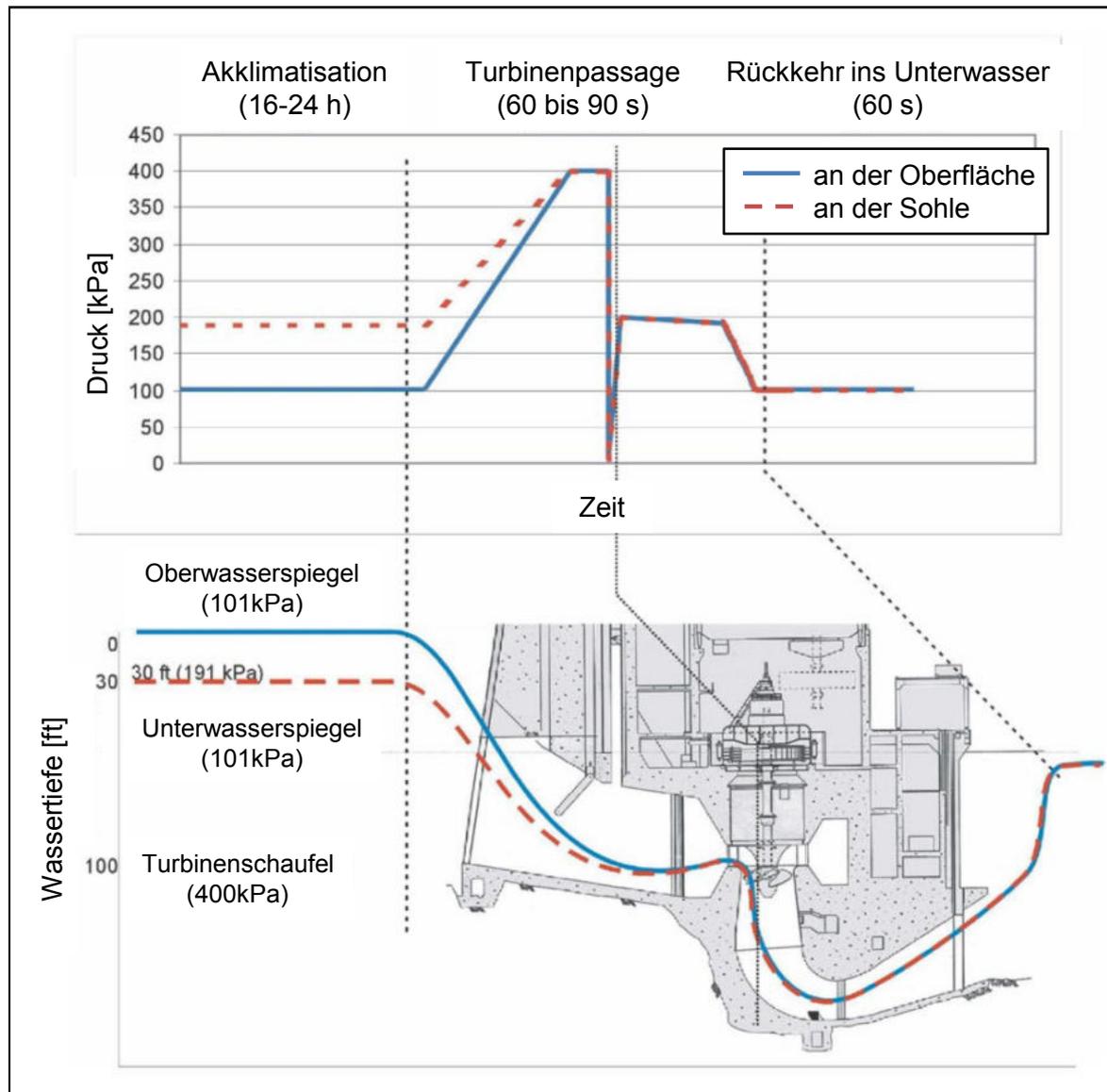


Abbildung 3.10: Schematische Darstellung des Druckverlaufs in einer Kaplanturbine (SALE ET AL., 2002)

In den Jahren 1996 bis 1999 hat HOLZNER (2000) am Wasserkraftwerk Dettelbach am Main (Deutschland) Untersuchungen zu den Schädigungsziffern und den Schädigungsarten von Fischen durchgeführt. Um die Auswertung und Beurteilung der Schädigungen der Fische zu vereinfachen, hat HOLZNER (2000) die Schädigungsarten in fünf Kategorien unterteilt (vgl. Tabelle 3.4). Dabei sind die Verletzungsklassen 1 und 2 im Allgemeinen nicht tödlich, die Verletzungen der Kategorie 3 zu nahezu 100 % tödlich und die Verletzungen der Kategorien 4 und 5 immer tödlich. Bei den untersuchten Aalen zeigten 52 % aller Tiere keine äußeren Verletzungen, und die restlichen Tiere wiesen Verletzungen der Kategorien 2 bis 5 auf. Bei den verletzten Fischen waren die häufigsten Verletzungsarten Schuppenverluste, Schürfungen und Blutungen (über 50 % der Verletzungen). Diese Verletzungstypen können nach DAVIES (1988) sowohl den Turbulenzen und Scherkräften als auch den Kollisionen zugeordnet werden.

**Tabelle 3.3:** Schadensbilder bei Fischen nach der Passage der Turbine (nach: DAVIES, 1988; COUTANT UND WHITNEY, 2000; HOLZNER, 2000; SALE ET AL., 2002; BRUIJS ET AL., 2003)

| Schädigungsarten  |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Blutungen im Auge</li> <li>• Platzen der Augen oder Schwimmblase</li> <li>• Einstülpung der Kiemenbögen</li> <li>• Verletzte oder zerrissene Kiemen</li> <li>• Prellungen</li> <li>• Schuppenverluste und Hautabschürfungen</li> <li>• Platzwunden</li> <li>• Durchtrennungen</li> <li>• Quetschungen</li> <li>• Schädelbrüche</li> <li>• Wirbelbrüche</li> <li>• Teildurchtrennungen</li> <li>• Totaldurchtrennungen</li> </ul> |

**Tabelle 3.4:** Zuordnungskriterien der verschiedenen Verletzungsklassen und Übersicht der Verletzungsraten an der Wasserkraftanlage Dettelbach (Quelle: HOLZNER, 2000)

| Verletzungsklasse | Verletzungstypus   | Versuchsergebnisse für den Aal |
|-------------------|--|--------------------------------|
| 1                 | Augenscheinlich äußerlich unverletzt                                 | 52 %                           |
| 2                 | Schuppenverluste, Schürfungen, Blutungen                             | 24 %                           |
| 3                 | Knicke, äußerlich erkennbare Wirbelsäulenverletzungen, Fleischwunden | 13 %                           |
| 4                 | Teildurchtrennungen  | 6 %                            |
| 5                 | Totaldurchtrennungen   | 4 %                            |

### 3.4.3 Mortalitätsziffern

Bei Untersuchungen an deutschen und niederländischen Laufwasserkraftwerken konnten in den letzten Jahrzehnten Mortalitätsziffern für den Aal zwischen 1 % und 41 % je nach Standort festgestellt werden (vgl. Tabelle 3.5). Zur Planung effektiver Schutzmaßnahmen für den Aal ist es erforderlich, die Mortalitätsziffer an jeder Wasserkraftanlage eines Flusssystemes zu kennen. Dass sich nicht an jeder Wasserkraftanlage Freilanduntersuchungen durchführen lassen, hat schon VON RABEN (1955) festgestellt und daher die Entwicklung von Prognosemodellen für die Ermittlung der turbinenbedingten Mortalität vorgeschlagen. Mithilfe von Prognosemodellen kann die Mortalitätsziffer an einer bestimmten Wasserkraftanlage unter Berücksichtigung verschiedener Anlagen- und Fischparameter bestimmt werden.

**Tabelle 3.5:** Mortalitätsziffer von Blankaalen an Wasserkraftanlagen mit Kaplan turbinen

| Ort   | Turbinenart | Mortalitätsziffer          | N     | Quelle   |
|---|-------------|----------------------------|-------|--|
| Obernau, Main   | Kaplan      | 19,6 %                     | 250   | VON RABEN (1955)   |
| Kleinwallstadt, Main  | Kaplan      | 12 %                       | 50*   | BUTSCHEK UND HOFBAUER (1956)                               |
|   |             | 15 %                       | 52*   |  |
|   |             | 41 %                       | 37*   |  |
| De Haandrik, Vecht  | Kaplan      | 24 %                       | 543   | HADDERINGH UND BAKKER (1998)                               |
| Linne, Maas   | Kaplan      | 23 %                       | 268   | HADDERINGH UND BAKKER (1998)                               |
|   |             | 10 %                       | 355   |  |
|   |             | 6 %                        | 941   |  |
|   |             | 9 %                        | 339   |  |
|   |             | 1 %                        | 2.274 |  |
| Fankel, Mosel   | Kaplan      | 23 %                       | 5.847 | AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG (1999) |
| Wintrich, Mosel   | Kaplan      | 34 %                       | 170   | GIER ET AL. (2011)   |
|   |             | 36 %                       | 50*   |  |
| Dettelbach, Main  | Kaplan      | 28 %                       | 3.718 | HOLZNER (2000)   |
| Linne, Maas   | Kaplan      | 27 %                       | 723   | BRUIJS ET AL. (2003)                                       |
|   |             | 19 %                       | 464   |  |
|   |             | 43 %                       | 7*    |  |
| 2 Wasserkraftanlagen, Maas  | -           | 16 % bis 25 % <sup>1</sup> | 150   | WINTER ET AL. (2006)                                       |
| 2 Wasserkraftanlagen, Maas  | -           | 25 % bis 34 % <sup>1</sup> | 150   | WINTER ET AL. (2007)                                       |
| * Wegen der geringen Stichprobengröße statistisch nicht belastbar   |             |                            |       |  |
| <sup>1</sup> Nur ein Test, aber unterschiedliche Berechnungsansätze |             |                            |       |  |

Viele der theoretisch entwickelten Prognosemodelle sind bislang nur an wenigen Wasserkraftanlagen überprüft worden und weisen daher Unsicherheiten auf. Auch sind viele der Modelle artspezifisch und können daher nicht zur Ermittlung der Mortalitätsziffer an jeder Wasserkraftanlage für jede Fischart genutzt werden. Ebenfalls sei darauf hingewiesen, dass die derzeit vorhandenen Prognosemodelle zu einem gewissen Teil alle einen empirisch ermittelten Faktor enthalten (EBEL, 2008). Durch diesen Faktor ist es möglich, die Ergebnisse des theoretischen Modells an die Ergebnisse von Naturuntersuchungen anzugleichen. Es wird jedoch auch deutlich, dass die genauen biologischen und physikalischen Zusammenhänge der Schädigungsmechanismen vor, während und nach der Turbinenpassage nicht vollständig bekannt sind und durch die vorhandenen Prognosemodelle nicht in Gänze beschrieben werden können.

## 4 Die Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG

### 4.1 Geschichte der Aalschutz-Initiative

#### 4.1.1 Anlass der Gründung und Finanzierung

Im September 1995 wurde die „Vereinbarung über Entschädigungen für Fischereischäden an Mosel und Saar“ zwischen der RWE Energie Aktiengesellschaft (später RWE Power AG) und dem Land Rheinland-Pfalz getroffen. Das Land Rheinland-Pfalz wurde dabei von den Bezirksregierungen Trier und Koblenz vertreten. Diese Vereinbarung, die im Februar 1996 der Fachöffentlichkeit vorgestellt wurde (KROLL, 1996), stellte den Beginn der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG dar.

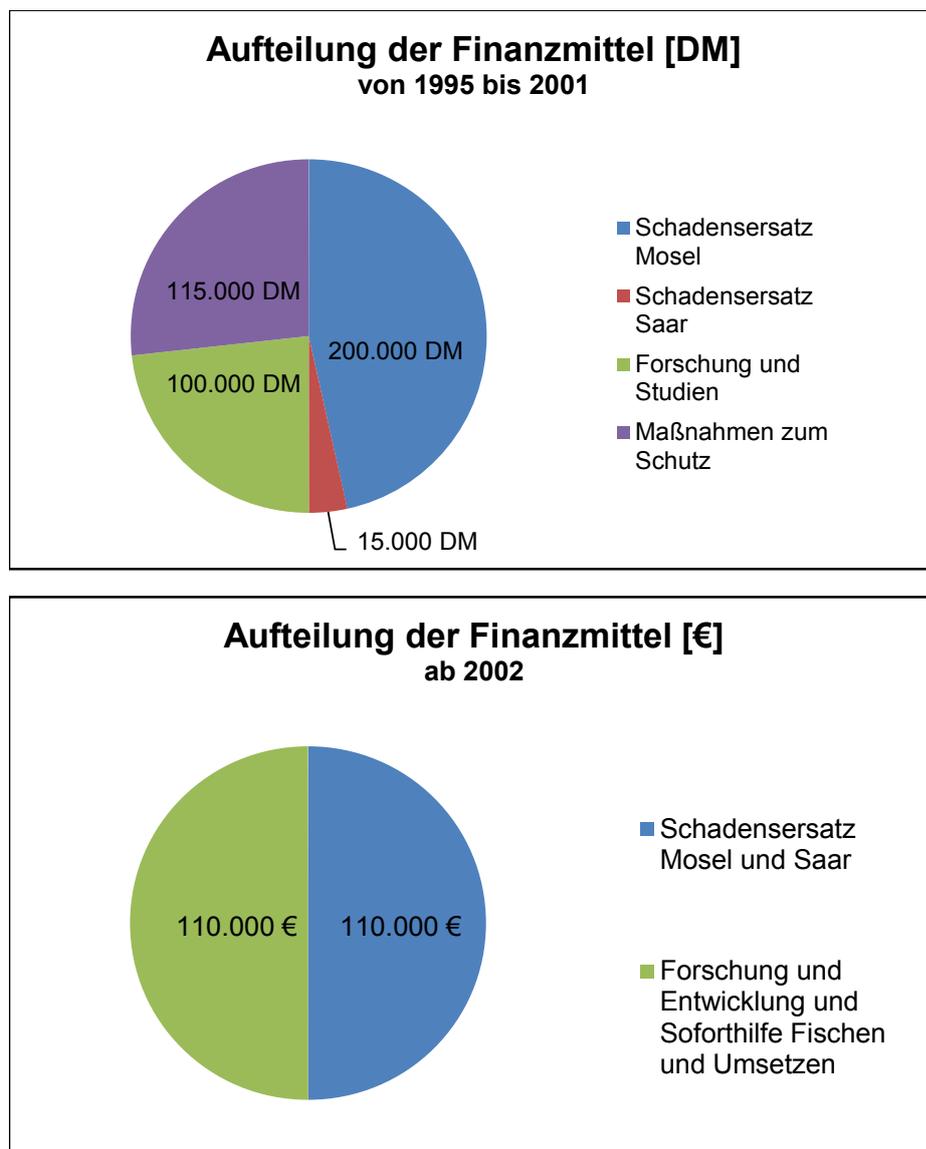


**Abbildung 4.1:** Vorstellung der Aalschutz-Initiative der Fachöffentlichkeit auf einer Pressekonferenz in Trier, von links nach rechts: G. Ohs, J. Poll, H. Seiler, L. Kroll, W. Blankenburg, K.-W. Otto, T. Brenner, K.-H. Rother, H.-L. Voigt (Foto: KROLL, 1996)

Nach Paragraph 1 dieser Vereinbarung ist der Gegenstand des Vertrags „die einvernehmliche Regelung der durch den Turbinenbetrieb der Mosel- und Saarwasserkraftwerke entstehenden Fischereischäden“ (RWE ENERGIE AG UND LAND RHEINLAND-PFALZ, 1995). Dieser Vertrag nimmt Bezug auf Paragraph 44 Absatz 2 des Landesfischereigesetzes Rheinland-Pfalz (Entschädigungen bei Wasserkraftanlagen) (LANDTAG RHEINLAND-PFALZ, 2009).

Die Vereinbarung sieht vor, dass die RWE Energie AG einen jährlichen Betrag in einen Fonds zahlt, aus dem Entschädigungszahlungen sowie Maßnahmen zur Schadensminderung finanziert werden. Im Jahr 2002 wurden die Mittelhöhe sowie -verteilung aufgrund einer Strukturreform auf Behördenebene und der Einführung des Euros geändert (vgl. Abbildung 4.2).

Die Umstrukturierung ermöglichte mehr Flexibilität in der Aufteilung der Mittel auf die einzelnen Aufgaben. Der Fonds wird von der RWE Power AG in Abstimmung mit den Verantwortlichen der Aalschutz-Initiative verwaltet. Diese Regelung stellt sicher, dass die vorhandenen Gelder mit einer sachdienlichen Flexibilität eingesetzt werden können.



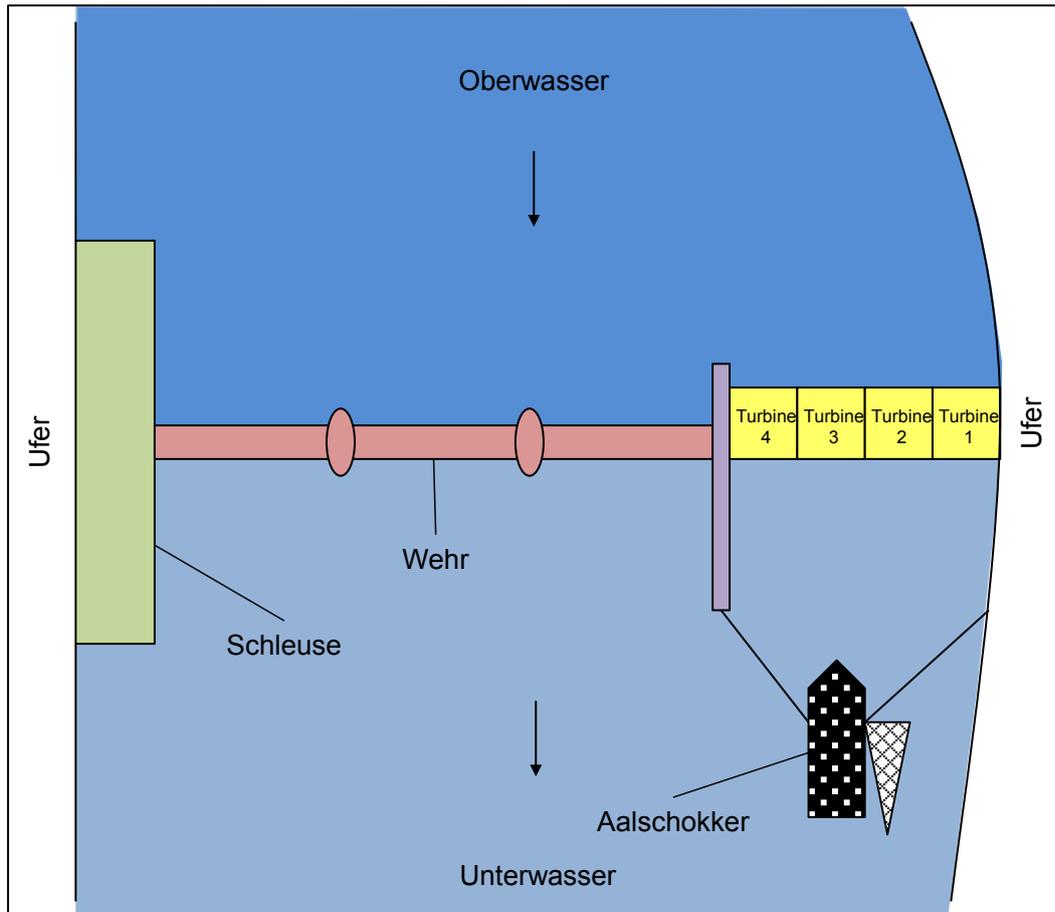
**Abbildung 4.2:** Aufteilung der Finanzmittel der Aalschutz-Initiative vor und nach Einführung des Euro (Quelle der Daten: RWE ENERGIE AG UND LAND RHEINLAND-PFALZ, 1995; TEGGERS-JUNGE UND KROLL, 2010)

Der Leitgedanke der Aalschutz-Initiative ist der kooperative Ansatz zwischen Berufsfischern, Fischereiverwaltung und RWE sowie die Anerkennung der jeweiligen verschiedenartigen Interessen. Nur wenn eine interdisziplinäre Zusammenarbeit stattfindet und die vielseitigen Ansprüche an die Nutzung der Mosel und der Saar bei der Betrachtung bestmöglich miteinbezogen werden, kann eine funktionierende Lösung zum Erhalt des Aalbestands in den Flüssen gefunden werden (KROLL, 1998A).

Den Anlass für die Gründung der Aalschutz-Initiative stellte ein Fischereiversuch aus dem Jahr 1993 dar. Dieser fand statt, weil jahrzehntelange Beobachtungen an den Wasserkraftanlagen der Mosel und der Saar (Wiltinger Saarbogen) zeigten, dass es zum Teil zu erheblichen Schädigungen an abwandernden Aalen bei der Passage der Kraftwerksturbinen kam. Die Höhe der Schädigung konnte bis zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht genau bestimmt werden, da keine diesbezüglichen Daten vorlagen. Die Fischereiverwaltung des Landes Rheinland-Pfalz wurde von Berufs- und Freizeitfischereiverbänden zu einer Aufklärung dieser Beobachtungen gedrängt.

Die Berufsfischervereinigung Rhein-Mosel e.V. mit ihrem damaligen Vorsitzenden Helmut Seiler † führte den Versuch mit ihrem Mitglied Heinz Nagelschmidt, St. Goar, (Eigner des Schokkers „Mariechen“) durch. Mithilfe der Ergebnisse des Versuchs sollten die Fischschäden quantifiziert werden (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999). Dieser wurde vom 4. September bis zum 12. Dezember 1993 im Unterwasser der Wasserkraftanlage Fankel mittels eines Aalschokkers durchgeführt. Da der verwendete Hamen nicht den gesamten Flussquerschnitt abdecken konnte, wurden nicht alle abwandernden Aale erfasst (vgl. Abbildung 4.3), was durch spätere Korrekturen bei den Berechnungen berücksichtigt wurde.

Auch mussten die Messungen an 37 Tagen aufgrund von Netzreparaturen nach einem Hochwasser ausgesetzt werden, sodass die vorhandenen Daten über den gesamten Zeitraum gesehen nicht vollständig sind. Dennoch wurden an den übrigen 63 Fangtagen insgesamt 5.847 abwandernde Aale gefangen. Dabei verteilten sich die Fänge nicht gleichmäßig über den Untersuchungszeitraum, sondern es stellten sich einzelne Nächte mit Fangspitzen ein. So traten allein in einer Nacht 67 % des Gesamtfangs (3.917 Aale) auf, und an den zehn abwanderungsstärksten Fangtagen passierten rund 90 % aller Aale (> 5.200 Aale) die Wasserkraftanlage (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999; GIER ET AL., 2011). Von den 5.847 gefangenen Aalen wiesen 1.317 sichtbare, lethale, Schäden auf (vgl. Abbildung 4.4). Dies entspricht einer Mortalität von etwa 23 % (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999). Es wurden keine Hälterungsversuche zur Identifikation von eventuell später auftretenden Schädigungen unternommen. Ebenso konnten Wirbelverletzungen (vgl. Abbildung 4.5) nur dann berücksichtigt werden, wenn sie durch atypische Bewegungen auffällig beziehungsweise palpatorisch feststellbar waren. Dennoch kann die Schädigungsziffer von 23 % als Richtwert für die tatsächliche Schädigung genutzt werden.



**Abbildung 4.3:** oben: Schema der Versuchsanordnung des Fischereiversuchs an der Wasserkraftanlage Fankel (nach: AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999, unten: Aalschokker „Mariechen“ unterhalb der Staustufe Fankel (Foto: KROLL, 1993)



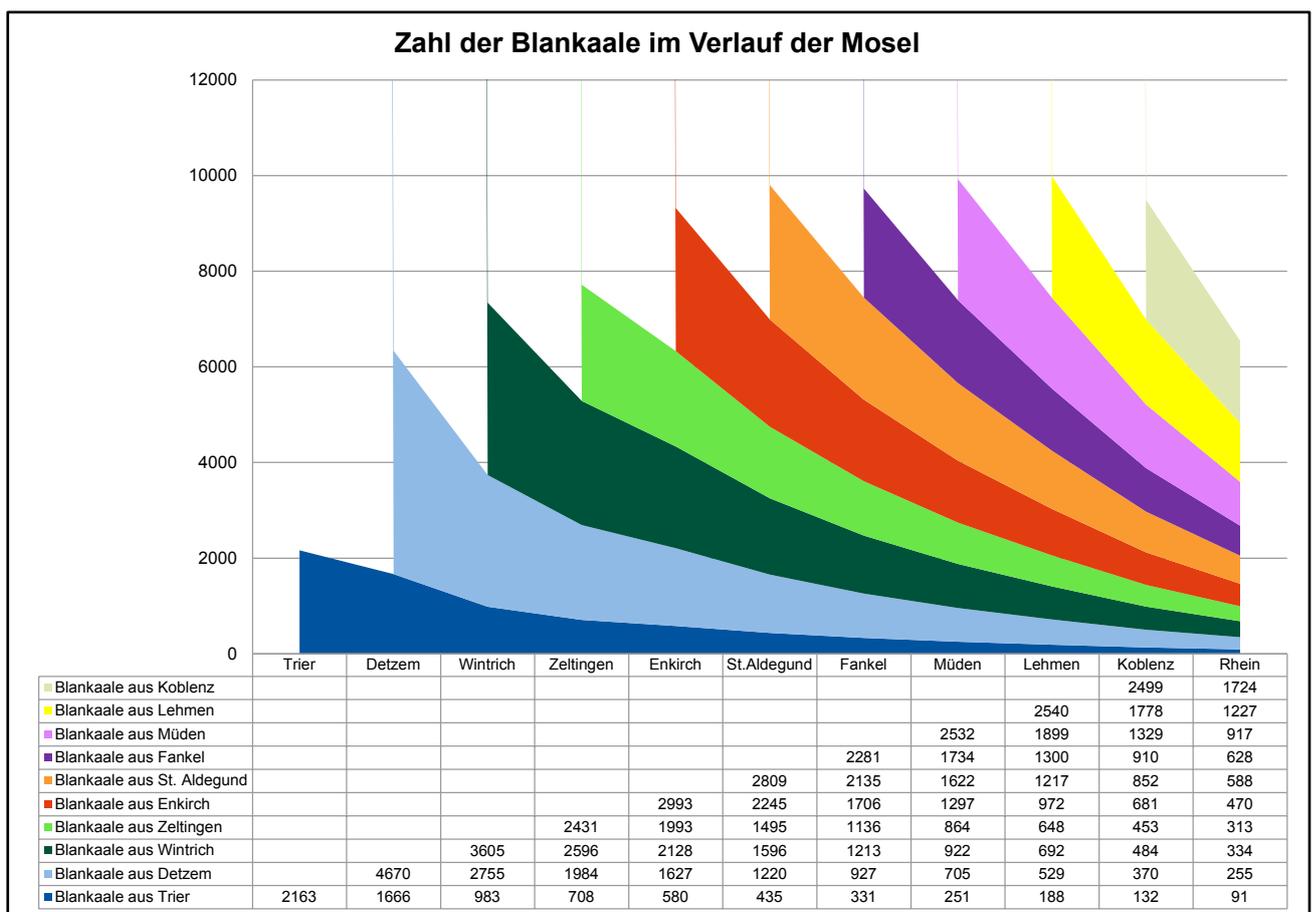
Abbildung 4.4: Durchtrennte Aale aus dem Fischereiversuch unterhalb der Staustufe Fankel (Foto: KROLL, 1993)



Abbildung 4.5: Wirbelverletzung eines Aals (KROLL, 1993)

Obwohl alle deutschen Moselkraftwerke, abgesehen von dem Kraftwerk in Koblenz, über horizontale Kaplan-Rohr-Turbinen verfügen, unterscheiden sie sich in der Größe, der Zahl der Laufradschaufeln und der Drehzahl voneinander. In Anlehnung an die in Abschnitt 3.3.4a) vorgestellte Berechnungsweise ergeben sich daher für die einzelnen Wasserkraftanlagen theoretische Schädigungsziffern zwischen 18 % und 41 %. Unter der Annahme unterschiedlich großer Blankaalpopulationen pro Stauhaltung ergibt sich auf der Basis der berechneten Schädigungsziffern, dass nur etwa 23 % aller abwandernden Blankaale jedes Jahr erfolgreich und unbeschadet aus der Mosel in den Rhein abwandern können (vgl. Abbildung 4.6).

In der Abbildung ist dargestellt, wie viele Blankaale theoretisch aus einer Stauhaltung unbeschadet bis in den Rhein abwandern können. Von den 2.163 Blankaalen, die aus der Stauhaltung Trier abwandern, überleben 1.666 Tiere die Passage der Wasserkraftanlage Trier unbeschadet und gelangen in die Stauhaltung Detzem. Nach der Passage der neun weiteren Wasserkraftanlagen gelangen von den anfangs 2.163 Blankaalen lediglich 91 unbeschadet bis in den Rhein. Von den 2.499 Blankaalen aus der Stauhaltung Koblenz gelangen hingegen 1.724 unbeschadet in den Rhein. Diese theoretischen Berechnungen zeigen die kumulative Schädigungswirkung, die eintritt, wenn Aale mehrere Wasserkraftanlagen einer Stauhaltungskette hintereinander passieren müssen.



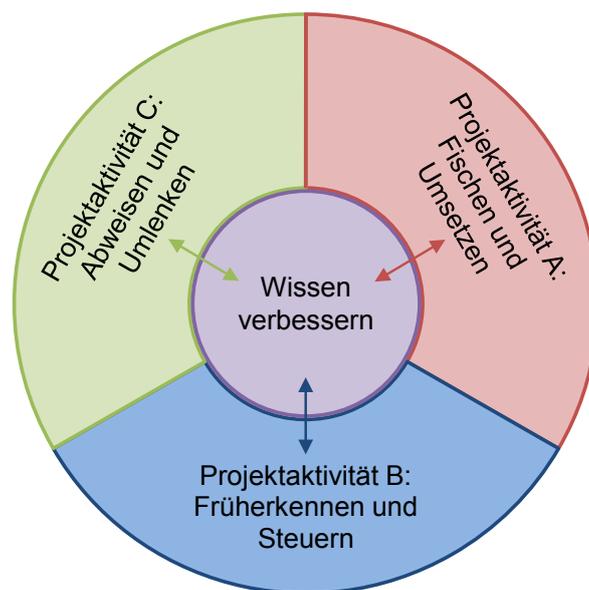
**Abbildung 4.6:** Darstellung der theoretisch berechneten Zahl abwandernder Blankaale im Verlauf der Mosel (Werte aus: KROLL, 2015B, 2015A)

Die im Zuge des Fischereiversuchs an der Wasserkraftanlage Fankel ermittelte Höhe der Schädigung hat den Anlass dafür gegeben, einen anderen Weg in Hinblick auf den Umgang mit Fischereischäden einzuschlagen. Vor dem Jahr 1995 hat die RWE Energie AG jährliche Entschädigungszahlungen an das Land Rheinland-Pfalz entrichtet. Der jährliche monetäre Ausgleich entsprach dabei den Kosten für den Besatz von 100 kg Aalbrut<sup>1</sup>. Da die Preise für Besatzaale in den 1980er-Jahren sprunghaft in die Höhe gingen und durch die Schadensersatzzahlungen das eigentliche Problem der Aalschädigung nicht gelöst werden konnte, entschieden sich die RWE Energie AG und das Land Rheinland-Pfalz für eine gemeinschaftliche Suche nach einer neuen Lösung.

#### 4.1.2 Projektaktivitäten und vorbereitende Arbeiten

Die Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG (zwischenzeitlich neu firmiert als RWE Power AG) hat das Hauptziel, die Fischereischäden an den Wasserkraftanlagen von Mosel und Saar zu verhindern oder sie erheblich zu verringern (§ 1, RWE ENERGIE AG und LAND RHEINLAND-PFALZ, 1995). Zur Erfüllung dieses Ziels sind drei Projektaktivitäten festgelegt worden (vgl. Abbildung 4.7):

- Projektaktivität A: *Fischen und Umsetzen*
- Projektaktivität B: *Früherkennen und Steuern*
- Projektaktivität C: *Abweisen und Umlenken*



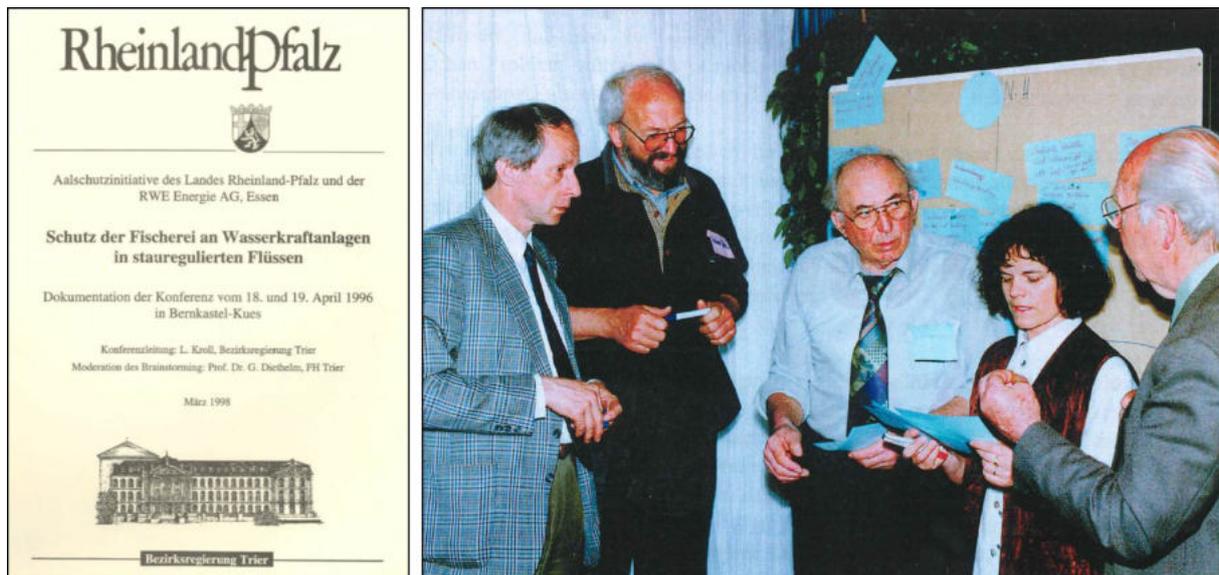
**Abbildung 4.7:** Projektaktivitäten der Aalschutz-Initiative (nach: TEGGERS-JUNGE UND KROLL, 2010)

<sup>1</sup> 1 kg Aalbrut entspricht etwa 3.500 Tieren

Diese Projektaktivitäten werden erstmals in der schriftlichen Dokumentation der Projektfindungskonferenz in Bernkastel-Kues aus dem Jahr 1996 erwähnt (BEZIRKSREGIERUNG TRIER, 1998). Dort wurden in einem groß angelegten Workshop mit über 40 Teilnehmern aus der Industrie, der Wissenschaft, der Fischerei sowie aus der Schifffahrts-, Gewässer- und Fischereiverwaltung grundlegende Fragen und Aktivitäten diskutiert und festgelegt (Abbildung 4.8). Hierzu zählten die Realisierung von Sofortmaßnahmen (Aktivität A), die Entwicklung eines Frühwarnsystems (Aktivität B) sowie die Durchführung von Projekten aus dem Bereich Forschung und Entwicklung (Aktivität C).

Weitere Workshops folgten, und regelmäßige Projektgespräche sind bis heute die Basis für einen Austausch der Beteiligten und eine Reflexion über die Ergebnisse sowie die Erfahrungen aus den Projekten (Abbildung 4.9). Hierzu zählen unter anderem:

- 16. bis 17. November 1998 in Veichtshöchstheim – Symposium „Fische und Turbinen – Schutz der Fische vor Verletzungen in den Kraftwerksanlagen stauregulierter Flüsse“
- 18. August 2000 in Oberbillig im „Haus der Fischerei“ – Vortragsveranstaltung zum Projektfortschritt der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG
- 11. Juli 2003 in Fankel – Symposium zur Aalschutz-Initiative, in der Zentralwarte Fankel, RWE
- 29. April 2010 in Mainz – 5. Mainzer Arbeitstage „Fischschutz in stauregulierten Flüssen“



**Abbildung 4.8:** links: Titelseite der Dokumentation zur Konferenz in Bernkastel-Kues im April 1996, rechts: Teilnehmer der Konferenz beim Gruppen-Brainstorming, von links nach rechts: R. H. Hadderingh, R. Berg, W. Dobberschütz, S. Teggers-Junge, K. Ebel



**Abbildung 4.9:** Titelseiten der Tagungsbände zu Konferenzen, die unter Mitarbeit der Aalschutz-Initiative ausgerichtet wurden, links: Symposium in Veitshöchheim am 16./17. November 1998, rechts: Symposium zur Aalschutz-Initiative in der Zentralwarte Fankel am 11. Juli 2003  
rechts unten: Titelseite der 5. Mainzer Arbeitstage: Fischschutz in staugeregelten Flüssen; 2010

Bereits seit dem Beginn der Aalschutz-Initiative galten Forschung und Entwicklung sowie die Vermehrung des Wissens über den Aal in stauregulierten Gewässern als besonders relevant. Alle Projektaktivitäten sind daher so ausgelegt, dass neugewonnenes Wissen in die Optimierung der Aktivitäten einfließt. Seit Beginn der Aalschutz-Initiative im Jahr 1995 sind verschiedene Untersuchungen, Studien, Konferenzen und Projekte zum Aal durchgeführt worden (Abbildung 4.10).



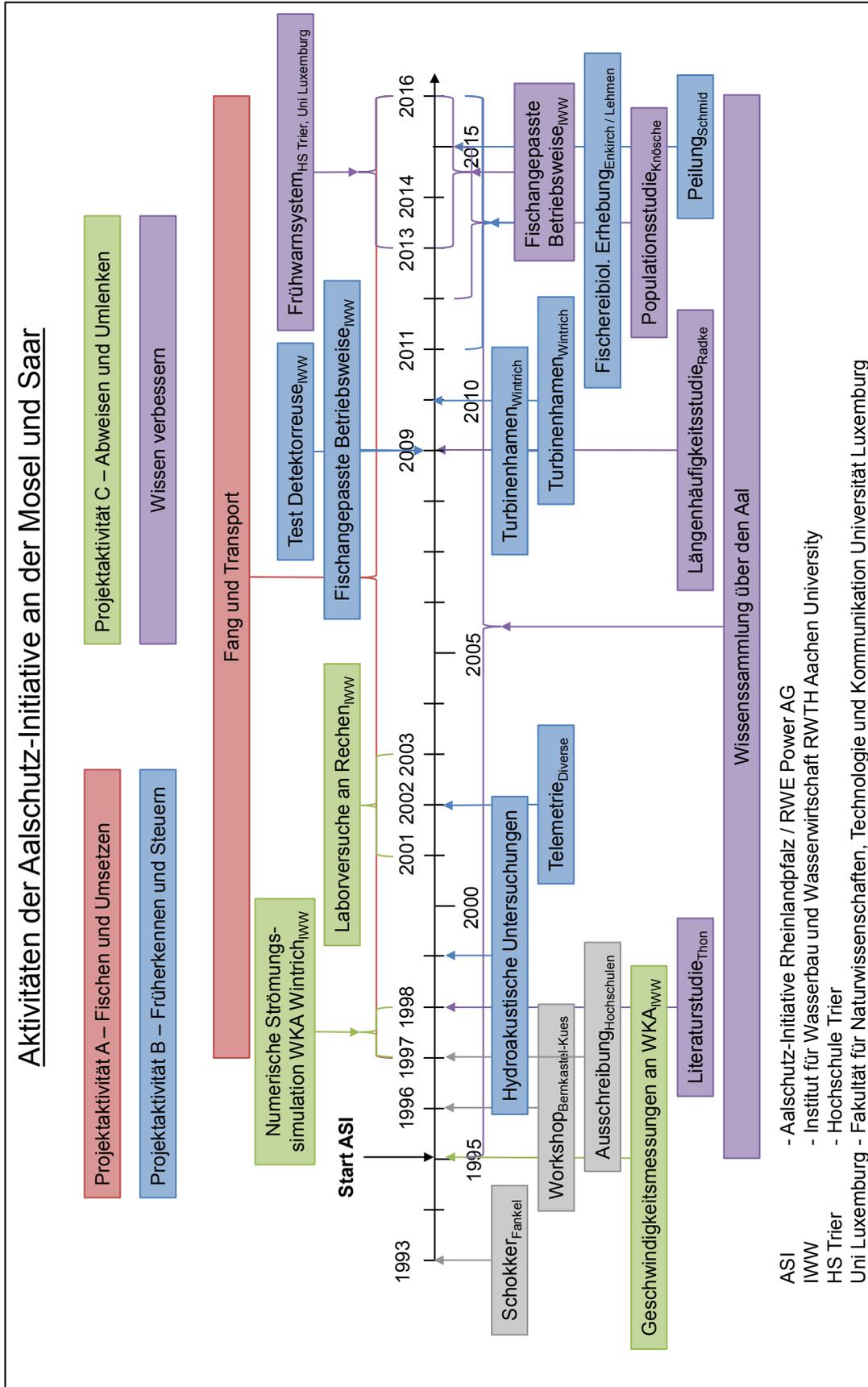


Abbildung 4.10: Zeitreihe der Maßnahmen und Untersuchungen im Rahmen der Aalschutz-Initiative seit 1995

## Erste Literaturstudie 1998

Die gewünschte Interdisziplinarität zwischen Fischereibiologen und Ingenieuren machte es erforderlich, den weltweit publizierten Wissensstand über die Biologie der flussabwärtsgerichteten Laichwanderung des Aals zum Zweck eines technisch effizienten Schutzes zu sichten. Es wurde daher als vorbereitende Studie eine ausführliche, qualifizierte Literaturrecherche in Auftrag gegeben.

Der Schwerpunkt der Literaturrecherche war die „Sichtung und Auswertung der nationalen und internationalen Literatur, die zum Thema Aalabwanderung vorliegt“ (THON, 1999). Des Weiteren wurden, soweit dies möglich war, alle Aspekte der Aalschädigung an der Mosel, die von der Aalschutz-Initiative untersucht werden sollten, betrachtet. Eine englische Übersetzung wurde im März 1999 vorgelegt (Abbildung 4.11). Die Aktualität und Relevanz dieser Arbeit zeigte sich unter anderem dadurch, dass das nordamerikanische Energieforschungsinstitut (Electric Power Research Institute – EPRI) Teile der Arbeit in einer eigenen Studie zur Abwanderung und zum Schutz von Aalen an Wasserkraftanlagen verwendete (EPRI ET AL., 2001).

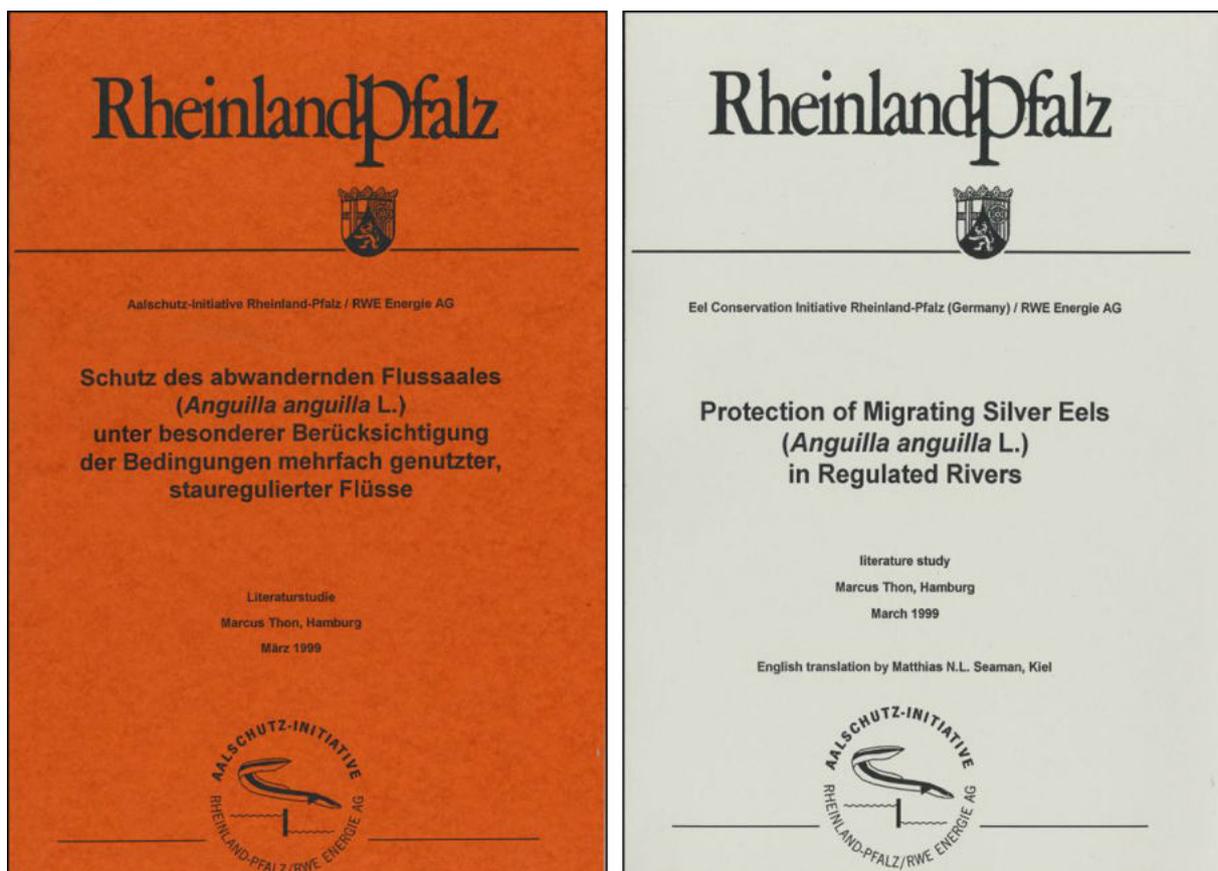


Abbildung 4.11: Titelseiten der Literaturrecherche von THON (1999) der deutschen und englischen Version

Neben den biologischen Besonderheiten und dem Wanderverhalten des Aals sind in THON (1999) daher ebenfalls die Faktoren recherchiert worden, die eine Abwanderung der Aale auslösen können:

- Beginn des Blankaalstadiums
- Mondphase: In Nächten mit abnehmendem Halbmond werden häufig Wanderungen beobachtet.
- Mondlicht: Helles Mondlicht kann die Wanderaktivität unterdrücken.
- Mikroseismische Aktivitäten, die von Tiefdruckgebieten ausgelöst werden, können die Wanderaktivität auslösen.
- Wassertemperatur: Sinkt im Herbst die Wassertemperatur unter 18 °C, beginnt die Wanderung. Fällt die Temperatur unter 3 bis 4 °C, wird sie wieder eingestellt. Die maximale Aktivität wird bei einer Temperatur von 9 °C beobachtet.
- Abfluss: Bei schnell und stark steigenden Abflüssen setzt die Wanderung ein.
- Wassertrübung: Die Wanderung tritt häufig bei trübem Wasser auf.

Der stärkste Impuls geht dabei nach THON (1999) vom Abfluss aus. Demnach sind Wanderungen zu Zeiten mit stark und schnell steigenden Abflüssen zu erwarten.

Ein zweiter wichtiger Punkt der Literaturstudie war die Schädigung von Aalen an Wasserkraftanlagen und die Möglichkeit unterschiedlicher Einrichtungen zum Abweisen und Umlenken von Aalen (vgl. Abschnitt 3.4).

In Hinblick auf die Projektaktivität *Abweisen und Umlenken* sind Erkenntnisse zu

- Bypässen,
- mechanischen Barrieren
- sowie akustischen, optischen und elektrischen Scheuch- und Sperranlagen (Verhaltensbarrieren)

vergleichen worden. In Hinblick auf die Bypasssysteme hat THON (1999) festgestellt, dass sie eine effektive Art der Ableitung für Aale darstellen, sofern die Bypassöffnung für die Fische gut auffindbar und die Strömung zum Bypass wahrnehmbar ist. Für mechanische Barrieren wird in THON (1999) festgestellt, dass die Wirksamkeit von der Wahl der lichten Weite einer Schutzeinrichtung und dem vorliegenden Verletzungsrisiko abhängt. Um einen effektiven Schutz zu erreichen, müssen mechanische Barrieren fischart- und wasserkraftanlagenspezifisch geplant werden. In Hinblick auf die untersuchten Verhaltensbarrieren fanden sich in der Literatur Einzelfälle mit einer gewissen Wirksamkeit (THON, 1999). Grundsätzlich haben jedoch alle Verhaltensbarrieren das Problem, dass die Aale sich an der Hauptströmung orientieren und die Barriere passieren können, falls kein geeigneter alternativer Wanderweg vorhanden ist. Ein sicherer, absoluter Schutz ist somit nicht garantiert.

## Kooperation mit wissenschaftlichen Instituten

Die Aktivitäten der Aalschutz-Initiative sollten durch eine Kooperation mit wissenschaftlichen Instituten gestärkt werden, um so einen starken Partner zur Entwicklung effektiver und innovativer Maßnahmen zu haben. In einer beschränkt öffentlichen Ausschreibung an die Wasserbauinstitute sechs europäischer Hochschulen wurden diese gebeten, Forschungsperspektiven für eine Zusammenarbeit mit der Aalschutz-Initiative zu entwickeln. In einem Vorstellungstermin am 25. November 1997 in der Gemeinde Gondorf (RWE Solar-Kompetenzzentrum) hatten die Hochschulen die Gelegenheit, ihre Forschungsperspektiven vorzustellen. Die offizielle Auswahl der Aalschutz-Initiative fiel auf das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University (IWW), wodurch die langjährige Zusammenarbeit der Aalschutz-Initiative und des IWW zustande kam.

## 4.2 Projektaktivität A – Fischen und Umsetzen

### 4.2.1 Konzept

Die Projektaktivität A war als kurzfristige Sofortmaßnahme angelegt und beinhaltet den Fang und Transport in sichere Gewässer. Das Konzept sieht vor, dass Berufsfischer in jeder Staustufe möglichst viele Blankaale abfischen und sie im Rhein wieder einsetzen. Die Berufsfischer verfügen aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung mit dem Aalfang über umfangreiche Kenntnisse zum Verhalten der Aale während der Wanderung speziell im Oberwasser der Kraftwerke. Daher ist die Zusammenarbeit mit den Berufsfischern die Basis für die erfolgreiche Durchführung der Sofortmaßnahmen. Als Vergütung erhielten die Berufsfischer zu Beginn der Projektaktivität einen marktüblichen Preis von 20 DM pro Kilogramm gefangener und abgelieferter Blankaale (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999). Heute beläuft sich dieser Betrag auf 12 € pro Kilogramm. Die Höhe der Vergütung, die Finanzierung von Fanggeräten und die aktive Einbindung in die Aktivitäten der Aalschutz-Initiative sind so gewählt, dass der Berufsstand der Fischer, der durch den Rückgang der Aalpopulation in der Mosel beeinträchtigt ist, in angemessener Weise unterstützt wird.

Zum Fang der Aale werden schwerpunktmäßig Kleinreusen eingesetzt, die im Oberwasser der Staustufe ausgelegt werden (SGD NORD, 2010 und Abbildung 4.12). Insgesamt kommen bei dieser Fangmethode mehr als 500 Reusen in Form von Kettenreusen zum Einsatz. Die Reusen werden ein- bis zweimal pro Woche kontrolliert und die gefangenen Aale bis zum Weitertransport zwischengehäktert.

Die gefangenen Tiere werden in Transportbehältern gesammelt und anschließend einmal wöchentlich etwa 40 km bis 50 km unterhalb von Koblenz in der Nähe von Remagen im Rhein ausgesetzt. Der Rhein gilt als weitgehend sicheres Gewässer, da die Aale dort ihren Weg zur Sargassosee fortsetzen können, ohne weitere Wasserkraftanlagen passieren zu müssen (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999; MOLTRECHT, 2005).



**Abbildung 4.12:** Fang von Aalen mit einer Reuse  
(Quelle: RWE POWER AG und FISCHEREIBEHÖRDE DES LANDES RHEINLAND-PFALZ, 2013)

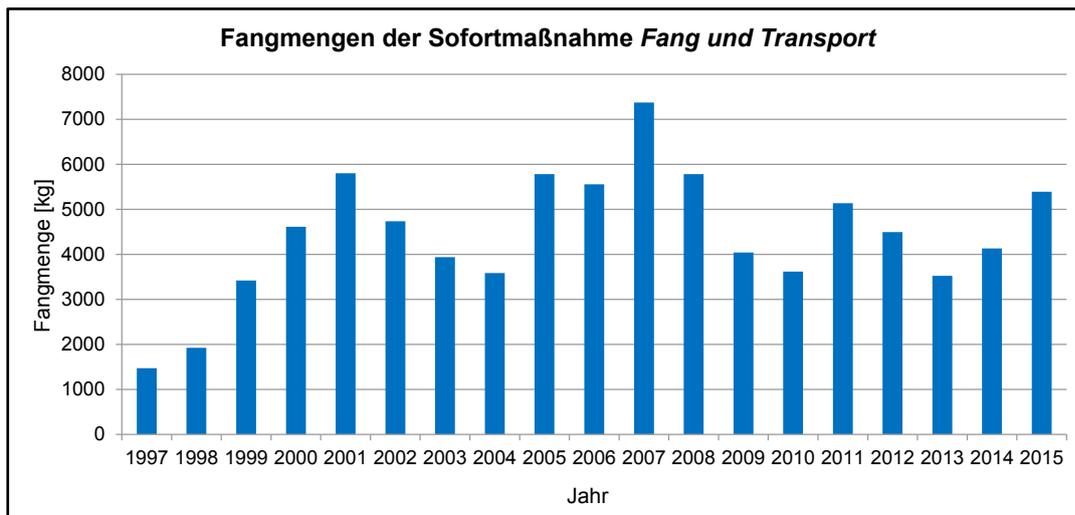
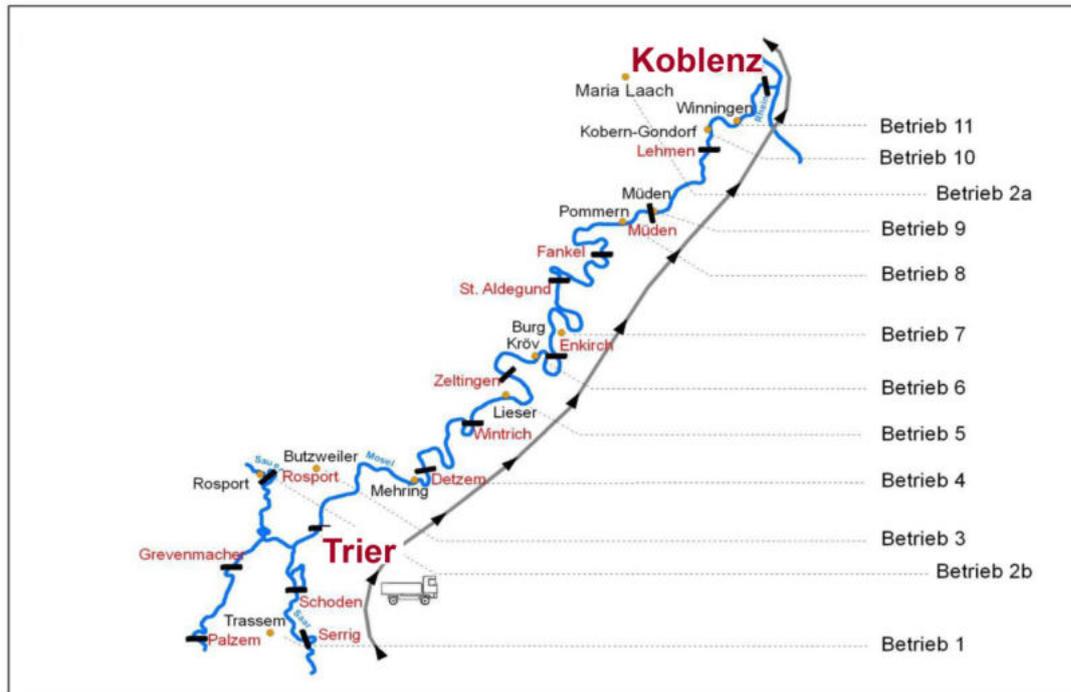
#### 4.2.2 Maßnahmen und Ergebnisse

Die ersten Aktivitäten in Hinblick auf *Fischen und Umsetzen* fanden im Herbst 1997 statt (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999). Von August bis Dezember wurden rund 1.474 kg Aale gefangen und zum Rhein transportiert. Seit 1997 wird die Sofortmaßnahme kontinuierlich weiter betrieben. Pro Jahr werden im Durchschnitt 4.400 kg Aale aus dem Oberwasser der Moselstauufen abgefischt. Die maximale Menge gefangener Aale ist im Jahr 2007 mit 7.375 kg erreicht worden (RWE POWER AG und FISCHEREIBEHÖRDE DES LANDES RHEINLAND-PFALZ, 2013).

Die Fangmenge unterliegt in jedem Jahr Schwankungen (vgl. Abbildung 4.13), sodass etwa 10.000 bis 15.000 Aale pro Jahr durch die Fang- und Transportmaßnahmen sicher in den Rhein gelangen. Insgesamt sind schätzungsweise bis zum Jahr 2014 75.000 kg beziehungsweise 125.000 bis 150.000 Blankaale schadlos in den Rhein umgesetzt worden. Soweit dies möglich ist, werden die Fang- und Transportmaßnahmen zukünftig weiter optimiert und verstärkt.

#### 4.2.3 Wirkung

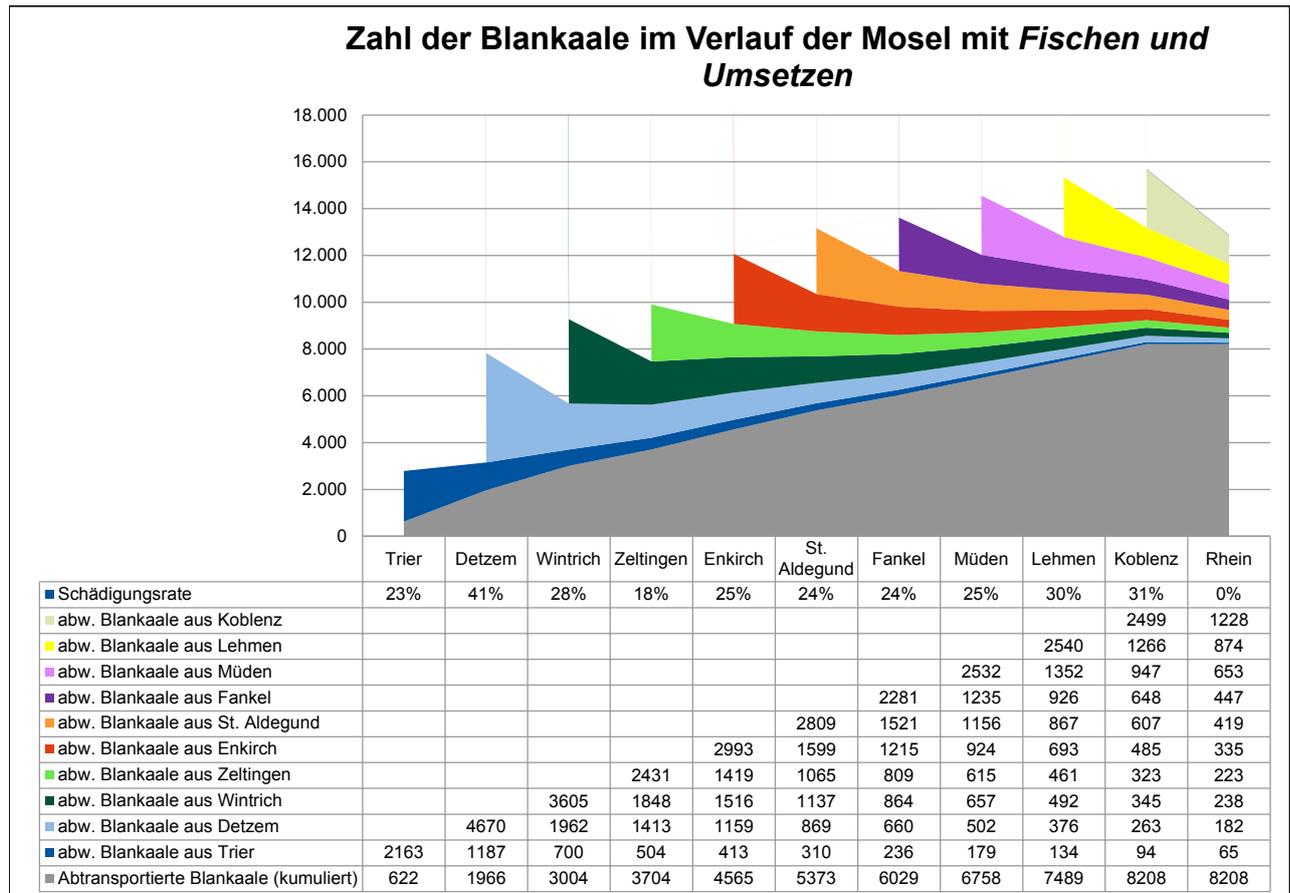
Als Maß der biologischen Wirksamkeit einer Maßnahme kann die Reduzierung der Schädigung an einer Wasserkraftanlage angenommen werden. Für die Fang- und Transportmaßnahmen gilt, dass die Aale, die im Zuge der Maßnahmen gefangen werden, der wasserkraftbedingten Schädigung entgehen. Für sie gilt eine Schädigungsziffer von nahezu 0 % bezogen auf die wasserkraftbedingte Schädigung an der Mosel. Die Blankaale, die nicht von der Maßnahme erfasst werden, unterliegen jedoch demselben Schädigungsrisiko wie zuvor.



**Abbildung 4.13:** Oben: Wöchentliche Route des Blankaal-Transportes per LKW von der unteren Saar/Obermosel bis Rhein/Rolandseck. Unten: Entwicklung der Fangmengen der Fang- und Transportmaßnahme zwischen 1997 und 2015.

Auf der Basis populationsbiologischer Annahmen von KNÖSCHE (2015A) (Gesamtzahl potenziell abwandernder Blankaale von etwa 28.500) ergibt sich nach Berechnungen von KROLL (2015B) für die Mosel eine Gesamtüberlebensrate der abwandernden Blankaale ohne Schutzmaßnahmen von 23 % (vgl. Abschnitt 4.1.1). Gelangt nun ein Teil der abwanderungswilligen Blankaale durch Fang- und Transportmaßnahmen mit einer Schädigungsziffer von 0 % in den Rhein, erhöht sich die Gesamtüberlebensrate auf rund 45 % (vgl. Abbildung 4.14). In Abbildung 4.14 ist analog zu Abbildung 4.6 dargestellt, wie viele Blankaale aus einer Stauhaltung unbeschadet bis in den Rhein abwandern können.

Zusätzlich sind die Blankaale dargestellt, die im Zuge der Sofortmaßnahme aus den jeweiligen Stauhaltungen abgefischt und in den Rhein transportiert werden. Von den 2.163 Blankaalen aus der Stauhaltung Trier werden 622 abgefischt und in den Rhein transportiert. Von den restlichen 1.541 Blankaalen, die über alle zehn Wasserkraftanlagen abwandern müssen, erreichen lediglich 65 unbeschadet bis in den Rhein. Die Gesamtzahl der Blankaale, die unbeschadet aus der Stauhaltung Trier bis in den Rhein gelangen, erhöht sich aufgrund der Sofortmaßnahme jedoch. Dies gilt analog auch für die anderen Stauhaltungen.



**Abbildung 4.14:** Darstellung der theoretisch berechneten Zahl abwandernder Blankaale im Verlauf der Mosel unter dem Effekt der Projektaktivität *Fischen und Umsetzen* (Werte aus: KROLL, 2015A, 2015B)

Die Soforthilfe ist eine selektive Maßnahme zur Aufrechterhaltung der Rückwanderung einer ausreichenden Teilmenge aus allen Stauhaltungen der Mosel in die Laichgebiete. Hierdurch wird ein Beitrag zur nachhaltigen Unterstützung des Bestandes in Deutschland bewirkt. Die Aalschutz-Initiative wurde so gestaltet, dass parallel zu dieser kurzfristigen Hilfe weitergehende mittel- bis langfristige Maßnahmen untersucht werden (vgl. Abschnitt 4.3 und 4.4).

Das Startkapital für den Fang und Transport belief sich umgerechnet auf etwa 200.000 € für Boote, Reusen und sonstiges Fangmaterial sowie Hälterungs- und Transportvorrichtungen. Dazu kommen jährlich durchschnittlich 1.000 € pro Berufsfischer für weiteren Gerätebedarf oder Erneuerungen. Die Kos-

ten werden aus den Finanzmitteln der Aalschutz-Initiative bezahlt (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999). Die Betriebskosten, die sich aus der Projektaktivität *Fischen und Umsetzen* für die Aalschutz-Initiative ergeben, setzen sich aus der Entlohnung der Berufsfischer für den Fang und die Abgabe der Aale an die Aalschutz-Initiative und dem Transport der Fische zum Rhein zusammen.

Für die Projektaktivität *Fischen und Umsetzen* stehen jährlich rund zwei Drittel der zweckgebundenen Mittel der Aalschutz-Initiative zur Verfügung. Dies entspricht jährlich ungefähr 75.000 €. Der Betrag variiert von Jahr zu Jahr, da die Berufsfischer nach ihrer Fangmenge entschädigt werden (vgl. Abschnitt 4.2.1).

**Tabelle 4.1:** Wirkung der Projektaktivität A – *Fischen und Umsetzen*

|  |                                 |        | <i>Fischen und Umsetzen</i> |
|--|---------------------------------|--------|-----------------------------|
| Biologische Wirksamkeit (betroffene Aale)                    |                                 |        |                             |
| Wirtschaftlichkeit   | Investitionskosten              |        |                             |
|  | Betriebskosten                  |        |                             |
| Vermeidung der wasserkraftbedingten Mortalität (alle Fische) |                                 |        |                             |
| Hohe Wirkung/<br>niedrige Kosten                             | Geringe Wirkung/<br>hohe Kosten | unklar |                             |

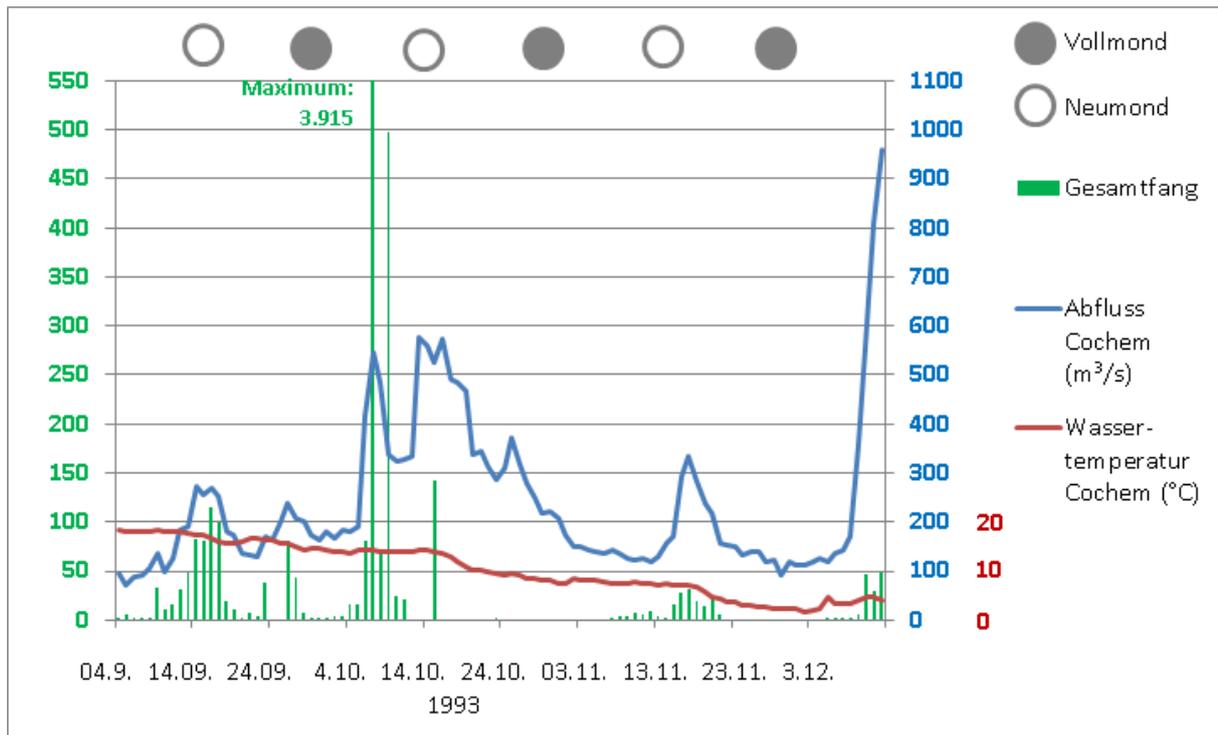
### 4.3 Projektaktivität B – Früherkennen und Steuern

#### 4.3.1 Konzept

Die Projektaktivität B *Früherkennen und Steuern* ist als mittel- bis langfristige Maßnahme zum Schutz des Aals angelegt. Der Projektaktivität liegt die Annahme zu Grunde, dass Blankaalwanderungen durch bestimmte hydrologische und meteorologische Zustände ausgelöst werden und ihre Auftretswahrscheinlichkeit einer diskreten Verteilung unterliegt. Das wird auch bei der Auswertung des Fischereiversuchs aus dem Jahr 1993 an der Wasserkraftanlage Fankel deutlich (Abbildung 4.15). Dort sind in einer einzigen Nacht rund 67 % beziehungsweise im September und Oktober etwa 90 % der gesamten gefangenen Aale registriert worden (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999).

Wäre es nun möglich, eine zuverlässige Vorhersagemethode für die Abwanderungstage zu entwickeln, könnten gezielt geeignete Schutzmaßnahmen durchgeführt werden. Somit besteht die Projektaktivität *Früherkennen und Steuern* aus den beiden Teilaspekten:

- Entwicklung eines Systems zur Früherkennung von Abwanderungsereignissen sowie
- Entwicklung und Implementierung eines fischangepassten Betriebs der Wasserkraftanlagen.



**Abbildung 4.15:** Zusammenhang zwischen der Fangmenge an der Staustufe Fankel im Jahr 1993 und der Mondphase, dem Abfluss sowie der Wassertemperatur (KROLL, 2000)

### 4.3.2 Maßnahmen und Ergebnisse

#### a) Früherkennen von Abwanderungsereignissen

In Hinblick auf die Entwicklung eines Frühwarnsystems sind bislang zwei sich ergänzende Ansätze verfolgt worden:

- mathematisches Frühwarnsystem
- Fernerkundung mit einer speziellen Detektorreue (Signalgeber in Echtzeit)

#### Mathematisches Frühwarnsystem

Das mathematische Frühwarnsystem beruht auf der Idee, dass die Aalabwanderung von spezifischen meteorologischen und hydrologischen Verhältnissen abhängt. Sind die Zusammenhänge zwischen den einzelnen beeinflussenden Faktoren und der Abwanderung bekannt, könnte, ähnlich wie bei einem Hochwasservorhersagemodell, die Wahrscheinlichkeit für Abwanderungsereignisse prognostiziert werden.

Die Universität Trier wurde im Jahr 1998 mit einem Forschungsprojekt zur „Entwicklung eines Modells zur Vorhersage von Aalabwanderungszeiten“ beauftragt (OBERWAHRENBROCK ET AL., 1998). In diesem Projekt wurden Erfahrungen der Berufsfischer an der Mosel sowie Expertenwissen ausgewertet.

Dabei hat sich herausgestellt, dass es abiotische Parameter gibt, welche die Wanderbereitschaft beeinflussen oder gegebenenfalls auch auslösen:

- Erhöhter Abfluss begünstigt die Wanderung der Blankaale.
- Aale wandern verstärkt bei Nacht ab.
- Zu niedrige Wassertemperaturen ( $< 6\text{ °C}$ ) hemmen die Bereitschaft zur Wanderung.
- Die Mondphase hat einen Einfluss auf die Wanderung.
- Die Hauptwanderzeit liegt im Spätsommer und Herbst.

In einer Literaturrecherche, die im Auftrag der Aalschutz-Initiative vom IWW durchgeführt wurde, sind die Einflussparameter auf die Abwanderung und Schädigung von Blankaalen speziell für die Mosel untersucht worden (KUTSCHERA UND REUTER, 2005). Hierfür wurde ein Fragebogen entwickelt, der unter anderem Fragen zu der zeitlichen und räumlichen Verteilung der flussabwärts gerichteten Migration der Blankaale und zum Einfluss äußerer Faktoren auf die Abwanderung beinhaltete.

Dieser Fragebogen wurde von acht der zwölf angeschriebenen Berufsfischer beantwortet. Als Zeitraum für die Wanderung wurden von allen Befragten die Monate Mai bis Oktober und dabei vor allem die Nachtstunden angegeben. Die Befragung der Berufsfischer ergab ebenfalls, dass die Aale bevorzugt im Bereich der Sohle abwandern. Eine eindeutige Aussage zur genauen Position des Wanderkorridors war auf der Grundlage der Antworten der Berufsfischer nicht möglich. Zur Frage der äußeren Einflussfaktoren auf die Wanderung der Blankaale gaben alle Befragten an, dass der Anstieg des Abflusses einen signifikanten Einfluss darstellt.

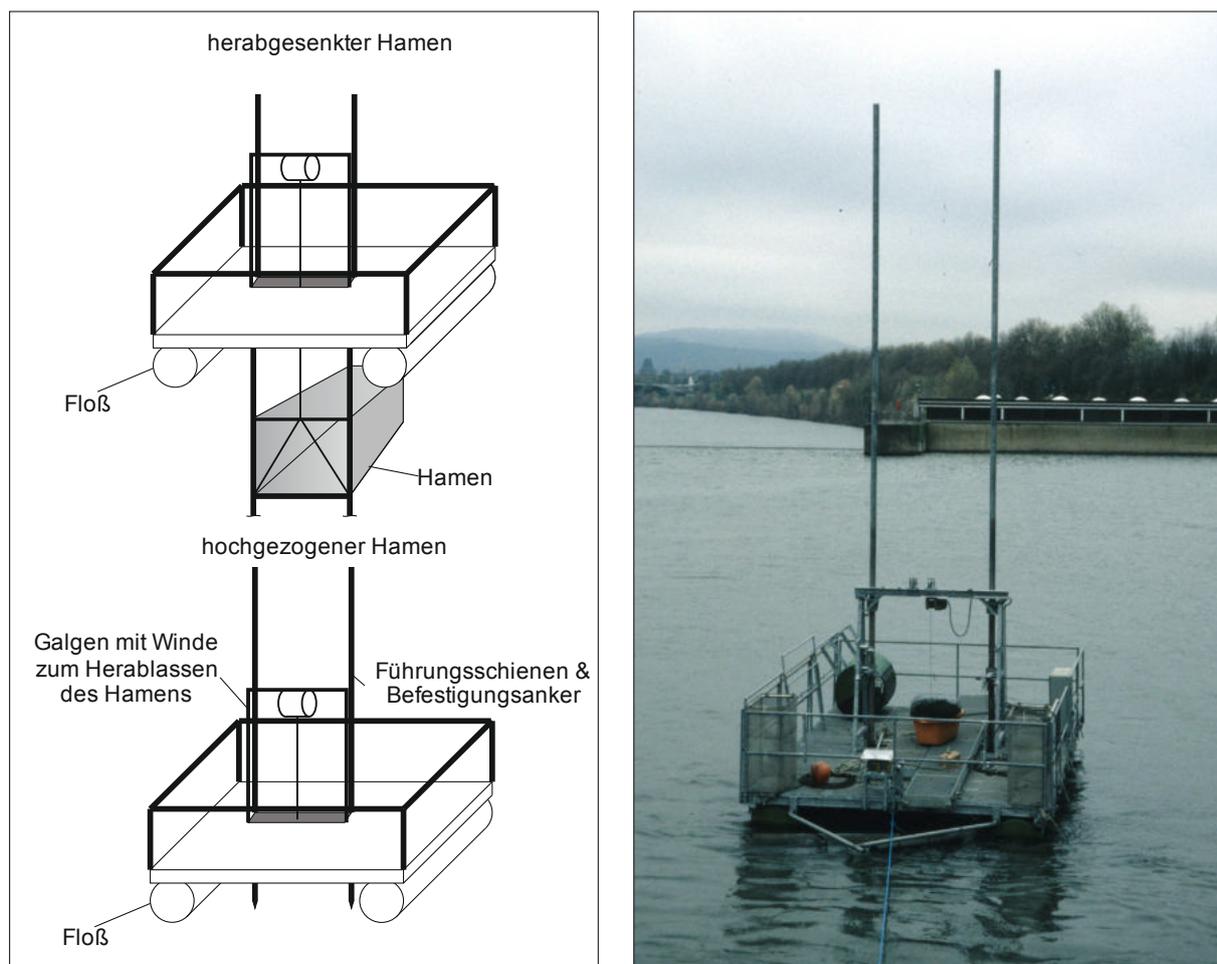
Mithilfe dieser allgemeinen Beobachtungen lassen sich oft im Nachhinein Aalabwanderungsereignisse nachvollziehen. Soll nun ein Modell zur Vorhersage entwickelt werden, müssen die Abhängigkeiten quantifiziert werden. Dies kann auf der Grundlage von Fischereiversuchen oder Fangmeldungen von Fischern geschehen. Als Datengrundlage konnten seinerzeit nur die Fangmeldungen von Berufsfischern der Jahre 1983 bis 1993 genutzt werden. Obwohl die Datenreihe relativ lang ist, eignet sie sich nicht zur Auswertung mittels klassischer statistischer bi- und multivariater Ansätze, wie beispielsweise Regressionsanalysen. Dafür sind die Meldungen der Fangdaten zu unregelmäßig erfasst worden und die Anzahl und der Ort der Fänge zu unterschiedlich. OBERWAHRENBROCK ET AL. (1998) stellten deshalb Überlegungen zur Entwicklung eines Modells auf Basis der sogenannten Fuzzy Logic (vgl. OBERWAHRENBROCK ET AL., 1998) an. Als auslösende Faktoren wurden der Wasserstand, der Abfluss, die Temperatur, die Mondphase sowie die Beleuchtungssituation untersucht.

Dieses Verfahren liefert als Ergebnis des Modells lediglich die Information, ob ein Wanderungsereignis an einem Tag wahrscheinlich ist oder nicht. Es lassen sich weder genau quantifizierbare Angaben zur Abwanderungswahrscheinlichkeit machen, noch Aussagen darüber treffen, wie viele Aale möglicherweise abwandern werden.

## Forschungsfloß Feyen

Der Mangel an verlässlichen, insbesondere tagesgenauen Daten hat dazu geführt, dass im Jahr 1999 in Zusammenarbeit mit der Uni Trier das Forschungsfloß *Feyen* entwickelt wurde (vgl. Abbildung 4.16). Das Floß sollte dazu dienen, mit einem verhältnismäßig geringen personellen Aufwand im Oberwasser einer Wasserkraftanlage zeitlich fein aufgelöste Fänge abwandernder Blankaale durchzuführen. Das Floß wurde so konzipiert, dass der installierte Hamen von dem Floß aus abgesenkt und gehoben werden und auf dem Floß die Aufnahme der gefangenen Blankaale erfolgen konnte. Das Floß war über eine feste Brücke vom Ufer begehbar. Auf diese Weise wurde erwartet, die vor einer möglichen Schädigung durch die Turbinenpassage ankommenden Blankaale mit geringem Personal- und Materialaufwand im Vergleich zu einem Aalschokker oder einem Turbinenhamen registrieren zu können. Gleichzeitig wäre eine kontinuierliche Datenaufnahme an einem definierten Ort möglich gewesen.

Das Forschungsfloß ist nach einigen Testeinsätzen aus personellen Gründen nach der Verwaltungsreform im Jahr 2000 in der hier vorgestellten Konzeption nicht zum Einsatz gekommen, wurde jedoch in abgewandelter Form später für Versuche mit einem Turbinenhamen genutzt.



**Abbildung 4.16:** Forschungsfloß Feyen (links: Prinzipskizze, rechts: Foto beim Verholen zum Einsatzort vor der Wasserkraftanlage Trier) (Foto: KROLL, 1999)

## Telemetrische Versuche

Im September und Oktober 1999 wurden oberhalb der Staustufe Trier insgesamt neun Blankaale gefangen und besendert (BEHRMANN-GODEL UND KOWALSKI, 2002). Ihnen wurden Ultraschallsender in die Bauchhöhle implantiert. Diese sollten dazu dienen, das Bewegungsverhalten der Aale lückenlos nachzuvollziehen. Die markierten Aale wurden oberhalb der Stauhaltung Trier wieder freigelassen, und das Verhalten der Tiere wurde aufgezeichnet. Für acht der besenderten Aale konnte eine Abwanderung festgestellt, jedoch nur für sieben Aale der Zeitpunkt der Abwanderung genau bestimmt werden. Dabei stellte sich heraus, dass ein Zusammenhang zwischen steigendem Abfluss und dem Zeitpunkt des Wanderbeginns vorliegt. Aufgrund der geringen Anzahl der Testtiere ließ sich hieraus kein belastbarer statistischer Zusammenhang herstellen. Es ist jedoch ein weiteres Indiz dafür, dass die Wahrscheinlichkeit einer Aalwanderung mit steigendem Abfluss zunimmt.

Des Weiteren wird in BEHRMANN-GODEL UND KOWALSKI (2002) beschrieben, dass für einige Aale ein „zirkuläres Schwimmverhalten“ beobachtet werden konnte. Die Aale schwammen zunächst auf die Wasserkraftanlage zu, richteten sich dann gegen die Strömung aus und schwammen wieder ein Stück flussaufwärts. Dieses Verhalten zeigten sie wiederholt, bis sie schließlich aus unbekanntem Gründen die Turbine passierten. Dieses zirkuläre Verhalten unterstützt die Annahme, dass Aale eine Umkehrreaktion zeigen, wenn sie auf eine Wasserkraftanlage zuschwimmen (vgl. Abschnitt 3.2.2).

Von August bis September 2002 sind ähnliche Versuche oberhalb der Staustufe Detzem durchgeführt worden. Es wurden zehn Blankaale mit Ultraschallsendern ausgestattet, sodass sich ihr Wanderverhalten beobachten ließ. Auch hier ist bei zwei Aalen eine Umkehrreaktion flussaufwärts beobachtet worden, nachdem sie sich zuvor der Wasserkraftanlage genähert hatten (WOCHER, 2003). Ein weiteres Ziel dieser Untersuchung war es, eine autonome Empfangsstation für Aale mit Ultraschallsendern zu testen. Diese wurde nahe dem Turbineneinlauf installiert. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass die Hintergrundgeräusche durch die Turbine, den Wehrüberfall und die Schifffahrt so groß sind, dass an dieser Position keine Signale des Fischsenders empfangen werden konnten.

## Fischereibiologische Erhebungen in Enkirch und Lehmen

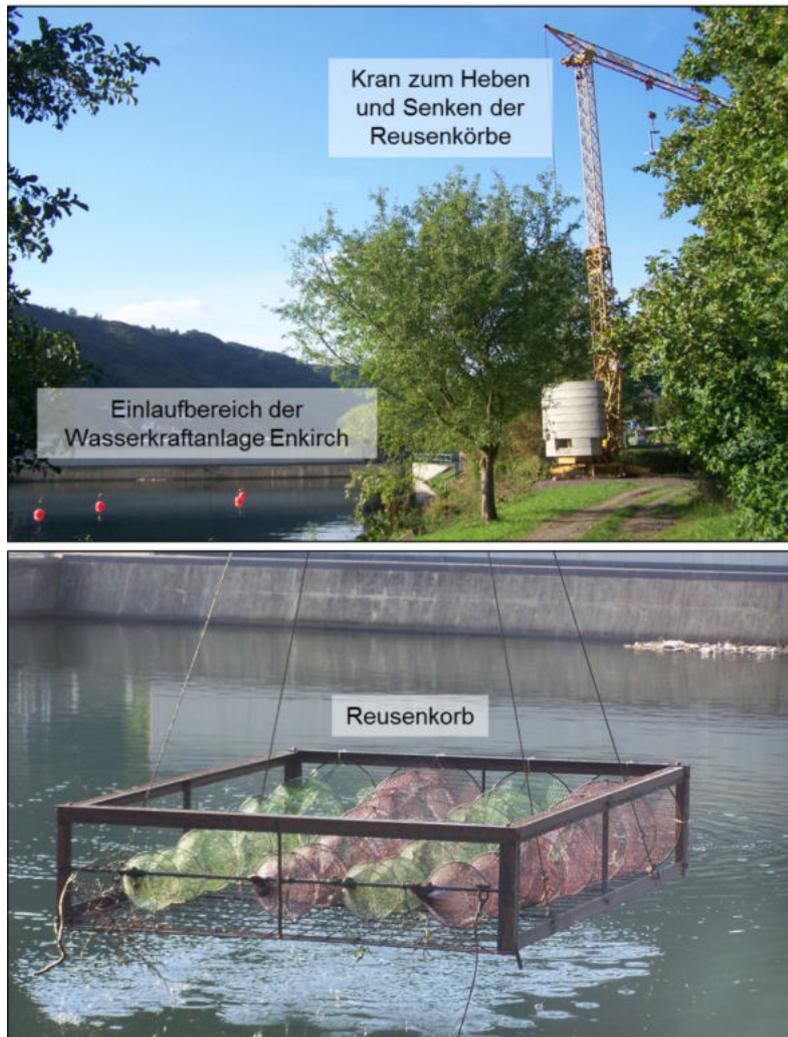
Da durch das Forschungsfloß keine Fangdaten generiert wurden und auch die Untersuchungen mit den besenderten Blankaalen keine zuverlässigen, tagesgenauen Daten zur Abwanderung von Blankaalen lieferten, werden seit dem Jahr 2011 fischereibiologische Erhebungen (Enkirch und Lehmen) durchgeführt, die von der Hochschule Trier betreut und der Universität Luxemburg ausgewertet werden (vgl. Abbildung 4.17).



**Abbildung 4.17:** Titelseiten der Berichte zu den Messkampagnen an den Staustufen Enkirch und Lehmen beispielhaft für die Jahre 2011 und 2014 (WENDLING, 2012A; WENDLING ET AL., 2015)

Diese sollen dazu dienen, anhand tagesgenauer Fänge in Zusammenhang mit abiotischen Kenngrößen die Datenbasis zur Erforschung der Auslöseursachen von Wanderereignissen zu vergrößern und zu vertiefen. Die dabei gefangenen Blankaale werden registriert und anschließend in den Rhein entlassen und können ihre Wanderung fortsetzen. Die Erhebungen sollen ebenfalls Aufschluss über geeigneterer Fangmethoden zur Verbesserung der Soforthilfe *Fang und Transport* liefern.

An der Staustufe Enkirch wurden zwischen August und Dezember 2011 Reusen im Sperrgebiet direkt vor dem Turbineneinlauf ausgelegt (Abbildung 4.19). Da das Befahren der Sperrzone mit einem Boot nicht gestattet ist, wurde zum Heben und Senken der Fanggeräte von dem Berufsfischer Elmar Müllen die Idee der landgestützten Fischerei entwickelt. Ebenfalls von ihm entwickelt ist das Konzept der dort eingesetzten Reusenkörbe (vgl. Abbildung 4.18).



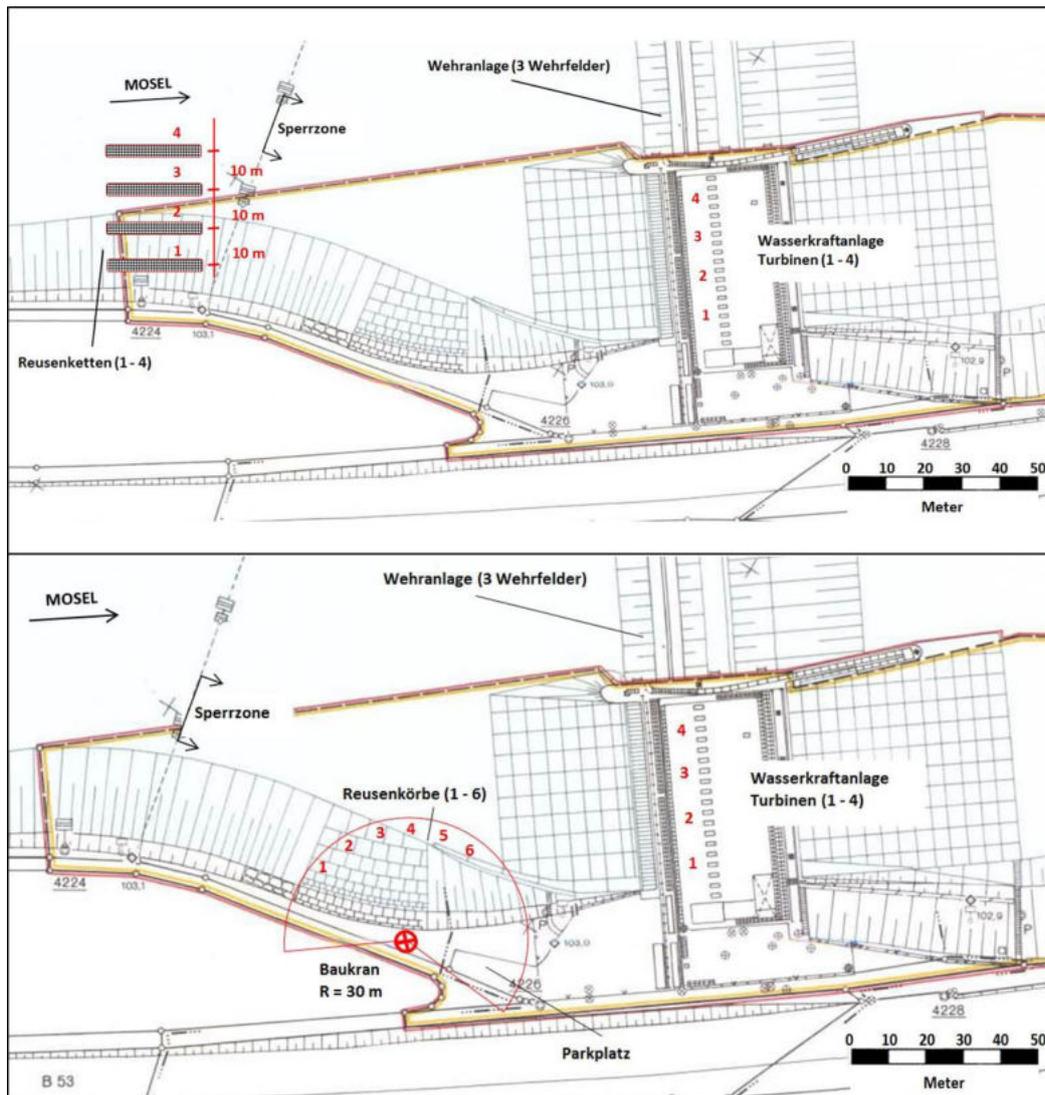
**Abbildung 4.18:** Oben: Kran zum Heben und Senken der Reusenkörbe, unten: Reusenkorb, der gehoben wird (Fotos: WENDLING, 2011)

An der Staustufe Lehmen wurden zwischen Mai und November sogenannte Reusenketten<sup>2</sup> ausgebracht. Da diese Reusen sich nur mithilfe eines Fischernachens<sup>3</sup> bedienen lassen, mussten sie außerhalb der für den Bootsverkehr bestehenden Sperrzone<sup>4</sup> positioniert werden. Ziel der Untersuchung war es – durch möglichst tägliche Kontrolle der Reusen – Aussagen über den Einfluss verschiedener abiotischer Faktoren auf die Wanderung der Aale zu erhalten (WENDLING, 2012A, 2012B).

<sup>2</sup> Vielzahl an einer Kette festgemachte Reusen, die von dem Berufsfischer Elmar Müllen entwickelt wurden

<sup>3</sup> Fischerboot

<sup>4</sup> Aufgrund der starken Strömung am Ein- und Auslaufbereich der Wasserkraftanlagen besteht aus Sicherheitsgründen eine Sperrzone im Ober- und Unterwasser der Wasserkraftanlagen, die nicht befahren werden darf



**Abbildung 4.19:** Versuchsaufbau der Fischereiversuche an den Staustufen Lehmen (oben) und Enkirch (unten) (Quelle: WENDLING, 2014)

Als beeinflussende Umweltfaktoren wurden der Abfluss, die Wassertemperatur, die Trübung, die Mondphase sowie hilfsweise der Sauerstoffgehalt, die elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert aufgezeichnet. Die untersuchten Parameter weisen einige Schwierigkeiten in Hinblick auf Ausreißer und die Verteilung auf, sodass eine einfache Regression nicht in Frage kommt. Für eine optimale Auswertung der Daten bietet sich eine sogenannte additive nichtparametrische Regression an. Diese ist in WENDLING (2012B) näher beschrieben und wird hier nicht weiter erläutert.

Die Ergebnisse dieser fischereibiologischen Erhebungen werden im Zuge einer Dissertation an der Universität Luxemburg ausgewertet und stehen derzeit noch nicht zur Verfügung. Um die Datenbasis und somit die Genauigkeit der Ergebnisse zu vergrößern, werden die Erhebungen auch in Zukunft weitergeführt.

## Geschwindigkeitsmessungen und Peilung der Gewässersohle

Bei den fischereibiologischen Erhebungen in den Stauhaltungen Enkirch und Lehmen ist die Positionierung der Reusen beziehungsweise der Reusenketten essenziell für den Erfolg der Blankaalfänge. Um die Fanggeräte optimal positionieren zu können, ist die Kenntnis über die vorliegenden Fließgeschwindigkeiten und die Sohllagen zielführend. Im März 2015 nahm daher das Ingenieurbüro Schmid im Oberwasserbereich der Staustufen Enkirch und Lehmen flächenhafte Aufnahmen der Sohle sowie der Fließgeschwindigkeiten vor (INGENIEURBÜRO SCHMID, 2015). Die Sohlaufnahmen erfolgten mittels eines Echolots und zeigen, dass sich der tiefste Punkt der Sohle vor dem Turbineneinlauf befindet und die Sohle von dort ansteigt. Die Messergebnisse des Echolots wurden linear interpoliert und in ein digitales Geländemodell mit Gittergrößen von 1 m überführt (Abbildung 4.20). Die Fließgeschwindigkeiten wurden bei einem Durchfluss von etwa 225 m<sup>3</sup>/s mithilfe eines ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) von einem Messboot aus aufgenommen und anschließend den entsprechenden Höhen- und Lagekoordinaten zugeordnet (Abbildung 4.21).

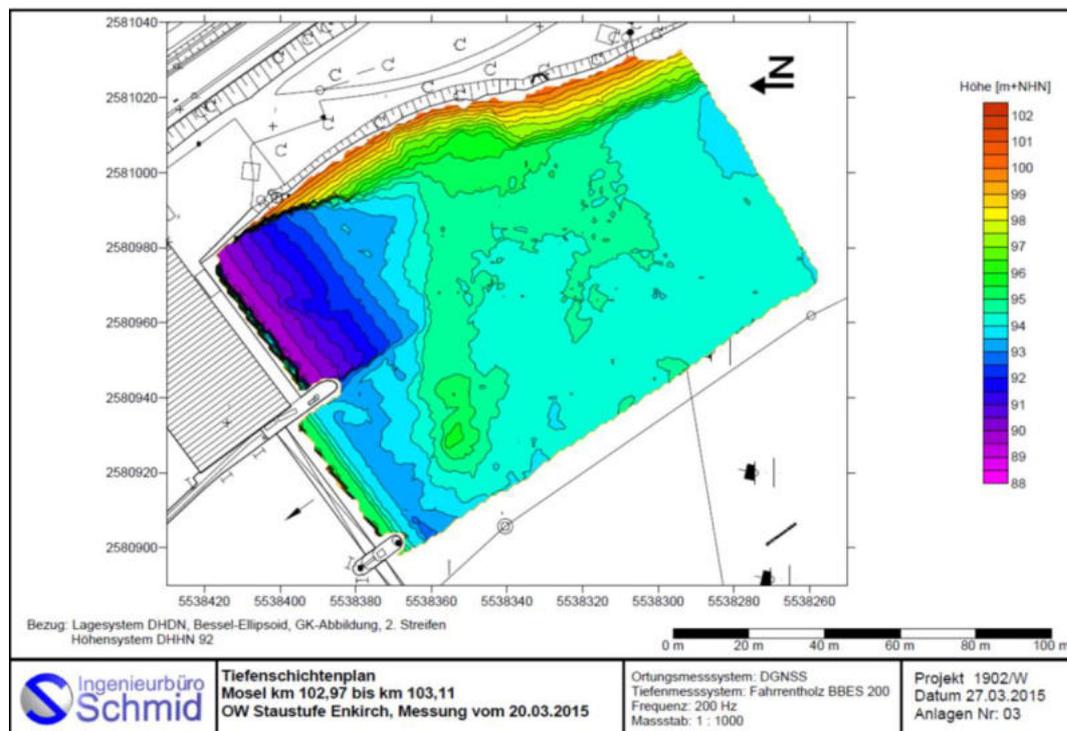


Abbildung 4.20: Ergebnis der Sohlaufnahme an der Staustufe Enkirch

Die Fließgeschwindigkeiten an der Staustufe Enkirch lagen im Versuchszeitraum zwischen 0 m/s und 0,6 m/s. Aufgrund von Turbulenzen und der Messung vom Boot aus ergeben sich für einzelne Messpunkte hohe Streubreiten, die zu einer relativ hohen Ungenauigkeit der Messwerte führen. Aus diesem Grund konnte aus den gewonnenen Messdaten keine Information bezüglich einer verbesserten Positionierung der Fanggeräte abgeleitet werden.

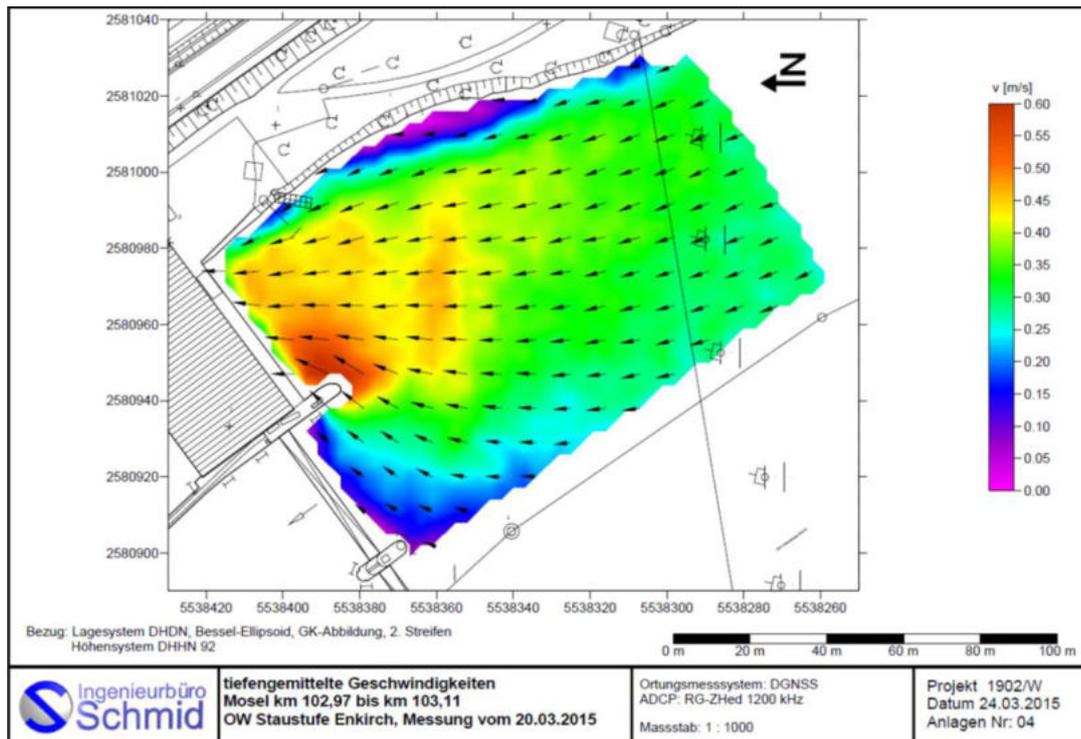


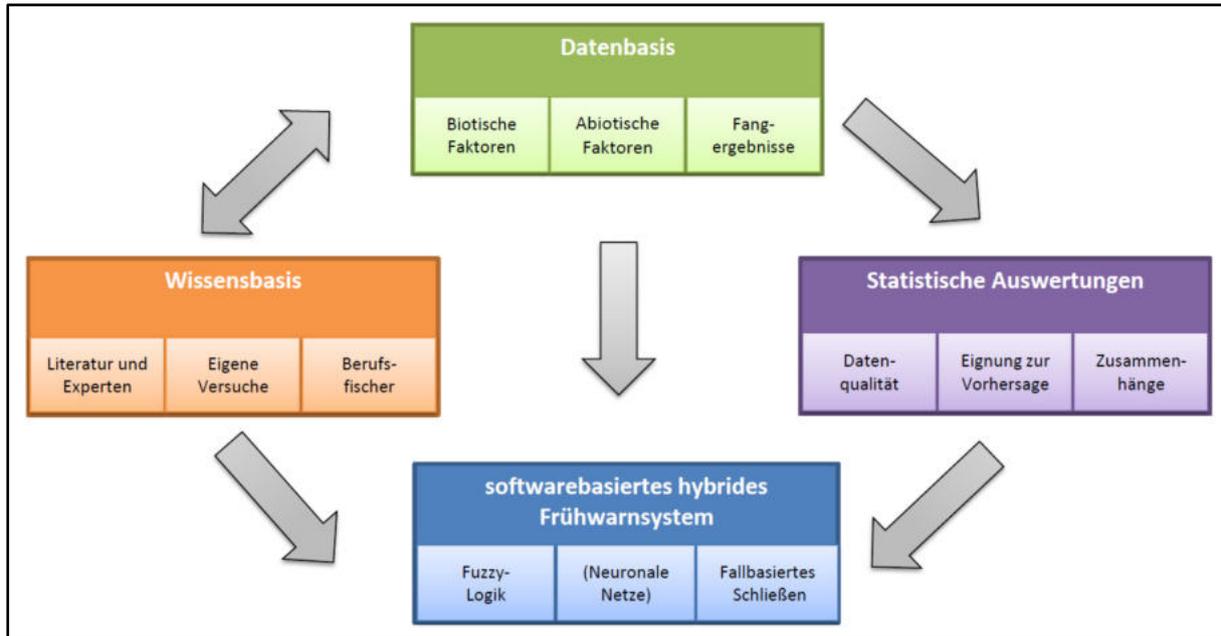
Abbildung 4.21: Ergebnis der Geschwindigkeitsmessungen an der Staustufe Enkirch

### Entwicklung eines EDV-basierten Frühwarnsystems für die Blankaalabwanderung an der Mosel

Für den optimierten Einsatz einer fischangepassten Betriebsweise der Wasserkraftanlagen zum Schutz der Blankaale bei ihrer Abwanderung aus den Binnengewässern ist es erforderlich, die Wanderzeiträume möglichst genau vorherzusagen. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2013 von der Aalschutz-Initiative ein Projekt begonnen, welches die Entwicklung eines Frühwarnsystems für die Blankaalabwanderung an der Mosel zum Ziel hat. Dieses Projekt wird von der Universität Luxemburg in Zusammenarbeit mit der Hochschule Trier umgesetzt.

Im Zuge des Forschungsprojekts konnten auf Grundlage des aktuellen Wissensstands anwendungsbezogene Zusammenhänge zwischen der Blankaalabwanderung und einigen Umweltfaktoren an der Mosel gefunden werden. Mithilfe der Ergebnisse dieser Auswertungen wurden einige Faktoren identifiziert, die geeignet schienen, eine Prognose der Abwanderung zu ermöglichen. Im Wesentlichen sind dies die abiotischen Parameter: Abfluss, Niederschlag, Mondphase und saisonale Faktoren, wie die Wassertemperatur und die Tageslänge. Chemische Parameter, wie der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Sauerstoffkonzentration haben nach aktuellem Stand keinen signifikanten Einfluss. Diese Werte ändern sich als Folge von Niederschlägen sowie wechselnder Abflüsse, wodurch sich teilweise ein (überlagerter) statistischer Zusammenhang mit Aalabwanderungen ergibt.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Konzept für ein Prognosemodell erstellt und weiterentwickelt. Dabei werden Methoden aus dem Bereich des Softcomputings (bspw. Fuzzy-Logik und künstliche neuronale Netze) und der Statistik eingesetzt (Abbildung 4.22). Die genannten Umweltfaktoren bilden dabei die Eingangsgrößen des Modells.



**Abbildung 4.22:** Vorläufiges Projektschema – Entwicklung eines Frühwarnsystems zur Prognose der Blankaalwanderung an der Mosel (WENDLING, 2016, unveröffentlicht)

### Meldeverfahren zur Umstellung auf die fischangepasste Betriebsweise

Die systematischen Befischungen an den Staustufen Enkirch und Lehmen dienen sowohl als Datengrundlage zur Bestimmung des Einflusses abiotischer Faktoren auf die Abwanderung von Blankaalen als auch als Grundlage für die Meldung von Abwanderungsereignissen an die zentrale Steuerung der Moselkraftwerke (Zentralwarte Fankel). Die Reusen an den Staustufen Enkirch und Lehmen werden von zwei Berufsfischern betreut, die diese im Auftrag der Aalschutz-Initiative täglich leeren. Stellen die beiden Fischer eine erhöhte Zahl gefangener Blankaale fest, können sie ein Abwanderungsereignis an die zuständige Landesbehörde melden. Diese gibt die Meldung an die Zentralwarte der Moselkraftwerke in Fankel weiter, wo festgelegt wird, dass die Kraftwerke in der kommenden Nacht zwischen 20.00 Uhr und 8.00 Uhr fischangepasst (vgl. Abschnitt 4.3.2 b) betrieben werden. Da nicht bekannt ist, wie lange ein Abwanderungsereignis dauert und wie viele Wasserkraftanlagen ein Blankaal in einer Nacht passieren kann, kann der fischangepasste Betrieb bei Bedarf auch auf die Folgenächte ausgeweitet werden. Allerdings kam es in den Jahren 2013 und 2014 lediglich zu vier beziehungsweise zwei Meldungen.

Um den Schutz der abwandernden Blankaale auch bei Ausbleiben von Fangmeldungen zu unterstützen, erfolgt seit dem Jahr 2015 eine zusätzliche, fangmeldungsunabhängige Umstellung des Betriebs abhängig vom Abfluss oder von anderen geeigneten Parametern. Von Juni bis November 2015 wurden in den beiden Nächten um die Neumondphase die Anlagen immer fischangepasst betrieben. Zusätzlich erfolgt anhand der wöchentlichen Abflussprognosen für die Mosel eine abflussabhängige Umstellung. Von Juni bis Juli 2015 wurde der Anlagenbetrieb bei einer Erhöhung von mindestens 200 m<sup>3</sup>/s innerhalb von ein bis drei Tagen umgestellt. Von August bis November 2015 erfolgte die Umstellung schon bei einer Zunahme des Abflusses um 100 % innerhalb eines Tages. Die Umstellung aufgrund der Fangmeldungen der Berufsfischer bleibt unabhängig von den anderen Umstellungen immer bestehen. Ist anhand der Fangmeldungen erkennbar, dass bereits eine hohe Abwanderung von Blankaalen erfolgt ist, werden die

anderen Umschaltungen ausgesetzt, beziehungsweise es wird von den Verantwortlichen geprüft, ob zusätzliche Umschaltungen erforderlich und sinnvoll sind. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass mindestens die Umschalhäufigkeit von zehn Nächten pro Jahr erreicht wird und die Umschaltung in Nächten mit erwarteter Abwanderung durchgeführt wird.

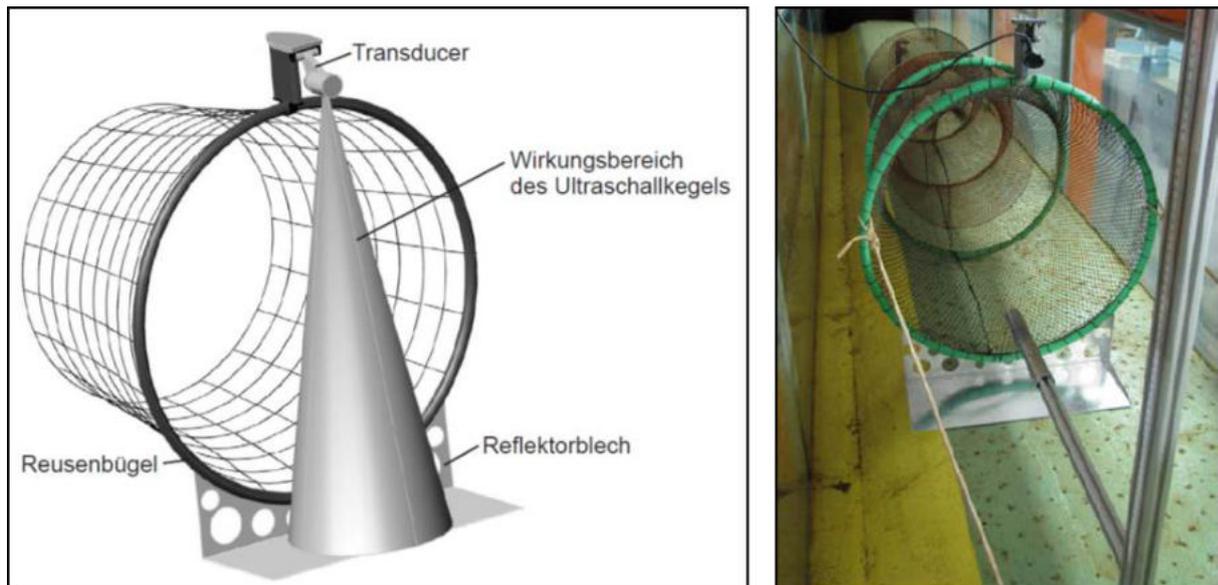
### **Fernerkundung mit einer Detektorreuse**

In Zusammenarbeit zwischen Berufsfischern und dem Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University wurde der Prototyp einer Detektorreuse entwickelt. Eine Detektorreuse soll das Einschwimmen von (Blank-)Aalen automatisch erfassen und ein entsprechendes Signal an eine Steuerungsbasis weiterleiten. Wie alle Reusen vor den Kraftwerken wird auch diese speziell ausgerüstete Reuse mit der Öffnung flussabwärts auf die uferorientierte Flusssohle gelegt (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die Fangmenge in der Detektorreuse könnte als Indiz für die Wanderaktivität genutzt werden. Je mehr Aale in einem bestimmten Zeitraum in die Reuse schwimmen und Aktivitäten zeigen, desto wahrscheinlicher ist es, dass ein Wanderereignis vorliegt.

Für einen effektiven Einsatz als Vorhersagewerkzeug muss die Kontrolle der Reusen so gestaltet werden, dass eine kontinuierliche Überwachung der Zahl der einschwimmenden Aale möglich ist. Auf diese Weise kann eine Echtzeitdetektion von Wanderereignissen stattfinden. Ein ständiges Heben und Senken des Reusenkorbes vom Boot aus ist dabei sehr unpraktisch und aufgrund des vor der Stauanlage befindlichen Sperrbereichs der Bundeswasserstraße mit erheblichen Auflagen und Sicherheitsvorkehrungen verbunden. Zum einen würde dies einen sehr hohen Personalaufwand mit sich bringen, da ständig ausgebildetes und erfahrenes Personal vor Ort sein müsste. Zum anderen würde das ständige Heben und Senken des Korbes das Verhalten der Fische beeinflussen.

Des Weiteren würde während des Zeitraums, in dem die Reuse nicht im Wasser ist, ein Teil der umkehrenden Aale nicht registriert werden. Um diese Nachteile zu umgehen, wurde für die Detektorreuse an einem der Reusenbügel ein Transducer installiert (vgl. Abbildung 4.23). Dieser sendet Ultraschallimpulse, die sich wie ein Kegel ausbreiten und von einem darunter angebrachten Reflektorblech zurückgestrahlt werden. Das zurückgegebene Signal wird wieder vom Transducer empfangen (BECKER ET AL., 2009B).

Schwimmt nun etwas durch den Ultraschallkegel, wird diese Störung registriert. Wird ein Schwellenwert von Störungen pro Zeiteinheit überschritten, kann davon ausgegangen werden, dass ein Wanderereignis vorliegt. Diese Information kann in Echtzeit an die Betreiber der Wasserkraftanlage übermittelt werden, sodass diese im Fall eines Wanderereignisses in einen fischangepassten Betriebszustand wechseln können.



**Abbildung 4.23:** Von der Aalschutz-Initiative und dem IWW entwickelte Detektorreue (links: Prinzipskizze, rechts: Foto) (Quelle: BECKER ET AL., 2009B)

Erste Einsätze der Detektorreue erfolgten in der Sperrzone des Staus Wintrich 2007, weil hier ein erhöhtes Aufkommen (umkehrender) Blankaale bekannt war. Ein Problem, das bei der Entwicklung und dem Test der Detektorreue auftrat, war die Entwicklung eines funktionierenden Algorithmus zur Auswertung der Daten (BECKER ET AL., 2009B). Viele der erfassten Ereignisse werden durch Blankaale ausgelöst, die in die Reuse schwimmen. Es kann sich jedoch auch um Treibgut, einen anderen oder einen bereits registrierten Fisch handeln, der nach einem Ausgang sucht. Es besteht noch Forschungsbedarf in Hinblick auf die Interpretation der Daten, um die Detektorreue effizient nutzen zu können. Weitere Schwierigkeiten in Hinblick auf die Detektorreue sind nach BECKER ET AL. (2009B), BECKER ET AL. (2009C) und BECKER ET AL. (2010):

- Bei hohen Abflüssen besteht die Gefahr, dass die Detektorreue beschädigt oder von der Strömung mitgerissen wird. Der sichere Einsatz der Reuse ist somit auf Zeiten ohne Hochwasser beschränkt. Eigene Beobachtungen und Untersuchungen von TESCH (1983), FEUNTEUN ET AL. (2000) und DURIF UND ELIE (2008) zeigen jedoch, dass besonders bei hohen Abflüssen die Wahrscheinlichkeit eines Wanderereignisses groß ist.
- Die Detektorreue ist bei der Informationsgenerierung auf die Gegenwart beschränkt. Bestenfalls lässt sich abschätzen, ob in dem Moment der Untersuchung ein Abwanderungsereignis stattfindet. Prognosen sind mit der Detektorreue nicht möglich.
- Die Detektorreue kann lediglich eine Stichprobe aller abwandernden Blankaale erfassen. Damit diese Stichprobe repräsentativ ist und die Wanderungsintensität wiedergeben kann, muss die Reuse möglichst optimal platziert werden.

Zur Identifikation eines solchen optimalen, fängigen Standortes der Detektorreue sind zwischen dem 17. Juli und dem 22. Oktober 2009 Untersuchungen an der Wasserkraftanlage Wintrich durchgeführt worden (BECKER ET AL., 2010). Es wurden Reusenketten ausgelegt, um zu testen, in welchem Abstand vom Kraftwerkseinlauf der beste Ort zum Fang von Blankaalen ist. Bei insgesamt vier Reusenhebungen

konnten 20 Blankaale sowie 72 kleine und große Gelbaale gefangen werden. Für den Fang großer Aale hat sich vor allem der Bereich zwischen 30 m und 60 m vor dem Turbineneinlauf als vielversprechend herausgestellt. Für weitere Untersuchungen mit der Detektorreue würde sich dementsprechend dieser Bereich anbieten.

#### *b) Entwicklung und Implementierung eines fischangepassten Betriebs*

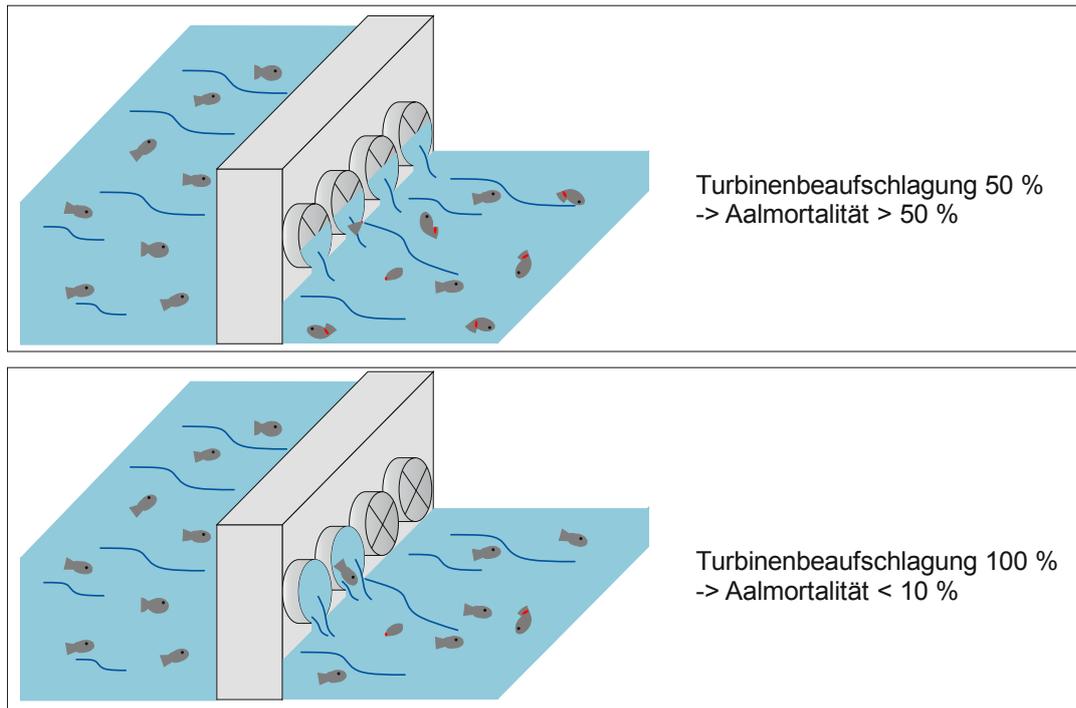
##### **Fischangepasster Turbinenbetrieb**

Die Projektaktivität B sieht neben der Erstellung eines Frühwarnsystems die Konzeptionierung und Implementierung eines fischangepassten Anlagenbetriebs vor. Zu diesem Zweck ist im Auftrag der Aalschutz-Initiative vom IWW ein Steuerungshandbuch für die Wasserkraftanlagen der Mosel entwickelt worden. Ziel des Steuerungshandbuchs ist es, Regeln für einen fischangepassten Betrieb der Moselkraftwerke festzulegen. Die zentrale Frage dabei ist, wie die Steuerung der Wasserkraftanlagen verändert werden kann, sodass die Schädigungsziffer der passierenden Blankaale sinkt. In Abschnitt 3.4 ist bereits dargestellt, welche Schädigungsziffern bei Wasserkraftanlagen mit Kaplan-turbinen auftreten können und durch welche Schädigungsmechanismen sie hervorgerufen werden.

Bei den Untersuchungen von HOLZNER (2000) am Mainkraftwerk Dettelbach konnten die Erfahrungen von der Mosel aus dem Jahr 1993 (AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG, 1999), dass die häufigste Schädigungsart von Blankaalen an einer Wasserkraftanlage mit Kaplan-turbinen Schuppenverluste, Schürfungen und Blutungen sind, bestätigt werden. Diese Schädigungen lassen sich zum Teil auf mechanische Prozesse zurückführen. Mechanischer Kontakt oder Kollisionen mit Anlagenteilen treten vor allem beim Durchgang durch die Turbine auf. Je größer der Abstand zwischen zwei Turbinenschaufeln ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Blankaal die Turbine unbeschadet passieren kann (VON RABEN, 1957). Es gibt daher einen positiven Zusammenhang zwischen dem Auslastungsgrad einer Turbine (Verhältnis tatsächlicher Durchfluss zum Ausbaudurchfluss) und der Schädigungshöhe passierender Aale (Abbildung 4.24). Ziel des Steuerungshandbuchs sollte es demnach sein, Betriebszustände zu schaffen, bei denen die Abstände zwischen den Turbinenschaufeln möglichst groß sind.

Es gibt jedoch einige Rahmenbedingungen, die bei der Steuerung eingehalten werden müssen und den Einsatz des fischangepassten Betriebs einschränken. Nach KUTSCHERA UND REUTER (2005) sind dies:

- Die Stauzieltoleranz von  $\pm 5$  cm muss in jeder Stauhaltung eingehalten werden. Damit ist der Gesamtdurchfluss, der über das Kraftwerk und das Wehr abgegeben wird, festgelegt und kann nicht im Rahmen einer fischangepassten Betriebsweise variiert werden (vgl. Abschnitt 2.4).
- Die vorgeschlagenen Lösungen müssen technisch realisierbar sein und sollen die Stromerzeugung nicht mehr als nötig mindern. Auch müssen hoher Verschleiß der Anlagenteile und Kavitation (Dampfblasen verursachen Materialschäden) vermieden werden.
- Um Aufwand und Nutzen tragfähig zu kombinieren, soll der fischangepasste Betrieb zeitlich auf die Hauptwanderungen begrenzt werden. Diese treten meist in den Nachtstunden während der Zeit von Mai bis Dezember auf.



**Abbildung 4.24:** Schematische Darstellung der Turbinenmortalität oben: im Normalbetrieb, unten: im fischangepassten Betrieb (nach: KROLL, 2015B)

Unter Beachtung der oben genannten Rahmenbedingungen wären drei mögliche Alternativen für den fischangepassten Betrieb denkbar (KUTSCHERA UND REUTER, 2005):

- Steuerung des Turbinendurchflusses: Da der über das Kraftwerk abgeleitete Gesamtabfluss durch die automatisierte Abfluss- und Stauzielregelung (ASR) festgelegt ist (vgl. Abschnitt 2.5), kann er nicht zur Steuerung der Schädigungsziffer eingesetzt werden. Es kann jedoch die Aufteilung des Gesamtdurchflusses auf die einzelnen Turbinen variiert werden. Eine Abweichung von der bisherigen Durchflussaufteilung geht mit einem nicht optimalen Gesamtwirkungsgrad einher, kann jedoch die Schädigungsziffer senken.
- Außerbetriebnahme von Turbinen und Öffnung der Wehre: Die teilweise oder vollständige Außerbetriebnahme der Turbinen kann dazu führen, dass die Blankaale einen anderen Abwanderungsweg nehmen und so der turbinenbedingten Schädigung entgehen. Eine vollständige Außerbetriebnahme hätte zur Folge, dass die Stromproduktion komplett zum Erliegen kommt und die Stauzielregulierung ausschließlich über die Wehre erfolgt. Neben dem Nachteil der ausfallenden Stromproduktion würde diese Maßnahme eine lange Reaktionszeit in Hinblick auf die Stauzielregulierung mit sich bringen. Eine teilweise Außerbetriebnahme einzelner Turbinen und die damit einhergehende Beaufschlagung des Wehres könnten dazu führen, dass Aale vermehrt über das Wehr abwandern. Untersuchungen von GÖHL (2004) an der Wasserkraftanlage Dettelbach am Main zeigten jedoch, dass Aale den dortigen Wehrabfluss nur bedingt als alternativen Wanderweg annahmen. Selbst bei einer Beaufschlagung des Wehres von über 50 % des Gesamtabflusses wanderten weniger als 50 % der Aale über das Wehr ab. Wie sich die Abflussaufteilung bei teilweiser Außerbetriebnahme der Turbinen auf die Attraktivität der Abwanderungswege für die Aale auswirkt, kann standortspezifisch unterschiedlich sein.

Sowohl aufgrund der bislang ungeklärten biologischen Wirksamkeit des Wehrüberfalls zur Umleitung der Aale als auch aufgrund der hohen Energieverluste bei der Energieerzeugung wurde als Handlungsanweisung in dem Steuerungshandbuch des IWW (vgl. Abbildung 4.25) daher die erste Alternative gewählt (BECKER UND REUTER, 2008; BECKER ET AL., 2009A).

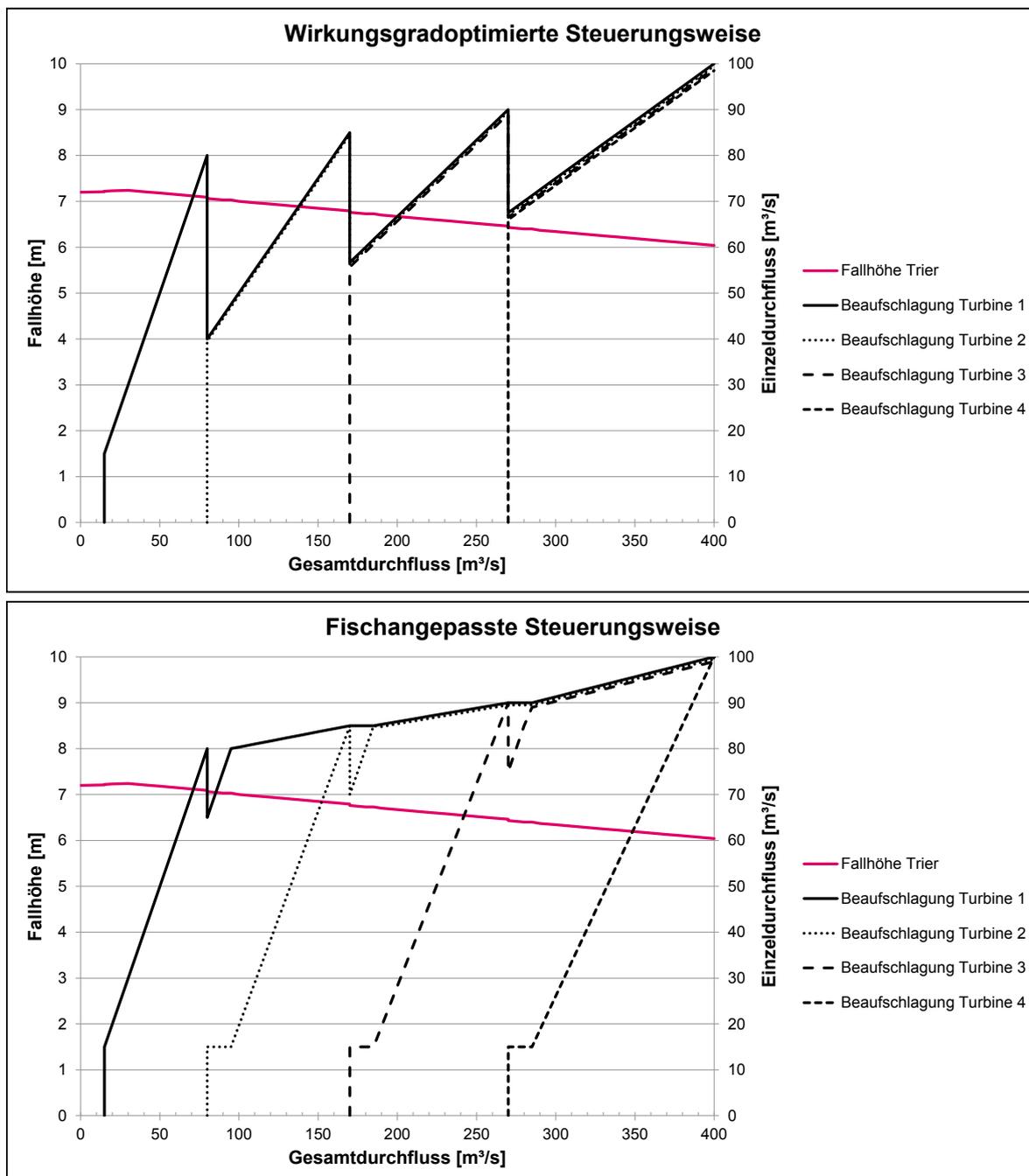


**Abbildung 4.25:** links: Titelseite des Abschlussberichts zur fischangepassten Steuerung (NOTERMANN UND REUTER, 2006) , rechts: Titelseite des vom IWW entwickelten Steuerungshandbuchs (BECKER UND REUTER, 2008)

Die Beaufschlagung der einzelnen Turbinen wird so gewählt, dass der geforderte Gesamtabfluss eingehalten wird und gleichzeitig das Verletzungsrisiko möglichst gering ausfällt. Wie oben bereits dargestellt, ist das theoretische Verletzungsrisiko bei einem möglichst großen Abstand zwischen zwei Turbinenschaufeln am niedrigsten. Der Abstand zwischen zwei Turbinenschaufeln wird über die Stellung der Laufradschaufeln einer Kaplan turbine definiert. Die Stellung des Leitapparats einer Kaplan turbine, die Fallhöhe und die Turbinenkennlinie sind die Steuerungsgrößen der Anlage, die den Durchfluss pro Turbine beeinflussen.

Bei doppelt regulierbaren Kaplan turbinen lässt sich zusätzlich über die Stellung der Laufradschaufeln der Wirkungsgrad beeinflussen. Anhand von Erfahrungswerten der Anlagenbetreiber und Herstellerangaben sind die optimalen Verhältnisse der Leit- und Laufradschaufel-Stellung für die einzelnen Turbinen bekannt, sodass zu jedem Durchfluss der jeweils maximale Wirkungsgrad eingestellt werden kann. Unter der Voraussetzung dieses optimalen Leit- und Laufradschaufel-Stellungsverhältnisses wird der größte Öffnungswinkel der Laufradschaufeln beim Maximaldurchfluss der Turbinen erreicht. Soll nun bei einem

festen Gesamtdurchfluss und bei Aufrechterhaltung des optimalen Leit- und Laufradschaufel-Stellungsverhältnisses der Öffnungswinkel der Laufradschaufeln erhöht werden, so muss die Aufteilung des Gesamtdurchflusses auf die einzelnen Turbinen verändert werden. Im Normalbetrieb werden die aktiven Turbinen nach Möglichkeit immer gleichmäßig beaufschlagt. Bei steigendem oder sinkendem Abfluss werden, falls erforderlich, Turbinen zu- oder abgeschaltet (vgl. Abbildung 4.26).



**Abbildung 4.26:** Prinzipskizze des Schaltverhaltens der Wasserkraftanlage Wintrich bei wirkungsgrad-optimierter Steuerungsweise und bei fischangepasster Steuerungsweise (nach: GIER ET AL., 2012)

Wird der Gesamtdurchfluss nun so aufgeteilt, dass möglichst viele Turbinen voll beaufschlagt sind, so reduziert sich in diesen Turbinen die Schädigungsziffer aufgrund des größeren Öffnungswinkels. Eine Vollbeaufschlagung einer Turbine ist aufgrund der notwendigen Reaktionsfähigkeit auf schwankende Abflüsse aus betrieblichen Gründen meist erst bei sehr hohen Durchflüssen möglich. Diese Steuerungsweise wird von RWE als fischangepasst bezeichnet, da so die theoretische Gesamtschädigungsziffer der Anlage reduziert werden kann. Als Beispiel seien hier die beiden Gesamtdurchflüsse  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  bei einer Fallhöhe von 7 m und steigendem Durchfluss angeführt (vgl. Abbildung 4.26 und Tabelle 4.2).

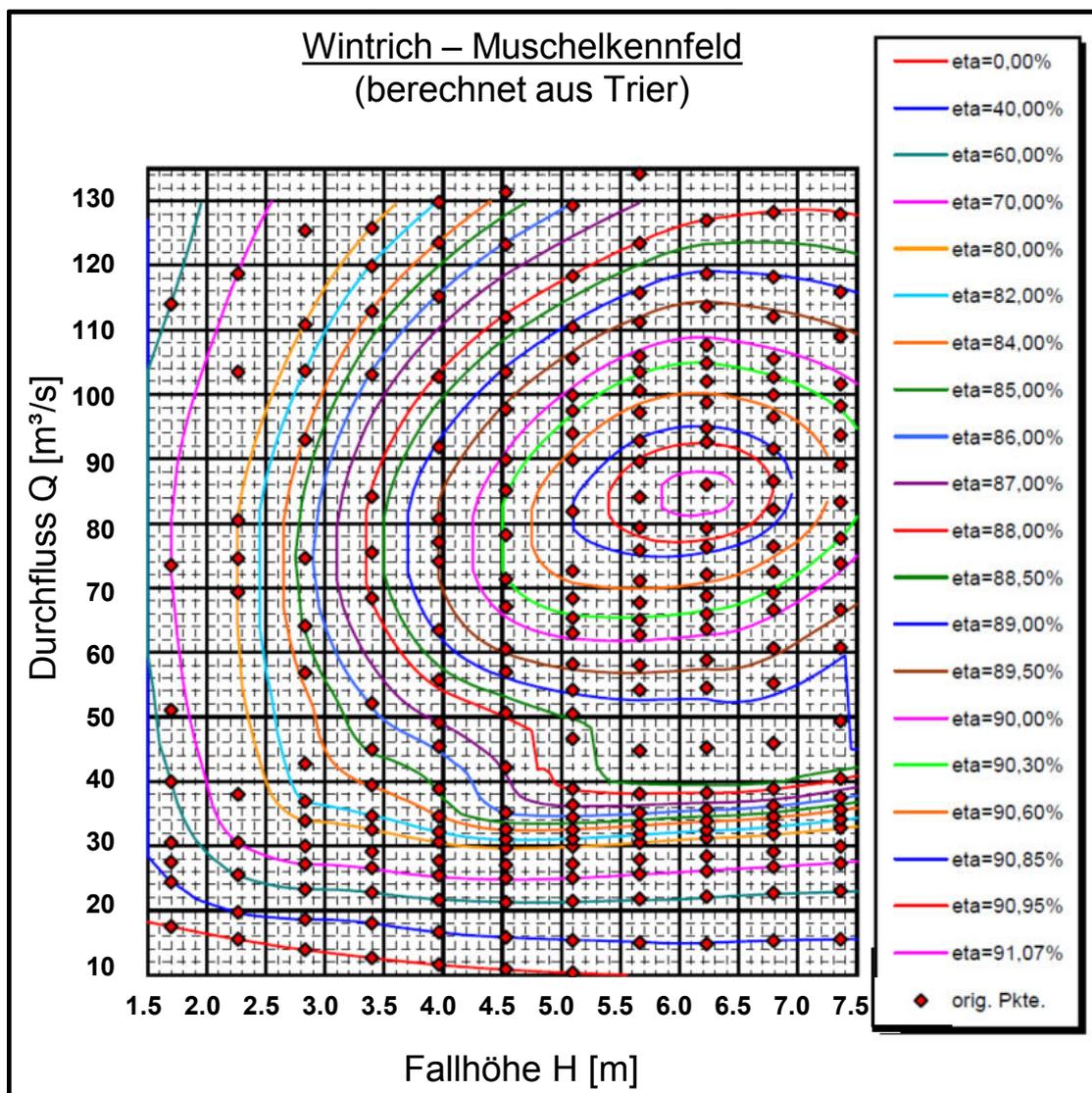
**Tabelle 4.2:** Beispielrechnung: Veränderung der Gesamtschädigung und Gesamtleistung für Turbinen 1 und 2 des Wasserkraftwerks Wintrich für  $Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ , Bestimmung der Schädigungsziffer nach TURNPENNY ET AL. (2000)

|   |                                 | Beispiel 1             |                | Beispiel 2             |                |
|---|---------------------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|
|   |                                 | wirkungsgrad-optimiert | fischangepasst | wirkungsgrad-optimiert | fischangepasst |
| Fallhöhe [m]                                |                                 | 7                      | 7              | 7                      | 7              |
| Durchfluss gesamt [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] |                                 | 80                     | 80             | 150                    | 150            |
| Turbine 1                                   | $q_1$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] | 40                     | 65             | 75                     | 85             |
|   | Winkel [°]                      | 12,6                   | 22,6           | 26,5                   | 30,4           |
|   | Wirkungsgrad [-]                | 0,885                  | 0,9            | 0,906                  | 0,9085         |
|   | Leistung [kW]                   | 2430,9                 | 4017,2         | 4666,1                 | 5302,9         |
|   | Schädigungsziffer [%]           | 69,9                   | 40,7           | 34,0                   | 28,9           |
| Turbine 2                                   | $q_2$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] | 40                     | 15             | 75                     | 65             |
|   | Winkel [°]                      | 14,4                   | 3,6            | 28,3                   | 24,5           |
|   | Wirkungsgrad [-]                | 0,885                  | 0,4            | 0,906                  | 0,9            |
|   | Leistung [kW]                   | 2430,9                 | 412,0          | 4666,1                 | 4017,2         |
|   | Schädigungsziffer [%]           | 69,1                   | 100            | 33,4                   | 39,9           |
| Gesamtleistung                              | Total [kW]                      | 4861,8                 | 4429,2         | 9332,3                 | 9320,1         |
|   | Änderung                        | -8,8 %                 |                | -0,13 %                |                |
| Gesamtschädigung                            | Total [%]                       | 69,6                   | 51,8           | 33,7                   | 33,6           |
|   | Änderung                        | -17,8 %                |                | -0,05 %                |                |

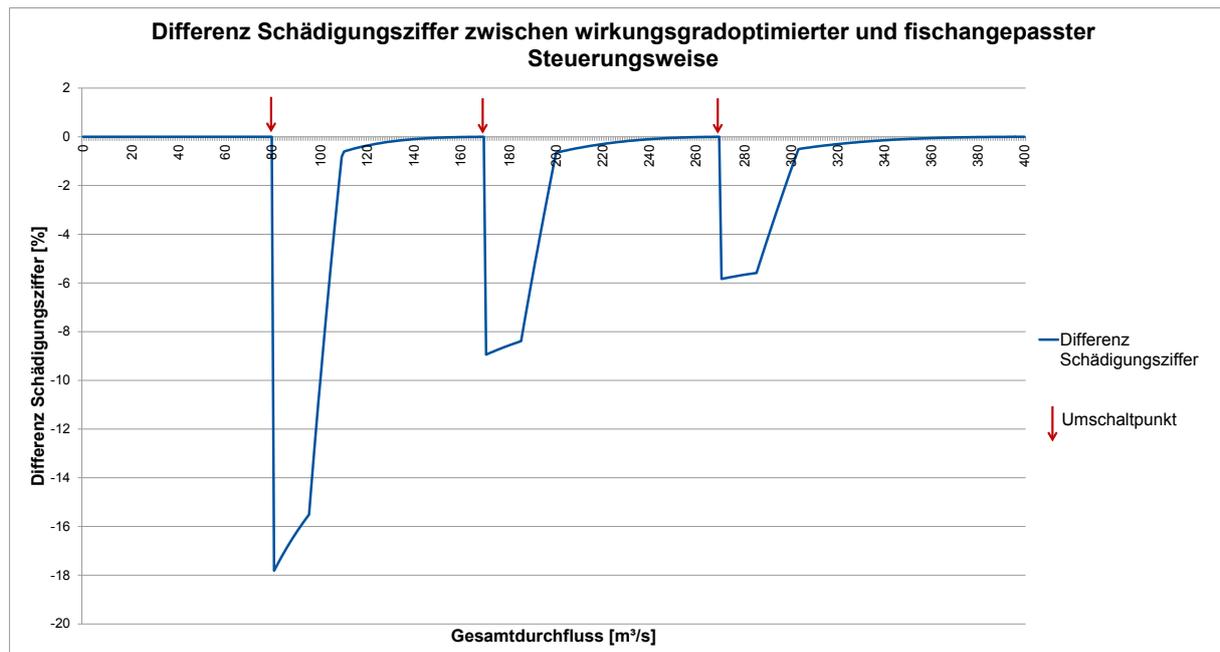
Bei einem Gesamtdurchfluss von  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  ergibt sich eine Aufteilung von jeweils  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  auf zwei Turbinen in der wirkungsgradoptimierten Steuerungsweise beziehungsweise  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  in der fischangepassten Steuerungsweise. Aus dieser veränderten Durchflussaufteilung ergeben sich eine Reduzierung der Schädigungsziffer von 17,8 % und gleichzeitig eine Abnahme der Kraftwerksleistung von 8,8 %. Bei einem Gesamtdurchfluss von  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  und einer Aufteilung des Durchflusses von jeweils

75 m<sup>3</sup>/s beziehungsweise 85 m<sup>3</sup>/s und 65 m<sup>3</sup>/s kann nur eine Reduktion der Schädigungsziffer von 0,05 % erreicht werden. Allerdings beträgt die Leistungseinbuße in diesem Fall lediglich 0,13 %. Diese beiden Beispiele zeigen zum einen, dass die Gesamtleistung des Kraftwerks in der fischangepassten Steuerungsweise sinkt, da die weniger stark beaufschlagten Turbinen an Wirkungsgrad verlieren.

Zwar befinden sich die Turbinen aufgrund des Verhältnisses von Leit- und Laufradschaufel-Stellung in dem für den jeweiligen Durchfluss optimalen Wirkungsgrad, aber der höchste Wirkungsgrad wird bei Kaplan-turbinen stets bei etwa 80 % bis 85 % des Maximaldurchflusses erreicht, sodass niedrigere Durchflüsse zu einer Reduzierung des Wirkungsgrads und somit einer Reduzierung der Leistung führen (vgl. Abbildung 4.27). Zum anderen zeigen die beiden Beispiele, dass die Effektivität der fischangepassten Steuerungsweise in Bezug auf die Reduzierung der Schädigungsziffer von dem jeweiligen Gesamtdurchfluss abhängt. Es zeigt sich, dass das größte Optimierungspotenzial im Bereich der Umschaltpunkte, an denen weitere Turbinen zu- beziehungsweise abgeschaltet werden, liegt (vgl. Abbildung 4.28).



**Abbildung 4.27:** Muschildiagramm einer Turbine für das Moselkraftwerk Wintrich (nach: NOTERMANN UND REUTER, 2006);  $\eta$  ( $\eta_n$ ) entspricht dem Wirkungsgrad der Turbine



**Abbildung 4.28:** Differenz der Schädigungsziffern zwischen der wirkungsgradoptimierten und der fischangepassten Steuerungsweise bei einer Fallhöhe von 7 m und steigendem Durchfluss an der Wasserkraftanlage Wintrich

Die Frage, welche Turbine als Erstes angeschaltet wird, ist für die Moselkraftwerke nicht ohne weiteres zu beantworten. Aus Erfahrungen der Berufsfischer lässt sich ableiten, dass Blankaale stets mit der Hauptströmung abwandern. Aus der individuellen Lage eines Kraftwerks am Gleit- oder Prallhang kann aus dieser Annahme heraus eine sinnvolle Reihenfolge der Turbinenbeaufschlagung ermittelt werden. Die Turbine, die aufgrund der jeweiligen Strömungsverhältnisse am dichtesten zur Hauptströmung liegt, sollte zuerst voll beaufschlagt werden (Tabelle 4.3).

Die tatsächliche Wirksamkeit der fischangepassten Steuerungsweise konnte bislang aufgrund methodischer und technischer Probleme nicht in der praktischen Anwendung überprüft werden. Theoretische Berechnungen von NOTERMANN UND REUTER (2006) ergeben für die Mosel eine Reduzierung der mittleren Schädigungsziffer über das Jahr von bis zu 6 %. Die Autoren haben ebenfalls festgestellt, dass die potenzielle Reduzierung der Schädigung je nach Durchfluss großen Schwankungen unterliegt. So kann die relative Änderung der Schädigungsziffer zwischen 0 % und 40 % liegen. Diese Werte sowie die Angaben zur Höhe der Änderung geben jedoch nur die theoretischen Überlegungen wieder und sind nicht durch Daten aus Freilandstudien oder Laboruntersuchungen belegt.

**Tabelle 4.3:** Lage der Moselkraftwerke und bevorzugte Turbine bei fischangepasster Betriebsweise (KROLL, L. & WENDLING, D., unveröffentlicht)

|  | Moselstauufen | Fluss-km | Lage Kraftwerk | Laufkrümmung auf Kraftwerksseite | Bevorzugte Turbine | Anzahl der Turbinen |
|--|---------------|----------|----------------|----------------------------------|--------------------|---------------------|
|  | Koblenz       | 2,0      | rechtes Ufer   | Gleithang                        | 4                  | 4                   |
| Weitgehend baugleich   | Lehmen        | 20,8     | rechtes Ufer   | Prallhang                        | 1                  | 4                   |
|  | Müden         | 37,1     | linkes Ufer    | indifferent                      | 4                  | 4                   |
|  | Fankel        | 59,4     | linkes Ufer    | Prallhang                        | 1                  | 4                   |
|  | St. Aldegund  | 78,0     | rechtes Ufer   | indifferent                      | 4                  | 4                   |
|  | Enkirch       | 103,0    | rechtes Ufer   | Prallhang                        | 1                  | 4                   |
|  | Zeltingen     | 123,9    | rechtes Ufer   | indifferent                      | 4                  | 4                   |
|  | Wintrich      | 141,4    | rechtes Ufer   | Prallhang, leicht                | 1                  | 4                   |
|  | Detzem        | 166,8    | linkes Ufer    | indifferent                      | 4                  | 4                   |
|  | Trier         | 195,8    | rechtes Ufer   | Prallhang                        | 1                  | 4                   |
|  | Grevenmacher  | 212,8    | rechtes Ufer   | Gleithang, leicht                | 4                  | 2                   |
|  | Palzem        | 229,8    | rechtes Ufer   | indifferent                      | 4                  | 2                   |
| Turbine 1 = landseitige Turbine; Turbine 4 = wehrseitige Turbine |               |          |                |                                  |                    |                     |

### Überprüfung der fischangepassten Betriebsweise mittels Turbinenhamen

In den Jahren 2009 und 2010 sind an der Wasserkraftanlage Wintrich Freilandversuche durchgeführt worden. Hierdurch sollten Machbarkeit und Aufwand für Versuche direkt unterhalb der Turbinen geprüft werden, um Schädigungsmechanismen und -höhen im Zusammenhang mit dem Abfluss und der wirkungsgradoptimierten beziehungsweise fischangepassten Betriebsweise zu ermitteln. Des Weiteren sollten die Versuche dazu dienen, die theoretisch berechnete Mortalität mit den in den Versuchen ermittelten Werten zu vergleichen. Für die Versuche ist eine Hamenkonstruktion im Unterwasser der Wasserkraftanlage installiert worden. Sowohl die Konstruktion des Hamens und der Hebevorrichtung als auch die Absprache und Planung der Arbeitsabläufe und der Arbeitssicherheit waren trotz stetiger Optimierung mit einem sehr großen Aufwand verbunden. Der Turbinenhamen ist so konstruiert, dass er die Blankaale, die über die landseitige Turbine abwandern, erfasst (vgl. Abbildung 4.29). Diese können in regelmäßigen Abständen entnommen und auf Schädigungen hin begutachtet werden. Diese Versuchsanordnung bietet den Vorteil, dass die beobachtete Schädigung der landseitigen Turbine zugeordnet und so der Einfluss des Durchflusses auf die Schädigungsziffer ermittelt werden kann. Im Jahr 2009 wurden die Versuche in drei Nächten durchgeführt.



**Abbildung 4.29:** Turbinenhamen im Einsatz am Auslauf der landseitigen Turbine der Wasserkraftanlage Wintrich an der Mosel (Foto: KROLL, 2009)

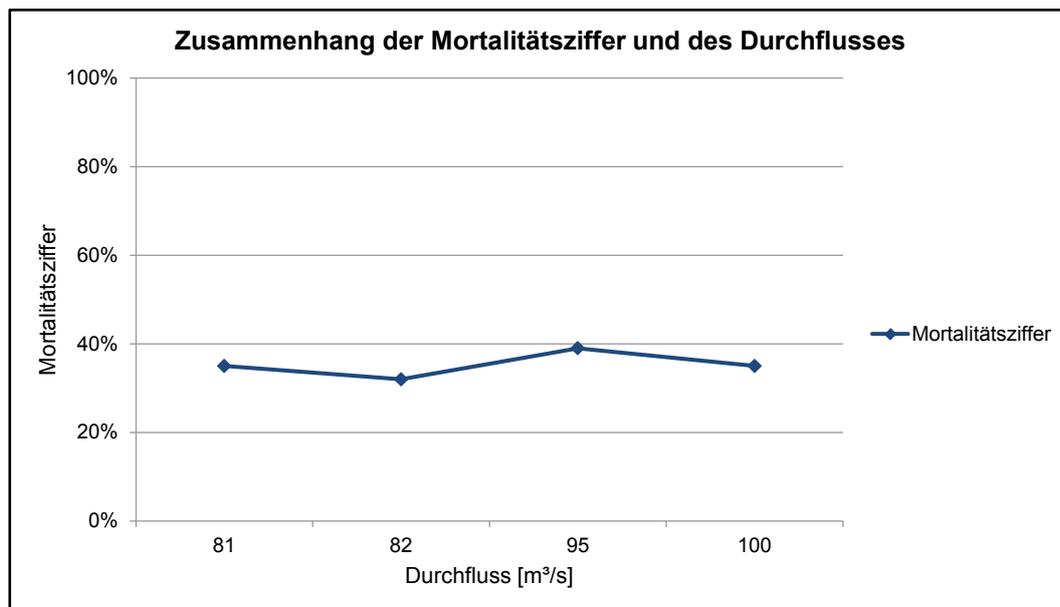
Im Jahr 2010 beschränkte sich die Versuchsdauer auf zwei Nächte. Während dieser Zeit ist der Hamen regelmäßig gehoben und gesenkt worden und die gefangenen Aale wurden entnommen (GIER ET AL., 2011). Anschließend wurde die Länge der Aale geschätzt und die Aale den Kategorien „unverletzt“, „verletzt“ und „tödlich verletzt“ zugeordnet. Für die Versuche im Jahr 2009 und 2010 konnten auf diese Weise über die Versuchsjahre gemittelte Schädigungsziffern von 55 % bis 60 % beobachtet werden. Ebenso konnte die mittlere Mortalitätsziffer für die beiden Versuchsjahre zu 34 % beziehungsweise 36 % ermittelt werden (vgl. Tabelle 4.4).

**Tabelle 4.4:** Übersicht der Untersuchungsergebnisse der Fischereiversuche 2009 und 2010 an der Wasserkraftanlage Wintrich (Quelle der Daten: GIER ET AL., 2011)

| Zeitpunkt | gefangene Aale | mittlere Länge | Abfluss <sub>Turbine</sub> | Schädigungsziffer** |        | Mortalitätsziffer** |        |
|-----------|----------------|----------------|----------------------------|---------------------|--------|---------------------|--------|
|           |                |                |                            | einzel              | gesamt | einzel              | gesamt |
| 01/2009*  | 6              | 70,8 cm        | 60 m <sup>3</sup> /s       | 100 %               | -      | 100 %               | -      |
| 02/2009   | 75             | 72,1 cm        | 82 m <sup>3</sup> /s       | 56 %                | 55 %   | 32 %                | 34 %   |
| 03/2009   | 95             | 70,9 cm        | 81 m <sup>3</sup> /s       | 55 %                |        | 35 %                |        |
| 01/2010   | 37             | 76,5 cm        | 100 m <sup>3</sup> /s      | 54 %                | 60 %   | 35 %                | 36 %   |
| 02/2010   | 13             | 79,7 cm        | 95 m <sup>3</sup> /s       | 77 %                |        | 39 %                |        |

\* Aufgrund zu geringer Fangmengen nicht belastbar und daher nicht Teil der Auswertung  
 \*\* In dieser Auswertung wird zwischen nicht tödlicher Schädigung und Sterblichkeit unterschieden

Bei der Auswertung der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Wasserkraftanlage nicht nach dem vom IWW entwickelten Steuerungshandbuch betrieben wurde. Der hohe Abflusswert im Jahr 2010 ist zufällig so eingetreten und nicht im Zuge einer fischangepassten Betriebsweise erzeugt worden. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Abfluss und der Mortalitätsziffer konnte anhand der ermittelten Daten nicht belegt werden (vgl. Abbildung 4.30).



**Abbildung 4.30:** Ergebnisse der Fischereiversuche an der Wasserkraftanlage Wintrich in den Jahren 2009 und 2010 (Quelle der Daten: GIER ET AL., 2011)

Allerdings sind diese Ergebnisse nur eingeschränkt aussagekräftig, da die Größe der Stichprobe zu gering ist. Außerdem kam es während der Versuche zu technischen Problemen, sodass die Daten der jeweiligen Nächte nicht vollständig sind. Ebenso darf der Einfluss der Körperlänge der Aale auf die Schädigungsziffer nicht vernachlässigt werden (GIER ET AL., 2011). Neben einem hohen personellen und materiellen Aufwand bringen die Fischereiversuche jedoch auch technische Schwierigkeiten und ein hohes Gefährdungspotenzial für Personen mit sich. So ist es vor allem während der interessanten Zeiten mit hohen Abflüssen besonders schwierig, die Hamenkonstruktion zu heben und zu senken, und der Aufwand ist unverhältnismäßig hoch in Hinblick auf die geringen Fangergebnisse und deren verminderte Aussagekraft. Aus diesem Grund wurde entschieden, die Versuche zunächst einzustellen.

### Fischereibiologische Erhebung zur Aallänge

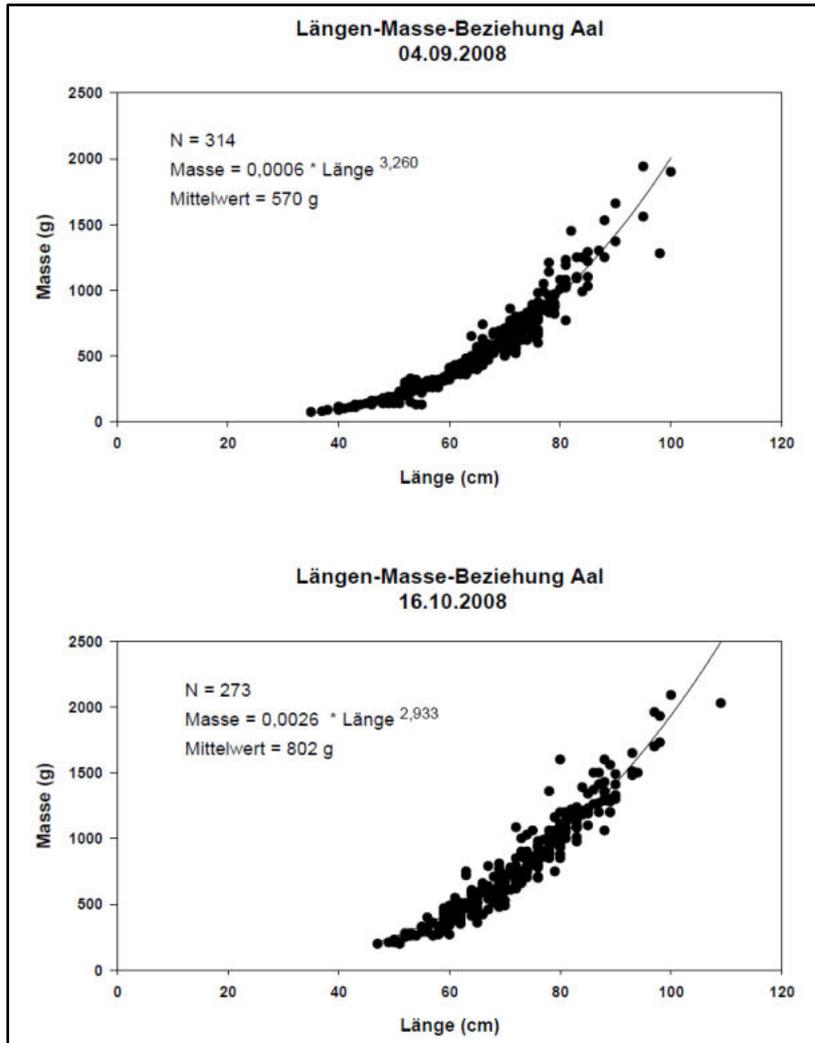
Wie bereits oben erwähnt, ist die Körperlänge eines Blankaals eine entscheidende Größe in Hinblick auf das Verletzungsrisiko während der Turbinenpassage. Im Jahr 2008 wurden daher „Untersuchungen zur Längenhäufigkeitsverteilung und zur Altersbestimmung von Blankaalen aus der Mosel im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz“ durchgeführt (RADKE, 2009). Es wurde untersucht, wie sich die Längenverteilung und die Längen-Masse-Beziehung der Blankaale aus der Mosel gestalten (vgl. Abbildung 4.31).



**Abbildung 4.31:** Titelseite des Berichts zu den Untersuchungen zur Längenhäufigkeitsverteilung (RADKE, 2009)

Außerdem wurde die Altersstruktur der Blankaale analysiert. Dafür wurden an zwei Terminen (4. September 2008 und 16. Oktober 2008) 785 Blankaale, die im Zuge der Soforthilfe *Fischen und Umsetzen* der Aalschutz-Initiative gefangen worden waren, vermessen und gewogen. Beim ersten Termin wurden eine mittlere Masse von 570 g und eine mittlere Länge von 65,9 cm gemessen. Beim zweiten Termin lagen die Werte bei 802 g und 73,6 cm. Die Blankaale, die am 16. Oktober 2008 untersucht wurden, waren fast alle wesentlich größer beziehungsweise länger und schwerer als die im Spätsommer gefangenen Blankaale. Dies lässt darauf schließen, dass diese Aale einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium des Blankaalstadiums zuzuordnen sind. Insgesamt ergab sich für die beiden Termine daher auch eine leicht abweichende Längen-Masse-Beziehung (Abbildung 4.32).

Die Längen-Masse-Beziehung kann dazu dienen, bei zukünftigen Freilanduntersuchungen die Bestimmung der Fischlänge zu vereinfachen. Das Vermessen eines Aales ist im Gegensatz zum Wiegen verhältnismäßig aufwendig und schwierig. Läge eine verlässliche Längen-Masse-Beziehung vor, so könnte es in Zukunft bei Freilanduntersuchungen ausreichen, die Masse zu bestimmen und die Länge daraus abzuleiten. Aufgrund der unterschiedlichen Längen-Masse-Beziehungen der beiden Untersuchungstermine ist dies mit den vorliegenden Daten jedoch noch nicht möglich.



**Abbildung 4.32:** Längen-Masse-Beziehung der am 4. September 2008 und am 16. Oktober 2008 untersuchten Aale (RADKE, 2009)

Die durchschnittliche Länge lag bei 70,6 cm. Dieser Wert kann beispielsweise für zukünftige Berechnungen der Schädigung zugrunde gelegt werden. In die Prognosemodelle der Mortalität (vgl. Abschnitt 3.4.3) geht oftmals die Fischlänge als wichtiger Faktor ein. Liegt ein verlässlicher Wert für die durchschnittliche Länge der Blankaale der Mosel vor, so kann die Mortalität verlässlicher abgeschätzt werden.

Im Zuge der Altersbestimmung wurden 100 Blankaale dekaptiert und die Gehörsteine (Otolithen) der Fische untersucht. Unter dem Mikroskop können sogenannte Jahresringe, die sich in den Otolithen bilden, sichtbar gemacht und gezählt werden. Auf diese Weise kann das Süßwasseralter der Blankaale ermittelt werden. Da die Otolithen sehr klein sind und die Jahresringe oft nicht eindeutig erkennbar, gilt die Altersbestimmung der Blankaale als schwierig und nicht sehr zuverlässig. Mit den genannten Unsicherheiten konnte im September 2008 ein mittleres Alter der gefangenen Blankaale von 13 Jahren ermittelt werden, wohingegen das mittlere Alter der im Oktober gefangenen Blankaale bei 17 Jahren lag.

### 4.3.3 Wirkung

Die biologische Wirksamkeit des Ansatzes *Früherkennen und Steuern* ist in der Theorie recht hoch anzusetzen. Die tatsächliche Schutzwirkung hängt jedoch von zwei Faktoren ab:

- Güte der Vorhersage von Abwanderungsereignissen
- Einstellen von geeigneten Abflussverhältnissen, die zu einer Reduzierung der Schädigungsziffer führen (fischangepasster Betrieb)

Derzeit scheint die Möglichkeit der Vorhersage von Aalabwanderungsereignissen schwierig. Wichtige Parameter, die festgelegt werden müssen, sind dabei:

- Definition eines Abwanderungsereignisses (Blankaale/Zeit)
- Beginn und Ende eines Abwanderungsereignisses
- Beginn und Ende der Abwanderungsstrecke
- Stärke des Abwanderungsereignisses (Zahl der abgewanderten Blankaale)

Die bisherigen Ansätze der Aalschutz-Initiative – ein mathematisches Vorhersagemodell sowie einer Echtzeitdetektion im Gewässer – weisen noch erhebliche Ungenauigkeiten beziehungsweise Forschungsbedarf auf. Vom Grundsatz her sind sie jedoch für den langfristigen Einsatz als Werkzeuge für die Vorhersage von Wanderereignissen vielversprechend.

Die Investitionskosten für die Projektaktivität B beinhalten die Ausgaben für die Forschung, Entwicklung und Implementierung des Vorhersagewerkzeugs sowie der Anlagensteuerung. Die tatsächliche Höhe dieser Kosten ist derzeit noch nicht bekannt. Im Vergleich zu anderen Maßnahmen, wie etwa einem Umbau mit „fischfreundlichen“ Turbinen, werden sie als niedrig eingestuft.

Betriebskosten wären für die Unterhaltung von In-situ Fangstellen und für die Kontrolle der biotischen Kenngrößen anzusetzen. Diese können je nach Einsatzhäufigkeit und Intensität hoch sein. Die Vorhersage muss mindestens während des gesamten potenziellen Abwanderungszeitraums des Aals kontinuierlich betrieben werden. Dies erfordert zum Beispiel im Fall der fischereibiologischen Erhebungen in den Stauhaltungen Enkirch und Lehmen einen hohen personellen Einsatz und bringt somit hohe Kosten mit sich. Aber auch der Einsatz von Sonaren zur Fernerkundung beziehungsweise Detektion von Aalaktivitäten im Bereich der Turbineneinläufe wäre wirtschaftlich sehr aufwendig. Inwieweit die Umstellung der Turbinensteuerung die Stromproduktion der Wasserkraftanlagen insgesamt beeinflusst, wird noch ermittelt. Die Turbinen befinden sich während der fischangepassten Betriebsweise nicht im wirkungsgradoptimalen Zustand und können somit voraussichtlich nicht die maximal mögliche Energiemenge produzieren. Des Weiteren kann es bei der fischangepassten Betriebsweise zu häufigeren Schaltvorgängen der Turbinen kommen. Dies könnte den Verschleiß der Maschinen erhöhen und somit deren Lebensdauer senken.

**Tabelle 4.5:** Wirkung der Projektaktivität B – *Früherkennen und Steuern*

|  |                             |        | Früherkennen und Steuern |
|--|-----------------------------|--------|--------------------------|
| Biologische Wirksamkeit (betroffene Aale)                    |                             |        |                          |
| Wirtschaftlichkeit   | Investitionskosten          |        |                          |
|  | Betriebskosten              |        |                          |
| Vermeidung der wasserkraftbedingten Mortalität (alle Fische) |                             |        |                          |
| Hohe Wirkung/niedrige Kosten                                 | Geringe Wirkung/hohe Kosten | unklar |                          |

## 4.4 Projektaktivität C – Abweisen und Umlenken

### 4.4.1 Konzept

Das Konzept der Projektaktivität *Abweisen und Umlenken* sollte alle denkbaren „Fischabweis-Scheuch-Umleitsysteme [...] an der Einlauf- und Rechengeometrie der Kraftwerke“ (KROLL, 1998B) auf ihre Anwendbarkeit an den Wasserkraftanlagen der Mosel und der Saar untersuchen. Nach TURNPENNY ET AL. (1998) bedarf es dreier wesentlicher Voraussetzungen für ein erfolgreiches Abweisen und Umlenken der Fische am Einlauf einer Wasserkraftanlage:

- Ein Bauwerk oder sonstiger struktureller Reiz muss vorhanden sein, an dem sich der Fisch während der Annäherung orientieren kann.
- Die Anströmgeschwindigkeit darf nicht größer sein als die Schwimmleistung des Fisches.
- Ein angemessener alternativer Wanderweg für den Fisch muss vorhanden sein.

Die biologische Wirksamkeit einer Maßnahme zum *Abweisen und Umlenken* hängt damit zunächst von der Konstruktion der Abweis- und Umlenkeinrichtung ab, die auch von der wahrnehmbaren Anordnung im Strömungsfeld beeinflusst wird. Die Eignung eines Rechensystems für die Moselkraftwerke wurde im Rahmen einer Nutzwertanalyse überprüft. Hierfür wurden die Anforderungen an das System in Bezug auf das Wanderverhalten der Aale, die Wahl des Einbauwinkels, die Strömungsverhältnisse, die Anordnung des Bypasses, die Rechenreinigung, die Energieverluste sowie auf den rechtlichen Rahmen ermittelt.

Der erste Schritt bei der Planung einer Maßnahme zum Abweisen und Umlenken von Fischen an Wasserkraftanlagen ist die Wahl eines geeigneten Schutzsystems. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme, die zum Abweisen von Fischen im Allgemeinen und Blankaalen im Speziellen eingesetzt werden können. Im Folgenden werden diese Systeme als Barrieren bezeichnet. In verschiedenen umfangreichen Literaturstudien ist versucht worden, einen vollständigen Überblick über alle sich im Einsatz befindlichen Barrieretypen zusammenzustellen (TAFT, 1986; TURNPENNY ET AL., 1998; ATV-DVWK, 2005; LARINIER UND TRAVADE, 2002; DUMONT ET AL., 2005; DUMONT, 2012; EBEL, 2013; KLOPRIES, 2013). Die darin

betrachteten Barrieren können grundsätzlich hinsichtlich ihrer Wirkungsweise in mechanische Barrieren und Verhaltensbarrieren unterteilt werden.

Dem Einsatz mechanischer Barrieren liegt die Erwartung zugrunde, dass ein Fisch einer bestimmten Größe am Durchschwimmen der Barriere gehindert wird, wenn deren lichte Stabweite kleiner als die Körpermaße des Fisches ist. Mechanische Barrieren können gemäß ihrer konstruktiven Gestaltung weiter unterteilt werden (vgl. Abbildung 4.33). In Literaturrecherchen zur Eignung mechanischer Barrieren zum Schutz des Aals sind verschiedene Barriersysteme näher betrachtet worden (REUBER ET AL., 1999; REUTER ET AL., 2001):

- Schrägrechen (vgl. Abbildung 4.33)
- geneigter Rechen (vgl. Abbildung 4.33)
- Modular Inclined Screen: ähnlich dem Eicher-Screen (vgl. Abbildung 4.33)
- Trommelsieb (vgl. Abbildung 4.33)
- Winkelrechen (vgl. Abbildung 4.34)

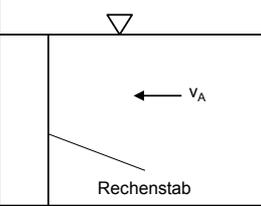
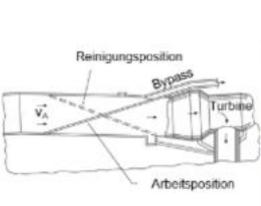
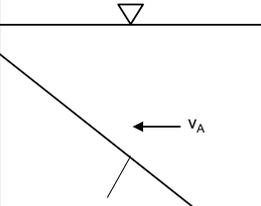
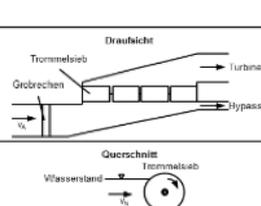
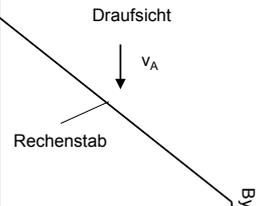
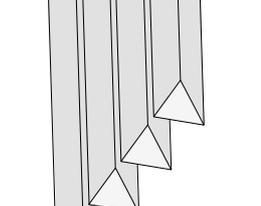
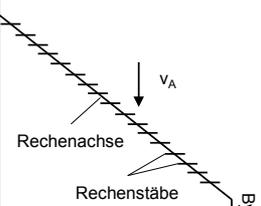
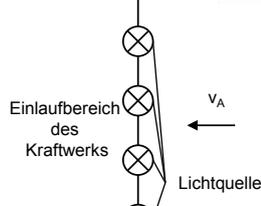
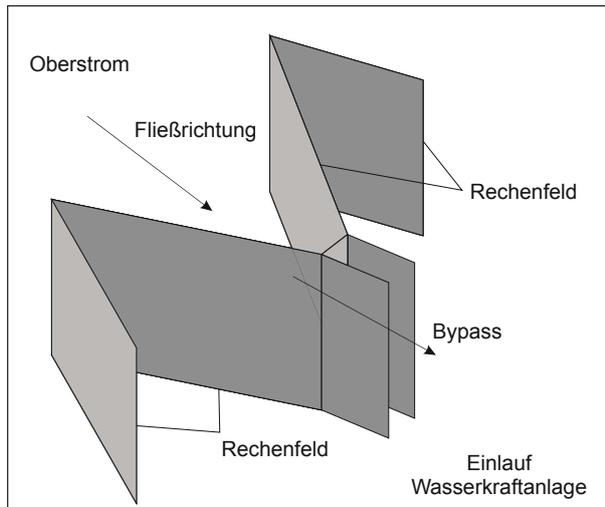
|  |   |  |   |   |  |
|--|---|--|---|---|--|
| <p><b>Mechanische Barriere:<br/>konventioneller Rechen</b></p>               |   |                          | <p><b>Mechanische Barriere:<br/>Eicher-Screen</b></p>     |  <p>nach: Larinier &amp; Travade (2002)</p>  |  <p>ATV-DVWK (2005)</p>            |
| <p><b>Mechanische Barriere:<br/>geneigter Rechen</b></p>                     |  |                         | <p><b>Mechanische Barriere:<br/>Trommelsieb</b></p>       |  <p>nach: Larinier &amp; Travade (2002)</p> |  <p>ATV-DVWK (2005)</p>           |
| <p><b>Mechanische Barriere:<br/>Schrägrechen</b></p>                         |  |                         | <p><b>Mechanische Barriere:<br/>Wedge-Wire-System</b></p> |   |  <p>Dumont et al (2005)</p>       |
| <p><b>Kombination mechanische<br/>und Verhaltensbarriere:<br/>Louver</b></p> |  |  <p>ATV-DVWK (2005)</p> | <p><b>Verhaltensbarriere:<br/>Lichtscheuchanlage</b></p>  |   |  <p>Adam &amp; Lehmann (2011)</p> |

Abbildung 4.33: Übersicht ausgewählter mechanischer Barrieren und Verhaltensbarrieren



**Abbildung 4.34:** Prinzipskizze eines Winkelrechs

Bei der Untersuchung der Varianten stellen REUBER ET AL. (1999) fest, dass die hydraulischen und biologischen Randbedingungen die Auswahl der möglichen Barriersysteme weiter einschränken. Demnach kommen für den Schutz des Aals lediglich Schrägrechen (horizontale Schrägrechen) und geneigte Rechen (vertikale Schrägrechen) sowie Winkelrechen in Frage. Eine mechanische Barriere ist nur dann wirksam, wenn sie die Fische am Einschwimmen hindert und ihnen an einem geeigneten Ort einen attraktiven alternativen Wanderweg (Bypass) anbietet. Für die Bewertung der Barrieren spielt die Schwimmleistung der Aale eine wichtige Rolle. Ist die Anströmgeschwindigkeit vor einer Barriere größer als die Schwimmleistung der Fische, besteht die Gefahr, dass die Tiere an die Barriere gepresst und verletzt werden. Die Schwimmleistung aller Fischarten kann nach BEAMISH (1978) grundsätzlich in drei Leistungsniveaus unterteilt werden (vgl. Abschnitt 3.2.2):

- Dauergeschwindigkeit: Diese Geschwindigkeit kann über einen längeren Zeitraum (> 200 Minuten) aufrechterhalten werden, ohne dass Ermüdungserscheinungen bei dem Fisch auftreten.
- Gesteigerte Schwimmleistung: Diese Geschwindigkeit kann für eine Zeitspanne von 15 Sekunden bis 200 Minuten aufrechterhalten werden. Sie führt jedoch zu körperlicher Erschöpfung.
- Sprintgeschwindigkeit: Die Sprintgeschwindigkeit ist die maximal mögliche Schwimgeschwindigkeit des Fisches und kann für einen Zeitraum von bis zu 15 Sekunden gehalten werden.

THON (1999) empfiehlt, die maximale Anströmgeschwindigkeit so zu wählen, dass die Aale die Möglichkeit haben, die Barriere wahrzunehmen und ihr wieder zu entfliehen. Als Maß für die maximale Anströmgeschwindigkeit vor einer Barriere wird daher oft die Dauergeschwindigkeit der betrachteten Fischart angesetzt. Für den Aal bedeutet dies, dass die Anströmgeschwindigkeit maximal einen Wert von 0,5 m/s annehmen sollte (THON, 1999; DUMONT ET AL., 2005; RUSSON ET AL., 2010; ADAM UND LEHMANN, 2011).

Für den Aal wird für die lichte Weite ein Wert von höchstens 20 mm (THON, 1999; ATV-DVWK, 2005; ADAM UND LEHMANN, 2011) oder besser 15 mm (DUMONT ET AL., 2005) angegeben. Aus den Ergebnissen seiner Recherchen schließt THON (1999), dass die seinerzeit vorhandenen Verhaltensbarrieren und mechanischen Barrieren die Anforderungen des Aals an den Wasserkraftanlagen der Mosel nicht erfüllen

können. Darüber hinaus zeigen weitere Studien, dass der Einsatz mechanischer Barrieren, die die genannten Anforderungen erfüllen, an bestehenden, großen Wasserkraftanlagen kaum bis nicht gegeben ist (ULRICH, 2013).

Im Gegensatz zu mechanischen Barrieren nutzen Verhaltensbarrieren elektrische, optische, akustische oder strömungslenkende Reize, um den Fisch aus dem risikobehafteten Bereich zu scheuchen oder ihn in den gewünschten Bereich zu leiten. Durch die gezielte Erzeugung von turbulenten Bereichen oder künstlichen Strömungen können Fische in eine bestimmte Richtung geleitet werden. Das Problem von Verhaltensbarrieren ist jedoch, dass sie eine arten- und größenselektive Wirkung besitzen und ihre Wirksamkeit von den vorliegenden, veränderlichen Strömungsverhältnissen abhängen (EBEL, 2013). Als alleiniges Mittel, Fische am Eindringen in Turbinen zu hindern, werden verhaltensbiologische Barrieren daher nicht mehr angesehen. Die Fachwelt sieht heute vielmehr in mechanischen Barrieren in Form von Leitrechen mit angeschlossenem Bypass ein größeres Potenzial für den wirksamen Einsatz als Fischschutzsystem.

Da die Aalschutz-Initiative auf weitere Untersuchungen verhaltensbiologischer Barrieren verzichtet hatte, wurden in der Projektaktivität *C Abweisen und Umlenken* in den Jahren 2001 bis 2003 schwerpunktmäßig mechanische Barrieren untersucht (REUTER ET AL., 2001). Die Hauptfrage dabei war, wie eine solche mechanische Barriere gestaltet werden kann, damit sie sich für den Schutz des Aals an den Wasserkraftanlagen der Mosel eignet. Um diese Frage zu beantworten, mussten sowohl die artspezifischen Anforderungen des Aals als auch die ortsspezifischen Gegebenheiten der Moselkraftwerke berücksichtigt werden. Als Voraussetzung der Wirksamkeit einer mechanischen Barriere muss zunächst erarbeitet werden, welche Anforderungen Aale an eine solche Barriere haben und welches Verhalten sie aufweisen. Nur wenn diese vonseiten der Biologie bekannt sind, können die Ingenieure sie beim Entwurf der Barriere berücksichtigen.

Da die Anforderungen des Aals auch die Strömung betreffen, müssen unter anderem die Strömungsprozesse an und um die Barriere bekannt sein. Dafür ist es erforderlich, dass die Strömung im Nahbereich der betrachteten Wasserkraftanlage ermittelt wird. Zusätzlich muss der Einfluss der Barriere auf die Strömung berücksichtigt werden. Dabei werden sowohl die Änderungen der Geschwindigkeiten und der Strömungsrichtung vor der Barriere als auch die Energieverluste, die durch die Barriere entstehen, in die Betrachtung einbezogen. Diese Aufgaben sind Teil der Hydraulik und können in verschiedenen Skalierungen der Strömungsprozesse betrachtet werden. Diese reichen von der gesamten Strömung in der Umgebung der Wasserkraftanlage bis zu den mikroskaligen Strömungsänderungen an den jeweiligen Elementen der mechanischen Barriere.

Die Aalschutz-Initiative hat für diesen Zweck numerische und physikalische Modellversuche sowie Naturmessungen in Auftrag gegeben. Dieser Ansatz wurde gewählt, um eine umfassende Bewertung und Planung einer mechanischen Barriere durchzuführen.

#### 4.4.2 Maßnahmen und Ergebnisse

##### a) *Hydronumerische Simulationen*

Mithilfe der hydronumerischen Simulationen sollten die Strömungsprozesse im Umfeld einer Wasserkraftanlage beschrieben werden. Dies bietet den Vorteil, dass großräumige Untersuchungen des Strömungsfeldes in einem Maßstab von 1:1 möglich sind. Auf diese Weise werden Maßstabseffekte vermie-

den und es ist mit relativ geringem Aufwand möglich, unterschiedliche Einbauvarianten eines Rechen zu testen (RETTEMEIER, 2000). Die Simulation der Strömungsprozesse wurde beispielhaft für die Wasserkraftanlage Wintrich durchgeführt (vgl. Abbildung 4.35), da für diese aus einer vorherigen Diplomarbeit bereits ein dreidimensionales Modell vorlag, das sich für die Berechnungen nutzen ließ (RETTEMEIER ET AL., 1999; REUBER ET AL., 1999).

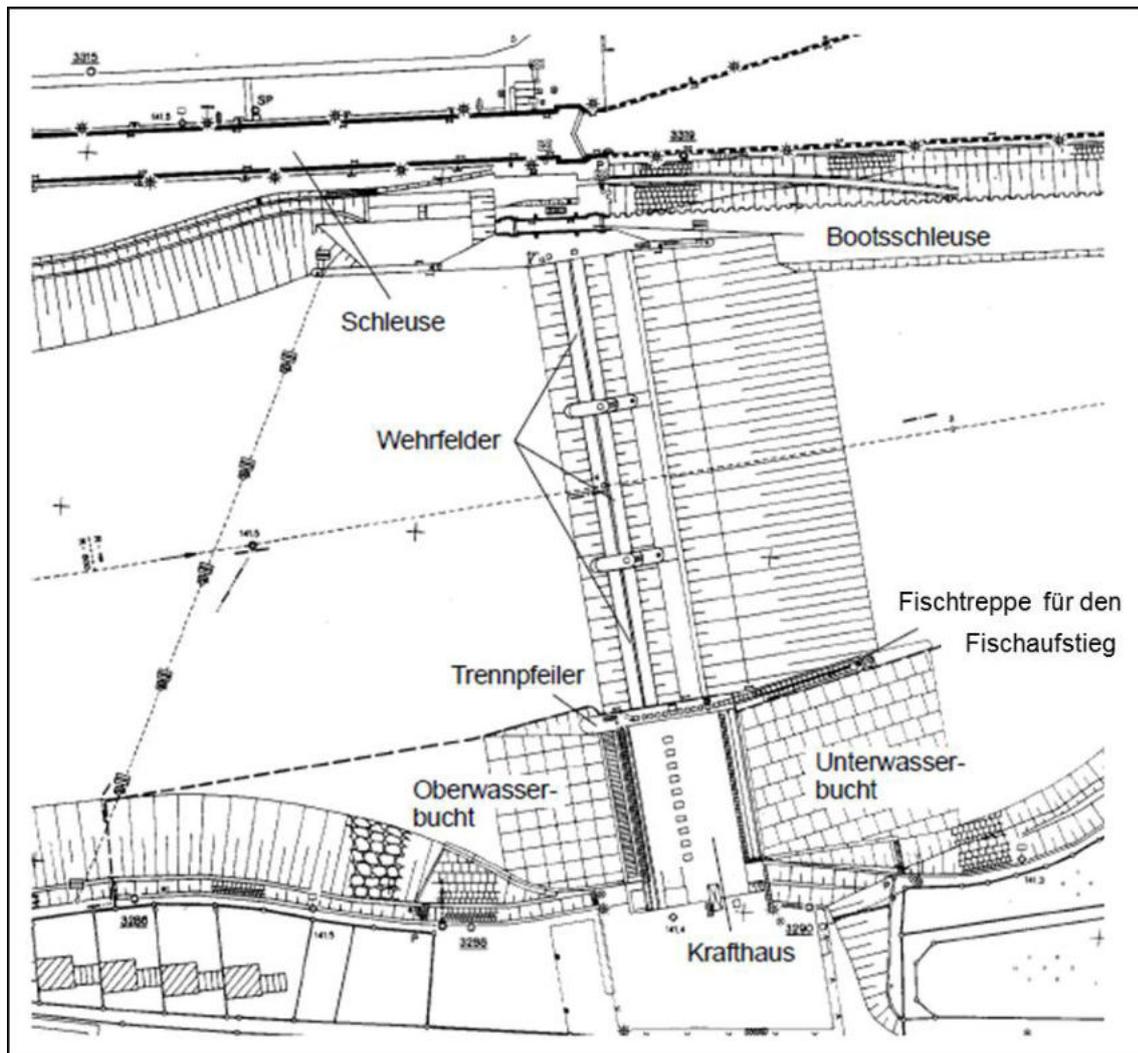
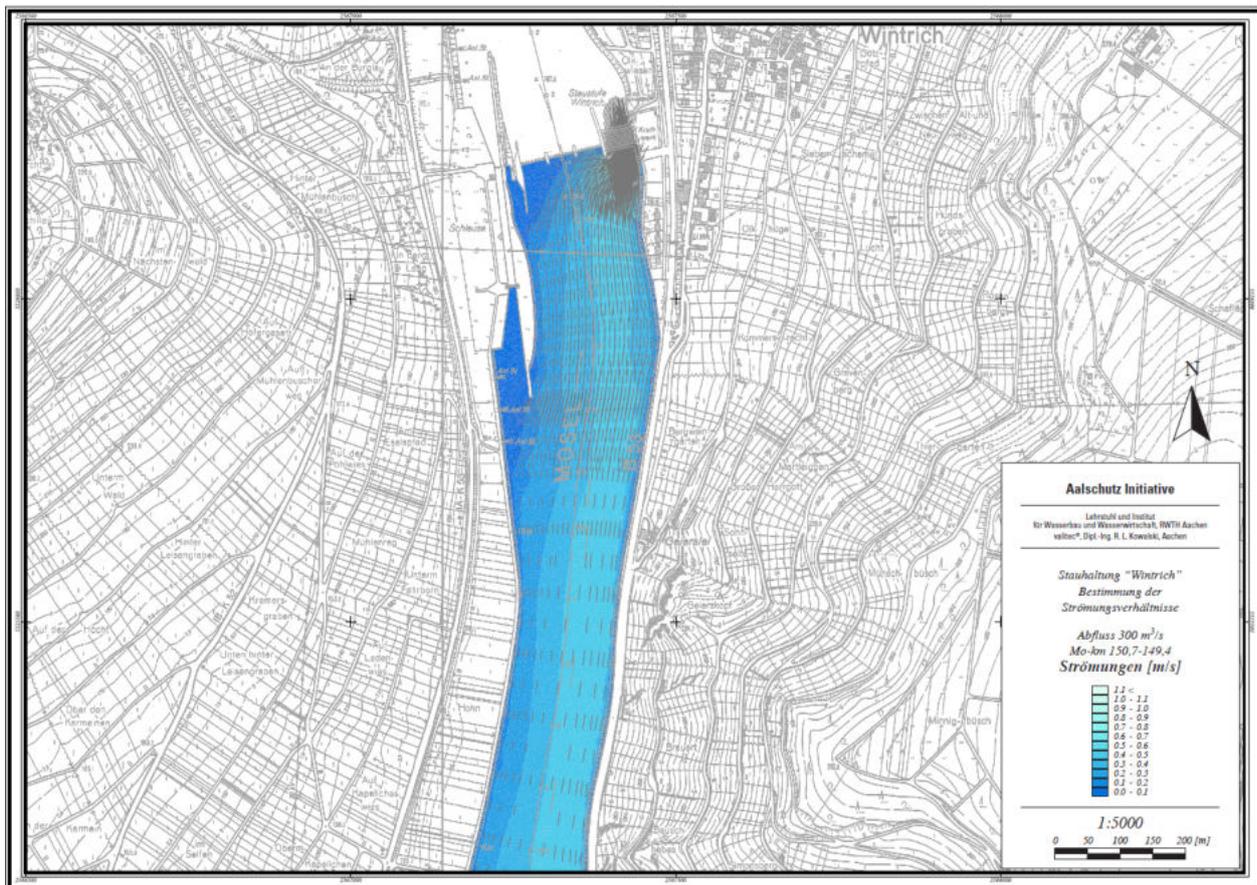


Abbildung 4.35: Lageplan der Wasserkraftanlage Wintrich im Maßstab 1:2.000 (nach: KÖNGETER, 2003)

Im ersten Schritt wurden die Strömungsprozesse im Ist-Zustand berechnet. Das bedeutet, die Fließgeschwindigkeiten und -richtungen wurden für den Anströmbereich der Wasserkraftanlage Wintrich ohne eine Barriere berechnet. Auf diese Weise konnte untersucht werden, welche Anströmwinkel sich einstellten und wie hoch die maximalen Anströmgeschwindigkeiten waren. Aus den gewonnenen Ergebnissen wurde gefolgert, dass sowohl Schrägwehren und geneigte Wehren als auch Winkelwehren an der Wasserkraftanlage Wintrich theoretisch denkbar wären (vgl. Abbildung 4.33 und Abbildung 4.34).



**Abbildung 4.36:** Simulierte Fließgeschwindigkeiten im Anströmbereich der Wasserkraftanlage Wintrich bei einem Durchfluss von  $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$  im Zuge weiterer hydronumerischer Simulationen (SCHWANENBERG ET AL., 2002)

Die Schrägstellung eines Rechens zur Anströmung bewirkt eine Unterteilung der Strömungsvektoren in Anströmgeschwindigkeit ( $v_A$ ), Normalgeschwindigkeit ( $v_N$ ) und Tangentialgeschwindigkeit ( $v_T$ ) (vgl. Abbildung 4.37). Die Schrägstellung des Rechens bietet somit den Vorteil, dass die Normal- und die Tangentialgeschwindigkeit geringer sind als die Anströmgeschwindigkeit und über den Anströmwinkel gesteuert werden können. Im Fall eines schrägen Rechens ist die Normalgeschwindigkeit und nicht die Anströmgeschwindigkeit ausschlaggebend für die Gefahr des Anpressens an den Rechen.

Durch die Schrägstellung eines Rechens können trotz hoher absoluter Anströmgeschwindigkeiten vor der Wasserkraftanlage die Anforderungen des Aals bezüglich der maximalen Geschwindigkeit an der Barriere eingehalten werden. Untersuchungen von DIXON (2001) zeigen, dass die biologische Wirksamkeit eines Rechens zunimmt, wenn der Anströmwinkel verringert wird. Das bedeutet, je kleiner der vertikale Anströmwinkel  $\alpha$  beziehungsweise der horizontale Anströmwinkel  $\theta$  (vgl. Abbildung 4.37) gewählt wird, desto effizienter wird der Rechen für den Schutz des Aals. Es wird angenommen, dass zusätzlich mit der Neigung des Rechens die Leitwirkung zunimmt. Solche Annahmen müssen jedoch noch hinreichend im Labor und Freiland untersucht werden, da das art- und standortspezifische Verhalten vielfach noch nicht bekannt ist.

Allerdings nimmt mit kleiner werdendem Anströmwinkel auch die Lauflänge des Rechens zu. Die größere Rechenlänge kann dazu führen, dass eine Umsetzung wegen räumlicher Einschränkungen nicht möglich ist. In jedem Fall führt ein längerer Rechen zu höheren Baukosten, zu einem stark erhöhten Rechenreinigungsaufwand und zu statischen Problemen bei der Konstruktion, was möglicherweise einen negativen Einfluss auf das Verhalten der Fische haben kann.

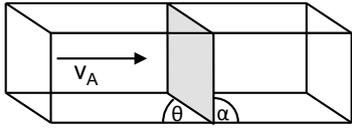
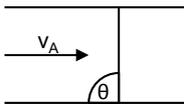
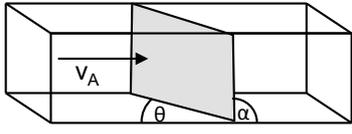
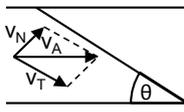
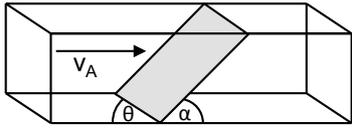
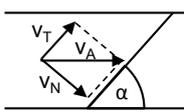
| Strömungsvektoren  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| Keine Schräganströmung   |   | $\alpha = 90^\circ$<br>$\theta = 90^\circ$ | Draufsicht<br>    |
| Horizontale Schräganströmung   |   | $\alpha = 90^\circ$<br>$\theta < 90^\circ$ | Draufsicht<br>    |
| Vertikale Schräganströmung   |  | $\alpha < 90^\circ$<br>$\theta = 90^\circ$ | Längsschnitt<br> |
| $v_A$ =Anströmgeschwindigkeit, $v_N$ =Normalgeschwindigkeit, $v_T$ =Tangentialgeschwindigkeit,<br>$\alpha$ =vertikaler Anströmwinkel, $\theta$ =horizontaler Anströmwinkel |  |  |  |

Abbildung 4.37: Geschwindigkeitskomponenten (Quelle: KLOPRIES, 2013)

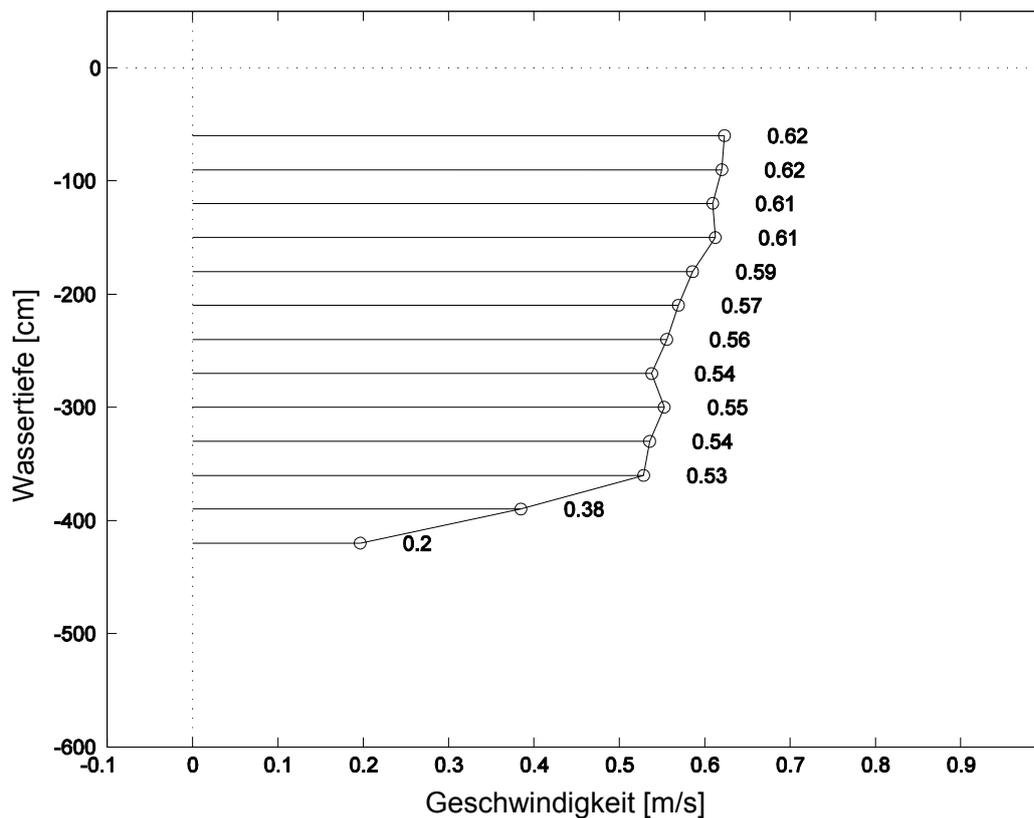
An der Wasserkraftanlage Wintrich würde beispielsweise ein Schrägrechen mit einem Anströmwinkel von  $30^\circ$  eine Lauflänge von 150 m annehmen. Unter der Annahme, dass am unterstromigen Ende des Rechens ein Bypass angeordnet ist, müsste ein Aal im schlechtesten Fall 150 m am Rechen entlangschwimmen, bis er den Bypass erreicht. Diese lange Strecke könnte sich negativ auf die Effizienz des Schutzsystems auswirken (KÖNGETER, 2003). Die Anforderungen an die bauliche Gestaltung einer solchen Großrechenanlage sowie die erforderlichen Rechenreinigungsmaschinen wären sehr hoch. Eine ordnungsgemäße Reinigung ist nicht nur wegen der Betriebssicherheit und der Minimierung der Rechenverluste wichtig, sondern auch, um einheitliche Strömungsgeschwindigkeiten zu gewährleisten und so negative Einflüsse auf die Fische zu vermeiden.

#### b) Naturmessungen

Für die nächsten beiden Schritte zur Planung einer geeigneten Barriere an den Moselkraftwerken wurden Daten aus anderen Untersuchungen genutzt, genauer gesagt, Ergebnisse von Naturmessungen. Im Oberwasser der Moselkraftwerke Trier und Wintrich sind die Fließgeschwindigkeiten und die Wasserstände während bestimmter Abflüsse ermittelt worden (KÖNGETER UND SPORK, 1995; SCHWANENBERG ET AL., 2002). Die mittlere Fließgeschwindigkeit wurde mit 1,0 m/s ermittelt und die maximalen Fließge-

schwindigkeiten im Bereich des Trennpfeilers mit 2,0 m/s. An den Uferböschungen und entlang der Gewässersohle reduzieren sich diese aufgrund der Reibungskraft auf bis zu 0,2 m/s (vgl. Abbildung 4.38)

Die gewonnenen Daten dienen der Kalibrierung des numerischen Modells. Durch die Kalibrierung mit den Daten aus den Naturmessungen konnte die Aussagekraft der Modellergebnisse erhöht werden.

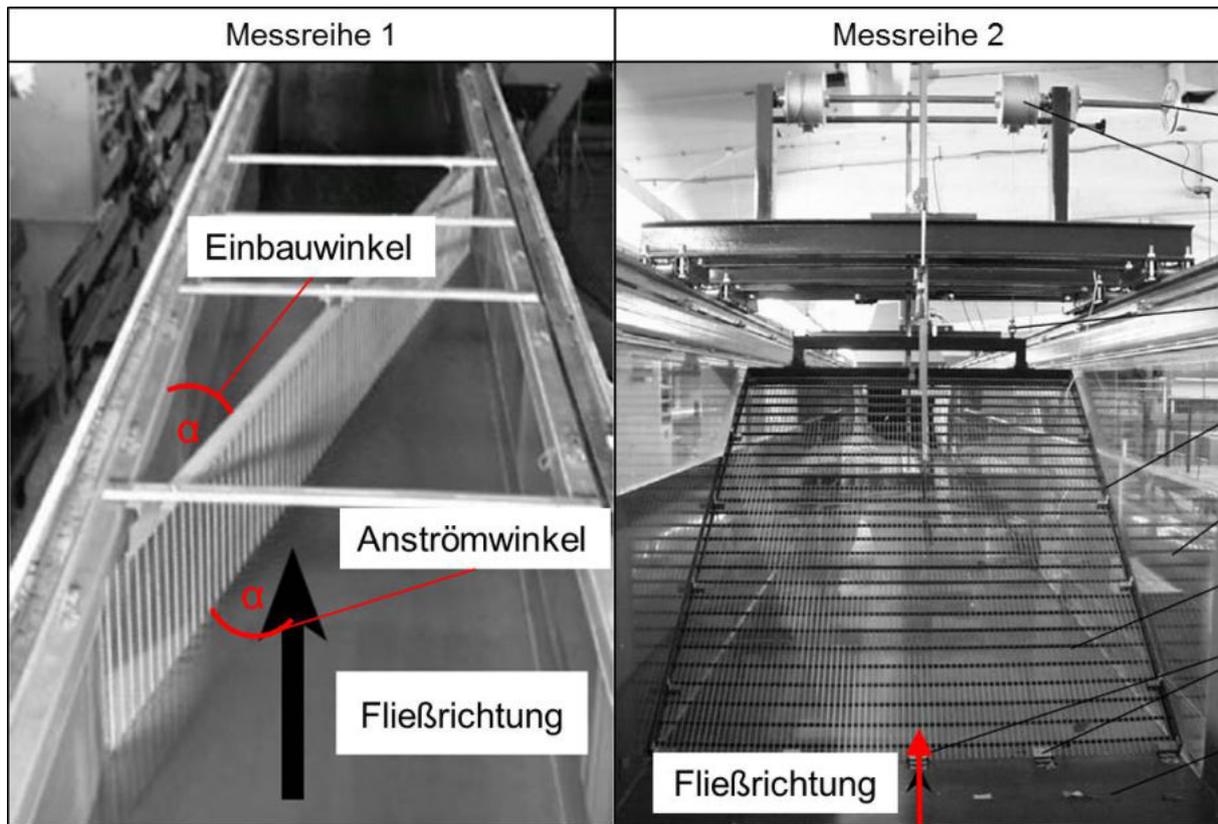


**Abbildung 4.38:** Vertikales Geschwindigkeitsprofil an Mosel-km 212 in der Stauhaltung Trier bei  $Q = 290 \text{ m}^3/\text{s}$  am 8. Dezember 1999 (SCHWANENBERG ET AL., 2002)

### c) Laborversuche

Vom IWW wurden im Jahr 2000 physikalische Modellversuche durchgeführt (vgl. Abbildung 4.39). Diese hatten das Ziel, einen funktionalen Zusammenhang zwischen den Energieverlusten, der Anströmgeschwindigkeit sowie dem Anströmwinkel herzustellen. Als Grundlage für die Ermittlung der Energieverluste wurden die in der Forschung vorhandenen Formeln zur Bestimmung der Energieverlusthöhen genutzt (REUTER ET AL., 2001). Diese beinhalten, dass die Höhe der Energieverluste positiv mit dem Quadrat der Geschwindigkeitshöhe korreliert ist (MEUSBURGER, 2002). RETTEMEIER (2000) stellte jedoch fest, dass die vorhandenen Gleichungen die tatsächlichen Verluste oft unterschätzen. Um die tatsächlichen Verluste abschätzen zu können, wurden für ausgewählte Rechenvarianten in physikalischen Modellversuchen in der Kiprinne des IWW die Energieverluste bestimmt. Auf einer Länge von 10 m beziehungsweise 14 m wurden zwei Messreihen durchgeführt.

In Messreihe 1 wurde ein Schrägrechen mit 10 mm Stababständen untersucht (vgl. Abbildung 4.39). Um später Aussagen über den Zusammenhang des Anströmwinkels und der Anströmgeschwindigkeit mit den Energiehöhenverlusten zu treffen, wurden sowohl der Anströmwinkel als auch die Anströmgeschwindigkeit variiert. In der Messreihe 2 wurde ein geneigter Rechen ebenfalls mit 10 mm Stababständen und unterschiedlichen Anströmwinkeln getestet (vgl. Abbildung 4.39).



**Abbildung 4.39:** Modellvarianten des physikalischen Modellversuchs am IWW (links: Messreihe 1 – Schrägrechen mit horizontalen Stäben, rechts: Messreihe 2 – geneigter Rechen mit vertikalen Stäben) (Quelle: REUTER ET AL., 2001)



**Abbildung 4.40:** Titelseite des Abschlussberichts zu den physikalischen Modellversuchen an Fischechutzrechen am IWW (REUTER ET AL., 2001)

Die Einbauwinkel der Rechenvarianten wurden gemäß den Ergebnissen der numerischen Simulation eingestellt und variiert. Durch die beiden Messreihen und die Variation der Geschwindigkeit sowie des Einbauwinkels ließ sich ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Energieverlusthöhe, dem Anströmwinkel sowie der Anströmgeschwindigkeit herstellen (vgl. Abbildung 4.41). Es ist deutlich die Korrelation der Energieverluste mit der Anströmgeschwindigkeit zu erkennen. KÖNGETER (2003) stellte den in Gleichung (4.1) angegebenen Zusammenhang zwischen der Höhe der Energieverluste und der Anströmgeschwindigkeit her.

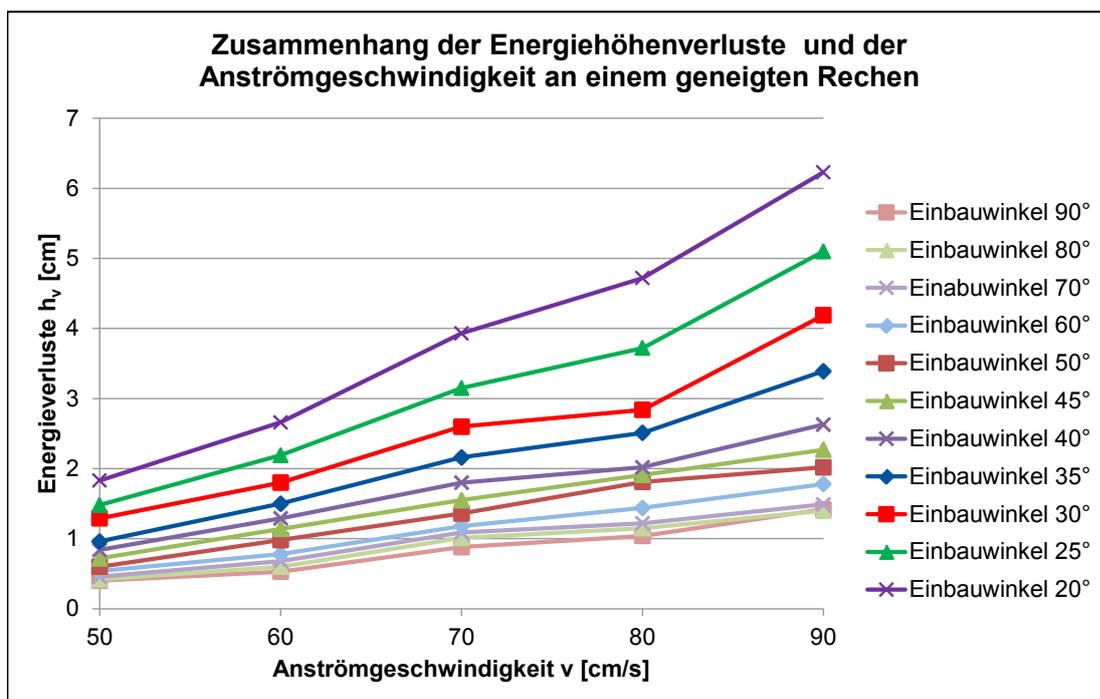
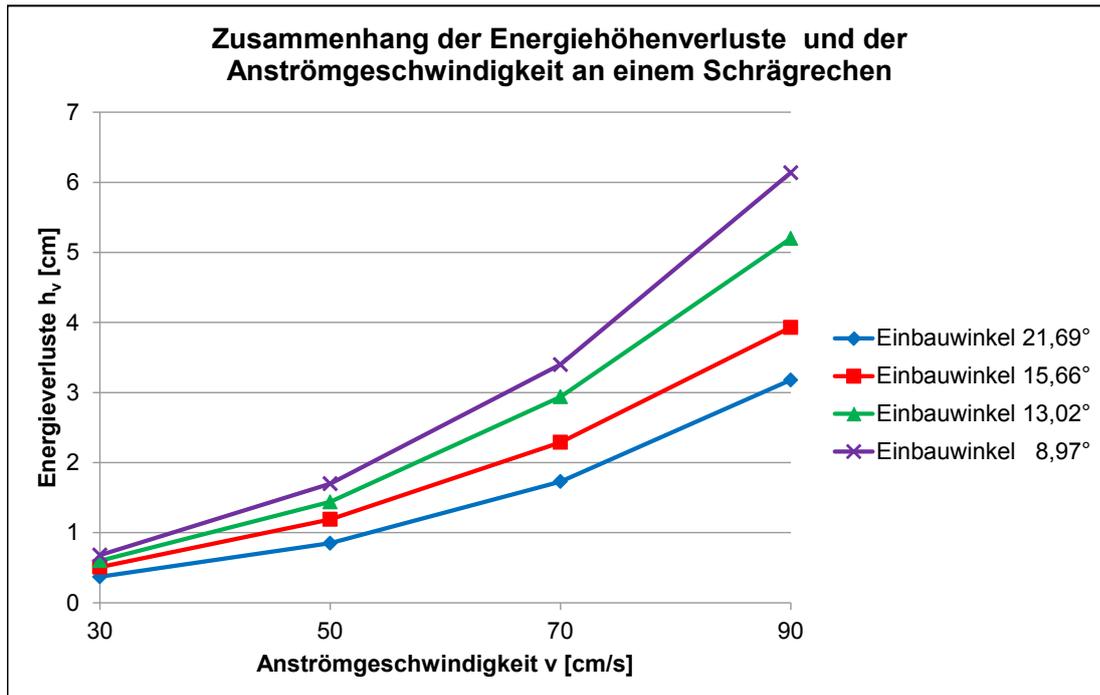
$$h_v \approx \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4.1)$$

$h_v$  = Energieverlusthöhe [m]

$\zeta$  = Verlustbeiwert [-]

$v$  = Anströmgeschwindigkeit [m/s]

Außerdem ist aus der grafischen Darstellung der Verlusthöhen zu erkennen (vgl. Abbildung 4.41), dass der Verlustbeiwert  $\zeta$  größer wird, je kleiner der Einbauwinkel  $\alpha$  ist. Das bedeutet, je schräger der Rechen angeordnet ist, desto höher sind die Energieverluste. REUTER ET AL. (2001) vermuten, dass dieser Effekt auf dem höheren Verbauungsgrad beruht, der bei den schrägeren Rechenvarianten auftritt.



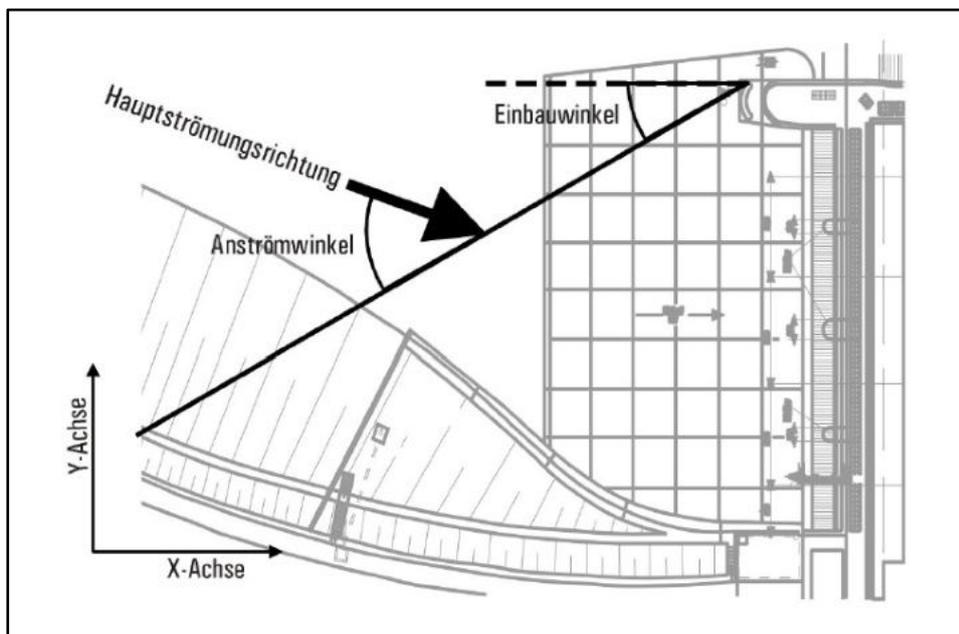
**Abbildung 4.41:** Darstellung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Energieverlusthöhe, Anströmgeschwindigkeit und Anströmwinkel (oben: Messreihe 1 – Schrägrechen, unten: Messreihe 2 – geneigter Rechen) (nach: REUTER ET AL., 2001)

Die in den physikalischen Modellversuchen ermittelten Energieverluste konnten nun im numerischen Modell zur Darstellung des Einflusses des Rechens genutzt werden. Auf diese Weise ließen sich die Strömungsverhältnisse vor der Wasserkraftanlage realistischer darstellen und die Aussagekraft des numerischen Modells steigern.

#### d) Theoretische Untersuchungen

Im Zuge der Untersuchung des Rechens, der damit einhergehenden Energieverluste und der möglichen Positionierung eines Bypasses stellte das IWW theoretische Überlegungen an (KÖNGETER, 2003). Dabei wurde am Beispiel der Wasserkraftanlage Wintrich ermittelt, dass zur Einhaltung der beiden Aspekte „bestmögliche Aalableitung“ (Fließgeschwindigkeit vor dem Rechen  $\leq 0,5$  m/s und Länge der Rechenfläche  $\leq 150$  m) sowie „wirtschaftlicher Kraftwerksbetrieb“ (Energieverluste und Kosten für Tragkonstruktion zumutbar) ein Anströmwinkel des Schrägrechens von  $35^\circ$  gewählt werden müsste, was einem Einbauwinkel von  $15^\circ$  entspräche (Abbildung 4.42).

In Hinblick auf die Position der Bypassöffnung bei einem solchen Schrägrechen wurde festgestellt, dass ein Bypass nach Möglichkeit am unterstromigen Ende eines Schrägrechens angeordnet werden sollte (TURNPENNY ET AL., 1998). Auf diese Weise werden die Fische durch die auftretende Tangentialströmung zum Bypass geleitet.



**Abbildung 4.42:** Verhältnis Einbauwinkel und Anströmwinkel an der Wasserkraftanlage Wintrich (KÖNGETER, 2003)

Bei der Wasserkraftanlage Wintrich wurden die unterschiedlichen Varianten A bis E geprüft (KÖNGETER, 2003) (vgl. Abbildung 4.43):

- Variante A: Bypass zwischen Rechen und Trennpfeiler
- Variante B: Bypass auf der Seite des ersten Wehrfeldes
- Variante C: Bypass in einem zusätzlichen Ableitungsgerinne zwischen Trennpfeiler und Wehrpfeiler
- Variante D: Bypass im Bereich der Turbine neben dem Wehr

- Variante E: Bypass in Form einer Bodengalerie (an der Sohle angebrachte und zur Uferseite hin geöffnete Bypass-Struktur, die das Umkehrverhalten der Aale ausnutzt)

Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, dass die genannten Varianten alle signifikante Nachteile aufwiesen. Bei einem Schrägrechen hin zu einem unterstromigen Bypass im Bereich des Trennpfeilers würden sich beispielsweise Anströmgeschwindigkeiten über 1 m/s einstellen, was zu hoch ist, und ein Anpressen der Aale wäre nicht auszuschließen. Entweder lagen die Bypässe in Bereichen mit ungünstigen Strömungsbedingungen für die Fische oder die Machbarkeit war aus bautechnischen und wirtschaftlichen sowie rechtlichen Gründen auf Basis des damaligen Kenntnisstands nicht gegeben. So könnte es bei Variante C zu einer Reduzierung des Abflussvermögens im Hochwasserfall kommen, da es durch den Bau eines zusätzlichen Trennpfeilers und eines Ableitungsgerinnes im Bereich des Wehrfeldes zu einer Reduzierung des Abflussquerschnitts kommt.

Eine solche Verschlechterung des Hochwasserschutzes war und ist aus rechtlichen Gründen nicht zulässig, sodass die Planung einer solchen Maßnahme außerdem die Prüfung der Hochwassersituation am Standort erforderlich machen würde.

Im Fall der Bodengalerie kam hinzu, dass das System bis zu dem Untersuchungszeitpunkt nicht in der Natur getestet worden war und daher keine Aussagen zur Wirksamkeit vorlagen. Um die einzelnen Varianten im Detail bewerten zu können, hätte es jedoch mehr Wissens über das Verhalten der Aale an einem Schrägrechen beziehungsweise vor einer Wasserkraftanlage bedurft. Ohne dieses Wissen war es nicht möglich, ein geeignetes System für das Abweisen und Umlenken der Aale an großen Wasserkraftanlagen, wie zum Beispiel in Wintrich, zu entwickeln. Die wesentlichen Schwierigkeiten lagen nach KÖNGETER (2003) bei der Anordnung und Dimensionierung des Bypasses. Allerdings wirft auch die Länge des Rechens die Frage auf, ob eine solche Ausführung aus biologischer Sicht zielführend wäre.

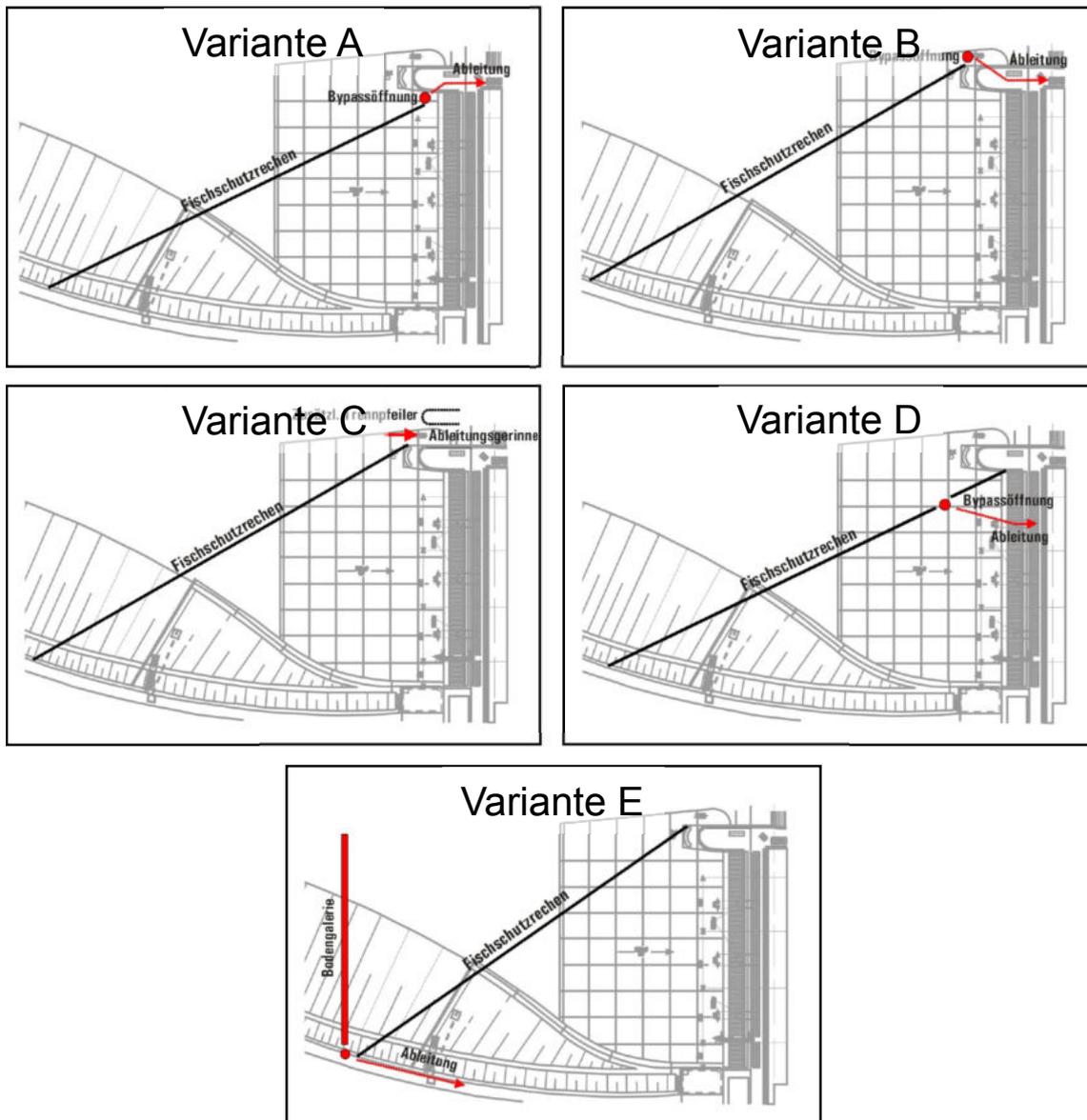


Abbildung 4.43: Untersuchte Bypassvarianten A bis E für die Wasserkraftanlage Wintrich (nach: KÖNGETER, 2003)

#### 4.4.3 Wirkung

Die biologische Wirksamkeit von reinen Verhaltensbarrieren (Scheuchanlagen) ist nach THON (1999), LARINIER UND TRAVADE (2002), DUMONT ET AL. (2005) und TURNPENNY ET AL. (1998) als unzuverlässig zu beschreiben (vgl. Abschnitt 4.1.2 und 4.4.1). Da die Verhaltensbarrieren keine physischen Barrieren darstellen, besteht immer die Möglichkeit, dass die Fische unter bestimmten Bedingungen hindurchschwimmen. So kann es bei zu großen Fließgeschwindigkeiten oder bei Fehlen eines geeigneten alternativen Wanderwegs dazu kommen, dass die Fische die Verhaltensbarriere passieren und somit doch in den Einlauf des Kraftwerks gelangen (DUMONT ET AL., 2005).

Für mechanische Barrieren besteht das Problem des Durchschwimmens unter normalen Umständen nicht. Ist die lichte Weite einer mechanischen Barriere richtig gewählt worden, so können die Fische

diese nicht passieren und gelangen somit nicht in die Wasserkraftanlage. Schäden können jedoch am Rechen und durch den Betrieb der Rechenreinigung entstehen. Das Zusammenspiel von Anströmgeschwindigkeit, Anströmwinkel und Positionierung des Rechens und des Bypasses haben einen Einfluss auf die biologische Wirksamkeit, die Schädigung der Fische an der Barriere selbst sowie die Betriebssicherheit und die Kosten der Barriere. Die Auffindbarkeit sowie die Akzeptanz des Bypasses sind dabei zwei wichtige Faktoren. Ein System, das technisch umsetzbar und wirtschaftlich tragfähig ist und auch die ökologischen Anforderungen erfüllt, stellt gegebenenfalls eine Kompromisslösung dar. Es gibt Systeme mechanischer Barrieren an kleinen Wasserkraftanlagen ( $< 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ), für die eine hohe biologische Wirksamkeit von mehr als 80 % in Freilandstudien beobachtet wurden (EBEL, 2013). Für die Wasserkraftanlage Wintrich hat die Nutzwertanalyse im Jahr 2002 keine vielversprechende Lösung erbracht (KÖNGETER, 2003).

Bei richtiger Ausführung können mechanische Barrieren die wasserkraftbedingte Mortalität zu einem großen Teil nachhaltig beheben. Je nachdem, wie sie ausgeführt worden sind, können sie für eine Vielzahl der Fischarten eines Gewässers einen Schutz bieten. Bei der Nachrüstung von Kraftwerken und bei größeren Wasserkraftanlagen sind die Investitions- und Betriebskosten jedoch sehr hoch. Die Investitions- und Betriebskosten von Verhaltens- und mechanischen Barrieren hängen von der jeweiligen Ausführung der Barriere ab. Für Verhaltensbarrieren sind die Investitions- und Betriebskosten jedoch gering verglichen mit mechanischen Barrieren. So kann beim Bau einer Wasserkraftanlage die Installation eines Schutzrechens für Fische Mehrkosten in Höhe von 9 % bis 13 % verursachen (DUMONT ET AL., 2005). Im Fall eines Schrägrechens steigen die Investitionskosten zusätzlich, wenn der Einbauwinkel kleiner gewählt wird und die Lauflänge des Rechens damit steigt. Ein geringerer Einbauwinkel bedeutet normalerweise eine Verbesserung der biologischen Wirksamkeit. Somit steigen die Investitionskosten bei einer Verbesserung der biologischen Wirksamkeit.

Die Betriebskosten einer mechanischen Barriere hängen zu einem Großteil von der Häufigkeit und dem Ausmaß der Rechenreinigung zusammen. Weitere regelmäßige Kosten, die durch eine mechanische Barriere entstehen, sind die Opportunitätskosten, die durch die Energieverluste an dem Rechen entstehen. Durch die Energieverluste wird die Fallhöhe der Wasserkraftanlage und somit deren Leistung reduziert. Ähnliches gilt für die Wassermenge, die zur Dotation des Bypasses genutzt wird. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mechanische Barrieren sowohl bei den Investitions- als auch bei den Betriebskosten hohe Werte erzielen und aufgrund des fehlenden Stands der Technik bei großen Bestandsanlagen derzeit nicht umsetzbar sind. Derzeit gibt es daher von der Aalschutz-Initiative keine Untersuchungen in der Projektaktivität *C Abweisen und Umlenken*.

Die anfangs klare Unterteilung in mechanische Barrieren und Verhaltensbarrieren hat sich im Laufe der Jahre mit zunehmendem Wissen über die Abwanderung von Fischen an Wasserkraftanlagen immer weiter aufgelöst. Nach heutiger Sicht ist die Kombination aus Rechen und Bypass eine erstrebenswerte Alternative, bei der Elemente der physikalischen Barriere und der Verhaltensbeeinflussung kombiniert werden. Der Rechen übernimmt dabei als sogenannter Leitrechen sowohl die Funktion als mechanische als auch als verhaltensbeeinflussende Barriere. Ersteres soll durch die Verwendung ausreichend enger Rechenstababstände sichergestellt werden. Durch die Schrägstellung des Rechens soll zusätzlich eine verhaltensbeeinflussende Wirkung erzielt werden. Durch die Neigung des Rechens könnte sich aufgrund der teilweise parallel zum Rechen verlaufenden Strömung eine Leitwirkung einstellen. Ist am unterstromigen Ende des Rechens ein ausreichend dimensionierter Bypass vorhanden, so könnten die Fische in diesen geleitet werden und schadlos aus dem Oberwasser der Wasserkraftanlage in das Unterwasser

abwandern. Für kleine Anlagen bis 100 m<sup>3</sup>/s gibt es bereits Bemessungsempfehlungen für solche Leitrechen-Bypass-Systeme (EBEL, 2013). Für größere Bestandsanlagen wie den Moselkraftwerken ist die Umsetzung solcher Systeme noch nicht erprobt und birgt aus technischer Sicht Schwierigkeiten.

**Tabelle 4.6:** Wirkung der Projektaktivität C – *Abweisen und Umlenken*

|  |                             |        | Abweisen und Umlenken (mechanische Barrieren) |
|--|-----------------------------|--------|---|
| Biologische Wirksamkeit (betroffene Aale)                    |                             |        |   |
| Wirtschaftlichkeit   | Investitionskosten          |        | *   |
|  | Betriebskosten              |        | *   |
| Vermeidung der wasserkraftbedingten Mortalität (alle Fische) |                             |        |   |
| Hohe Wirkung/niedrige Kosten                                 | Geringe Wirkung/hohe Kosten | unklar | * zurzeit nicht umsetzbar                     |

## 5 Fazit/Bilanz/Zielerreichung

### 5.1 Hauptziel

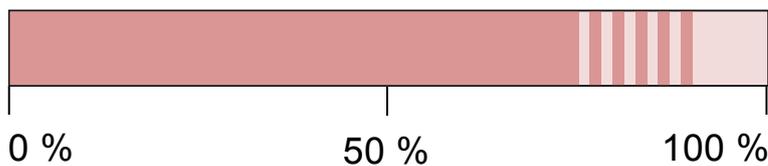
*„Verhinderung oder erhebliche Verminderung der Fischereischäden durch den Turbinenbetrieb in den Laufwasserkraftwerken der Mosel und Saar“*

Auch wenn sich weder die Bezirksregierungen Trier und Koblenz noch die RWE Energie AG bei Vertragsabschluss darüber im Klaren waren, auf wie viele Jahre das Projekt „Aalschutz-Initiative“ angelegt sein würde, ist von Beginn an von einem längeren Untersuchungs- und Projektfindungsprozess ausgegangen worden. Zur Zielerreichung wurden – wie im vorherigen Text beschrieben – auf der Projektfindungskonferenz in Bernkastel-Kues im Jahr 1998 praktikable Unterziele formuliert, die in entsprechenden Projektaktivitäten mündeten.

### 5.2 Unterziel A

*„Möglichst viele Blankaale werden von den Kraftwerken von möglichst allen Berufsfischern der Mosel (und dem Fischereiverband FUW an der Saar) gefangen und in ein sicheres Gewässer zur Fortsetzung der Wanderung verbracht – Fischen und Umsetzen“*

Zielerreichung:



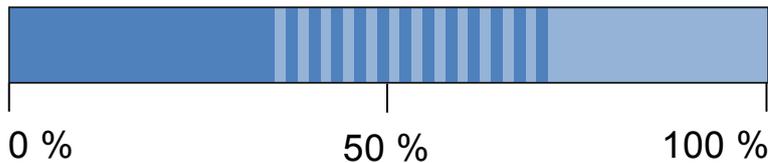
Ein wesentliches Hindernis für den erfolgreichen Fang von Blankaalen stellt das Verbot der handwerklichen Fischerei in den Sperrzonen vor den Wasserkraftanlagen dar. Daher wird die Zielerreichung auf 75 % gesetzt. Sie könnte ohne die obige Einschränkung über 90 % liegen.

Die Möglichkeiten für die familiengeführten Fischereibetriebe an der Mosel sind weitestgehend ausgeschöpft worden. Die zunächst als Überbrückung gedachte Methode des Fangens und Umsetzens besteht nunmehr seit 18 Jahren, wurde international anerkannt und hat als Beispiel für ähnliche Unternehmungen an Neckar, Main und anderen Flüssen gedient. Mit einer Steigerung der Überlebensquote von 23 % (vor der Initiative) auf circa 48 % ist eine erhebliche Verminderung der Schadenshöhe erreicht worden.

### 5.3 Unterziel B

*„Ein Modell zur Früherkennung von Abwanderungsereignissen ist entwickelt worden und wird zur Steuerung der Turbinen für einen bestmöglichen Schutz der Aale eingesetzt – Früherkennen und Steuern“*

Zielerreichung:



Prognostizierte Erkenntnisse auf der Basis tagesgenauer Aalfänge konnten in den letzten Jahren nur bedingt gefestigt werden. Eine umfangreiche aktuelle Arbeit nährt die Hoffnung auf 70 % Zielerreichung in den Jahren 2016/2017.

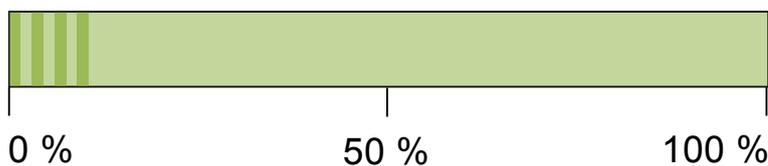
Ein erster Versuch, das Unterziel B zu erreichen, ist mit der Universität Trier (Hydrologie, Prof. Dr. Symader) auf der Grundlage moderner Hochwasservorhersagen begonnen worden. Fehlende Datenreihen zu der die Wanderung auslösenden Abiotik mit tagesgenauen Blankaalfängen führten zur Entwicklung eines Fangfloßes vor dem Kraftwerk Trier. Diese Fischereiversuche, die aufgrund personeller Engpässe nicht weitergeführt werden konnten, konnten erst 2009 mit personeller Unterstützung durch die FH Trier an den Standorten Enkirch (Befischung mittels Kran) und in Lehmen (Befischung mittels Kettenreusen vor der Sperrzone) wieder aufgenommen werden.

Die sich daraus ergebende Dissertation an der Universität Luxemburg gibt Anlass zur Hoffnung auf die Entwicklung eines nutzbaren Frühwarnsystems. Darüber hinaus bleibt die Detektion abwandernder Blankaale (Vorrang: Entwicklung einer In-situ-Technik) für die Steuerung eines Frühwarnsystems eine noch offene Frage. Entwickelt und umgesetzt ist eine fischangepasste Turbinensteuerung an den Moselkraftwerken zu vermuteten Abwanderungsereignissen. Die schwierige Datengewinnung findet in einer ausgeprägten Depression der europäischen Aalpopulation statt, die auch durch den kontinuierlichen Besatz nicht ausgeglichen werden konnte

#### 5.4 Unterziel C

*„Es ist möglich, ein Einschwimmen von Aalen in die Turbinen zu verhindern und einen neuen Weg zur Passage der Stauwehre zu schaffen – Abweisen und Umlenken“*

Zielerreichung:



Trotz vielfältiger externer Forschungs- und Entwicklungsaufträge wurde dieses Ziel aufgrund technischer sowie finanzieller Aspekte zusammen mit ungenügenden Erfolgsaussichten nicht weiter bearbeitet.

Diese Vorstellung eines Lösungsansatzes war mit der Vergabe von vielfältigen externen Forschungs- und Entwicklungsaufträgen verbunden. Auch wenn sich die technische Vorstellung für einen praktikablen Fischschutz bei abwärts gerichteten Fischwanderungen in den letzten 15 Jahren enorm verbessert hat, liegen noch keine technischen Lösungen an bestehenden und insbesondere großen ( $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) Laufwasserkraftanlagen vor. Es wurde nachgewiesen, wie unsicher mögliche Umbaumaßnahmen an bestehenden großen Wasserkraftanlagen in ihren Wirkungen sind. Außerdem wurde belegt, dass solche Umbaumaßnahmen große technische Unwägbarkeiten mit sehr hohen Kosten darstellen würden.

## 5.5 Wissensmehrung

Mit der Schrifttumsanalyse des internationalen Wissens und der Zusammenstellung der Erkenntnisse um die biologischen Eigenschaften des Blankaals aus dem Jahr 1998 wurde begonnen, bestehende Wissenslücken durch Aufträge an Universitäten zu schließen. Das Verhalten des Blankaals in der stauregulierten Mosel wurde mit telemetrischen Untersuchungen ansatzweise aufgeklärt. Biometrische Untersuchungen an Blankaalen lieferten wichtiges Hintergrundwissen zur Aalpopulation. Die Auswertung der Universität Trier, der FH Trier und der Universität Luxemburg über eine breit und tief angelegte Studie zur Aalfischerei an der Mosel und zu den Gefährdungsursachen und Möglichkeiten zur Verbesserung wurde erstellt.

## 5.6 Projektstruktur und eingesetzte Mittel

Eine Projektleitung wurde vonseiten des Landes und seitens RWE Power unentgeltlich und ohne Probleme bereitgestellt. Da jedoch die Steuerung eines zunehmend komplexer werdenden Projektes als zusätzliche Aufgabe der jeweiligen Bediensteten geleistet werden muss, wäre eine zusätzliche Bereitstellung von Personal zur Erfüllung der Aufgaben sehr wünschenswert. Eine öffentlichkeitswirksame Verbreitung der im Laufe des Projektes gewonnenen Erkenntnisse war so nur ansatzweise möglich. Ein Projektantrag an die Europäische Union als „Concerted Action“ zusammen mit Irland, den Niederlanden und Norwegen aus dem Jahr 1999 wurde nicht angenommen.

Die erforderlichen Aktivitäten zur Erreichung der Ziele konnten mit einer umsichtigen und mittelfristigen Planung finanziert werden. Mittel für wünschenswerte personelle Unterstützung waren nicht vorhanden. Die Finanzsteuerung durch RWE Power hat sich als richtige Entscheidung bei der Vertragsabfassung erwiesen.

Die Ausgestaltung der Initiative und die verfolgten Leitgedanken haben eine konstruktive, zielorientierte und wertvolle Zusammenarbeit zwischen Landesbehörden, Berufsfischern, Wissenschaft und Betreiber ermöglicht.

## 6 Ausblick

Die bisher durchgeführten Maßnahmen und Studien haben bereits zur Verbesserung des Wissensstands über den Aal und seine Anforderungen an Schutzmaßnahmen beigetragen. Mit der Soforthilfe und der fischangepassten Steuerungsweise wird der Aalbestand in Kombination mit Besatzmaßnahmen gestärkt. Es bestehen aber noch immer große Wissensdefizite in einzelnen Bereichen, die erforscht werden müssen. Die Aalschutz-Initiative selbst hat weder den Anspruch noch den Auftrag, alle Fragen eigenständig zu untersuchen. In Abhängigkeit von den Möglichkeiten und den spezifischen Bedingungen an der Mosel werden folgende Schwerpunkte gesetzt:

### **Biologie der Abwanderung des Moselaals**

Die Literaturrecherchen, Markierungsversuche, systematischen Befischungen und die Erfahrungen der Berufsfischer an der Mosel haben bereits Hinweise darauf gegeben, wie sich Blankaale bei ihrer flussabwärts gerichteten Wanderung verhalten und durch welche Umweltfaktoren ihre Wanderung ausgelöst werden könnte. Es konnten bislang Indizien für die kausalen Zusammenhänge zwischen den Umweltfaktoren und der Abwanderung identifiziert werden, die durch systematische Befischungen an den Staustufen Enkirch und Lehmen vertieft werden. Das Gemeinschaftsprojekt der Uni Luxemburg und der Hochschule Trier ist zunächst für den Zeitraum von 2013 bis 2016 angelegt.

Die verschiedenen fischereibiologischen Erhebungen der Jahre 1993, 1999, 2002, 2009, 2010 und 2011 haben Hinweise darauf gegeben, wie sich der Aal bei seiner flussabwärts gerichteten Wanderung verhält und durch welche Parameter seine Wanderung ausgelöst wird. Dabei hat sich herausgestellt, dass der Aal bevorzugt nahe der Sohle abwandert und seine Wanderung überwiegend nachts bei schnell und stark steigenden Abflüssen beginnt (OBERWAHRENBROCK ET AL., 1998; BEHRMANN-GODEL UND KOWALSKI, 2002; WOCHER, 2003; GIER ET AL., 2011, WENDLING, 2012B, 2012A). Diese Aussagen sind jedoch häufig nicht ausreichend wissenschaftlich hinterlegt. Die Hauptprobleme dabei sind die unterschiedlichen Untersuchungszeiträume und Untersuchungspunkte sowie weitere Randbedingungen, die sich im Laufe der Fischereiversuche verändert haben. Wichtig für eine aussagekräftige Datenbasis zu dem Verhalten und den Auslösern der Aalwanderung ist es, die Versuche kontinuierlich, an den gleichen Untersuchungsorten und mit den gleichen Fangmethoden in möglichst kurzen Beobachtungszeiträumen (etwa einem Tag) fortzuführen.

Nur wenn es belastbare Statistiken zu der Abwanderung der Blankaale gibt, die sich speziell auf die Mosel beziehen, kann ein Modell zur Prognose der Abwanderungszeiträume und eventuell der Abwanderungsintensität im Verlauf der Mosel erstellt werden (WENDLING, 2012B, 2012A). Die Auswertung der Daten und die Entwicklung eines sensiblen Frühwarnsystems werden in einem Projekt der Aalschutz-Initiative mit der Universität Luxemburg und der Fachhochschule Trier intensiv bearbeitet.

### **Fischangepasste Betriebsweise**

Parallel wird an der Optimierung der fischangepassten Betriebsweise gearbeitet. Das Umschaltkonzept, das vom Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University entwickelt und in einem Steuerungshandbuch festgehalten wurde, beruht auf dem Prinzip, möglichst viele Turbinen voll zu beaufschlagen, um so den Abstand zwischen den Laufradschaufeln zu erhöhen und die Verletzungswahrscheinlichkeit für abwandernde Blankaale zu reduzieren. Für dieses Konzept wurde eine theoretische Reduzierung der Schädigungsziffer von etwa 6 % berechnet. Allerdings ist diese theoreti-

sche Berechnung und auch die Vorteilhaftigkeit des fischangepassten Anlagenbetriebs grundsätzlich noch nicht mit praktischen Untersuchungen belegt worden.

Es ist daher wichtig, zu testen, ob die Angaben des Steuerungshandbuchs den wirksamsten Zustand wiedergeben oder ob das Handbuch gegebenenfalls optimiert werden könnte. Ein wichtiger Faktor bei diesen Untersuchungen stellt die weitere Auseinandersetzung mit dem zugrundeliegenden Prognosemodell für die Aalschädigung dar. Nur wenn die biologischen und physikalischen Zusammenhänge der Schädigungsmechanismen vor, während und nach der Turbinenpassage bekannt sind, können alle Einflussfaktoren für die Schädigung herausgestellt werden. Sind die genauen Einflussfaktoren bekannt, so kann weiter untersucht werden, ob sich durch andere oder weitere Steuerungsparameter der Wasserkraftanlagen die theoretische Schädigungsziffer reduzieren lässt.

Von Oktober 2013 bis Oktober 2016 wird diese Thematik im Rahmen einer Dissertation an der RWTH Aachen University in Kooperation mit der Aalschutz-Initiative und der RWE Power AG bearbeitet.

### **Fernerkundung der Aalwanderung**

Die im Auftrag der Aalschutz-Initiative entwickelte Detektorreue hat gezeigt, dass eine Detektion abwandernder Blankaale an einem ausgewählten Standort im Oberwasser einer Wasserkraftanlage grundsätzlich möglich ist. Es wird daher zurzeit geprüft, ob eine Weiterentwicklung der Detektorreue möglich ist, sodass sich zum einen die Handhabbarkeit verbessert und zum anderen die Verlässlichkeit der Detektionen erhöht.

Da sich seit der Entwicklung der ursprünglichen Detektorreue die Technik von Ultraschallsensoren weiterentwickelt hat, könnte die Genauigkeit der Detektorreue durch den Einsatz eines besseren Ultraschallsensors erhöht werden. Eine automatische, signalgesteuerte Erfassung abwandernder Aale im Fluss ist die Grundvoraussetzung für die Nutzung eines Frühwarnsystems, das abwanderungswillige Aale im Fluss detektiert. Die weitere Entwicklung zur Anwendung von Sonaren, die größere Bereiche der Abwanderungskorridore beziehungsweise der Wassersäule vor den Turbineneinläufen abdecken, soll verfolgt werden.

Neben der Detektorreue könnte die Abwanderung der Blankaale in der Mosel jedoch auch auf andere Weise detektiert werden. Eine Möglichkeit wäre die Verfolgung von zuvor besenderten Aalen mittels passiver Transponder. An einer oder mehreren Stellen müsste hierfür eine Empfangsstation in Form einer mit den Transpondern gekoppelten Antennenschleife an der Flusssohle errichtet werden. An den Empfangsstationen wird die jeweilige Transponder-ID der Fische mit dem jeweiligen Datum aufgezeichnet, sobald die Fische an der Station vorbeischwimmen.

Mit dem *NEDAP Trail System* ist ein solches System aus passiven Transpondern und Empfangsstationen bereits mit Aalen an der Maas in den Niederlanden erfolgreich eingesetzt worden (WINTER ET AL., 2006; WINTER ET AL., 2007). Im Jahr 1996 wurde das System erstmals im niederländischen Abschnitt des Rheins getestet (BREUKELAAR ET AL., 1998). Daher sind dort fest installierte Empfangsstationen eingerichtet, die noch immer genutzt werden. Es wird derzeit geprüft, ob eine Kooperation mit den Betreibern möglich ist, um Informationen über die komplette Wanderung der Mosel-Blankaale bis zur Mündung des Rheins zu bekommen.

### **Überlegungen zum Neubau der Fischpässe der Mosel**

Der geplante Neubau aller Fischpässe der Mosel wirft die Frage auf, wie mit den bestehenden Fischpässen zwischen Krafthaus und Wehrfeld umzugehen ist. Eine, wenn auch eingeschränkte, Funktion als Aufstiegsanlage wurde ihnen in den 1980er-Jahren bescheinigt.

Neue, nach heutigen Bemessungsansätzen geplante Fischpässe werden den Aufstieg auch für junge Aale aus dem Rhein in das Moselsystem verbessern. Der Platz der alten Fischpässe könnte in innovativen Lösungen für den Fischabstieg einbezogen werden.

## 7 Autoren und Mitwirkende

### Autoren



Elena-Maria Klopries,  
M. Sc. RWTH  
Lehrstuhl und Institut für  
Wasserbau und Wasser-  
wirtschaft, RWTH Aachen  
University  
klopries@  
iww.rwth-aachen.de



Ing. Susanne Teggers-  
Junge  
RWE Power AG  
susanne.teggers-  
junge@rwe.com



Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Holger Schüttrumpf  
Lehrstuhl und Institut für  
Wasserbau und Wasser-  
wirtschaft, RWTH Aachen  
University  
schuettrumpf@  
iww.rwth-aachen.de



Dipl.-Biol. Lothar Kroll  
Landesamt für Umwelt  
Rheinland-Pfalz  
Lothar.Kroll@lfu.rlp.de



Dipl.-Biol. Lothar  
Jörgensen †  
Struktur- und Genehmi-  
gungsdirektion Nord

## Mitwirkende - Berufsfischer der Mosel und des Rheins sowie Fischereiverband (FUW)



H. Seiler †  
Ehemaliger  
Vorsitzender  
Berufsfischer-  
vereinigung  
Rhein-Mosel  
1909 e.V.



M. Rosengarten  
Berufsfischer  
Stauhaltungen  
Trier und  
Schoden (Saar)



M. Schmitt  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Detzem



H.-J. Weber  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Wintrich



S. Hammes †  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Zeltingen



J. Birnfeld  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Zeltingen



E. Müllen  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Enkirch



H. Schneider  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
St. Aldegund



W. Blenz †  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Fankel



C. Barden  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Müden



T. Kröber  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Lehmen



H.-J. Riemer  
Berufsfischer  
Stauhaltung  
Koblenz



H. Nagelschmidt  
Berufsfischer  
St. Goar (Rhein)



G. Ohs  
Ehemaliger  
Verbands-  
vorsitzender  
FUW



Abbildung 7.1: Teilnehmer des jährlichen Arbeitstreffens der Aalschutz-Initiative in Bernkastel-Andel am 17. März 2016, von links nach rechts: oben: D. Wendling, M. Schmitt, C. Barden, J. Birnfeld, H. Schneider, F. Roth, unten: L. Jörgensen †, S. Wagner, L. Kroll, E.-M. Klopries, T. Kröber, E. Müllen, H.-J. Riemer

## Schlussbemerkung

Aus KROLL (2000):

*„Angesichts des hohen Entwicklungsstands der Technik von Wasserkraftanlagen ist es überraschend, dass die Vorrichtungen zum Schutz von Wanderfischen an Wasserkraftanlagen – soweit diese überhaupt vorhanden sind – bis heute nicht ausreichend überzeugen können beziehungsweise entwickelt worden sind. Die Diskussion um die betriebsbedingten Auswirkungen der Laufwasserkraftwerke auf Fischbestände war in der Vergangenheit beiderseits von unversöhnlichen Gegensätzen geprägt und damit fruchtlos.*

*Mit Einrichtung der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie haben sich alle Betroffenen zu konstruktiv miteinander arbeitenden Projektbeteiligten gemacht. Zur Projektmitarbeit konnten namhafte Fachleute, insbesondere aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften, hinzugewonnen werden. Das Projekt macht die Interdisziplinarität, die reflexive Iteration und den öffentlichen Diskurs zur Methode. Der gewünschte Projekterfolg zwingt zur fachlichen Grenzüberschreitung. Zur Lösung des Problems muss der Biologe versuchen, die mathematisch fassbaren Denkansätze des Ingenieurs zu verstehen, und umgekehrt muss der Techniker in die Offenheit biologischer Systeme ohne Irritationen eintauchen können. Somit kann das zielorientierte und gemeinsame Arbeiten in Projekten wie der Aalschutz-Initiative den klassischen Arbeitsfeldern der Biologen, aber mehr noch der Ingenieure wegen der ihnen angelasteten Technik-Verantwortung, eine zukünftig sicherlich verstärkt nachgefragte Umweltkompetenz zuwachsen.“*

## Literaturverzeichnis

- AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG (1999): Projektfortschrittsbericht 1. Stand der Arbeiten an den Projektzielen a, b und c zum Januar 1999. AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG. Trier.
- AARESTRUP, K.; OKLAND, F.; HANSEN, M. M.; RIGHTON, D.; GARGAN, P.; CASTONGUAY, M.; BERNATCHEZ, L.; HOWEY, P.; SPARHOLT, H.; PEDERSEN, M. I.; MCKINLEY, R. S. (2009): Oceanic Spawning Migration of the European Eel (*Anguilla anguilla*). In: *Science* 325 (5948), S. 1660.
- ACOU, A.; RIVOT, E.; VAN GILS, J. A.; LEGAULT, A.; YSNEL, F.; FEUNTEUN, E. (2011): Habitat carrying capacity is reached for the European eel in a small coastal catchment. Evidence and implications for managing eel stocks. In: *Freshwater Biology* 56 (5), S. 952–968.
- ADAM, B.; LEHMANN, B. (2011): Ethohydraulik. Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Heidelberg: Springer.
- AIDA, K.; TSUKAMOTO, K.; YAMAUCHI, K. (2003): Eel biology. Tokyo, New York: Springer.
- AOYAMA, J.; WATANABE, S.; MILLER, M. J.; MOCHIOKA, N.; OTAKE, T.; YOSHINAGA, T.; TSUKAMOTO, K. (2014): Spawning sites of the Japanese eel in relation to oceanographic structure and the West Mariana Ridge. In: *PLoS one* 9 (2), S. e88759.
- ARZBACH, D. H.-H.; BERG, D. R.; BRÄMICK, D. U.; BRECKLING, D. P.; FAßBENDER, D. U.; FÜLLNER, D. G.; HARTMANN, U.; HOFFSTADT, B.; KAMMERAD, B.; KLINGER, D. H.; KOCK, D. K. H. ET AL. (2005): Aquatische genetische Ressourcen. Nationales Fachprogramm zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung. BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ. Online verfügbar unter [http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/AquatischGenetischeRessourcen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/AquatischGenetischeRessourcen.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 24.03.2013.
- ATV-DVWK (2005): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen. Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. 2. korrigierte Auflage. Hennef: ATV-DVWK.
- BEAMISH, F. (1978): Swimming Capacity. In: *Fish Physiology*. W.S. Hoar, S. 101–187.
- BECKER, B.; GIER, F.; ROGER, S. (2010): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen. Anlage 3: Identifikation eines fängigen Standortes für die Detektorreuse, Test der Detektorreuse, Geräuschaufnahmen unter Wasser. Forschungsbericht. INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT RWTH AACHEN. Aachen.
- BECKER, B.; NOTERMANN, F.; REUTER, C.; SCHÜTTRUMPF HOLGER (2009 A): Entwicklung einer fischfreundlichen Turbinensteuerung für Laufwasserkraftwerke an der Mosel. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 53 (1), S. 4–12.
- BECKER, B.; QUAST, N.; SCHÜTTRUMPF, H. (2009 B): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen. Anlage 2: Entwicklung und In-situ-Test einer Aalreue mit Aktivitätsdetektor. Forschungsbericht. LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT, RWTH AACHEN.
- BECKER, B.; REUTER, C. (2008): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen – Implementierung und Prüfung von Aalschutzmaßnahmen. Anlage 1: Umsetzung der Optimierungsuntersuchungen in die Anlagensteuerung (Steuerungshandbuch). Forschungsbericht. Aachen.
- BECKER, B.; ROGER, S.; REUTER, C.; HEHENKAMP, A.; SCHÜTTRUMPF HOLGER (2009 C): Eine Ultraschall-Detektorreue zur Anzeige von Aalabwanderungen. In: *WasserWirtschaft* 9/2009, S. 30–36.
- BEHRMANN-GODEL, J.; KOWALSKI, R. L. (2002): Untersuchung zur Abwanderung der Blankaale (*Anguilla anguilla* L.) in Bezug zum Strömungsregime in der stauregulierten Mosel. Projektfortschrittsbericht. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG.

- BEZIRKSREGIERUNG TRIER (Hg.) (1998): Schutz der Fischerei an Wasserkraftanlagen in stauregulierten Flüssen. Dokumentation der Konferenz von 18. und 19. April 1996 in Bernkastel-Kues. Unter Mitarbeit von L. Kroll und K. Oberwahrenbrock. AALSCHUTZ-INITIATIVE RHEINLAND-PFALZ/RWE ENERGIE AG. 3. Aufl.
- BÖS, T.; EGLOFF, N.; PETER, A. (2012): Massnahmen zur Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an grösseren, mitteleuropäischen Flusskraftwerken. Zwischenbericht zum Literaturstudium der Eawag. EAWAG. Kastanienbaum.
- BRETANO, H. V.; PINEAU, C.; BECH, J. (1956): Vertrag vom 27. Oktober 1956 zwischen der Bundesrepublik Deutschland der Französischen Republik und dem Großherzogtum Luxemburg über die Schiffbarmachung der Mosel. Vertrag. Online verfügbar unter <http://www.moselkommission.org/downloads/37/Moselvertrag.pdf>, zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- BREUKELAAR, A.; BIJ DE VAATE, A.; FOCKENS, K. T. W. (1998): Inland migration study of sea trout (*Salmo trutta*) into the rivers Rhine and Meuse (The Netherlands), based on inductive coupling radio telemetry. In: *Hydrobiologia* (371/372), S. 29–33.
- BRUIJS, M.; POLMAN, H.; VAN AERSEN, G.; HADDERINGH, R. H.; WINTER, H.; DEERENBERG, C.; JANSEN, H.; SCHWEVERS, U.; ADAM, B.; DUMONT, U.; KESSELS, N. (2003): Management of silver eel: Human impact on downstream migrating eel in the river Meuse. Final Report Contract Q5RS-2000-31141.
- BUSSKAMP, R.; SCHMIDT, K.-H. (2003): Mittlerer jährlicher Abfluss und Abflussvariabilität. In: Günter Heinrich, Klaus Friedrich, Paul Gans, Alois Mayr, Jürgen Deiters, Christoph Becker und Herbert Liedtke (Hg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Heidelberg [u.a.]: Spektrum, Akad. Verl. (Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, 2), S. 126–129.
- BUTSCHEK, V.; HOFBAUER, J. (1956): Versuche über die Beschädigung von Aalen durch Kaplan turbinen. In: *Arch. Fischereiwiss.* 7 (45), S. 172–180.
- COOK, T. C.; HECKER, G. E.; FAULKNER, H. B.; JANSEN, W. (1997): Development of a More Fish-Tolerant Turbine Runner. Advanced Hydropower Turbine Project. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, IDAHO OPERATIONS OFFICE; HYDROPOWER RESEARCH FOUNDATION, INC.
- COUTANT, C. C.; WHITNEY, R. R. (2000): Fish Behavior in Relation to Passage through Hydropower Turbines: A Review. In: *Transactions of the American Fisheries Society* 2000 (129, 2), S. 351–380.
- DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Wasserrahmenrichtlinie – WRRL. Online verfügbar unter [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF), zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- DAVIES, J. (1988): A review of information relating to fish passage through turbines: implications to tidal power schemes. In: *Journal of Fish Biology* (33), S. 111–126.
- DEKKER, W. (2004): Slipping through our hands. Population dynamics of the European eel. [S.l.: s.n.].
- DEKKER, W. (2008): Coming to Grips with the Eel Stock Slip-Sliding Away. In: American Fisheries Society (Hg.): American Fisheries Society Symposium 62:xxx, S. 335–355.
- DIXON, D. (2001): Evaluation of Angled Bar Racks and Louvers for Guiding Fish at Water Intakes. Forschungsbericht. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI). Online verfügbar unter <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=00000000001005193&Mode=download>, zuletzt geprüft am 15.09.2014.

- DUMONT, U. (2012): Technische Maßnahmen zum Fischschutz und Fischabstieg. Präsentation bei der Auftaktveranstaltung des Forums „Fischschutz und Fischabstieg“ 26.04.2012. Bonn. Online verfügbar unter [http://forum-fischschutz.de/sites/default/files/Ullrich\\_Dumont.pdf](http://forum-fischschutz.de/sites/default/files/Ullrich_Dumont.pdf), zuletzt aktualisiert am 26.04.2012, zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- DUMONT, U.; ANDERER, P.; SCHWEVERS, U. (2005): Handbuch Querbauwerke. Handbuch. Hg. v. Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) Ministerium für Umwelt und Naturschutz. Online verfügbar unter [https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/handbuch\\_querbauwerke.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/handbuch_querbauwerke.pdf), zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- DURIF, C.; ELIE, P. (2008): Predicting downstream migration of silver eels in a large river catchment based on commercial fishery data. In: *Fisheries Management and Ecology* 15 (2), S. 127–137.
- EBEL, G. (2008): Turbinenbedingte Schädigung des Aals (*Anguilla anguilla*). Schädigungsraten an europäischen Wasserkraftanlagenstandorten und Möglichkeiten der Prognose = Turbine-related damage to eel (*Anguilla anguilla*) : damage rates at European hydropower stations and methods of prognosis. Halle (Saale): BGF (Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, 3).
- EBEL, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen ; Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Halle (Saale): Ebel Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie (Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie 4).
- EHLSCHEID, T.; MEID, M.; THRUN, I. (2002): Gewässergüte der Mosel in Rheinland-Pfalz 1964 bis 2000. Bericht. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ. Mainz. Online verfügbar unter <http://www.luwg.rlp.de/Wir-ueber-uns/Standorte/Gewaesser-Untersuchungsstation-Mosel-Saar-Fankel/binarywriterservlet?imgUid=6d970cd0-5d53-a401-be59-265f96529772&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>.
- ENVIRONMENT AGENCY (2009): Impact of barriers and flow on eel migration in East Anglia. Unter Mitarbeit von Ros Wright.
- EPRI; PALO ALTO; ALLEGHENY ENERGY SUPPLY; DOMINIOM; DUKE ENERGY CORP.; EXELON POWER; HYDRO-QUÉBEC; NEW YORK POWER AUTHORITY; ONTARIO POWER GENERATION INC.; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY HYDROPOWER PROGRAM (2001): Review and Documentation of Research and Technologies on Passage and Protection of Downstream Migrating Catadromous Eels at Hydroelectric Facilities, zuletzt aktualisiert am 12.10.2001.
- FEUNTEUN, E.; ACOU, A.; LAFFAILLE, P.; LEGAULT, A. (2000): European eel (*Anguilla anguilla*): prediction of spawner escapement from continental population parameters. In: *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* 57 (8), S. 1627–1635.
- FLADUNG, E.; SIMON, J.; BRÄMICK, U. (2012): Umsetzungsbericht 2012 zu den Aalbewirtschaftungsplänen der deutschen Länder 2008. Hg. v. Institut für Binnenfischerei e. V. NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDESENTWICKLUNG.
- GIER, F.; BECKER, B.; SCHÜTTRUMPF, H. (2012): Umsetzung der Optimierungsuntersuchungen in die Anlagensteuerung (Steuerungshandbuch). Anlage 1. LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT, RWTH AACHEN. Aachen.
- GIER, F.; ROGER, S.; LORKE, S. (2011): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen. Anlage 4: Auswertung der Fangergebnisse der Fischereiversuche 2010. Forschungsbericht. LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT, RWTH AACHEN. Aachen.
- GÖHL, C. (2004): Bypasseinrichtungen zum Abstieg von Aalen an Wasserkraftanlagen. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft Technischen Universität München. LEHRSTUHL UND VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT TU MÜNCHEN.

- HADDERINGH, R. H.; BAKKER, H. D. (1998): Fish Mortality due to Passage through Hydroelectric Power Stations on the Meuse and Vecht Rivers. In: Mathias Jungwirth, Stefan Schmutz und Steven Weiss (Hg.): Fish migration and fish bypasses. Oxford [England], Malden, MA: Fishing News Books; Distributor, USA, Blackwell Science, S. 315–328.
- HOLZNER, M. (2000): Untersuchungen über die Schädigung von Fischen bei der Passage des Mainkraftwerks Dettelbach. Dissertation. TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN. Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau.
- ICES (2001a): ICES COOPERATIVE RESEARCH REPORT NO.246. Forschungsbericht. Kopenhagen. Online verfügbar unter <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Cooperative%20Research%20Report%20%28CRR%29/crr246/CRR246.pdf>, zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- ICES (Hg.) (2001b): REPORT OF THE EIFAC/ICES WORKING GROUP ON EELS. ICES CM 2001 / ACFM 03. Forschungsbericht. Kopenhagen.
- ICES (2008): Report of the 2007 session of the Joint EIFAC/ICES working group on Eels. Bordeaux, France, 3-7 September 2007. Report. Online verfügbar unter <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2007/WGEEL/2007%20EIFAC-ICES%20Report-Final-01-09-08.pdf>, zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- ICES (2013): EIFAAC/ICES WGEEL REPORT 2013. Report of the Joint EIFAAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL). 18-22 March 2013 in Sukarietta, Spain, 4-10 September 2013 in Copenhagen, Denmark. Online verfügbar unter [http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2013/WGEEL/wgeel\\_2013.pdf](http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2013/WGEEL/wgeel_2013.pdf), zuletzt geprüft am 26.09.2014.
- ICES (Hg.) (2014): Report of the Joint EIFAAC / ICES / GFCM Working Group on Eel. Rom.
- IKSMS (2010): Bestandsaufnahme Biologische Durchgängigkeit im Einzugsgebiet von Mosel und Saar. Hg. v. Internationale Kommission zum Schutze der Mosel und Saar (IKSMS).
- INGENIEURBÜRO SCHMID (2015): Bericht zu den Peilungen auf der Mosel im Oberwasser der Staustufen Lehmen und Enkirch. Messungen vom 19./20.03.2015. Auftraggeber Rheinland-Pfalz Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord. Unter Mitarbeit von H. Niesler.
- INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DES RHEINS (IKSR) (Hg.) (2011): Bericht zur Kontamination von Fischen mit Schadstoffen im Einzugsgebiet des Rheins. Laufende und abgeschlossene Untersuchungen in den Rheinanliegerstaaten (2000-2010). Bericht Nr. 195.
- KAMMANN, U.; BRINKMANN, M.; FREESE, M.; POHLMANN, J.-D.; STOFFELS, S.; HOLLERT, H.; HANEL, R. (2014): PAH metabolites, GST and EROD in European eel (*Anguilla anguilla*) as possible indicators for eel habitat quality in German rivers. In: *Environ Sci Pollut Res* 21 (4), S. 2519–2530.
- KLOPRIES, E.-M. (2013): Dimensionierung und Anordnung von Fischschutzeinrichtungen vor Wasserkraftanlagen. Masterarbeit. RWTH AACHEN UNIVERSITY, Aachen. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.
- KNÖSCHE, R. (2015 A): Die Dynamik des Aalbestandes der deutschen Mosel, Einflussfaktoren, Möglichkeiten der Einflussnahme und Prognose. Studie im Auftrag von Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG. (unveröffentlicht).
- KNÖSCHE, R. (2015 B): Die Dynamik des Bestandes des Europäischen Aals, Einflussfaktoren und Möglichkeiten der Einflussnahme. Studie im Auftrag von Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG.

- KÖNGETER, J. (2003). Forschungsbericht. LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT, RWTH AACHEN.
- KÖNGETER, J.; SPORK, V. (1995): Moselkraftwerk Wintrich. Fließgeschwindigkeitsmessungen im Einlaufbereich des Kraftwerks. Forschungsbericht. Aachen.
- KROLL, L. (1996): Initiative zum Schutz der Aale in Mosel und Saar in Rheinland-Pfalz. In: *Fischer & Teichwirt* (2), S. 59.
- KROLL, L. (1998 A): Die Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. In: Bezirksregierung Trier (Hg.): Schutz der Fischerei an Wasserkraftanlagen in stauregulierten Flüssen. Dokumentation der Konferenz von 18. und 19. April 1996 in Bernkastel-Kues. Unter Mitarbeit von L. Kroll und K. Oberwahrenbrock. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. 3. Aufl., S. 34–35.
- KROLL, L. (1998 B): Strategie, Planung und Sofortmaßnahmen. In: Bezirk Unterfranken Fachberatung für Fischerei und Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz / RWE Energie AG (Hg.): Fische und Turbinen. Schutz der Fische vor Verletzungen in den Kraftwerksanlagen staugeregelter Flüsse. Symposium in Veichtshöchheim, 1.–17. November 1998, S. 28–34.
- KROLL, L. (2000): Laufwasserkraftwerke und der Schutz wandernder Fische – Lösungswege zu einer Koexistenz. Ein Bericht der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG (Teil 1). 30. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen 2000. Hg. v. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen.
- KROLL, L. (2015 A): Eel Protection Initiative (EPI) Rhineland-palatinate/RWE Power AG on the Moselle river with special reference to "catch and carry" methods. Fish passage 2015 International conference on river connectivity best practices and innovations. Groningen, 2015.
- KROLL, L. (2015 B): Ergebnisse eines Fang- und Transport-Projektes an Wasserkraftanlagen der Mosel und Saar. (Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG. Vortrag. Deutscher Fischereitag 2015. LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ. Rostock, 2015.
- KUTSCHERA, G.; REUTER, C. (2005): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland Pfalz/RWE Power AG. Abschlussbericht. Aachen.
- LANDTAG RHEINLAND-PFALZ (2009): Landesfischereigesetz. LFischG vom 09.12.1974.
- LARINIER, M.; TRAVADE, F. (2002): Downstream Migration: Problems and Facilities. In: *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, S. 181–207.
- LUWG (2012a): FFH 5809-301 „Moselhänge und Nebentäler der unteren Mosel“. Online verfügbar unter [http://www.natura2000.rlp.de/steckbriefe/sdb/FFH\\_SDB\\_5809-301.pdf](http://www.natura2000.rlp.de/steckbriefe/sdb/FFH_SDB_5809-301.pdf), zuletzt aktualisiert am 2012, zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- LUWG (2012b): FFH 5908-301 „Mosel“. Online verfügbar unter [http://www.natura2000.rlp.de/steckbriefe/sdb/FFH\\_SDB\\_5908-301.pdf](http://www.natura2000.rlp.de/steckbriefe/sdb/FFH_SDB_5908-301.pdf), zuletzt aktualisiert am 2012, zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- MEUSBURGER, H. (2002): Energieverluste an Einlaufrechen von Flusskraftwerken. Mitteilungen 179. Hg. v. Prof. Dr.-Ing. H.-E. Minor. VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU, HYDROLOGIE UND GLAZIOLOGIE DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH.
- MOLTRECHT, M. (2005): Die Aalschutz-Initiative an der Mosel – Untersuchungen und Aktivitäten zur Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftwerken. Mitteilung der RWE Power AG. RWE POWER AG. Online verfügbar unter [http://www.iksr.org/fileadmin/user\\_upload/Dokumente\\_de/Symposien\\_u.\\_Workshops/5.\\_Rheinsymposium/Vortraege/Kurzfassungen/Moltrecht\\_kurz.pdf](http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Symposien_u._Workshops/5._Rheinsymposium/Vortraege/Kurzfassungen/Moltrecht_kurz.pdf), zuletzt geprüft am 15.09.2014.

- MONTÉN, E. (1985): Fish and turbines. Fish injuries during passage through power station turbines. Stockholm: Vattenfall.
- NOTERMANN, F.; REUTER, C. (2006): Entwicklung einer fischfreundlichen Turbinensteuerung. im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland Pfalz/RWE Power AG. Abschlussbericht. LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT, RWTH AACHEN. Aachen.
- OBERWAHRENBROCK, K.; KROLL, L.; JÖRGENSEN, L.; SYMADER, W. (1998): Entwicklung eines Modells zur Vorhersage von Aalabwanderungszeiten („Frühwarnsystem“). Erster Zwischenbericht. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG.
- PALSTRA, A. P.; GINNEKEN, V. J. T.; MURK, A. J.; THILLART, G. E. E. J. M. (2006): Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama? In: *Naturwissenschaften* 93 (3), S. 145–148.
- PALSTRA, A. P.; GUERRERO, M. A.; LAAK, G.; KLEIN BRETELER, J. P. G.; DEN THILLART, G. E. E. J. M. (2011): Temporal progression in migratory status and sexual maturation in European silver eels during downstream migration. In: *Fish Physiol Biochem* 37 (2), S. 285–296.
- PIPER, A. T.; MANES, C.; SINISCALCHI, F.; MARION, A.; WRIGHT, R. M.; KEMP, P. S. (2015): Response of seaward-migrating European eel (*Anguilla anguilla*) to manipulated flow fields. In: *Proc. R. Soc. B* 282 (1811), S. 20151098.
- PLANCO CONSULTING GMBH, ESSEN UND BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2007): Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse. WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES.
- RADKE, D. R. (2009): Längenhäufigkeitsverteilung und Altersbestimmung von Blankaalen aus der Mosel im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz. Forschungsbericht.
- RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie – FFH-RL.
- RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT (2006): Verordnung (EG) Nr. 1198/2006 des Rates vom 27. Juli 2006 über den Europäischen Fischereifonds. Europäischer Fischereifonds – EFF.
- RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT (2007): Verordnung (EG) Nr. 1100/2007 des Rates vom 18. September 2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestands des Europäischen Aals. Aalschutzverordnung.
- RETTEMEIER, K. (2000): Laufwasserkraftwerke und der Schutz wandernder Fische – Lösungswege zu einer Koexistenz. Ein Bericht der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG (Teil 2). 30. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen 2000. Hg. v. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen.
- RETTEMEIER, K.; DEMNY, G.; FORKEL, C.; KÖNGETER, J.; ADLER, M. (1999): Einblicke in die Anströmung von Laufwasserkraftanlagen durch Dreidimensionale Numerische Simulation. In: *WasserWirtschaft* (10).
- REUBER, J.; RETTEMEIER, K.; KÖNGETER, J. (1999): Vermeidung von Fischschäden an Laufwasserkraftanlagen. In: Projektfortschrittsbericht 1. Stand der Arbeiten an den Projektzielen a, b und c zum Januar 1999.
- REUTER, C.; RETTEMEIER, K.; REUBER, J. (2001): Projektziel C – Vermeidung von Fischschäden durch den Turbinenbetrieb. Entwicklung eines Fischschutzrechensystems. Abschlussbericht zu den experimentellen Untersuchungen. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG.

- RUSSON, I. J.; KEMP, P. S.; CALLES, O. (2010): Response of downstream migrating adult European eels (*Anguilla anguilla*) to bar racks under experimental conditions. In: *Ecology of Freshwater Fish* 19 (2), S. 197–205, zuletzt geprüft am 10.05.2013.
- RWE POWER AG (2001): Kurzbeschreibung der einsatzoptimierten Gruppenabflussregelung – Joint Control (JC) für den Einsatz in den Laufwasserkraftwerken an der Mosel. Interne Mitteilung (unveröffentlicht).
- RWE POWER AG (2004): Die Moselkraftwerke. Dauerläufer der Stromversorgung. Online verfügbar unter <http://www.stadtwerke-geldern.de/media/files/strom/kurzportaitmoselkraftwerke.pdf>, zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- RWE POWER AG; FISCHEREIBEHÖRDE DES LANDES RHEINLAND-PFALZ (2013): Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG. Online verfügbar unter <http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/345994/data/183596/6/rwe/innovation/projekte-technologien/regenerative-energien/wasserkraft/aalschutz-initiative/aalschutz.pdf>, zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- RWE Energie AG; Land Rheinland-Pfalz (1995): Vereinbarung über Entschädigung für Fischereischäden an Mosel und Saar.
- SALE, M.; CADA, G.; CARLSON, T.; DAUBLE, D.; HUNT, R.; SOMMERS, G.; RINEHART, B.; FLYNN, J.; BROOKSHIER, P. (2002): DOE Hydropower Program. Annual Report for FY 2001.
- SCHWANENBERG, D.; THORWARTH, J.; KOWALSKI, R. L. (2002): Bestimmung der Strömungsverhältnisse in den Stauhaltungen „Trier“ und „Wintrich“ der Mosel im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. INSTITUT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT RWTH AACHEN; VALITEC. Aachen.
- SGD Nord (2010): Vermerk. Dokumentation zur organisatorischen und technischen Durchführung der Soforthilfe im Rahmen der Aalschutz-Initiative an der Mosel. interne Mitteilung (unveröffentlicht). Unter Mitarbeit von Matthias Bopp.
- SPANGENBERG, A. (2005): Europäischer Aal – *Anguilla anguilla*. Ökologie, Gefährdung und Schutz. STIFTUNG EUROPÄISCHES NATURERBE (EURONATUR). Online verfügbar unter [http://www.euronatur.org/uploads/media/info\\_aal\\_2005.pdf](http://www.euronatur.org/uploads/media/info_aal_2005.pdf), zuletzt geprüft am 27.11.2014.
- TAFT, E. P. (1986): Assessment of Downstream Migrant Fish Protection Technologies for Hydroelectric Application. Bericht. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. Online verfügbar unter <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=AP-4711%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20&Mode=download>, zuletzt geprüft am 27.11.2014.
- TEGGERS-JUNGE, S.; KROLL, L. (2010): Fischschutz in staugeregelten Flüssen. Anlass, Zielsetzung und Struktur des Projektes. In: LUWG (Hg.): Fischschutz in staugeregelten Flüssen. Mainzer Arbeitstage. Mainz, 29. April 2010. LUWG, S. 31–36.
- TESCH, F.-W. (1983): Der Aal. Biologie und Fischerei. 2. Aufl. Hamburg: Parey.
- THON, M. (1999): Schutz des wandernden Flußaaes (*Anguilla anguilla* L.) unter besonderer Berücksichtigung seines allgemeinen und speziellen Wanderverhaltens (insbesondere des Phänotyps „Blankaal“) unter besonderer Berücksichtigung der Bedingungen mehrfach genutzter, stauregulierter Flüsse. Literaturrecherche im Auftrag der Bezirksregierung Trier im Rahmen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. Englische Übersetzung „Protection of Migrating Silver Eels (*Anguilla anguilla* L.) in Regulated Rivers“ von Seaman, Matthias N.L.
- TSUKAMOTO, K.; CHOW, S.; OTAKE, T.; KUROI, H.; MOCHIOKA, N.; MILLER, M. J.; AOYAMA, J.; KIMURA, S.; WATANABE, S.; YOSHINAGA, T.; SHINODA, A. ET AL. (2011): Oceanic spawning ecology of freshwater eels in the western North Pacific. In: *Nature communications* 2, S. 179.

- TURNPENNY, A. W. H.; CLOUGH, S.; HANSON, K. P.; RAMSEY, R.; MCEWAN, D. (2000): Risk Assessment For Fish Passage Through Small, Low-head Turbines. ETSU H/06/00054/REP.
- TURNPENNY, A. W. H.; STRUTHERS, G.; HANSON, K. P. (1998): A UK Guide To Intake Fish-Screening Regulations, Policy And Best Practice. ETSU H/06/00052/00/00. Report.
- UBL, C. (2014): Glasaalsaison 2013/2014: Noch besser als Vorjahr. Experte spricht von „Rekordjahr für Europäischen Aal“. In: *Fischer & Teichwirt* 2014 (08), S. 292–293.
- ULRICH, J. (2013): Fischabstieg an größeren mitteleuropäischen Flusskraftwerken. Forum Fischschutz, 2. Workshop. Vortrag. Online verfügbar unter [http://forum-fischschutz.de/sites/default/files/Jochen\\_Ulrich\\_Thema2.pdf](http://forum-fischschutz.de/sites/default/files/Jochen_Ulrich_Thema2.pdf).
- VON LANDWÜST, C. (1996): Die Mosel als Fischgewässer. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (bfg) (Hg.): Gewässerökosystem Mosel. Beiträge zum Kolloquium am 8. Juni 1995 in Koblenz. Koblenz, S. 44–53.
- VON RABEN, K. (1955): Kaplanturbinen und Fische. In: *WasserWirtschaft* (45), S. 196–200.
- VON RABEN, K. (1957): Zur Frage der Beschädigung von Fischen durch Turbinen. In: *WasserWirtschaft* 48 (4), S. 97–100.
- WANG, C.; TZENG, W. (2000): The timing of metamorphosis and growth rates of American and European eel *leptocephali*: A mechanism of larval segregative migration. In: *Fisheries Research* (46), S. 191–205. Online verfügbar unter [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-7836\(00\)00146-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00146-6).
- WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST (Hg.) (2007): Kompendium der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest. Unter Mitarbeit von T. Oswald, C. Krajewski und S. Oberheim.
- WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST (2011): Abfluss- und Stauzielregelung (ASR) Mosel VV-WSD Südwest 22-5. Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest.
- WASSER-UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES (18.02.2014): Schiffsverkehr auf der Mosel legt 2013 wieder zu. Nummer 02/2014 vom 18.02.2014 (WSA Koblenz) Nummer 01/2014 vom 18.02.2014 (WSA Trier). Pressemitteilung. Schmidt, Tobias, [tobias.schmidt@wsv.bund.de](mailto:tobias.schmidt@wsv.bund.de). Online verfügbar unter [http://www.wsv.de/ftp/presse/2014/00053\\_2014.pdf](http://www.wsv.de/ftp/presse/2014/00053_2014.pdf), zuletzt geprüft am 15.09.2014.
- WENDLING, D. (2012 A): Datenerhebung und -aufbereitung im Rahmen der Messkampagne 2011. Abschlussbericht. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. FACHHOCHSCHULE TRIER.
- WENDLING, D. (2012 B): Verbesserung des Aalabstiegs in stauregulierten Gewässern. Masterarbeit. FACHHOCHSCHULE TRIER. Trier.
- WENDLING, D. (2014): Entwicklung eines Vorhersagemodells zur Blankaalwanderung in der stauregulierten Mosel. Messkampagne 2014. Konzeption zum Aufbau und zur Durchführung der Befischungen in 2014 mit Hinweisen zur Verbesserung von Datenbasis und Dokumentation. UNIVERSITÄT LUXEMBURG.
- WENDLING, D.; POSS, T.; ROTH, F. (2015): Entwicklung eines Frühwarnsystems für die Blankaalabwanderung an der Mosel. Bericht zur Messkampagne 2014 vom 19.05.2015. Hg. v. Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Energie AG. FACHHOCHSCHULE TRIER; UNIVERSITÄT LUXEMBURG.
- WINTER, H.; JANSEN, H.; BREUKELAAR, A. (2007): Silver eel mortality during downstream migration in the River Meuse, from a population perspective. In: *ICES Journal of Marine Science* (64), S. 1444–1449.
- WINTER, H.; JANSEN, H.; BRUIJS, M. (2006): Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla Anguilla*, by telemetry in the River Meuse. In: *Ecology of Freshwater Fish* (15), S. 221–228.

WOCHER, H. (2003): Voruntersuchungen zur autonomen Registrierung abwandernder Blankaale (*Anguilla anguilla*) in der Mosel. Projektbericht zu Händen der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/RWE Power AG. UNIVERSITÄT KOBLENZ.



