

Strategien zur Realisierung von Fischschutz und Fischabstieg an großen und kleinen Gewässern

Pia Anderer und Gereon Hermens

Abstract

Longitudinal connectivity of rivers and fish protection measures are both of paramount importance to preserve fish populations. In order to focus efforts and resources, strategic concepts were developed in several German Federal States. The aim of these concepts is to efficiently design and implement measures able to contribute to the achievement of the waters' protection goals of the EU Water Framework Directive while enabling water power utilization. The concepts include identifying target species, habitats and migration routes within a river system and, consequently, determining the current state and defining the desired target state. After assessing in which waters fish populations are subject to be preserved, measures can be chronologically and spatially prioritized.

Although there is still need for further research in the field of fish protection and downstream migration, mechanical barriers are currently regarded as a proven means to prevent fish from swimming into the turbines in small hydroelectric power plants. Design, arrangement and operational mode of bypass channels are currently being tested and are subject of research and development projects. In large hydroelectric power plants, local survival rates can be enhanced by means of management measures, easy detectable bypass channels and turbine modifications.

Zusammenfassung

Die Durchgängigkeit der Gewässer sowie der Fischschutz spielen für den Erhalt der Fischpopulationen eine wesentliche Rolle. Zur Bündelung von Kräften und Ressourcen wurden in mehreren Bundesländern strategische Konzepte erarbeitet. Diese dienen der effizienten Planung und Umsetzung von Maßnahmen im Sinne der am Gewässerschutz ausgerichteten Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie unter Berücksichtigung der Wasserkraftnutzung. Dabei folgen in der Regel auf die Bestimmung der Zielarten, Habitate und Wanderrouten innerhalb eines Gewässersystems die Ermittlung des aktuellen Zustands und des Zielzustands. Basierend auf der Einschätzung, in welchen Gewässern Fischpopulationen erhalten werden können, wird die zeitliche und räumliche Priorisierung von Maßnahmen abgeleitet.

Obschon beim Fischschutz und Fischabstieg weiterhin Forschungsbedarf besteht, gelten derzeit für kleine Wasserkraftanlagen mechanische Barrieren als gängige Maßnahme zum Schutz der Fische vor dem Eindringen in die Turbinen. Anordnung, Aus-

gestaltung und Betriebsweise von Bypässen werden aktuell erprobt und sind Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsprojekten. Bei großen Wasserkraftanlagen können die lokalen Überlebensraten durch Managementmaßnahmen, gut auffindbare Bypässe und Modifikationen der Turbinen verbessert werden.

1 Einführung

Eine mangelnde Durchgängigkeit der Fließgewässer wirkt sich auf die Entwicklung sowohl der diadromen als auch der potamodromen Fischpopulationen aus. Da die Wanderrouen der diadromen Arten den Wechsel vom maritimen Lebensraum in die Binnengewässer notwendig umfassen und die Wanderstrecken häufig sehr lang sind, unterliegen diese Arten durch die Schädigung an vielen zu passierenden Standorten einem besonders hohen Risiko. Die historische Entwicklung der Lachsbestände und die aktuelle Gefährdung des Aals sind bekannte Beispiele für diesen Effekt. Die flussauf- und flussabwärts gerichtete Durchgängigkeit und ihr Einfluss auf die Entwicklung der Populationen wurde daher insbesondere für die diadromen Arten Lachs und Aal untersucht (Keuneke & Dumont, 2011). Aber auch potamodrome Arten, deren Wanderungen auf das Süßwasser begrenzt sind, legen zum Teil große Strecken zwischen ihren Lebensräumen zurück.

Durch den Umsetzungsprozess der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und die entsprechenden Änderungen im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) erfährt das Thema Fischabstieg eine zunehmende Bedeutung bei Behörden und Anlagenbetreibern. Zur Bewältigung der umfangreichen Maßnahmen zur Gewährleistung der Durchgängigkeit haben zahlreiche Bundesländer strategische Konzepte erarbeitet, die die Aufgaben und Ressourcen in einen zeitlichen Rahmen stellen.

Während bei der Wiederherstellung der flussaufwärts gerichteten Durchgängigkeit mittlerweile erhebliche Fortschritte erzielt wurden (DWA Merkblatt M-509, DWA, 2014), bestehen beim Fischschutz und Fischabstieg noch Wissensdefizite. Daher wurden im Rahmen des Forums „Fischschutz und Fischabstieg“ in den Jahren 2012 bis 2014 der derzeitige Stand des Wissens sowie der bestehende Forschungsbedarf zusammengetragen und veröffentlicht (<http://forum-fischschutz.de/> und Naumann & Heimerl, 2013).

Bekannte Lösungen, die an kleinen Wasserkraftanlagen zum Einsatz kommen, sind an großen Anlagen aufgrund von räumlichen, technischen und/oder finanziellen Rahmenbedingungen nicht umzusetzen, sodass dort andere Maßnahmen zum Einsatz kommen müssen.

2 Schädigung von Fischen an Wasserkraftanlagen

Die Schädigungen von Fischen an Wasserkraftanlagen sind gut dokumentiert (LFV-BY 2008, Ebel, 2013). Grundsätzlich ist an allen Gewässern, in denen flussabwärts wan-

dernde Fische Wasserkraftanlagen passieren müssen, mit Schädigungen der Fische zu rechnen. Dabei wird unterschieden zwischen

- Schädigung an Wasserentnahmebauwerken und Rechen und
- Schädigung bei der Passage von Turbinen.

Schädigungen an Rechenanlagen treten z. B. auf, wenn Fische aufgrund einer zu hohen Anströmgeschwindigkeit an den Rechen gepresst werden (Abb. 1), bei Eintreffen des Rechenreinigers nicht mehr entfliehen können und von diesem mitgeführt und dabei geschädigt werden. Bei der Turbinenpassage können Schädigungen zum einen durch Druckänderungen, zum anderen durch Berührung mit Maschinenbauteilen auftreten, die zu Schuppenverlusten, Flossenschäden bis hin zur Durchtrennung von Körperteilen führen können (Abb. 2).



Abb. 1: Schädigung eines Aals durch Anpressen an einen Rechen (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)



Abb. 2: Verletzung nach Turbinenpassage: Flossenabtrennung (Quelle: LFV-BY, 2008)

Das Ausmaß der Schädigung bzw. die Überlebensraten sind im Wesentlichen abhängig von Fischart und -größe, von Turbinentyp, -größe, und -drehzahl, von der Rechenstabweite und der Anströmgeschwindigkeit am Rechen. Die Ermittlung und Prognose der Mortalitätsrate von Fischen bei der Turbinenpassage kann mit Hilfe verschiedener Berechnungsmodelle erfolgen (Keuneke & Dumont, 2010). Während für große Wasserkraftanlagen mit einem Ausbaudurchfluss pro Turbine von $Q_a = 67 \text{ m}^3/\text{s}$ für Blankaa-le Überlebensraten von etwa 70 % empirisch ermittelt wurden (Keuneke & Dumont, 2011), können diese Raten für kleine Wasserkraftanlagen ($Q_a < 10 \text{ m}^3/\text{s}$) nur wenige Prozent betragen (DWA, 2005).

Mit zunehmender Zahl der durchwanderten Standorte tritt auch bei hohen Überlebensraten an den Einzelstandorten entlang eines Wanderwegs sukzessive eine Ausdünnung der Zahl der Absteiger ein (Abb. 3). Diese sogenannte kumulative Wirkung einer Kraftwerkskette auf die Populationen ist bei der Entwicklung strategischer Konzepte zu beachten.

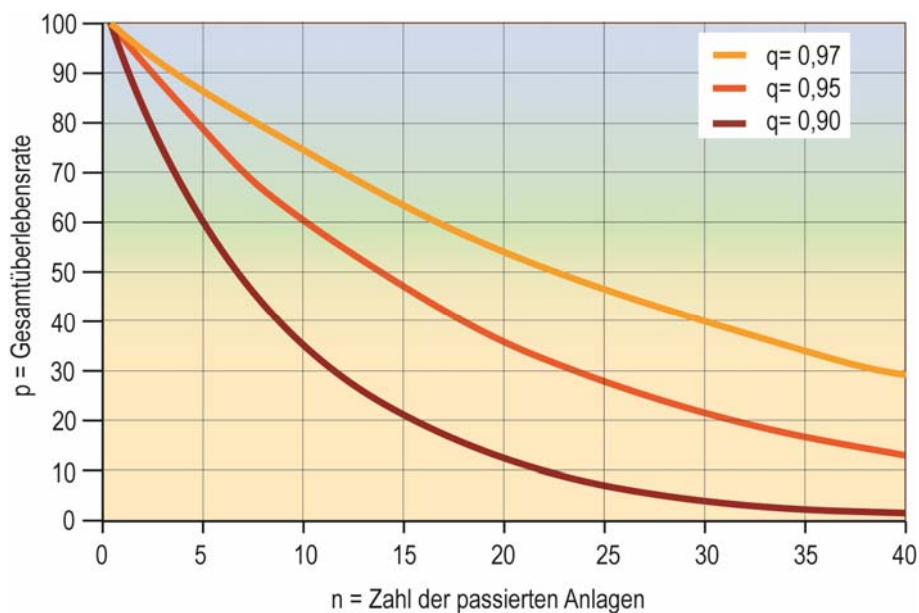


Abb. 3: Kumulative Wirkung einer Kraftwerkskette – mit zunehmender Zahl der durchwanderten Anlagen nimmt die Gesamtüberlebensrate exponentiell ab

3 Erarbeitung des strategischen Entwicklungskonzepts

Für den Fischschutz und -abstieg ist grundsätzlich anzustreben, sowohl die potamodromen Arten, deren Wanderungen sich auf das Süßwasser beschränken, als auch die diadromen Fischarten, die innerhalb ihres Lebenszyklus zwingend auf den Wechsel zwischen den Binnengewässern und dem Meer angewiesen sind, gegen Schädigungen durch Wassernutzungsanlagen zu schützen und ihnen die ungehinderte flussabwärts gerichtete Wanderung zu ermöglichen. Den bei weitem größten Anteil der abwandernden Individuen stellen Fischbrut und Jungfische dar, deren Gesamtlänge 100 mm meist deutlich unterschreitet. Um alle abwandernden Fische tatsächlich vor einem Eindringen in die Turbine zu schützen, wären mechanische Barrieren mit einer Maschenweite von wenigen Millimetern notwendig, die mit Fließgeschwindigkeiten von maximal 0,2 m/s angeströmt werden.

Der Schutz aller abwandernden Fische ist daher nicht mit dem wirtschaftlichen Betrieb von Wasserkraftanlagen vereinbar. Bei Aufrechterhaltung der Wasserkraftnutzung ist es deshalb unvermeidbar, den Schutz auf bestimmte Arten und vor allem Größen zu beschränken.

Bei der Betrachtung der Wanderrouten sind folgende Gesichtspunkte von besonderer Bedeutung:

- Die diadromen Populationen haben nur dort Überlebenschancen, wo – neben der Erfüllung stofflicher und struktureller Ansprüche an die Gewässer – nur eine bestimmte maximale Zahl von Standorten auf der Wanderroute passiert werden muss.
- Diese Erkenntnis führt unmittelbar zu der Notwendigkeit, diejenigen Gewässer zu ermitteln, in denen die diadromen Arten eine reale Überlebenschance haben. Diese sollten als potenzielle Entwicklungsgewässer vorrangig in beiden Wanderrichtungen durchgängig gemacht werden.

Die Erarbeitung des strategischen Entwicklungskonzepts für ein Gewässersystem erfolgt in mehreren Schritten, wobei in der Regel folgende Teilbereiche bearbeitet werden:

- Festlegung der im Rahmen des Projekts zu betrachtenden relevanten Fischarten entsprechend der typspezifischen Fischfauna im Gewässersystem bzw. im betrachteten Abschnitt des Gewässersystems. Nach heutigem Kenntnisstand wirken sich wasserkraftbedingte Schädigungen von Fischen besonders auf die diadromen Populationen aus.
- Ermittlung der aktuellen und historischen Lebensräume, zwischen denen die relevanten Fischarten auf Grund der hydromorphologischen Eigenschaften im Sinn des Fließgewässer-Leitbildes potenziell wandern. Daraus ergeben sich die Wanderrouten, die durchgängig zu gestalten sind.

- Bestimmung der Aufstiegs- und Überlebensraten der relevanten Fischarten an Querbauwerken und Wasserkraftanlagen entlang der Wanderroute.
- Ermittlung der Gesamtüberlebensrate für die zu passierenden Wanderrouten. Die Gesamtüberlebensrate sinkt grundsätzlich mit der Zahl der zu passierenden Wasserkraftanlagen (Abb. 3).
- Aufstellung eines Berechnungsmodells, mit dem untersucht wird, ob sich eine Population im Ist-Zustand und/oder im Plan-Zustand, wenn Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt wurden, erhalten kann. Im Modell müssen die relevanten Parameter gegebenenfalls variiert werden, um zu einer belastbaren Aussage zu kommen. In diese Variantenanalyse gehen mögliche künftige Entwicklungen der biologischen Kenngrößen, des hydromorphologischen und chemischen Zustands sowie gegebenenfalls unterschiedliche Szenarien bezüglich der Maßnahmen an den Standorten der Wanderhindernisse (einschließlich Rückbau und Managementmaßnahmen) ein.
- Überschlägige Ermittlung der Kosten für die Maßnahmen zur Herstellung der Durchgängigkeit einschließlich möglicher Management-Methoden für verschiedene Varianten.
- Unter Umständen sind weitere Aspekte wie wasserrechtliche Gegebenheiten und übergeordnete wasserwirtschaftliche und sonstige Zielsetzungen zu berücksichtigen.
- Abschließend können für unterschiedliche Zeithorizonte Zielareale und Wanderrouten dargestellt werden, in denen eine Zielerreichung möglich und sinnvoll erscheint.

In verschiedenen Bundesländern wurden Durchgängigkeitskonzepte erarbeitet und entsprechende Zielgewässerabschnitte ausgewiesen. Dabei variieren die Bezeichnungen wie z. B. Vorranggewässer in Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt (Dumont et al., 2005; LHW-ST, 2008), potamodrome und diadrome Entwicklungsgewässer mit unterschiedlichen zeitlichen Prioritäten in Rheinland-Pfalz (Anderer et al., 2014; Abb. 4) oder Schwerpunktgewässer ökologische Durchgängigkeit in Thüringen (Anderer et al., 2010).

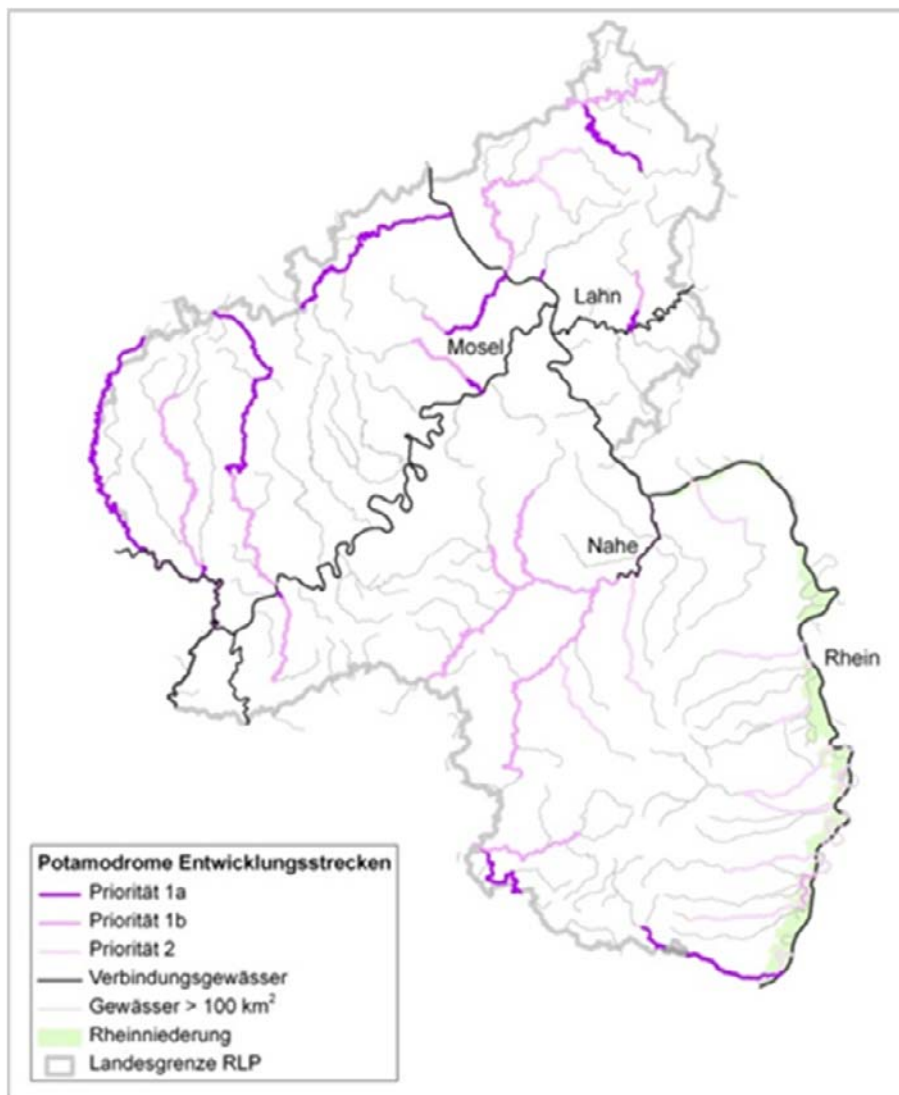


Abb. 4: Potamodrome Entwicklungsstrecken in Rheinland-Pfalz mit unterschiedlicher zeitlicher Priorisierung (Anderer et al., 2014)

In Keuneke & Dumont (2011) wurde eine Vorgehensweise erarbeitet, mit der selbsterhaltende Fischpopulationen im Einzugsgebiet der Weser etabliert werden können (Abb. 5). Die populationsdynamische Betrachtung für den Lachs zeigte deutlich, dass große Anstrengungen unternommen werden müssen, um dessen Lebensräume zu entwickeln. Die Laich- und Aufwuchsareale liegen in den Oberläufen und Nebengewässern, so dass entlang der Wanderrouen eine große Zahl an Wanderhindernissen überwunden werden muss. Aber selbst wenn es keine Querbauwerke gäbe, wären die Lachspopulationen unter den heutigen Umweltbedingungen nicht in der Lage, sich selbst zu erhalten. Ursache hierfür sind die großen Verluste während der Reproduktions- und während der marinen Phase. Neben der Herstellung der Durchgängigkeit sind bei der Wiederansiedlung des Lachses daher auch Maßnahmen zur Habitatverbesserung

rung, zur Eindämmung von Prädation, zum Fischereimanagement und zum Schutz der Fische im marinen Bereich zu ergreifen.

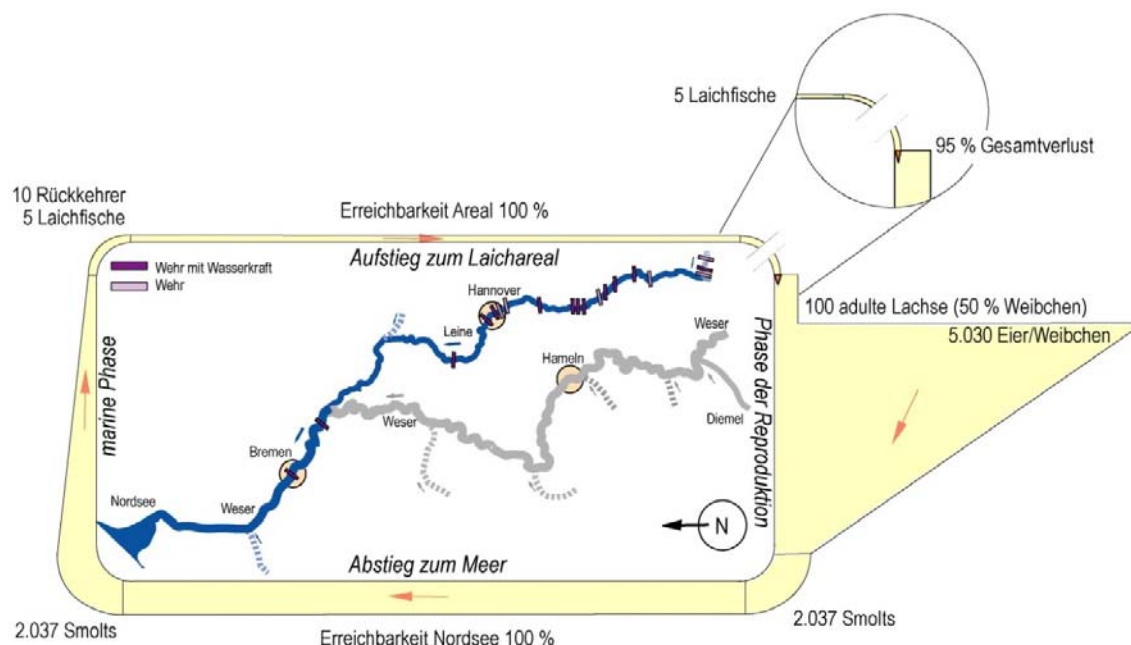


Abb. 5: Lebenszyklus des Lachses, berechnet mit aktuellen populationsbiologischen Parameterwerten und ohne Verluste an Querbauwerken und Wasserkraftanlagen auf der Wanderroute (Keuneke & Dumont, 2011)

4 Maßnahmen für den Fischschutz und den Fischabstieg

Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen müssen immer auf bestimmte Zielarten ausgelegt werden. Aktuell werden verschiedene Systeme eingesetzt und weiterentwickelt, um das Eindringen von Fischen in die Turbinen zu verhindern und um die Überlebensraten zu erhöhen. Folgenden Maßnahmen und Systeme werden hier näher betrachtet:

- mechanische Barrieren
- Bypässe
- Fang- & Transportsysteme
- fischfreundlichere Betriebsweise (Turbinenmanagement)
- fischfreundlichere Turbinen

Verhaltensbarrieren durch Nutzung von Licht, Strom, Schall und Leiteinrichtungen haben sich als nicht ausreichend funktionsfähig erwiesen.

Mechanische Barrieren

Als mechanische Barrieren, die das Eindringen der Fische in die Turbine physisch verhindern, haben sich in den letzten Jahren Stabrechen durchgesetzt, die abhängig

von der zu schützenden Art unterschiedliche lichte Weiten zwischen den Rechenstäben aufweisen. In Deutschland stehen dabei vor allem die diadromen Arten im Vordergrund.

Folgende Bemessungswerte sind aus fachlicher Sicht anzusetzen (Arbeitsgemeinschaft Gewässersanierung, 1998; Adam et al., 1999):

- Anströmgeschwindigkeit im Kanal vor dem Rechen: max. 0,5 m/s,
- lichte Rechenstabweite zum Schutz von Lachssmolts: max. 10 mm,
- lichte Rechenstabweite zum Schutz von Blankaalen: max. 15 mm.

Fischschutzrechen werden in der Regel in zwei unterschiedlichen Anordnungen gebaut:

- Vertikalrechen (Abb. 6, Abb. 7): Die Rechenstäbe sind vertikal zur Gewässersohle angeordnet. Der Rechen ist in der Regel zur Sohle um einen Winkel geneigt, um die Rechenfläche zu vergrößern. Es können aufgrund der Ausrichtung der Rechenstäbe nur vertikal arbeitende Rechenreinigungsmaschinen eingesetzt werden. Das Rechengut kann in eine Spülrinne, die oberhalb des Rechens angeordnet ist, oder auf ein Transportband oder direkt in einen Container gefördert werden.
- Horizontalrechen (Abb. 8, Abb.): Hier sind die Rechenstäbe horizontal angeordnet. Der Rechen kann zur Vergrößerung der Fläche unter einem Winkel zur Fließrichtung eingebaut werden. Aufgrund der Anordnung der Rechenstäbe kommen Horizontal-Rechenreinigungsmaschinen zum Einsatz. Sie schieben das Rechengut zu einer Spülrinne am seitlichen Ende des Rechens. Eine Entnahme des Rechenguts erfolgt nicht.

Vertikalrechen mit 10 mm-Stababstand können heute mit einer Rechenreinigungsmaschine in Einheiten bis ca. 30 m³/s Durchfluss gebaut werden. Horizontale Fischschutzrechen werden aktuell bis zu Ausbaudurchflüssen von etwa 70 m³/s pro Einheit eingesetzt. Der Betrieb der Wasserkraftanlage wird bei korrekter Planung und Ausführung nicht beeinträchtigt. Die Verluste am Rechen können durch eine ausreichend große Fläche und effiziente Rechenreinigungsmaschinen sowie durch geeignete Rechenprofile auf ein Minimum begrenzt werden. Dazu liegen mittlerweile zahlreiche Erfahrungen vor. Der Entwurf der VDI Richtlinie 4620 ordnet mechanische Barrieren mittlerweile der Erprobungsphase zu.

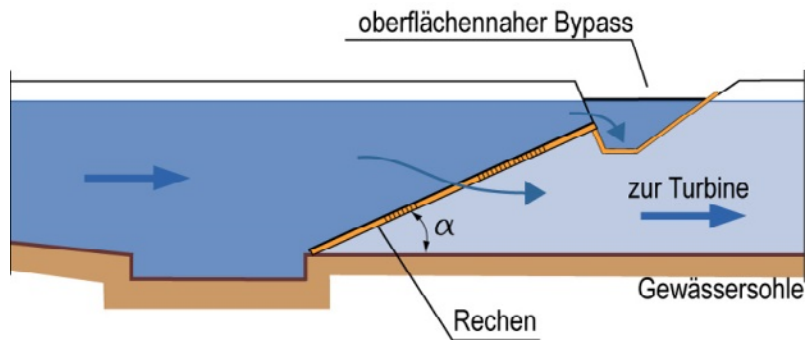


Abb. 6: Vertikalrechen (Schnitt), der unter dem Winkel α zur Sohle geneigt aufgestellt ist. Querlaufende Rinne oberhalb, die als Bypass für oberflächennah abwandernde Fische genutzt werden kann.



Abb. 7: Vertikalrechen mit 10 mm Stababstand, oberflächennahe Bypassöffnungen für Lachsmolts zur Spül- und Bypassrinne (WKA Willstät / Kinzig, $Q_A = 25 \text{ m}^3/\text{s}$).

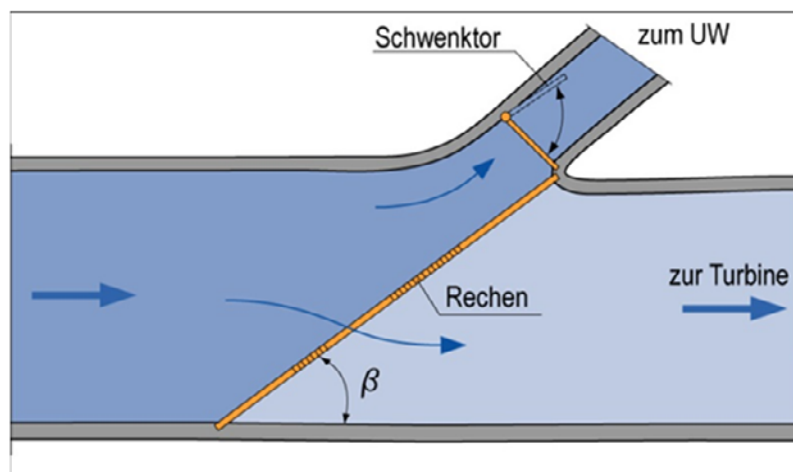


Abb. 8: Schräg angeordneter Horizontalrechen (Draufsicht) mit seitlichem Spülkanal zur Rechengutabfuhr und als Bypass für absteigende Fische



Abb. 9: Horizontalrechen (Bauphase), Stababstand = 12 mm (WKA Auerkotten / Wupper, $Q_a = 14 \text{ m}^3/\text{s}$), Spülkanal und Bypassöffnung links neben dem Rechenfeld, zusätzlicher Bypass oberhalb des Rechens

Bypässe

Um an Abwanderhindernissen eine ungefährdete Passage ins Unterwasser zu ermöglichen, müssen den Tieren alternative Abwanderwege oder sogenannte Bypasseinrichtungen angeboten werden. Häufig können diese mit einer Weiterleitung des Geschwemmsels kombiniert werden (Abb. 6 bis Abb. 9). Für die oberflächennah abwandernden Lachssmolts werden Bypässe nahe der Oberfläche (Abb. 9, Abb. 9) und für die vorwiegend sohlennah abwandernden Blankaale an der Sohle bzw. neben dem Rechen vorgesehen. Abb.



Abb. 9: Oberflächennaher Bypass für Lachssmolts (WKA Roeamond, NL, Rur)

Maßnahmen zum Fischschutz und Fischabstieg für große Gewässern

An großen Wasserkraftanlagen ($Q_A > 100 \text{ m}^3/\text{s}$) existiert kein Stand der Technik, mit dem funktionstüchtige mechanische Fischschutzanlagen einschließlich der erforderlichen Reinigungstechnik zu wirtschaftlich akzeptablen Bedingungen realisiert werden können. Daher werden insbesondere an großen Wasserkraftanlagen die folgenden Methoden diskutiert und in bestimmten Fällen angewendet. Darüber hinaus können wirksam auffindbare, artspezifisch gestaltete Bypässe den Anteil der Fische, die in die Turbine(n) gelangen, reduzieren und zu einer Verbesserung der Gesamtüberlebensrate am Standort beitragen.

Fang- & Transportsysteme (Trap & Truck, Catch & Carry)

Die Abwanderstadien der zu schützenden Arten werden mit fischereilichen Methoden gefangen und flussabwärts transportiert. Dieses Verfahren wird für Blankaale seit vielen Jahren an Mosel und Saar sowie seit 2009 auch am Main durchgeführt. Es wird geschätzt, dass durch den Fang oberhalb der Moselkraftwerke jeweils etwa 10 % der Blankaale oder 4 bis 6 Tonnen pro Jahr abgefischt und in den Rhein transportiert werden können. Vorteilhaft ist, dass keine akkumulierten Verluste an unterhalb gelegenen Wasserkraftanlagen auftreten und dadurch höhere Gesamtüberlebensraten realisiert werden können (Abb. 10).

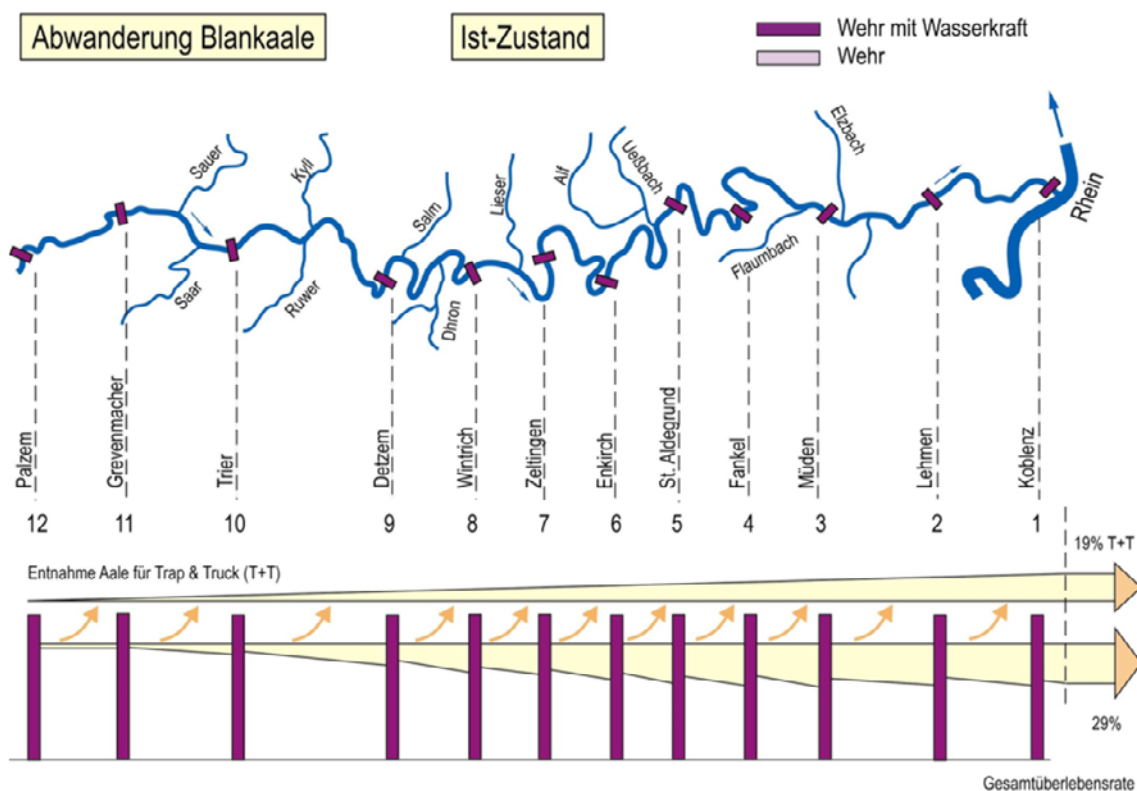


Abb. 10: Abschätzung Gesamtüberlebensrate Ist-Zustand für Blankaale an der Mosel: 29 %; bei Trap & Truck (T+T): 19 %, so dass sich insgesamt eine Gesamtüberlebensrate von 48 % ergibt.

Fischfreundlichere Betriebsweise (Turbinenmanagement)

Fischfreundlichere Betriebsweisen können durch Frühwarnsysteme wie z. B. den MIGROMAT gesteuert werden. So werden z. B. die Zeiten bzw. Spitzen der Abwanderung der Blankaale durch das Frühwarnsystem angezeigt und die Wasserkraftanlagen entlang der Wanderroute temporär gedrosselt oder abgeschaltet und Wehre oder Bypässe geöffnet. Aktuell sind nur Frühwarnsysteme für die Abwanderung der Blankaale bekannt. Das Verfahren des aalfreundlichen Turbinenmanagements mit dem Frühwarnsystem MIGROMAT wird z. B. an Kraftwerken im Main und in der Weser angewendet.

An Standorten mit mehreren Turbinen können die Maschinen während der Abwanderung im fischfreundlichsten Betriebspunkt gefahren werden. Gegebenenfalls sind dazu je nach Abfluss im Gewässer einzelne Maschinen abzuschalten.

Fischfreundlichere Turbinen

Eine Reduzierung der Mortalität bei Turbinen-Passage kann durch deren Modifikation im Zusammenhang mit ohnehin erforderlichen Revisionen erfolgen. Dabei sind zu berücksichtigen:

- konstruktiv sorgfältige, glatte Gestaltung aller Anlagenteile, die mit Fischen in Kontakt kommen können;
- ausreichendes, den Fischkörper umgebendes Wasserpolster;
- Vermeidung von Druckschwankungen und Kavitation.

Fischfreundlichere Turbinen weisen weniger Turbinenschaufeln, reduzierte Umdrehungsgeschwindigkeiten und Spaltöffnungen und Modifikationen des Schaufelprofils auf. Die im Folgenden vorgestellten Turbinen befinden sich aktuell im Prototypstatus.

Alden Turbine (Voith)

Im amerikanischen Forschungslabor Alden wurde ein Laufradkonzept, die sogenannte Alden-Turbine entwickelt. Sie dreht sich relativ langsam und hat nur drei Laufradschaufeln. Durch die spezielle Form der Schaufelblätter sind Scherkräfte, Druckschwankungen und Kavitation verringert. In Zusammenarbeit mit der Voith Hydro GmbH & Co. KG wurde die Leistungskurve des Modells verbessert, ohne die fischfreundlichen Eigenschaften aufzugeben.



Abb. 11: Alden Turbine (VOITH, 2014)

Pentair-Nijhuis Turbine (NL)

In den Niederlanden hat die Fa. Pentair, die u. a. Pumpen herstellt, in Kooperation mit Fish Flow Innovations eine fischfreundlichere Niederdruckturbine entwickelt. Ähnlich der Alden-Turbine hat die Nijhuis-Turbine nur zwei oder drei langgezogene, schraubenförmige Schaufeln mit stark abgerundeten Schaufelvorderkanten.

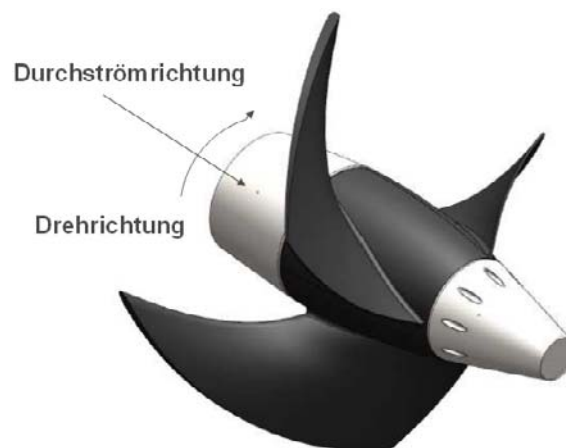


Abb. 12: Pentair Nijhuis Turbine (GRÜNIG, 2013)

5 Literatur

Adam, B., Schwevers, U. & Dumont, U. (1999): Beiträge zum Schutz abwandernder Fische – Verhaltensbeobachtungen in einem Modellgerinne, Solingen, Verlag Natur & Wissenschaft, Bibliothek Natur & Wissenschaft 16, 63 S.

Anderer, P., Ch. Bauerfeind, J. Görlach (2014): „Durchgängigkeitskonzept Unstrut“. – WasserWirtschaft 7-8/2014, S. 72 – 77.

Anderer, P., U. Dumont, Ch. Linnenweber, E. Massmann, B. Schneider (2010): „Entwicklungskonzept ökologische Durchgängigkeit Rheinland-Pfalz“. – WasserWirtschaft 9/2010.

Arbeitsgemeinschaft Gewässersanierung (1998): Gutachten zur Wiederherstellung der Durchwanderbarkeit an der Staustufe Wahnhausen/Fulda. – Ingenieurbüro Floecksmühle & Institut für angewandte Ökologie.

DWA (2005): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hrsg., DWA-Themen: "Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle", Hennef, 2. Auflage, 256 S.

Dumont, U., Anderer, P., Schwevers, U. (2005). Handbuch Querbauwerke, Düsseldorf, Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 213 S.

DWA (2014): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hrsg.: DWA Merkblatt M 509 "Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung", DWA, 978-3-942964-91-3, 2014, 285 S.

Ebel, G. (2013): „Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme“; Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, Band 4, Halle (Saale), 483 S..

Grünig, T. (2013): „Die fischfreundliche Niederdruckturbine“, Eurosolarkonferenz, Bonn, 2013.

Hermens, G., U. Dumont (2013): „Neubau der Wasserkraftanlage Willstätt mit Fischschutz und vollständiger Fischwechselanlage“. – WasserWirtschaft 10/2013

Hoffmann, M., Ch. Bauerfeind, U. Dumont (2014): „Einrichtungen für den Fischabstieg am Beispiel der WKA Widdert an der Wupper“; 17. Internationales Anwenderforum Kleinwasserkraftwerke, 25. und 26. September 2014 in Kempten. Hrsg.: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Regensburg.

Ingendahl, D. (2015): „Fischschutz und Fischabstieg an innovativen Wasserkraftanlagen – erste Erfahrungen eines Monitoringprogramms in NRW“, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Beitrag zum 45. Internationalen Wasserbau-Symposium (IWASA), Aachen.

Keuneke, R., U. Dumont (2011): „Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmenplans zur ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung an der Mittelweser“. – UBA-Texte 72/2011. www.umweltbundesamt.de

Keuneke, R., U. Dumont (2010): „Vergleich von Prognosemodellen zur Berechnung der Turbinen bedingten Fischmortalität“. – Wasserwirtschaft 9/2010.

LFV-BY (2008): „Untersuchungen zur Effektivität alternativer Triebwerkstechniken und Schutzkonzepte für abwandernde Fische beim Betrieb von Kleinwasserkraftanlagen“, Hrsg: Landesfischereiverband Bayerns e.V., München, 84 S..

LHW-ST (2008): Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt: „Konzeption zur Umsetzung der ökologischen Durchgängigkeit in den Fließgewässern in Sachsen-Anhalt – Ermittlung von Vorranggewässern“, Magdeburg.

LUWG (2008): Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Hrsg.: „Durchgängigkeit und Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz - Bewertung der rheinland-pfälzischen Wanderfischgewässer hinsichtlich Durchgängigkeit und Eignung zur Wasserkraftnutzung-Phase2“, Mainz, 210 S..

Naumann, St., St. Heimerl (2013): "Fischschutz und Fischabstieg im Dialog – Forum „Fischschutz und Fischabstieg““. – Wasserwirtschaft 10/2013, S. 30-35.

UBA Texte (72/2011), UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmenplans zur ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung an der Weser, Dessau.

VOITH (2014): www.voith.com; Aufruf vom 29.01.2014

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Phys. Pia Anderer
Dipl.-Ing. Gereon Hermens
Ingenieurbüro Floecksmühle
Bachstraße 62-64
52066 Aachen
ib@floecksmuehle.com