



Empfehlungen für den Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen im Rheineinzugsgebiet

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

Fachbericht Nr. 303

Haftungsausschluss zur Barrierefreiheit

Die IKSR ist bemüht, ihre Dokumente so barrierearm wie möglich zu gestalten. Aus Gründen der Effizienz ist es nicht immer möglich, sämtliche Dokumente in den vier Sprachversionen vollständig barrierefrei verfügbar zu machen (z. B. mit Alternativtexten für sämtliche Grafiken oder in leichter Sprache). Dieser Bericht enthält ggf. Abbildungen und Tabellen. Für weitere Erklärungen wenden Sie sich bitte an das IKSR-Sekretariat unter der Telefonnummer 0049261-94252-0 oder per Email an sekretariat@iksr.de.

Impressum

Herausgeberin:

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D-56068 Koblenz
Postfach: 20 02 53, D-56002 Koblenz
Telefon: +49-(0)261-94252-0
Fax: +49-(0)261-94252-52
E-Mail: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

Empfehlungen für den Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen im Rheineinzugsgebiet

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1 Problemstellung	4
1.2 Auftrag	4
2. Zielsetzungen	6
3. Empfehlungen	6
3.1 Allgemeine Empfehlungen	6
3.2 Mögliche Maßnahmen	7
3.3 Maßnahmen in Abhängigkeit der Größe der Wasserkraftanlage	13
4. Praktische Beispiele aus den Staaten	15
4.1 Schweiz	15
4.2 Deutschland.....	17
4.3 Frankreich	20
4.4 Niederlande	22
Referenzen	25
Anlage	28

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Wanderhindernisse wie Staustufen und Wehre wirken sich in vielfältiger Weise nachteilig auf die ökologische Funktion und Durchgängigkeit von Fließgewässern aus (vgl. Vriese 2017). Insbesondere an Querbauwerken mit Wasserkraftanlagen können Fischschäden bei der Abwärtswanderung auftreten (vgl. [IKSR-Fachbericht Nr. 140](#)):

- bei der Turbinenpassage:
 - a. direkte Verletzung durch die Turbine (Kontakt mit festen oder beweglichen Teilen, Schnittverletzungen durch hohe Geschwindigkeiten);
 - b. Schäden durch Scherkräfte (von Schuppenverlusten bis hin zum Zerreißen der Tiere) und Druckunterschiede (Barotraumata, z. B. Schäden an Schwimmblase und Blutgefäßsystem durch plötzliche Dekompression). Bei sehr hohen Druckabfällen können zusätzlich die als besonders gefährlich geltenden Kavitationsschäden auftreten (durch Implosion von Gasbläschen entstehende Organverletzungen).
- am Entnahmebauwerk durch Andruck gegen feste Einrichtungen (Rechen oder Einfluss der Reinigungsmaschine);
- bei der Durchwanderung von Entlastungsanlagen (insbesondere beim Aufprall auf das Wasser oder auf Störelemente beim Abstieg über Wehre);
- durch Sekundäreffekte (indirekte Mortalität in Verbindung mit Desorientierung, erhöhte Prädation im Turbinenunterwasser sowie auch im Oberwasser bei verzögerter Abwärtswanderung).

Bei hintereinander geschalteten Wasserkraftwerken ist zudem die kumulierende Wirkung (direkte und indirekte Mortalität/Verletzungen, Zeitverzögerungen der Wanderbewegungen) auf die Wanderfischpopulationen zu beachten. Diese wirkt sich negativ auf alle wandernden Fischarten, besonders jedoch auf die diadromen Langdistanzwanderer wie z. B. den Lachs (anadrom) und den Aal (katadrom) aus. Für eine Art wie den Lachs kann diese kumulative Wirkung limitierend sein, wenn alle Junglachse eines Teileinzugsgebietes mehrere Wasserkraftanlagen beim Abstieg überwinden müssen. Besonders abwandernde Aale sind aufgrund ihrer Körperlänge stark gefährdet und die kumulative Mortalität kann bei mehreren aufeinander folgenden Querbauwerken, insbesondere mit Wasserkraftnutzung erheblich sein.

1.2 Auftrag

Die 16. Rheinministerkonferenz 2020 in Amsterdam hat die IKSR beauftragt, bis 2024 Empfehlungen für den Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen auszuarbeiten. Die Empfehlungen sollen laut IKSR-Programm „[Rhein 2040](#)“ als Grundlage für die gemeinsame Festlegung von Zielen – abhängig vom technischen Fortschritt in diesem Bereich – für einen ausreichenden populationserhaltenden Fischschutz dienen.

Bereits seit 2014 tauscht sich die IKSR zu innovativen Abstiegsstechniken an Querbauwerken aus, um den Verlust von Fischen und die Fischschädigung (z. B. von Lachsen, Aalen) u.a. in Turbinen zu reduzieren. Im Rahmen dieser Aktivitäten fand u. a. 2016 ein internationaler Workshop zum Thema „Fischabstieg“ in Roermond (NL) und 2021 ein Webinar zum Thema „Fischschutz und Fischabstieg an großen Wasserkraftanlagen: Erfahrungen und Wissen teilen“ statt.

Parallel dazu wurden die Arbeiten in den Staaten des Rheineinzugsgebiets vorangetrieben zur

- Umsetzung von Fischschutz und Abstiegsstechniken in die Praxis für die Verringerung der Fischsterblichkeit bei kleinen, mittleren und mittelgroßen Wasserkraftwerken (Ausbauwassermenge < 150 m³/s);
- Verbesserung des Forschungs- und Wissenstandes für große Wasserkraftwerke (Ausbauwassermenge > 150 m³/s) durch Pilotvorhaben im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Entwicklung sinnvoller technischer Lösungen; Prüfung eines angepassten Turbinenmanagements beispielsweise in der Übergangszeit.

In einigen Staaten des Rheineinzugsgebietes gibt es bereits einen Stand der Technik für den Fischschutz und Fischabstieg für Wasserkraftanlagen bestimmter Größe. Bei großen Anlagen werden vielerorts Übergangsmaßnahmen umgesetzt. Einige Staaten haben bereits eigene Empfehlungen oder Regelwerke veröffentlicht.

In dem vom deutschen Umweltbundesamt geleiteten Forum Fischschutz und Fischabstieg (<http://forumfischschutz.de/>) wurde ein deutschlandweit einheitliches Verständnis darüber erarbeitet, welche Anforderungen und Lösungen nach dem derzeit geltenden Stand des Wissens und der Technik bei entsprechenden Maßnahmen zu Grunde zu legen sind. Die Ergebnisse wurden in verschiedenen Factsheets veröffentlicht (<https://forum-fischschutz.de/factsheets>).

Darüber hinaus haben einzelne deutsche Bundesländer die fischökologischen und fischereibiologischen Anforderungen an Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen an Wasserkraftanlagen in speziellen Leitfäden definiert, z. B. „Handreichung Fischschutz und Fischabstieg“ in Baden-Württemberg (<https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/89720>) und „Handbuch Querbauwerke“ in Nordrhein-Westfalen (<https://www.flussgebiete.nrw.de/bauwerke-und-durchgaengigkeit-7387>).

Auch in Frankreich gibt es nationale Bemessungsleitfäden, die auf Erfahrungswerten basieren:

- **Ein Leitfaden zur Dimensionierung von fischschonenden, gerichteten und geneigten Wassereinlässen** (Courret & Larinier 2008)
- **Ein Leitfaden zur Dimensionierung von Bypässen** (Raynal et al. 2013)
- **Ein Leitfaden über Druckverluste** (Raynal et al. 2012)

Große Fortschritte wurden durch die Umsetzung der EU-Aalverordnung und insbesondere das F&E-Programm "Aalbauwerke", das 2011 vorgestellt wurde (<https://www.trameverteetbleue.fr/programmes-recherche-anguilles-ouvrages>), gemacht. Ein neuer Leitfaden wird derzeit erstellt.

Basierend auf den bereits vorhandenen nationalen Erkenntnissen und Empfehlungen wurden in der IKSR gemeinsame Empfehlungen für den Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen für die Staaten im Rheineinzugsgebiet formuliert.

2. Zielsetzungen

Generell wird der Populationsschutz aller wandernden Fischarten im Rheinsystem angestrebt, um das übergeordnete Ziel einer möglichst naturnahen Lebensgemeinschaft zu erreichen. Dies betrifft sowohl diadrome als auch potamodrome Fischarten. Eine Priorisierung entsprechend des Gefährdungsgrades und der Lebensweise einer Art im Hinblick auf den Fischabstieg ist jedoch erforderlich. Daraus ergibt sich, dass der Schutz abwärts wandernder Langdistanzwanderfische, für die die Durchgängigkeit aufgrund ihres Reproduktionszyklus essenziell ist und die verstärkt durch kumulative Effekte betroffen sind, besonders dringlich ist. Bei diadromen Arten wie Lachs, Meerforelle, Aal, Maifisch, Nordseeschnäpel, Meerneunauge und Flussneunauge stehen dabei insbesondere die wandernden Lebensstadien im Fokus (u. a. Blankaale und Smolts). Zu den Indikatorarten Lachs und Aal, die stellvertretend für andere Fischarten stehen, liegen bislang auch die meisten Erkenntnisse zur technischen Umsetzbarkeit von Maßnahmen für den Fischschutz und Fischabstieg vor. Zur Wiederauffüllung der Aalbestände gibt die EU-Aalverordnung hier eine konkrete Zielgröße vor, von mindestens 40%-Biomasse derjenigen Blankaale, die aus dem Aaleinzugsgebiet im Referenzzeitraum abgewandert sind. An dieser Vorgabe sollte sich der Fischschutz in Aalgewässern orientieren.

3. Empfehlungen

3.1 Allgemeine Empfehlungen

Aufgrund ihrer vielfältigen negativen Auswirkungen auf die ökologische Funktion und Durchgängigkeit von Fließgewässern und die Erreichbarkeit noch vorhandener Laich- und Jungfischhabitate wird, wo immer die Auswirkungen und die Nutzungen es ermöglichen, der Rückbau von Schwellen und Wehren in den Nebenflüssen und -gewässern des Rheins, im Einklang mit den Zielen der Wasserrahmenrichtlinie, angestrebt, damit funktionstüchtige Habitate wiederhergestellt werden können und die Fischsterblichkeit beim Abstieg reduziert werden kann (vgl. IKSR-Programm „[Rhein 2040](#)“). Die Wiederherstellung frei fließender Gewässerabschnitte ist auch ein bedeutendes Ziel der 2024 in Kraft getretenen EU-Verordnung zur Wiederherstellung der Natur, der 2020 verabschiedeten EU-Biodiversitätsstrategie und der EU-Aalverordnung zur Verringerung der Aalsterblichkeit durch Wasserkraftwerke.

Falls ein Rückbau nicht möglich ist, sind Wanderhindernisse für den Fischaufstieg und den Fischabstieg mit gut funktionierenden Wanderhilfen auszustatten.

Der Bau von neuen Wanderhindernissen soll, insbesondere in den Programmgewässern des Masterplans Wanderfische (vgl. [IKSR-Fachbericht Nr. 247](#)) nicht zugelassen werden (vgl. IKSR-Programm „[Rhein 2040](#)“).

Für den Fischschutz und Fischabstieg an bestehenden Wasserkraftanlagen gelten folgende Empfehlungen unabhängig von der Ausbauwassermenge eines Standorts.

- 1) Um die am besten geeignete Maßnahme oder Kombination von Maßnahmen für einen spezifischen Standort festzulegen, müssen
 - die geographische Lage der Anlage (z. B. Position im Einzugsgebiet und Merkmale des Flusses);
 - die Funktion und das dazugehörige Betriebsmanagement der Anlage;
 - das Design und die Position möglicher Abstiegskorridore;
 - die hydraulischen Gegebenheiten (z. B. Fließstrukturen und Fließgeschwindigkeiten im Anströmungsbereich des Flusses und in der Nähe der Anlage);
 - und die jeweils geltenden Rechtsvorschriften

berücksichtigt werden sowie

- Zielfischarten festgelegt werden, gemäß potenziell natürlicher Referenzfischfauna unter Einbezug der Biologie (z. B. Jahreszeitenpräsenz bzw. Abwanderungszeiträume, Verhalten, Leistungsvermögen, Alter, Größe).

Durch Evaluierung dieser Faktoren können die Anforderungen und Kriterien festgelegt werden, die die Maßnahme zumindest erfüllen muss. Anhand dieser Kriterien können dann verfügbare Maßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung/Anwendung für den entsprechenden Standort evaluiert und ausgewählt werden.

- 2) Bauliche Maßnahmen sind idealerweise so umzusetzen, dass sie bei Bedarf im Nachhinein ohne unverhältnismäßige Kosten optimiert werden können. Sie müssen zudem robust konstruiert sein, um sowohl Extremereignissen als auch potenzieller Abnutzung im Dauerbetrieb standzuhalten. Die bauliche Maßnahme ist so umzusetzen, dass sie langfristig den gleichen definierten Schutz bietet.
- 3) Die Umsetzung von innovativen Maßnahmen muss durch biologische Monitorings begleitet werden.
- 4) Der Austausch über Forschung, Monitoring und die Evaluierung von Maßnahmen im Rahmen der IKSR soll fortgeführt werden.
- 5) Um die Fischpopulationen zu erhalten, sollten für jeden Flussarm oder Abschnitt Ziele festgelegt werden, die die zu erzielende Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen an den verschiedenen Engpässen angeben, wie dies auch in mehreren Richtlinien (EU-Aalverordnung und Wasserrahmenrichtlinie) gefordert wird.

Es sollten klare Ziele für einzelne Standorte und Fischarten unter Berücksichtigung der Gesamtsituation des Flusses definiert werden (s. Kapitel 4.4). Dabei sollten stets auch Maßnahmenkombinationen zur Minimierung kumulativer Mortalität in Erwägung gezogen werden (s. Kapitel 4.2 Projekt „HDX-Wupper“), die bei Bedarf durch Überwachung evaluiert werden.

Ist die Festlegung für einzelne Standorte nicht möglich, so ist zu beachten, dass grundsätzlich für jeden Standort versucht wird, die beste technische Lösung unter Anwendung des derzeit bekannten Standes der Technik einzusetzen.

3.2 Mögliche Maßnahmen

Aus fischbiologischer Sicht ist der Rückbau von Wasserkraftanlagen zu priorisieren. Es ist zu prüfen, inwieweit der Nutzen einer Wasserkraftanlage zur Produktion erneuerbarer Energien die „ökologischen Kosten“ hinsichtlich des Verlustes von Habitaten und der Fragmentierung von Flusssystemen aufwiegt. Der größte ökologische Gewinn lässt sich nämlich durch Rückbau bestehender Wasserkraftanlagen oder durch die Nichtumsetzung geplanter Initiativen zum Neubau von Anlagen erzielen.

In den Programmgewässern des Masterplans Wanderfische ist der Bau von neuen Wanderhindernissen daher grundsätzlich nicht zugelassen (vgl. IKSR-Programm „[Rhein 2040](#)“).

Sollten außerhalb dieser Zielkulisse neue Anlagen gebaut werden, können höhere Ziele angesetzt werden als bei bestehenden Anlagen (s. Kapitel 4.4).

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, existiert häufig keine Standard-Lösung für den Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. Die Umsetzbarkeit der aufgeführten Maßnahmen ist daher in Abhängigkeit eines Standortes zu prüfen.

Generell gilt, dass es in den Staaten des Rheineinzugsgebietes Unterschiede bei der Herangehensweise im Umgang mit den verfügbaren Maßnahmen (s. auch Kapitel 4) und bei den Empfehlungen zu bestimmten Maßnahmen gibt.

Es besteht jedoch Konsens über die Empfehlung horizontaler oder vertikaler Feinrechen mit Bypass (s. auch Kapitel 3.3).

3.2.1 Erprobte Maßnahmen: Horizontale oder vertikale Feinrechen mit Bypass

Physische Maßnahmen, zumeist in Form von mechanischen (Rechen)Barrieren, sollen verhindern, dass Fische in der Lage sind, in die Turbinen zu schwimmen (Schutzeffekt). Um die Abwanderung zu ermöglichen, ist es außerdem essenziell, einen alternativen Wanderweg in Form eines Bypasses zu haben (s. Wagner 2020). Die Anwendung von Feinrechen ist eine wirksame Maßnahme, um die Passage des Fisches über die Turbine zu verhindern. Dieser Maßnahmentyp ist bereits an zahlreichen Standorten realisiert. Erfahrungen zum Bau und Betrieb liegen vor (z. B. Cuchet et al. 2018, Ebel 2016, Ebel et al. 2018, Frey et al. 2020, Ingendahl et al. 2024, Tomanova et al. 2018a, Tomanova et al. 2018b, Tomanova et al. 2021). Die Wirksamkeit der Maßnahme hängt dabei von der Stabweite in Bezug auf die zu schützende Mindestfischgröße ab (sowohl Höhe als auch Breite des Fisches sind maßgebend, s. Meister et al. 2022, Knott et al. 2023). Es gibt Feinrechen in verschiedenen Varianten. Es gibt vertikale und horizontale Rechen, die auf unterschiedliche Art und Weise im Zulaufkanal angebracht werden können. Im Gegensatz zu Vertikalrechen müssen Fische bei horizontal schräg angeströmten Rechen ihre Wandertiefe nicht verlassen, um zum Bypass zu gelangen.

Bei Feinrechen spielt die Anströmgeschwindigkeit vor dem Rechen eine wichtige Rolle. Wenn diese zu hoch ist (z. B. 0,5 m/s)¹, besteht das Risiko, dass Fische gegen den Rechen gedrückt werden. Weiterhin ist der Winkel bzw. die Neigung eines Rechens entscheidend. Es sollte sich zumindest ein Anströmwinkel $<45^\circ$ ergeben, sodass der Weg in die Turbine nicht nur verhindert wird, sondern die Fische aus dem Gefahrenbereich Richtung Bypass geleitet werden. Explizit für Vertikalrechen haben sich Anströmwinkel unter 26° als besonders effektiv erwiesen.

Unabhängig von der Ausrichtung eines Rechens (vertikal oder horizontal) ist es wichtig, dass der Bypass gut, möglichst unmittelbar, am unterstromigen Ende des Rechens anschließt, um eine gute Auffindbarkeit zu gewährleisten (Leitwirkung) bzw. verzögernde Suchbewegungen zu minimieren. Dazu muss die Dimensionierung des Bypasses (Größe und damit verbundene Durchflussmenge und Strömungszunahme) und seine Positionierung (nach Möglichkeit unmittelbar am unterstromigen Ende des Fischschutzrechens) sowie Anordnung (über die gesamte Wassersäule ein bis mehrere punktuelle Einstiege) an die jeweilige Fischgemeinschaft angepasst werden (s. Ebel 2016).

Ebel (2016) empfiehlt zur verbesserten Auffindbarkeit im Fall von vorliegenden Defiziten die Dimensionierung in Abhängigkeit zur Ausbaumenge der WKA anzupassen (2-5 % Q_{WKA} mit und 5-10 % Q_{WKA} ohne horizontale Schräganströmung). Dies ist insbesondere bei Bestandsanlagen zu beachten, bei denen die physische Barriere für festgelegte Zielarten durchlässig ist, mit ungeeigneter Geschwindigkeit angeströmt wird, oder eine ungünstige Lagebeziehung zwischen Bypass und Barriere besteht (Bypass ist möglichst nah zur Barriere zu platzieren).

3.2.2 Übrige Maßnahmen

Neben den „klassischen“ Feinrechen mit Bypass werden weitere Maßnahmen übergangsweise angewendet bzw. sind in Erprobung und können vielleicht zukünftig, ggf. auf besondere Standorte beschränkt, an Bedeutung gewinnen. Dazu gehören neben weiteren physischen Maßnahmen, Turbinen mit reduziertem Schädigungspotenzial für Fische, betriebliche Maßnahmen und Verhaltensmaßnahmen. Diese Maßnahmen werden nachfolgend beschrieben.

¹ z. B. Vorgabe in DE-NRW, s. Handbuch Querbauwerke

Physische Maßnahmen

Vertikale Leitrechen des Typs „Curved Bar-Rack“ (CBR): Diese Leitrechenarten (curved bar rack, vertical bar rack, louvers) haben Stababstände, die die Fische weitgehend physisch passieren lassen würden. Es werden jedoch Turbulenzen erzeugt, die eine repulsive Wirkung haben und die Fische in Richtung eines Bypasses lenken. Der Vorteil dieser Rechentypen besteht darin, dass sie die mit den oben genannten Feinrechen verbundenen Produktionsverluste vermeiden, wenig Unterhalt erfordern und gleichzeitig ein breites Spektrum an Arten und Größen leiten und schützen können. Vorliegende Laborergebnisse sind vielversprechend, aber es liegen kaum Erfahrungen aus dem Freiland vor und die Kosten für die Umsetzung bei bestehenden Wasserkraftanlagen sind wahrscheinlich sehr hoch. Bei Neubauten können die Kosten sehr wahrscheinlich niedriger sein.² Das Potenzial dieser Technik als wirksame Methode zur Vermeidung von Fischschäden ist derzeit noch unsicher.

Coanda-Rechen: Dieser Rechentyp ist als fischschonende Alternative für klassische Fallrechen (Tirolerwehr) gedacht. Das Wasser fließt dabei über eine Wehrkante mit einem dahinterliegenden Rechen mit geringem lichten Stababstand und einer glatten Oberfläche aus dreieckigen Stäben. Fische und Feststoffe können in einem Wasserfilm über den überströmten Rechen in das Unterwasser gespült werden (vgl. BAFU 2022).

Seilrechen: Die obengenannten Rechen sind feste Rechen. Anstatt dieser Rechen können auch sogenannte „Seilrechen“ angebracht werden. Es handelt sich hierbei um Kabel, die zwischen zwei Ankerpunkten über den Zulaufkanal in Richtung Wasserkraftanlage gespannt werden. Die Kosten für eine derartige Konstruktion sind überschaubar. Für das Management der Wasserkraftanlage besteht der Vorteil darin, dass diese Rechen bei Hochwasser herabgelassen werden, um Treibgut passieren zu lassen. Dies kann jedoch nicht empfohlen werden, um Wanderfische zurückzuhalten oder zu leiten. Hierfür ist nämlich wichtig, dass der Abstand zwischen den Kabeln großflächig und dauerhaft gering gehalten wird. Das Potenzial dieser Rechen zum verbreiteten zukünftigen Einsatz ist ungewiss.

Partial Depth Leitrechen: Das Prinzip dieser Rechen ist ähnlich wie bei den Leitstrukturen vom Typ CBR, jedoch sind sie nur im oberen Teil der Wassersäule vorhanden. Im unteren Teil der Wassersäule gibt es demnach keinen Rechen. In diesem Bereich werden die Fische dann auch nicht abgehalten oder geleitet. Nach derzeitigem Kenntnisstand wandern einige Fischarten hauptsächlich in der oberen Wasserschicht ab, beispielsweise Salmoniden. Für diese Arten kann ein derartiger Rechen Wirkung zeigen, wenn die Wanderfische direkt in Richtung Bypass geleitet werden und sich nicht auf die Suche nach alternativen Wanderwegen begeben. Es gibt jedoch auch Arten (z. B. die Barbe), die hauptsächlich am Gewässerboden zu wandern scheinen. Für solche Arten ist ein derartiger Rechen nicht wirksam. Es könnten erhebliche Einsparungen erzielt werden, wenn die Installation von Strukturen auf die ersten Meter unterhalb der Wasseroberfläche begrenzt würde, aber es ist noch unklar, ob die Wirkung solcher Strukturen zufriedenstellend ist. Detaillierte Studien fehlen bislang noch.

Ufernahe Leitstrukturen wie Leitrechen und Strömungsdeflektoren (vgl. Projekt FishPath (VAW)): Die Idee bei diesem Typ von Maßnahmen ist, die Leitstrukturen räumlich auf die Stellen zu beschränken, wo sich die Fische natürlicherweise in der Nähe des Wehres ansammeln. Leitstrukturen können dann speziell an den identifizierten Stellen installiert werden, wodurch der Umfang der baulichen Maßnahmen und damit die Kosten drastisch

² M. Huber-Gysi, mündl. Mitteilung

reduziert werden. Um solche Lösungen zu implementieren, müssen zunächst Verhaltensstudien durchgeführt werden, um die Stellen zu identifizieren, an denen sich die Fische auf natürliche Weise orientieren. Beispielsweise ist es möglich durch telemetrische Studien Suchmuster sowie vorwiegende Aufenthaltsorte der Fische zu identifizieren. Derzeit ist noch unklar, ob sich alle Arten in der Nähe eines Wehrs ähnlich verhalten und ob dieser Typ von Lösungen für ein breites Spektrum von Arten und Größen effektiv umgesetzt werden kann. Darüber hinaus kann das Verhalten der Fische von Jahr zu Jahr in Abhängigkeit von abiotischen Faktoren, wie z.B. dem Abflussregime oder der Temperatur, variieren. Daher sind Beobachtungen über mehrere Jahre erforderlich, um sicherzustellen, dass das Verhalten der Fische im Laufe der Zeit stabil bleibt.

Mobile Tauchwände („parois plongeantes mobiles“): Bei diesem Maßnahmentyp wird eine schwimmende Struktur mit einer Tauchwand installiert, die die ersten Meter unter der Oberfläche abdeckt. Die Struktur wird mit Kabeln an den Ufern und/oder am Damm verankert und kann daher leicht versetzt werden (z.B. bei Hochwasser oder wenn die Positionierung nach der Umsetzung optimiert werden soll). Die Wirksamkeit dieses Typs von Maßnahme ist unsicher, da die Funktionalität auf die ersten Meter unter der Oberfläche beschränkt ist.

Turbinen mit reduziertem Schädigungspotenzial für Fische

Der Turbinentyp und die Betriebsweise haben einen starken Einfluss auf die Mortalität der Fische. Änderungen an der Turbine selbst oder der Betriebsweise (siehe nachfolgender Punkt 3) können das Verletzungs- und Mortalitätsrisiko reduzieren.

Für Wasserkraftanlagen mit geringer Fallhöhe gilt, dass die Fischmortalität hauptsächlich durch die Kollision mit den Turbinenblättern verursacht wird. Relevante Turbineneigenschaften in Bezug auf Fischmortalität sind die Dicke der Turbinenblätter (mit denen der Fisch in Kontakt kommt), der Winkel, in dem der Fisch mit den Turbinenblättern und den leitenden Flügeln in Kontakt kommt, die Rotationsgeschwindigkeit der Turbinenblätter und die Anzahl Turbinenblätter (Berkel et al. 2016). Es wurden im Laufe der Zeit Turbinen entwickelt, bei denen der fischschonende Effekt ein wichtiges Kriterium war und Mortalitätsraten von bis zu einigen Prozent erreichbar sind z. B. RHT-Turbine von Natel Energy (Überlebensrate laut Hersteller 98 – 100 %, s. Amral et al. 2020, Watson et al. 2022 und Watson et al. 2023). Vor Ort im Feld untersucht wurden z.B. Wasserkraftschnecken (Kibel P., 2007; Kibel P., 2008), VLH (Very low head) Turbinen (Courret & Larinier, 2008; Lagarrigue T., 2013) und das Bewegliche Kraftwerk. Derzeit werden die Machbarkeit und die Kosten für die Implementierung des RHT-Turbinentyps an einer Anlage in der Schweiz untersucht (in Diskussion für KW Eglisau). Weitere Untersuchungen gab es zu Fairbanks Nijhuis Turbinen (Winter et al., 2012; Bruijs & Vriese, 2013; Vriese, 2015) und zum Voith Minimum Gap Runner (Robb, 2011).

Betriebliche Maßnahmen

Anpassungen im Management einer Wasserkraftanlage können Auswirkungen auf die Fischmortalität haben. Hier kann z. B. an die Wasserverteilung zwischen Kraftwerk und Wehr sowie die Wassernutzung gedacht werden, aber auch an Turbineneinstellungen oder sogar an das Abschalten von Turbinen zum Zeitpunkt einer erhöhten Fischwanderung (s. Beispiele in Kapitel 4).

Abschalten von Turbinen: Wenn es in der Praxis nicht möglich ist, mit anderen Maßnahmen (physisch, Verhalten oder fischschonende Turbinen) ein ausreichendes Maß an Schutz für den Fischabstieg zu erhalten, kann das Abschalten der Turbinen eine erfolgreiche Maßnahme sein. Zu dem Zeitpunkt an dem Abwärtswanderung/Wanderung der Zielarten stattfindet, sollte die Turbine abgeschaltet werden. Für das Vorhersagen des Wanderzeitraumes können sogenannte „Frühwarnsysteme“ oder Vorhersagemodelle genutzt werden. Wie akkurat diese sind, kann von Ort zu Ort unterschiedlich sein und Auswirkungen haben auf das Betriebsmanagement (kurzer oder längerer Abschaltzeitraum). Im Abschaltzeitraum können die Fische über alternative Routen abwärts wandern.

Angepasstes Turbinenmanagement: Die Fischmortalität an Wasserkraftanlagen kann von der Wassermenge, die durch die Turbine fließt, abhängig sein. Bei Turbinen, bei denen der Turbinenabfluss durch das Drehen der Turbinenblätter reguliert wird, gilt, dass es bei höherem Abfluss mehr Raum zwischen den Blättern gibt. Das führt zu einer geringeren Fischmortalität. Wenn mehrere Turbinen vorhanden sind, kann ein angepasstes Management (Streben nach Maximalabfluss pro Turbine) zu einer Reduzierung der Fischmortalität führen. Der Grad der Reduzierung ist dabei von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Bekannte Beispiele zeigen, dass angepasstes Turbinenmanagement zu einer 25 % geringeren Mortalität bei Blankaalen führte (Bakker 2016).

Fang und Transport: Eine ergänzende Maßnahme, Mortalität bei der Abwärtswanderung zu vermeiden, ist das Fangen von Fischen im Oberlauf der Wasserkraftanlage und das wieder Aussetzen im Unterlauf der Anlage. Für den Blankaal kann beispielsweise die Reusenfischerei genutzt werden. Diese Maßnahme beinhaltet einen relativ großen Aufwand in Bezug auf Arbeitsstunden. Das Ausmaß, in dem die Maßnahme zum Überleben der Fische beiträgt, hängt dabei vom Fangaufwand und von der Wirksamkeit der eingesetzten Fanggeräte ab (ortsabhängig). Generell ist festzuhalten, dass die Wirksamkeit beschränkt ist. Zudem gilt, dass diese Maßnahme, abhängig von der Frequenz, mit der die Fanggeräte aus dem Wasser gehoben werden, zu einer Verzögerung der Wanderung des Fisches führt.

Optimierte Wehr- und Turbinensteuerung: Die Idee ist, die Kosten im Zusammenhang mit Produktionsverlusten durch die Optimierung der Wassernutzung für den Fischabstieg zu senken. Dies kann durch gezielte Öffnungen der sicheren Fischabstiegskorridore (Bypass, Schütze oder andere) erreicht werden. Diese Öffnungen werden entweder auf der Grundlage der Kenntnisse über die Abwanderungszeiten der betroffenen Arten oder flexibler durch Echtzeit-Überwachung (z.B. Video oder Sonar) der Fische am Staudamm vordefiniert. Letztere dient dazu, die Fischabstiegskorridore nur bei Anwesenheit von Fischen zu beschicken. (Solche Lösungsansätze werden derzeit in einer Pilotstudie am Kraftwerk Stroppele untersucht).

Verhaltensmaßnahmen

Während physische Maßnahmen Fische mit festgelegter Mindestgröße daran hindern, in Turbinen zu schwimmen, wird bei den Verhaltensmaßnahmen das Verhalten der Fische genutzt, um diese zu einem alternativen Weg zu leiten. Es geht dabei um das Verhalten der Fische auf unterschiedliche Reize. Verhaltensmaßnahmen sollen in der Praxis in Kombination mit einer alternativen Route angewandt werden.

Mehrere Studien haben gezeigt, dass viele der untersuchten sensorischen Barrieren unwirksam oder nur begrenzt wirksam sind (z. B. Studie zu Infraschall: Bau et al. 2011).

Wirbelbasierte Leitstrukturen (vgl. Forschungsprojekt FishPath): Die Forschungsgruppe VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie) der ETH Zürich ist am FishPath-Projekt beteiligt, das Methoden entwickeln soll, die auf der Reaktion von Fischen auf Turbulenzen basieren, um diese zu lenken. Im Rahmen des Projekts soll untersucht werden, welche Wirbelarten die beste Wirkung haben und welche Strukturen (z.B. Zylinder, Hydrofoils) am besten geeignet sind, um die gewünschte Wirbelart zu erzeugen. Das Projekt befindet sich derzeit im Forschungsstadium und soll bis 2026 abgeschlossen werden (s. <https://www.nina.no/fishpath>).

Luftblasenvorhänge bzw. „BioAcoustic Fish Fence“ (BAFF): Das Funktionsprinzip dieses Typs von Barrieren beruht auf der Erzeugung von sensorischen Reizen (z.B. Licht, Ton, Blasen), die die Fische dazu veranlassen, bestimmte Bereiche zu meiden und sie zu sicheren Wanderkorridoren (Bypässe) zu leiten. Bisher war die biologische Wirksamkeit dieser Art von Vorrichtungen meist unzureichend und sie wurden nur in Kombination mit bestehenden mechanischen Barrieren eingesetzt. Das relativ neue BAFF-System, welches akustische Reize mit einem Blasenvorhang kombiniert, scheint jedoch vielversprechend zu sein und die ersten Erfahrungen sind positiv. Der große Vorteil dieses Typs von Systemen ist, dass sie keine physischen Barrieren in der Wassersäule erfordern. Sie sind daher relativ kostengünstig und führen nicht zu Produktionsverlusten, da sie die Strömung zu den Turbinen nicht behindern.

Elektrische Leit- bzw. Scheueinrichtungen: Es gibt Leitsysteme, die die repulsive Wirkung eines elektrischen Feldes auf die Fische nutzen. So können z.B. elektrifizierte Seilrechen die Fische mit einem viel größeren Abstand als feine Rechen zu einem Bypass leiten und so die Produktionsverluste minimieren. Darüber hinaus können die Kabel bei Hochwasser abgesenkt werden, um Treibgut durchzulassen. Dies ist jedoch aus Fischschutz-Sicht nicht wünschenswert, da bei Hochwasser im Allgemeinen auch eine erhöhte Fischwanderung stattfindet. Derzeit wurde dieser Typ von Lösung noch nicht an großen Anlagen getestet und die Wirksamkeit muss noch bewertet werden. Eine andere Lösung ist die Elektrifizierung der Turbinenschutzrechen oder der Treibgutschutzrechen (vor den Wasserentnahmen). Dies ermöglicht eine Kostenminimierung, da durch die Nutzung bestehender Rechen umfangreiche Arbeiten am Dammbau vermieden werden, aber die Ausrichtung und Platzierung bestehender Rechen im Wasserlauf ist selten optimal im Hinblick auf die Leitwirkung zu einem Auslauf bzw. Bypass. Eine ausreichende Schutzwirkung solcher Rechensysteme ist allerdings noch nicht hinreichend belegt und vor allem bei höheren Anströmgeschwindigkeiten fraglich. Zudem bestehen Bedenken bezüglich der Personensicherheit von elektrischen Leit- bzw. Scheueinrichtungen (Sept. 2022: Unfall mit zwei Toten in der Arve bei Genf, zu dem möglicherweise ein elektrisches Fischabsperresystem beigetragen hat).

Induzierte Drift Anwendung“ (IDA): Die kürzliche Entwicklung der IDA-Technik ist ebenfalls vielversprechend, um die Schäden an Fischen bei der Turbinenpassage zu verringern. Bei diesem Ansatz wird ein elektrisches System direkt an der Turbine installiert, das die Fische unmittelbar vor dem Durchgang durch die Turbine betäubt. Da ein betäubter Fisch nicht gegen die Strömung ankämpft, ist die Wahrscheinlichkeit, dass er bei der Passage durch die Turbine Schaden erleidet, wesentlich geringer. Die Fische passieren die Turbine schneller, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer (letalen) Kollision abnimmt. Erste Ergebnisse zeigen eine Reduzierung der Mortalität und der Verletzungen um 50 %. Diese Methode ist noch sehr neu und es fehlt noch an Erfahrungswerten. Es ist wichtig zu beachten, dass das Passieren von Turbinen, die nicht als fischschonend klassifiziert sind, für Fische alles andere als ideal ist und immer ein Risiko für Verletzungen und Mortalität birgt, auch wenn dieses bei einigen Arten und/oder Altersklassen gering sein kann. Zudem ist wahrscheinlich, dass die Fische unterhalb des

Turbinenauslasses noch betäubt und/oder desorientiert sind und somit erhöhter Prädation ausgesetzt sind. Bei Anwendung des IDA-Ansatzes sind die Auswirkungen der Prädation daher zwingend zu berücksichtigen.

3.3 Maßnahmen in Abhängigkeit der Größe der Wasserkraftanlage

Die Wirkung und Anwendbarkeit der Maßnahmen hängen im Einzelfall von der Größe und Bauart der jeweiligen Anlage ab. Mit Blick auf die Energieeffizienz und den Störungseffekt im Gewässer ist für alle Anlagen zuerst die Option „Rückbau“ zu prüfen. Ist ein Rückbau nicht umsetzbar, können untenstehende Maßnahmen, in Abhängigkeit der Ausbauwassermenge der Wasserkraftanlage, Fischschäden begrenzen.

3.3.1 Kleine Wasserkraftanlagen (Ausbauwassermenge der Gesamtanlage bis 50 m³/s)

Für bestehende kleine Wasserkraftwerke mit einer Ausbauwassermenge bis 50 m³/s besteht bereits ein Stand der Technik³ und es liegen Erfahrungen mit gut funktionierenden Abstiegsanlagen vor.

Bauliche/physische Maßnahmen, die technisch erprobt und Stand der Forschung⁴ sind, sind im Falle kleiner Wasserkraftanlagen gegenüber betrieblichen Maßnahmen zu bevorzugen. Dazu gehören:

- Horizontale und vertikale Feinrechen mit Bypass
- Coanda-Rechen
- Turbinen mit reduziertem Schädigungspotenzial für Fische (div. Bautypen: Schnecken, VLH, ...)

In der Regel ist die Installation von Feinrechen (10-15 mm Stababstand), die eine hohe physische Schutzwirkung ab einer gewissen Fischgröße zuverlässig gewährleisten, verhältnismäßig einfach umzusetzen.

Sind physische Maßnahmen nicht umsetzbar, können betriebliche Maßnahmen, wie die zeitweise Stilllegung der Anlage zu Zeiten der Fischwanderung, als alternative Lösung herangezogen werden.

3.3.2 Mittlere Wasserkraftanlagen (Ausbauwassermenge der Gesamtanlage 50-100 m³/s, kann je nach regionaler Definition auch bis zu 150 m³/s betragen)

Bei mittelgroßen Kraftwerken wurden in den vergangenen Jahren viele Untersuchungen und Nachrüstungen durchgeführt (s. Beispiele in Kapitel 4). In dieser Größenordnung wurden schon an mehreren Kraftwerken funktionsfähige Abstiegsanlagen installiert.

Für Anlagen dieser Größenordnung sind physische Maßnahmen zu bevorzugen (s. Kapitel 3.2). Aus hydraulischen Gründen sind Feinrechen mit geringem Stababstand und hoher physischer Schutzwirkung teilweise nicht mehr anwendbar oder nur mit hohem Aufwand möglich und es muss vermehrt mit größeren Stababständen und der Leitwirkung schräggestellter Rechen gearbeitet werden. Lösungen mit Feinrechen sind derzeit an verschiedenen Standorten in der Planung.

Die Wirksamkeit und Anwendbarkeit betrieblicher Maßnahmen sowie von Maßnahmen, die auf das Verhalten der Fische abzielen, gilt es noch näher zu prüfen (s. Kapitel 3.2).

³ in DE: Ergebnisse des „Forum Fischschutz“ (s. Umweltbundesamt 2023)

⁴ in DE: Ergebnisse des „Forum Fischschutz“ (s. Umweltbundesamt 2023)

Grundsätzlich sind alle Maßnahmen in Abhängigkeit der Zielsetzung (z. B. Zielart) zu wählen.

3.3.3 Große Wasserkraftanlagen (Ausbauwassermenge der Gesamtanlage über 100 m³/s)⁵

Speziell für große Wasserkraftanlagen und insbesondere für die großen Rheinkraftwerke besteht weiterhin ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Daher wurden in dem von der IKSR organisierten [Webinar](#) „Fischschutz und Fischabstieg an großen Wasserkraftanlagen: Erfahrungen und Wissen teilen“ am 15./16. September 2021 speziell best-practice Maßnahmen sowie aktuelle Ergebnisse aus Forschungsprojekten zum Fischschutz und Fischabstieg an großen Wasserkraftanlagen vorgestellt.

Das Webinar hat gezeigt, dass ein breites Spektrum an Maßnahmen vorhanden ist, um den Fischabstieg an Wasserkraftanlagen zu ermöglichen. Diese umfassen

- Leitsysteme (physische Systeme oder auf Verhalten basierte Systeme);
- ein angepasstes Turbinenmanagement (Betriebsmanagement in Kombination mit Frühwarnung);
- die Anwendung von Turbinen mit reduziertem Schädigungspotenzial;
- die bauliche Anpassung der Lage und des Layouts des Einlaufs;
- sowie das Vorhandensein einer gut auffindbaren und passierbaren alternativen Route (z. B. über die Staustufe/Überlauf, Bypass, Fischpass, etc.).

Die hier vorgeschlagenen Maßnahmen wurden bei Anlagen bis 450 m³/s überprüft. Für Anlagen dieser Größenordnung können die oben genannten sowie die Prüfung des Einsatzes weiterer, in Kapitel 3.2 beschriebener Maßnahmen empfohlen werden. Der Einsatz von Rechensystemen ist allerdings erheblich aufwändiger als an kleineren Anlagen und nach derzeitigem Erfahrungs- und Entwicklungsstand oft nicht umsetzbar.

Außerdem sollte zwischen langfristigen und kurzfristigen Ansätzen unterschieden werden. Betriebliche Maßnahmen, wie die optimierte Wehr- und Turbinensteuerung, sind im Gegensatz zu baulichen Maßnahmen reversibel und kurzfristig umsetzbar. Grundsätzlich sollten, in Abhängigkeit der verfügbaren Methoden zur Überprüfung der Zielerreichung, artspezifische Überlebensraten für Einzugsgebiete definiert werden, welche auf populationsbiologischen Überlegungen basieren und die kumulative Mortalität der Kraftwerksketten im betrachteten Flussabschnitt berücksichtigen. Die Umsetzung zur Erreichung dieser Zielsetzung kann schrittweise erfolgen, wobei aus fischereibiologischer Sicht diejenigen Maßnahmen zu priorisieren sind, welche das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen (in der Regel liegen diese im Unterlauf).

⁵ s. Kapitel 3.3.2

4. Praktische Beispiele aus den Staaten

Die Staaten im Rheineinzugsgebiet haben in den vergangenen Jahren viele Erfahrungen mit der Umsetzung von Fischschutzmaßnahmen und Abstiegsstechniken in die Praxis für die Verringerung der Fischsterblichkeit an Wasserkraftwerken gesammelt. Darüber hinaus wurde insbesondere für große Wasserkraftwerke (Ausbauwassermenge > 150 m³/s) der Forschungs- und Wissensstand durch Pilotvorhaben verbessert und effektive Übergangsmaßnahmen umgesetzt. Anlage 1 enthält eine umfassende Übersicht zu in den Staaten des Rhein- und Maas-Einzugsgebiets durchgeführten Studien zum Fischschutz und Fischabstieg.

Nachfolgend werden praktische Beispiele zu Maßnahmen und Regelungen aus den Staaten aufgeführt.

4.1 Schweiz

Wasserkraftwerk Dietikon

Am Wasserkraftwerk Dietikon (Ausbauwassermenge 95 m³/s) wurde der bisher größte horizontale Feinrechen im deutschsprachigen Raum umgesetzt. Der Stababstand beträgt 20 mm. Der Rechen ist seit 2019 in Betrieb und nach Auskunft der Betreiberin gibt es keinerlei Probleme in Betrieb und Unterhalt. Die biologische Wirkungskontrolle beginnt erst 2023, daher sind noch keine konkreten Angaben über die Wirksamkeit möglich.

Kraftwerke Stropfel und Rüchlig

Die Ausbauwassermenge beträgt 40 m³/s für das Dotierkraftwerk (KW) Rüchlig und 33 m³/s für das KW Stropfel. Beide wurden mit einem horizontalen Leitrechen mit Bypass und einem Stababstand von 20 mm und einer Sohleitwand versehen. Der Anströmwinkel beim KW Rüchlig ist fast null (parallel zur Strömung) und beim KW Stropfel beträgt der Anströmwinkel 38°. Abgeschlossene Wirkungskontrollen mit ausführlichen Berichten liegen für das KW Stropfel an der Limmat und das Dotierkraftwerk des KW Rüchlig an der Aare vor. Bei beiden Anlagen wurden keine relativen Abstiegszahlen erhoben (Abstieg sowohl über die Turbine als auch über die verschiedenen alternativen Abstiegskorridore wie Bypass, Aufstiegsanlage, Wehrüberlauf etc., für welche keine Abstiegszahlen vorliegen). Das heißt die biologischen Wirkungskontrollen können keine umfassenden quantitativen Aussagen zur Fischleit- und Fischschutzwirkung machen. In beiden Fällen bestanden die Stichproben in den Hamenreusen unterhalb des Bypasses zu mehr als 95 % aus Fischen mit Körpergrößen < 10 cm, welche theoretisch den Rechen hätten passieren können. Daher ist gemäß den Berichten für die zwei Kraftwerke davon auszugehen, dass nur ein sehr kleiner Teil der Fische durch den Rechen über die Turbine absteigt. Dies sind begründete Annahmen, die sich jedoch nicht zweifelsfrei quantitativ belegen lassen (anhand von Befischungen im Oberwasser kann ein Vergleich gezogen werden zur Fischarten- und Größenverteilung der abgestiegenen Fische. Dieser Vergleich legt für das KW Stropfel nahe, dass keine Fischarten- und Größenselektivität stattfindet. Die hohen Abstiegszahlen lassen zudem vermuten, dass der Rechen eine gute Leitwirkung hat und der Bypass oder die Bypässe in beiden Kraftwerken aufgefunden werden. Im KW Stropfel konnten Videoaufnahmen aufzeigen, dass die Fische die beiden Bypass-Eingänge gut gefunden haben).⁶

⁶ <https://plattform-renaturierung.ch/massnahmen-renaturierung/>



Abbildung 1. Übersicht der Anlagenteile des Kraftwerks Ruchling (ArcGIS, Zugriff 18.09.2018).

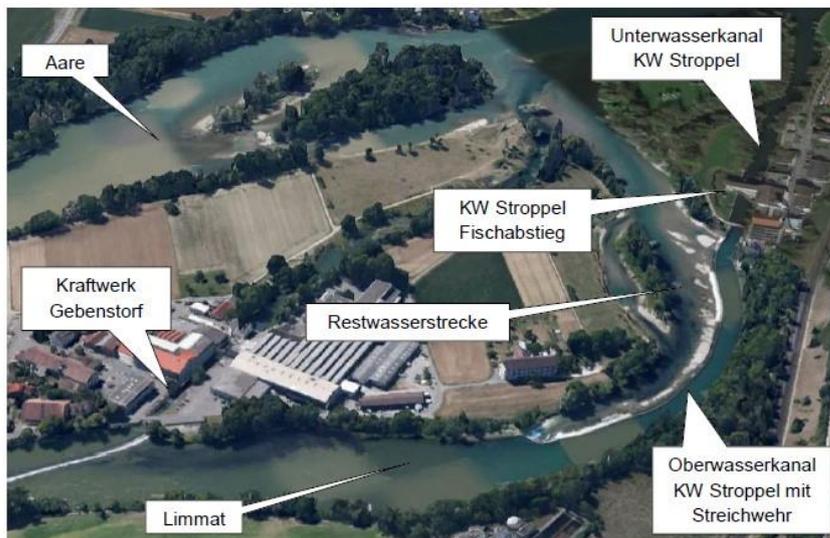


Abbildung 2. Übersicht Kleinwasserkraftwerk StroppeI inkl. oberliegendes Kraftwerk Gebenstorf an der Limmat und die Aare (Fließrichtung von links nach rechts, Quelle Google-Earth).

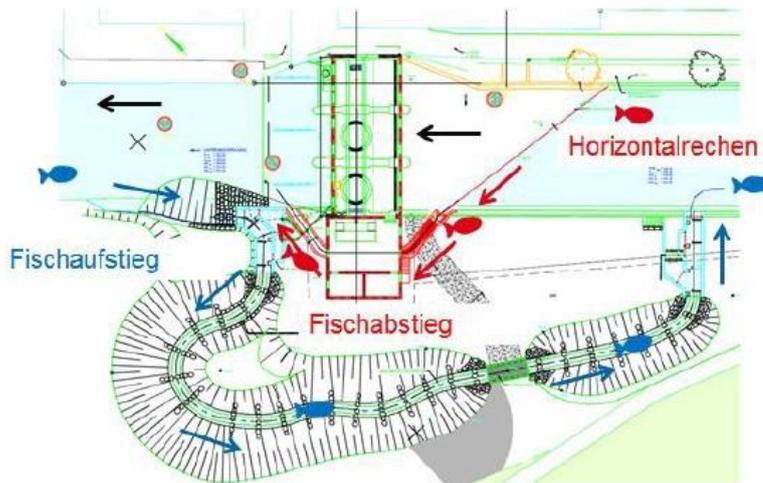


Abbildung 3. Übersicht Fischabstieg am Kleinwasserkraftwerk Stroppele. Die Fließrichtung der Limmat ist von rechts nach links.

4.2 Deutschland

Vorläufige befristete Maßnahmen zum Fischschutz und Fischabstieg an großen Wasserkraftanlagen des Mains am Beispiel der Standorte Offenbach und Kesselstadt (Mühlheim)

Entlang des Mains gibt es 34 Staustufen. Die sechs Staustufen am Untermain vor der Mündung in den Rhein befinden sich in Hessen, an fünf dieser Staustufen werden Wasserkraftanlagen (WKA) betrieben. Sie verfügen über eine Ausbauleistung von jeweils 4 bis 5 MW mit Ausbaumengen von 160-210 m³/s. In der Regel sind bei großen Wasserkraftanlagen, wie am Main, lediglich Schutzrechen mit einem großen Stababstand eingebaut, um größeres Treibgut vom Eindringen in die Turbine abzuhalten. Die Mehrzahl der Fische hingegen können diese Rechen passieren und gelangen dann in die Turbinen. Diese Fische werden in Abhängigkeit von Körpergröße und -form zu einem hohen Prozentsatz (bis über 50 %) durch die Turbinenschaufeln geschädigt oder sogar getötet. Zudem können Schäden (z. B. an Schwimmblasen) durch die Druckverhältnisse bei der Passage durch den Turbinenkanal entstehen. Dies ist vor dem Hintergrund zu bewerten, dass die Anlagen am Main so ausgelegt wurden, dass an ca. 240 Tagen im Jahr das gesamte Flusswasser (abgesehen vom Schleuseninhalt) durch die Wasserkraftanlage abfließt. Andere Abwanderkorridore sind in der Regel nicht vorzufinden.

Eine Ausnahme bildet die Staustufe Kostheim. Schon seit der Inbetriebnahme im Jahre 2008 verfügt sie über einen Feinrechen mit Stababstand von 20 mm sowie einen Fischauf- und -abstieg. Beide Passagerouten werden aktuell im Rahmen eines Pilotprojekts optimiert.

Die Wasserkraftanlagen an den Staustufen Offenbach und Mühlheim wurden bereits Mitte bzw. Ende der 1980er Jahren errichtet. Jede Anlage verfügt über zwei Turbinen (je 90 m³/s). Bis Herbst 2018 erfolgten keine baulichen Veränderungen, so dass vor jeder Turbine nur lediglich ein Grobrechen mit 100 mm Stababstand verbaut war. Im Zuge einer wasserrechtlichen Genehmigung zum Weiterbetrieb beider Anlagen wurde zwischen Behörde und Betreiber nach einer Zwischenlösung gesucht, die für einen Übergangszeitraum den grundsätzlichen Weiterbetrieb der Anlage sowie dem Fischschutz Rechnung trägt.

Mit Bescheiden der Jahre 2018 und 2019 wurde auf Antrag des Betreibers der Weiterbetrieb der beiden Wasserkraftanlagen befristet auf fünf Jahre bis Ende Juni 2024 genehmigt. Wesentliche Regelungen zum Betrieb sind:

- Nur Turbinen mit vorgeschalteten 15-mm-Rechen dürfen betrieben werden.
- Die Anströmgeschwindigkeit vor dem Rechen darf max. 0,5 m/s betragen.
- Lediglich die Hälfte des Main-Abflusses darf für die Wasserkraft genutzt werden. Dies führt zu einem ständigen Wehrüberfall, welcher einen potenziellen Abwanderkorridor für die Fische darstellt.
- Im Falle von Wartungs-, Kontroll-, Reparatur- oder sonstigen Arbeiten an oder im Umfeld der Wehrklappen durch die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes kann zeitweise auch mehr Mainwasser über die Wasserkraftanlagen abgeführt werden.
- Mit dieser kurzzeitigen höheren Beaufschlagung ist ein verstärktes Monitoring des anfallenden Rechengutes verbunden, da durch diese größeren Durchflussmengen die Geschwindigkeiten am Rechen zunehmen ($> 0,5$ m/s) und mit höheren Fischschäden zu rechnen ist.

Die bis heute währende Betriebsweise hat sich vor dem Hintergrund des Fischschutzes bewährt unter Inkaufnahme eines vorhandenen, aber nicht optimalen Fischabstiegs sowie der Leistungseinschränkung des Betriebs der WKA. Sie stellt jedoch nur einen befristeten Kompromiss dar, bis eine endgültige Lösung entwickelt und implementiert ist, die es erlaubt, einen bestmöglichen Fischschutz in Kombination mit der bestmöglichen Auslastung der WKA dauerhaft sicher zu stellen.



Abbildung 4. Staustufe Mühlheim/Main (Foto: Regierungspräsidium Darmstadt).

Projekt „Fischschutz und Fischabstieg an der Pilotanlage Unkelmühle“ an der Sieg

Die Sieg ist als ein Zielartengewässer für Lachs (*Salmo salar*) und Aal (*Anguilla anguilla*) ausgewiesen und zudem eines der Programmgewässer für die Lachswiederansiedlung in Nordrhein-Westfalen. Für die Verbesserung der Durchgängigkeit und des Fischschutzes des Wasserkraftstandortes „Unkelmühle“ (Ausbauwassermenge: $27 \text{ m}^3/\text{s}$) wurde im Rahmen eines Pilotprojekts (2011) ein 10 mm, 27° geneigter Vertikalrechen, mehrere Bypässe (sechs oberflächennahe, eine Bottom Gallery, drei Aalrohre in verschiedenen Wassertiefen) und ein Fischaufstieg (neu errichteter Schlitzpass) gebaut. Beim Umbau

sollte ein möglichst ausgewogener Kompromiss zwischen bestmöglichem Fischschutz und geringstmöglicher Energieeinbuße erzielt werden. Dazu wurde neben einem biologischen Monitoring (Fangmonitoring unbesonderter sowie besonderer Fische mittels Telemetrie) auch ein betriebliches Monitoring durchgeführt. Letzteres ergab, dass ein Rechen mit Tropfenprofil einen geringeren Energieverlust verursacht als ein Rechen mit Y-Profil. Das biologische Monitoring zeigte einen deutlich erhöhten Verlust abwandernder Lachssmolts im strukturarmen und tiefen Rückstau des Wasserkraftwerks im Vergleich zur frei fließenden, oberhalb gelegenen Referenzstrecke (freifließend: 0,5 %-1,6 %; Staubereich: 4,4 %-17,1 %). Der 10 mm-Feinrechen erwies sich für die getesteten Fischgrößen (ab ca. 13 cm Totallänge für Lachssmolts, Aale ab 60 cm Totallänge) als ein 100 % wirksamer Fischschutz vor einer Turbinenpassage. Absteigende Blankaale und Lachssmolts nutzten die Oberflächenbypässe und, falls geöffnet, die Wehrklappe als Hauptabstiegskorridore. Im Vergleich zu einem unterhalb gelegenen Wehr ohne Wasserkraft (Wehr Buisdorf) war die Wandergeschwindigkeit unmittelbar am Bauwerk um den Faktor 10 reduziert (Median: 0,4 km/h versus 5,6 km/h). Die technischen Strukturen, das Bypass-System, der Abflussanteil der einzelnen Wanderkorridore und/oder die erzeugten Geräusche und/oder Druckwellen lassen die Lachse hier möglicherweise zögern (Ingendahl et al. 2019).

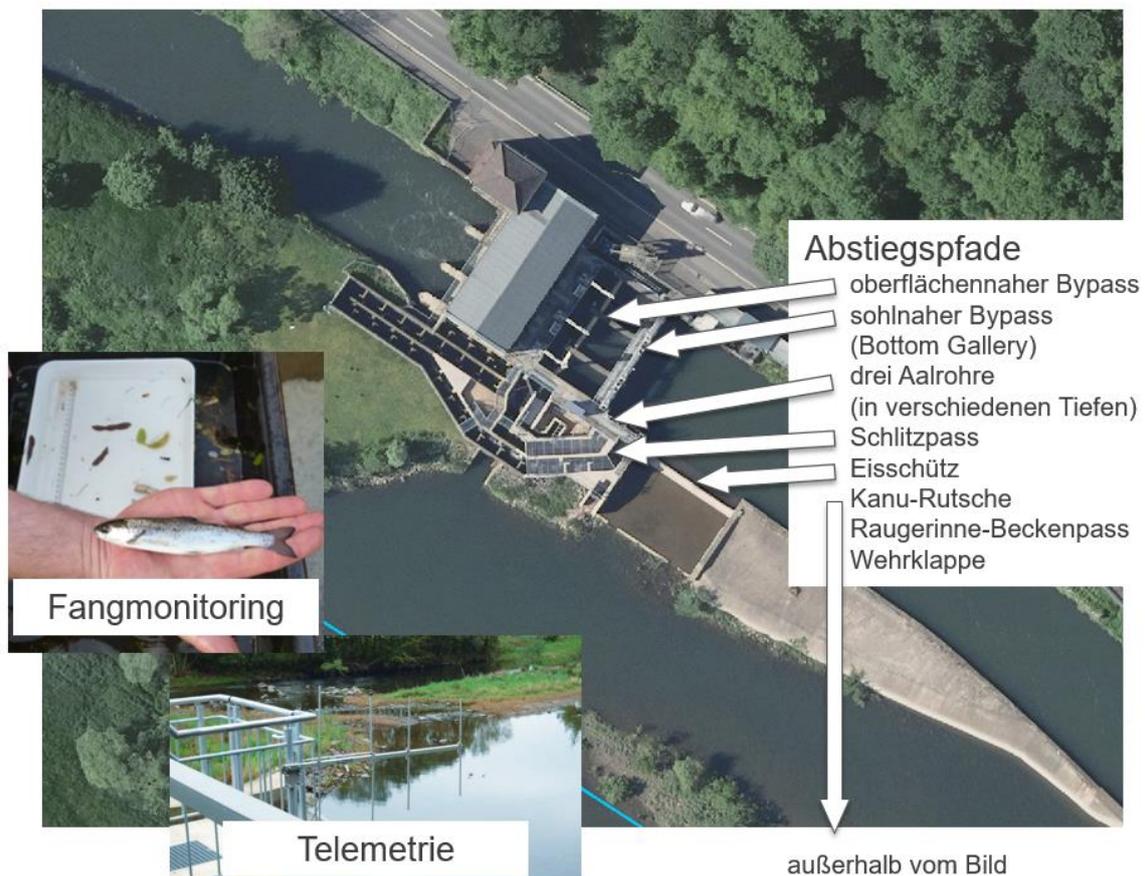


Abbildung 5. Wasserkraftanlage Unkelmühle an der Sieg (Zufluss Niederrhein).

Projekt „HDX-Wupper“

Die Wupper ist als ein Zielartengewässer für Lachs (*Salmo salar*) und Aal (*Anguilla anguilla*) ausgewiesen und eines der Programmgewässer für die Lachswiederansiedlung in Nordrhein-Westfalen, daher ist die Wiederherstellung der stromauf- und -abwärts gerichteten Durchgängigkeit von besonderem Interesse. Zur Herstellung der

Durchgängigkeit wurden am Ausleitungskraftwerk „Auer Kotten“ (Ausbauwassermenge: 14 m³/s) im Rahmen eines Umbaus (2009) drei Bypässe (sohlnah, oberflächennaher Smoltbypass sowie ein Spülschütz) und zwei neue Fischaufstiegsanlagen (am Wasserkraftwerk und am Ausleitungswehr) gebaut. Als Schutzmaßnahme für den Fischabstieg wurde zudem ein 12 mm Horizontalrechen installiert. Die Untersuchung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen war Teil des HDX-Wupper-Projektes (2013–2018), in dem die Durchgängigkeit der Wupper auf einer Länge von 65 km inklusive sechs Wasserkraftstandorten mittels mit HDX-Transpondern besendeter Fische (564 Blankaale, 1500 Lachssmolts, 3088 „Wildfische“) evaluiert wurde. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass der 12 mm-Horizontalrechen des Auer Kottens seine Schutzfunktion gegenüber abwandernden Aalen und Lachssmolts erfüllt. 80 % der abwandernden Fische folgten der Hauptströmung zum Krafthaus, wo der effizienteste Abwanderkorridor der Weg über das temporär geöffnete Leerschütz war. Auch der Schlitzpass und der oberflächennahe Bypass waren frequentierte Abwanderkorridore. Durch regelmäßige Öffnungen des Leerschützes (mind. alle 30 min. zwischen 19:00 Uhr und 6:00 Uhr) während der Abwanderperiode von Lachs und Aal (01.09.–31.05.) stieg die Anzahl von absteigenden Fischen an (Wölleke et al. 2020).

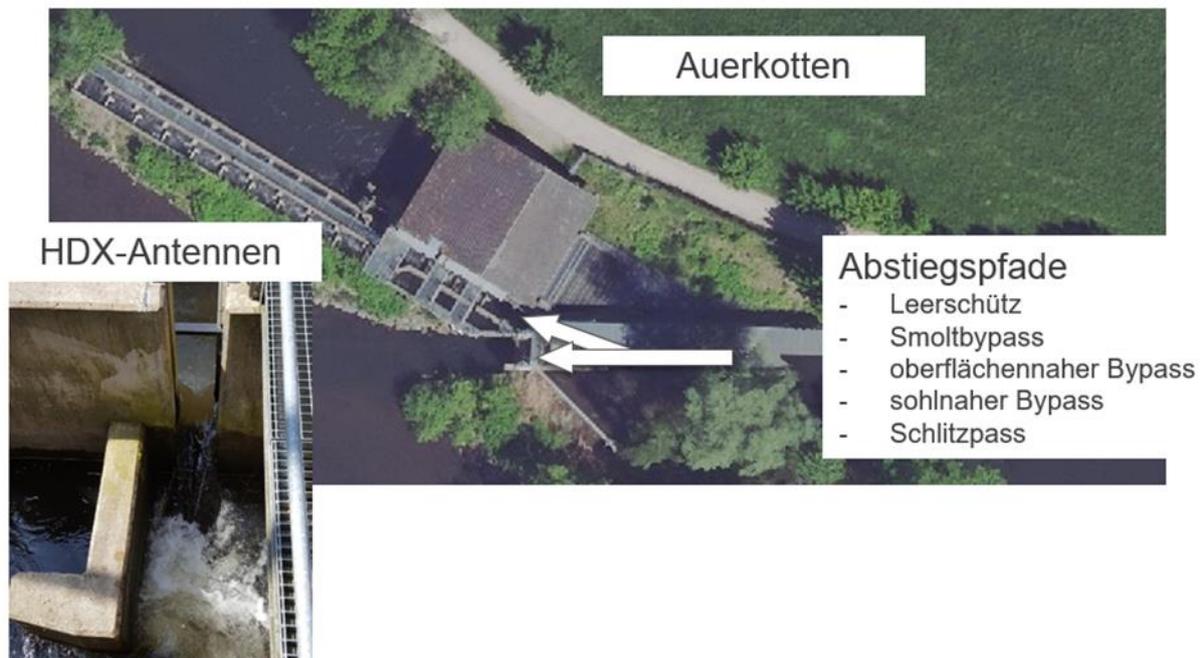


Abbildung 6. Ausleitungskraftwerk Auer Kotten an der Wupper (Zufluss Niederrhein).

4.3 Frankreich

An der Maas:

Die WKA Revin (Turbinendurchfluss 60 m³/s) hat ein fischschonendes Einlaufbauwerk. Es handelt sich um einen Feinrechen mit einer Stabweite von 20 mm, der um 45° geneigt ist. Dieses Bauwerk hat zum Ziel, Fische an der Abwanderung über die Turbinen zu hindern und sie unverletzt in den Unterlauf der Anlage zu leiten.



Bildnachweis: Office Français de la Biodiversité

Die Staustufen von Givet, Ham-sur-Meuse und Saint Joseph (Turbinendurchfluss 50 m³/s) wurden im Rahmen einer öffentlich-privaten Partnerschaft (PPP) wiederaufgebaut und mit fischschonenden Turbinen ausgerüstet, die so gestaltet sind, dass Fische unbeschadet über die Turbinen abwandern können. Es handelt sich um Turbinen des Typs „Very Low Head“ (VLH), die sich vollständig unter Wasser befinden, nahezu leise sind und langsam rotieren. Diese Partnerschaft ermöglicht die Ausstattung von etwa zwanzig Querbauwerken für den Fischeaufstieg und/oder den Fischabstieg auf der Maas.

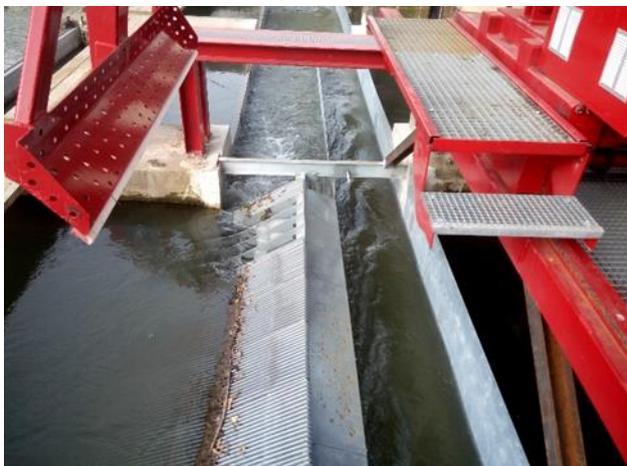
Mehr Informationen zu den Turbinen sind zu finden auf:

<https://www.vlh-turbine.com/fr/products/vlh-turbine>

An der Ill:

Bei Illkirch-Graffenstaden ist das Wasserkraftwerk Niederbourg (maximaler Turbinendurchfluss: 45 m³/s) mit einer Fischabstiegsanlage ausgerüstet.

Der Oberlauf des Kraftwerks ist mit fünf Rechen mit einer Stabweite von 20 mm mit einem zur Horizontalen geneigten Winkel von 33° ausgestattet. An der Spitze eines jeden Rechens befindet sich ein Bypass. Die Neigung der Rechen und die Fließgeschwindigkeit in der Nähe der Bypässe ermöglichen den Fischen, diese zu finden und zu dem Sammelkanal hinter den Rechen zu gelangen. Die Fische werden dann über diesen Kanal zum Unterlauf der Anlage gebracht.



Bildnachweis: Association Saumon Rhin

4.4 Niederlande

In den Niederlanden muss zwischen den staatlichen und regionalen Gewässern unterschieden werden. Die staatlichen Gewässer, zu denen die großen Flüsse gehören, werden von Rijkswaterstaat bewirtschaftet. Für diese wird die nationale Politik für Wasserkraft angewandt. Die regionalen Gewässer, z. B. Nebenflüsse von großen Flüssen, werden häufig von den regionalen Wasserbewirtschaftern bewirtschaftet (niederländische Wasserverbände). In diesen Gewässern gelten die regionalen Richtlinien.

Gesetzgebung

Für Genehmigungen von Wasserkraftanlagen in staatlichen Gewässern gilt die „Politische Leitlinie Konzessionserteilung Wasserkraftanlagen in staatlichen Gewässern 2021“ (Staatscourant 2021). Eine Konzession kann dabei nur erteilt werden, wenn die Wasserkraftanlage den maximal verfügbaren Möglichkeiten des Fischschutzes für den Fischabstieg entspricht und wenn mögliche negative Auswirkungen auf den Fischaufstieg ausgeglichen werden.

Für die Maas (Abschnitt von Eijsden bis Lith) und für den Nederrijn und die Lek gilt dabei, dass eine Konzession für eine Wasserkraftanlage nur erteilt werden kann, wenn deren Betrieb nicht zu einer kumulativen Fischmortalität infolge der Wasserkraftanlagen von mehr als 10 % für Lachs (Smolts) und Blankaal führt. In obenstehenden Flussabschnitten ist eine Mortalität von mehr als 10 % nur erlaubt, wenn die Mortalität von Lachs (Smolts) und Blankaal infolge neuer Wasserkraftanlagen höchstens 0,1 % beträgt. Zudem darf in dem relevanten Gebiet nicht öfter als fünf Mal eine Konzession für eine Wasserkraftanlage unter Anwendung des vorhin genannten Prozentsatzes erteilt werden.

Für die staatlichen Gewässer außerhalb der relevanten Gebiete der Maas, des Nederrijn und der Lek kann eine Konzession für eine Wasserkraftanlage nur erteilt werden, wenn die Wasserkraftanlage höchstens 0,1 % Fischmortalität für Lachs (Smolts) und Blankaal in dem Wasserkörper verursacht, in dem sich die Wasserkraftanlage befindet und wenn in diesem Wasserkörper nicht bereits eine Konzession für eine andere Wasserkraftanlage erteilt wurde. Diesbezügliche Ausnahmen gibt es für eine Vielzahl von Gewässern, die in der „politischen Leitlinie Konzessionserteilung Wasserkraftanlagen in staatlichen Gewässern 2021“ (Artikel 5, Absatz 4) genannt sind.

Für die regionalen Gewässer haben die unterschiedlichen Bewirtschafter ihre eigene Politik. Häufig wird dabei davon ausgegangen, dass die Erzeugung von Wasserkraft die Fischwanderung, sowohl aufwärts als auch abwärts, nicht beeinträchtigen darf. Zudem muss häufig der Anforderung entsprochen werden, dass kein oder fast kein Schaden am Fisch verursacht werden darf. Es gibt eine eingeschränkte Anzahl kleiner Wasserkraftanlagen und alter Wassermühlen in regionalen Gewässern. Die wahrscheinlich bekannteste Anlage ist die ECI Wasserkraftanlage in der Rur (Nebenfluss der Maas).

Staatliche Gewässer

In den Niederlanden gibt es drei große Wasserkraftanlagen in den staatlichen Gewässern (10-14 MW, $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Wasserkraftanlagen befinden sich in der Maas (Linne und Lith) und im Nederrijn (Maurik). Für diese Wasserkraftanlagen gilt die „Politische Leitlinie Konzessionserteilung Wasserkraftanlagen“. Die kumulative Mortalität durch Wasserkraftanlagen darf deshalb in diesen Flüssen nicht mehr als 10 % betragen. Für die Maas dürfen beide Wasserkraftanlagen jeweils maximal 5 % Fischmortalität (Smolts und Blankaal) verursachen, die Wasserkraftanlage im Nederrijn darf maximal 10 % Fischmortalität verursachen.

Im Untersuchungszeitraum der letzten Jahre wurde geprüft, ob eine maximale Mortalität von 5 % oder 10 % für Smolts und Blankaal erreichbar ist. Hierfür wurden u. a. der

Migromat® und Frühwarnsysteme genutzt. Obwohl die Maßnahmen bis zu einem gewissen Grad wirksam waren, reichte dies für die Maas nicht aus, um eine maximale Mortalität von 5 % pro Wasserkraftanlage zu erreichen. Bei der Wasserkraftanlage im Nederrijn ist die Untersuchung noch im Gange.

Ergänzende Maßnahmen

Um in der Praxis eine maximale Mortalität von 5 % (Maas) oder 10 % (Nederrijn) zu erreichen, sind ergänzende Maßnahmen erforderlich (beste verfügbare Techniken). Dabei geht es häufig um eine Maßnahmenkombination in Form von (zeitweise) Abschalten der Turbinen, angepasstes Turbinenmanagement und/oder der Fang und Transport von Blankaalen.

- *Abschalten von Wasserkraftanlagen*

Die Wasserkraftanlagen in der Maas bei Linne und Lith werden zeitweise abgeschaltet, um den Abstieg von Blankaalen und Smolts zu erleichtern. Dies erfolgt, um eine Mortalität von maximal 5 % zu gewährleisten. Das Abschalten geschieht nachts im Zeitraum der Wanderung von Blankaalen und Smolts. Es gibt dabei kleine Unterschiede in der Dauer des Zeitraums zwischen den unterschiedlichen Wasserkraftanlagen. Dies liegt daran, dass es bei einer der beiden Wasserkraftanlagen aufwändiger ist, die Fischmortalität ausreichend zu senken. Bei der Wasserkraftanlage Linne wird beim Abschalten im Frühjahr ein auf die Linne optimiertes Modell von Teichert für die Vorhersage der Smoltwanderung genutzt (Teichert 2020).

Bei der Wasserkraftanlage Maurik hängt das Abschalten der Turbinen von den Abflussänderungen ab. Wenn der Abfluss über einen bestimmten Grenzwert steigt, werden die Turbinen während einer Dauer von 48 Stunden abgeschaltet. Im Zeitraum vom 1. August bis zum 30. November gilt dabei höchstens ein Abschalten pro drei Wochen. Im Zeitraum vom 1. Dezember bis zum 31. Januar werden die Turbinen nur während der ersten Überschreitung in diesem Zeitraum abgeschaltet.

- *Angepasstes Turbinenmanagement*

Die Turbinen in der Maas und im Nederrijn sind sogenannte horizontale Kaplan-turbinen. Der Turbinendurchfluss kann reguliert werden, in dem die Einstellung der Turbinenschaufeln angepasst wird. Bei niedrigen Abflüssen wird der freie Raum zwischen den Schaufeln dadurch kleiner und führt zu einer höheren Fischmortalität. Durch ein angepasstes Turbinenmanagement wird danach gestrebt, die Fischmortalität so viel wie möglich zu reduzieren. In der Praxis bedeutet dies, dass das Management auf den Einsatz weniger Turbinen mit einem größeren Abfluss abzielt. In der Vergangenheit wurde errechnet, dass die Mortalität des Blankaals dadurch um etwa 25 % reduziert werden kann (Bakker 2016).

- *Fang und Transport von Blankaal*

Im Zeitraum vom 1. September bis zum 1. Dezember werden an der Wasserkraftanlage Maurik möglichst viele Blankaale vor der Wasserkraftanlage abgefischt und zum Unterlauf transportiert. Dadurch wird vermieden, dass diese Blankaale durch die Turbine wandern können. Im Allgemeinen kann festgestellt werden, dass die Wirksamkeit dieser Maßnahme relativ gering ist. Zur Illustration: Für die Maas wurde errechnet, dass in der Vergangenheit etwa 1/30 der Blankaale auf diese Weise gefangen wurden und im Nederrijn etwa 1/6 (Bakker 2016). Die Anwendbarkeit hängt sehr von den lokalen Eigenschaften und von der Art und Weise ab, wie und in welcher Anzahl Fanggeräte (Reusen) eingesetzt werden. Zudem hat diese Methode den Nachteil, dass die Wanderung des Blankaals verzögert wird.



Abbildung 7. Stauhaltung bei Lith (Maas). An der linken Seite die Wasserkraftanlage und der Fischpass und an der rechten Seite die Schifffahrtsschleuse (Foto: Rijkswaterstaat).

Referenzen

- Amaral, S. V.; Watson, S. M.; Schneider, A. D.; Rackovan, J. & Baumgartner, A. (2020). Improving survival: injury and mortality of fish struck by blades with slanted, blunt leading edges, *Journal of Ecohydraulics*, 5:2, 175-183, DOI: 10.1080/24705357.2020.1768166
- BAFU (2022). Wiederherstellung der Fischwanderung. Gute Praxisbeispiele für Wasserkraftanlagen in der Schweiz), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien.html>
- Bakker, H. (2016). Lowering fish mortality at hydropower stations in Dutch rivers. Dead ends and new chances. Rijkswaterstaat. Presentation Fish market 2016, Roermond.
- Bau et al. (2011). Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le Gave de Pau. 92 pages. <https://hal.inrae.fr/hal-02596839/document>
- Berkel, J. van; Esch, B. van & Vriese, T. (2016). Fish safety of large, low-head turbines. HZ University of applied sciences, Eindhoven University of Technology & ATKB. Presentation Fish market 2016, Roermond.
- Cuchet, M., Geiger, F. & P. Rutschmann (2018): Zum Fischschutz und Fischabstieg an geneigten und horizontalen Rechen. *WasserWirtschaft* 9/2018, 36-40
- Bruijs & Vriese: Workshop Fish Protection at Hydropower Stations in the River Meuse, the Netherlands, 2013
- Courret & Larinier: Guide pour la conception de prises d'eau „ichtyocomptables“ pour les petites centrales hydroélectriques. RAPPORT GHAAPPERA.08.04 : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/00000000189951d34aab740c6732a54>, 2008
- Cuchet, M; Geiger, F. & Rutschmann, P. (2018). Zum Fischschutz und Fischabstieg an geneigten und horizontalen Rechen. *WasserWirtschaft* 9/2018, 36-40
- Ebel, G. (2016). Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen - Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. In: Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie. 2. A. Band 4, Halle/Saale: Eigenverlag
- Ebel, G.; Kehl, M. & Gluch, A. (2018). Fortschritte beim Fischschutz und Fischabstieg: Inbetriebnahme der Pilot-Wasserkraftanlagen Freyburg und Öblitz. *WasserWirtschaft* 9/2018, 54-62
- Frey A. ; Tomanova S. ; Mercier O. ; Richard S. ; Courret D. ; Tetard S. ; Tissot L. ; Mataix V. ; Lagarrigue T. (2020). Etude d'efficacité de prises d'eau ichtyocompatibles pour les smolts de saumon atlantique – Projet EFFIGRI. Synthèse des résultats 2017-2018. Rapport OFB-Pôle Ecohydraulique, EDF R&D, ECOGEA.
- Handbuch Querbauwerke (2005). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. ISBN 3-9810063-2-1
- IKSR-Bericht Nr. 140. Auswirkungen von Wasserkraftanlagen in den Rheinzufüssen auf den Wanderfischabstieg, IKSR, 2004, www.iksr.org
- IKSR-Bericht Nr. 247. Masterplan Wanderfische Rhein 2018, IKSR, 2018, www.iksr.org
- IKSR. Rhein 2040. Der Rhein und sein Einzugsgebiet: nachhaltig bewirtschaftet und klimaresilient, IKSR, 2020, www.iksr.org
- Ingendahl, D.; Weimer, P.; Wilke, T. et al. (2019). Abschlussbericht zum Projekt Fischschutz und Fischabstieg an der Pilotanlage Unkelmühle, (www.flussgebiete.nrw.de/abschlussbericht-zum-projekt-fischschutz-undfischabstieg-der-pilotanlage-unkelmuehle-8039, (2019); Abruf 14.06.2023)
- Ingendahl, D.; Burghardt, G.; Geist, S. J. (2024). Fischschutz an Wasserkraftanlagen durch Vertikal- oder Horizontalrechen, *Wasser und Abfall*, Ausgabe 9/2024

Kibel P. (2007). Fish Monitoring and Live Fish Trials. Archimedes Screw Turbine, River Dart. Phase 1 Report: Live fish trials, smolts, leading edge assessment, disorientation study, outflow monitoring. FISHTEK consulting, 38 p. + annexes.

Kibel P. (2008). Archimedes Screw Turbine Fisheries Assessment. Phase II: Eels and Kelts. FISHTEK consulting, 18 p. + annexes

Knott J., Mueller M., Pander J., Geist J. (2023). Bigger than expected: Species- and size-specific passage of fish through hydropower screens. Ecological Engineering. 188:106883. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2022.106883

Lagarrigue T. (2013). Tests d'évaluation des dommages subis par les espèces piscicoles en dévalaison lors de leur transit à travers le groupe turbogénérateur VLH installé sur le Tarn à La Glacière (Millau). Principaux résultats des tests effectués en mai-juin 2013. https://www.vlh-turbine.com/wp-content/uploads/2019/01/vlh_fish_test_fr.pdf

[Meister J., Selz O.M., Beck C., Peter A., Albayrak I., Boes R.M. \(2022\). Protection and guidance of downstream moving fish with horizontal bar rack bypass systems. Ecological Engineering 178 \(2022\) 106584.](#) Raynal S., Chatellier L., David L., Courret D., Larinier M. (2012). Définition de prises d'eau ichtyocompatibles - pertes de charge au passage des plans de grille inclinés ou orientés dans des configurations ichtyocompatibles et champs de vitesse à leur approche. RAPPORT POLE RA11.02. 114 pages.

Raynal S., Chatellier L., David L., Courret D., Larinier M. (2013). Définition de prises d'eau ichtyocompatibles – Etude de l'alimentation en débit et du positionnement des exutoires de dévalaison au niveau des plans de grille inclinés ou orientés dans les configurations ichtyocompatibles. Rapport Pôle RA.12.02. 112 pages.

Staatscourant 2021. Beleidsregel watervergunningverlening waterkrachtcentrales in rijkswateren Nr. 35745, 20 juli 2021

Teichert, N.; Benitez, J.P ; Dierckx, A.; Tétard, S.; Oliveira, E. de; Trancart, T.; Feunteun, E. & Ovidio, M. (2020). Development of an accurate model to predict the phenology of Atlantic salmon smolt spring migration. Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems. Volume 30, Issue 8. August 2020. Pages 1552-1565.

Tomanova S. ; Courret D. ; Alric A. ; De Oliveira E. ; Lagarrigue T. ; Tetard S. (2018a). Etude d'efficacité des exutoires associés à des grilles inclinées ou orientées pour la dévalaison des smolts de saumon atlantique. Etude 2016 et synthèse des résultats 2015-2016. Rapport AFB-Pôle Ecohydraulique, EDF R&D, ECOGEA.

Tomanova S. ; Courret D. ; Alric A. ; De Oliveira E. ; Lagarrigue T. ; Tetard S. (2018b). Protecting efficiently sea-migrating salmon smolts from entering hydropower plant turbines with inclined or oriented low bar spacing racks. Ecological Engineering. Volume 122: 143-152.

Tomanova S.; Courret D.; Richard S.; Tedesco PA.; Mataix V.; Frey A.; Lagarrigue T.; Chatellier L.; Tetard S. (2021). Protecting the downstream migration of salmon smolts from hydroelectric power plants with inclined racks and optimized bypass water discharge. Journal of Environmental Management 284 (2021) 112012.

Umweltbundesamt (2023). Abschlussbericht. Forum Fischschutz und Fischabstieg: Ergebnisse und Ausblick, <https://forum-fischschutz.de/forum-dokumente.html>

Vriese F. T.: Evaluation of Fish Injury and Mortality Associated with scale models of the Pentair Fairbanks Nijhuis Modified Bulb turbine and the Water2Energy Cross Flow turbine. Rapport Pro-Tide, 2015

Vriese, F. T., (2017). Vissterfte bij passage van stuwen. Rapport 20170587/01. ATKB, Waardenburg.

Wagner, S. (2020). „Wann ist ein Rechen ein Fischschutzrechen“, <https://forum-fischschutz.de/factsheets>, Fact Sheet 05

Watson, S.; Schneider, A.; Santen, L.; Deters, K. A.; Mueller, R.; Pflugrath, B.; Stephenson, J.; Deng, Z. D. (2022). Safe passage of American Eels through a novel hydropower turbine, *Transactions of the American Fisheries Society*. 2022;151:711–724, DOI: 10.1002/tafs.10385

Watson, S. M.; Schneider, A. D.; Gardner, L. C.; Apell, B. R.; Thompson, P. C.; Cadman, G. B.; Gagnon, I. F.; Frese, C. R.; Wechsler, J. F. (2023). Juvenile Alewife Passage through a Compact Hydropower Turbine Designed for Fish Safety, *North American Journal of Fisheries Management*. <https://doi.org/10.1002/nafm.10866>

Winter, Bierman & Griffioen: Field test for mortality of eel after passage through the newly developed turbine of Pentair Fairbanks Nijhuis and FishFlow Innovations, 2012. <http://www.fairbanksnijhuis.com/resources/images/3381.pdf>

Wöllecke, B.; Adam, B. & Scheifhacken, N. (2020). Blankaale und Lachssmolts – Abwanderung aus der Wupper. Erkenntnisse aus der Freilanduntersuchung zur Abwanderung der Fischarten über mehrere Kraftwerksstandorte. *Natur in NRW* 4/2020, 34-38

Anlage

Übersicht der Studien zum Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen (Stand November 2024)

	Studie	Ausbauwassermenge	Art der Studie	Hydraulische Merkmale der Fischschutzeinrichtung	Untersuchte Fischarten	Studienergebnisse	Bewertung Erfolg/Potenzial der Maßnahme (+) positiv (-) negativ (o) keine eindeutige Tendenz	Weitergehender Forschungsbedarf	Beteiligte Institutionen/Kontakt	Link	Status (laufende Studie oder abgeschlossene Studie)	Veröffentlicht (ja/nein)	Land
1	Fischleitvorrichtung mit vertikalen Stäben «Mechanische Verhaltensbarrieren» Curved-Bar Rack-Bypass System (f-CBR-BS)	bislang nur Laborversuche, aber Potenzial für große WKA	Ethohydraulische Laborstudie	Lichter Stababstand: 50 mm Rechenneigung $\geq 30^\circ$ Anströmgeschwindigkeit 0.5 und 0.7m/s	Schneider, Barbe, Nase, Bachforelle, Atlantischer Lachs Parr, Europäischer Aal	FGE > 85% Schneider, Barbe, Nase und Lachsparr FGE < 60% Bachforelle FGE < 40% Aal FPE > 90% Schneider, Barbe, Nase und Lachsparr FPE < 40% Aal FPE < 60% Bachforelle Geringerer Fördermengenverlust durch optimierte Hydraulik	(+)	· Pilotprojekt Umsetzung eines f-CBR-BS an der Wasserkraftanlage Herrentöbeli (< 50 m ³ /s) in der Thur (CH), 2023 umgesetzt Stababstand 25mm · Elektrifizierung des f-CBR in Folgeprojekt konnte für manche Arten FPE und FGE erhöhen (bis zu 100% FPE und >60% FGE für Aale, >70% FPE für Forellen und >50% FGE für Forellen) Daten noch nicht publiziert.	VAW; Ismail Albayrak	Publikation zu Fischverhalten Publikation zu hydraulischen Komponenten: flow field	abgeschlossen	ja	CH
2	Elektrifizierte Fischschutzvorrichtung für Abwärtswanderung	bislang nur Laborversuche, aber Potenzial für große WKA und retrofitting von bestehenden Anlagen	Ethohydraulische Laborstudie	Einlaufrechen mit 90 mm Stababstand, f-CBR-BS und HBR-BS mit 50 mm Stababstand mit Elektrifizierung	Alet, Bachforelle, Aal	<i>Ergebnisse teilweise publiziert. Abschluss Sommer 2025 vorgesehen.</i>	(+)	· Siehe Pilotprojekt Herrentöbeli (Studie oben): Möglichkeit der Elektrifizierung wurde eingeplant beim Bau der Anlage. · Problematik der Verletzung durch Elektrifizierung. Studie an der VAW geplant für Winter 2024.	VAW; Anita Moldenhauer, Ismail Albayrak	doi://10.3850/IAHR-39WC2521716X202292	laufend	teilweise	CH
3	FishPath: Turbulente Eddies, zur Schaffung von Korridoren für abwärts wandernde Lachse und Aale an Wasserkraftanlagen	bislang nur Laborversuche, aber Potenzial für große WKA	Ethohydraulische Laborstudie	Turbulente Strömung erzeugt durch Hindernisse vor dem Kraftwerk Vortex Generator Abstand: 14.5 cm, Systemwinkel: 30°, Fließgeschwindigkeit: 0.3, 0.6 & 0.8 m/s	Bachforelle, Lachs, Aal	<i>Laufendes Projekt, Abschluss voraussichtlich 2026</i> vorläufige Ergebnisse von Versuchen mit lebenden Fischen (Atlantischer Lachs Smolts) zeigen bis zu 97% FGE	(+)	· Großskalige Tests im Vattenfall Labor 2025, Tests in Prototyp-Skala 2026 im Mandal Fluss in Norwegen	VAW; Ismail Albayrak	https://www.wv.nina.no/fishpath	laufend	nein	CH
4	Machbarkeitsstudie VBR plus WKA Bannwill (Aare)	450 m ³ /s (Blockkraftwerk)	Machbarkeitsstudie						BAFU; Martin Huber Gysi BKW Energie AG; Sandra Krähenbühl	https://www.svv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/WKW_BAN_Technisches_Vorprojekt_final_240320.pdf	abgeschlossen	ja	CH
			Numerische Untersuchungen			Verlängerung Trennpfeiler im Oberwasser unumgänglich			VAW, ETZ Zürich	https://www.svv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/WKW_BAN_Technisches_Vorprojekt_final_240320.pdf	abgeschlossen	ja	CH
			Verhaltensbiologische Untersuchungen mit Radiotelemetrie			108 Fische (37 %) sind abgestiegen. Von 292 markierten Fischen wurden 257 (88%) beim Manual Tracking wieder aufgefunden.			FishConsulting	https://www.svv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/WKW_BAN_Radiotelemetrische_Untersuchungen_final_230330.pdf	abgeschlossen	ja	CH
			Sensorfische						TU Tallinn	https://www.svv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/WKW_BAN_Sensorfischuntersuchungen_v5_d_230520.pdf	abgeschlossen	ja	CH

Studie	Ausbauwassermenge	Art der Studie	Hydraulische Merkmale der Fischart	Untersuchte Fischarten	Studienergebnisse	Bewertung Erfolg/Potenzial der Maßnahme (+) positiv (-) negativ (o) keine eindeutige Tendenz	Weitergehender Forschungsbedarf	Beteiligte Institutionen/Kontakt	Link	Status (laufende Studie oder abgeschlossene Studie)	Veröffentlicht (ja/nein)	Land
16	Tuilières – Oberflächenleitwerk für den Abstieg von Lachssmolts	320 m³/s	Verhaltensbiologische Studien mit Radiotelemetrie	Leitwerk (4,07 m), Neigungswinkel ~43° im Verhältnis zum Kraftwerk • 3 Felder durch zwei Pfeiler (phi 90 cm) geteilt • 3 Bypässe: 2 in den Pfeilern (2,5 m³/s + Rechen e=13cm) und 1 Wehrklappe (21 m³/s) Senkrechter Anschluss an Kraftwerk (Boomerang)	Lachssmolt	<ul style="list-style-type: none"> Abwanderungsrate (Passage über Bypass) abhängig von turbinierem Abfluss (75% für Q<175 m³/s und 20% andernfalls) Wehrklappe wird viel häufiger gewählt als die Nebenbypässe 20 bis 38 % der Smolts kommen direkt bei der Wehrklappe an Smolts, die bei dem Leitwerk ankommen, nutzen die Felder 2 und 3 das Leitwerk leitet die Fische sehr gut bei Q<100 m³/s, aber schlecht bei Q>200 m³/s (74% der Smolts tauchen ein) Smolts, die unter dem Leitwerk schwimmen, kehren nicht mehr um Schlussfolgerungen: <ul style="list-style-type: none"> Verhaltensbarriere: ist nicht für alle Arten geeignet Das Verhalten der Arten in allen Richtungen soll gut bekannt sein Eine sehr gute Übersicht über die Strömungsverhältnisse des Standorts und über alle vorkommenden Abflüsse während des Abstiegszeitraumes ist notwendig Die Geometrie des Leitwerks soll folgendes gewährleisten: <ul style="list-style-type: none"> Eintauchtiefe > Schwimmtiefe der Smolts, aber es ist nicht möglich, eine Standardtiefe festzulegen Geschwindigkeit unter dem Leitwerk < Durchschnittsgeschwindigkeit der Smolts (50- 60 cm/s) An der Oberfläche, oberhalb des Leitwerks, Tangentialgeschwindigkeit > Normalgeschwindigkeit (bei Tuilières Vt=20 cm/s) 	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl, Notwendigkeit und Wirksamkeit der Nebenbypässe Das Treibgut-management in der Höhe der Nebenbypässe, da Leitwerk = Sperreffekt Die Sicherheit der Fische im Unterlauf des Bauwerks in den Auffangeinrichtungen des Bypasses Auswirkung des Wehrbetriebs (Leistungsverlust geschätzt 30 cm) Wechselwirkungen mit Aufstieghilfen Wechselwirkungen mit Prädatoren (Welse) 	EDF; Lionel Dumond		abgeschlossen	?	FR
17	Baigts-de-Béarn (64) – Abstiegsvorrichtung Aal - Test von Bypässen und Feinrechen	90 (Kraftwerk) + 12 m³/s (Kleinkraftwerk)	Radiotelemetrie: Migrationswege (Mehrere Studien und Vorrichtungen im Laufe der Jahre: 2001/2005/2010)	Stabrechen mit 30 mm Abstand für Haupt-Kraftwerk; Stabrechen mit 20 mm Abstand für Mikrokraftwerk. Tiefenbypass (7m) und/oder Oberflächenbypass + 3 Kleinkraftwerksbypässe (2 Oberfläche; 1 Tiefe)	Aal	Bypässe + Feinrechen + Hochwasserentlastungsbauwerke: 92% Umleitung bei großen Exemplaren (2006) Wirkung von Größe der Exemplare, aber auch von Durchfluss/Hydraulik	+	ONEMA EDF R&D				FR
18	Gave de Pau - Aal und Bauwerke: Fischabstiegsmigration. (2007-2010) Bericht 2013	28 bis 110 m³/s (6 verschiedene Kraftwerke)	Fischbiologische Studie mit Radiotelemetrie	Geneigte und senkrechte Rechenfelder, verschiedene Größen und Abstände (von 2 cm bis 9,2 cm) Bypässe für unterschiedliche Abflüsse	Aal	Geringe Nutzung von Bypässen Einige Stababstände schränken den Durchgang je nach Größe der Exemplare ein: physische Barriere Der Aufbau der Anlage und vor allem die Lage der Wehrüberläufe und ihre Neigung begünstigen die Abwanderung von Aalen.		ONEMA / IRSTEA EDF				FR
19	Test zur Bewertung der Schäden, die junge Salmoniden und abwandernde Blankaale bei der Durchwanderung durch die VLH-Gruppe im Tarn bei Millau erleiden (2008)	20 m³/s	Studie über die Effekte einer VLH-Turbine	Fischschonende VLH-Turbinen	Lachs	Verzögerte Mortalitätsrate vernachlässigbar Mortalität für Smolts geschätzt auf 3,1%		ECOGEA				FR

	Studie	Ausbauwassermenge	Art der Studie	Hydraulische Merkmale der Fischschutzeinrichtung	Untersuchte Fischarten	Studienergebnisse	Bewertung Erfolg/Potenzial der Maßnahme (+) positiv (-) negativ (o) keine eindeutige Tendenz	Weitergehender Forschungsbedarf	Beteiligte Institutionen/Kontakt	Link	Status (laufende Studie oder abgeschlossene Studie)	Veröffentlicht (ja/nein)	Land
20	Die Abwanderung von diadromen Wanderfischen an Kleinkraftwerken	< 100 m³/s	Notiz über einzurichtende Lösungen für den Fischabstieg: basierend auf dem aktuellen technischen und biologischen Kenntnisstand (2012) + Erfahrungsberichte						ONEMA DIR Sud-Ouest & ONEMA Pôle Eco-hydraulique				FR
21	HDX-Wupper-Monitoring	14 m³/s (Auerkotten)	Verhaltensbiologische Studien mit Radiotelemetrie	Auerkotten: lichte Weite Horizontalrechen: 12mm; Länge Schrägrechen 26,25m; Anströmungswinkel 30°; 3 Bypässe: sohnah, oberflächennah, Smoltbypass	Blankaal, Lachssmolt, "Wildfisch" (Wildfisch = Bachforelle, Äsche, Nase, Barbe, Döbel, Hasel, Barsch, Meerforelle, Flussneunauge, Hecht, Bachsaibling, Regenbogenforelle, Rotauge)	<ul style="list-style-type: none"> 80 % der abwandernden Fische folgten der Hauptströmung zum Krafthaus, der Wanderkorridor über das Ausleitungswehr spielte eine untergeordnete Rolle. Der Horizontalrechen (lichte Weite: 12 mm) erfüllt seine Schutzfunktion gegenüber abwandernden Aalen und Lachssmolts. Der effizienteste Abwanderkorridor war der Weg über das geöffnete Spülschütz. Ein an die Abwanderperiode von Lachssmolts angepasster Öffnungsmodus des Spülschützes steigert die Anzahl stromabwärtiger Passagen. Ebenso frequentierte Abwanderkorridore sind der Schlitzpass und der oberflächennahe Bypass. Der sohlennahe Bypass und der Smoltbypass wurden schlechter angenommen. 	(+)		Bezirksregierung Düsseldorf (NRW): Britta Wöllecke	https://www.brd.nrw.de/themen/umwelt-natur/wasserwirtschaft/oberflaechengewaeser-wasserbuch-und-wasserrahmenrichtlinie/durchgaengigkeit-fischschutz/fischmonitoring	abgeschlossen	ja	D
22	Fischschutz und Fischabstieg an der Pilotanlage Unkelmühle	27 m³/s	Fangmonitoring, telemetrische Untersuchungen	27° geneigter Vertikalrechen, 3 Rechenfelder, lichte Weite: 10mm; 3 Bypässe: oberflächennah, 3 Aalrohre und Bottom Gallery (Aalrohr und Bottom Gallery münden in Monitoringbecken)	Lachssmolt, Aal, "Wildfisch" (Wildfisch = Bachforelle, Barbe, Elritze, Döbel, Nase, Ukelei, Dreistacheliger Stichling, Schneider, Rotauge, Gründling, Hasel, Äsche, Flussbarsch, Regenbogenforelle, Schleie, Schmerle, Karpfen, Bitterling, Brachse, Kaulbarsch, Neunauge, Saibling, Wels, Zährte)	<ul style="list-style-type: none"> ein Rechen mit dem Tropfenprofil verursacht einen geringeren Energieverlust als ein Rechen mit Y-Profil. Der 10mm-Feinrechen bietet für die getesteten Fischgrößen (ab ca. 13 cm Totallänge für Lachssmolts, Aale ab 60 cm Totallänge*) einen 100% wirksamen Fischschutz vor einer Turbinenpassage. Im strukturarmen und tiefen Rückstau konnte ein im Vergleich zur frei fließenden, oberhalb gelegenen Referenzstrecke deutlich erhöhter Verlust abwandernder Lachssmolts ermittelt werden (freifließend: 0,5% - 1,6%; Staubereich: 4,4% - 17,1%). Hauptabstiegskorridor war für die Blankaaale die geöffnete Wehrklappe und für die Lachssmolts die Oberflächenbypässe. 		weiterer Forschungsbedarf zu den Effekten in Staubereichen (Prädation, Desorientierung, Zeitverlust bei der Abwanderung)	Bezirksregierung Köln (NRW): Thomas Wilke		abgeschlossen		D
23	Swimway Vechte		Verhaltensbiologische Studien mit Radiotelemetrie mit dem Ziel der Verbesserung der Fischwanderung von der Quelle bis zum Meer		Meerforelle, Aland, Quappe, Schnäpel, Flussneunauge, Blankaal	laufendes Projekt (bis 2023)			Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz: Karin Camara		laufend		D
24	Klassifizierung der Fischdurchgängigkeit der Fließgewässer in NRW	-	Verfahrensentwicklung zur Klassifizierung der Fischdurchgängigkeit der Fließgewässer in Nordrhein-Westfalens (inklusive Literaturstudie)			laufendes Projekt, Abschluss Mitte 2024 vorgesehen			Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz: Karin Camara, Sebastian Emde, Beate		laufend		D
25	LAWA-Projekt: Entwicklung und Erprobung von Kriterien zur Bewertung der Durchgängigkeit von Bauwerksstandorten (LFP O 3.19; im Auftrag des Expertenkreises "Hydromorphologie" des "Ausschusses Oberirdische Gewässer und Küstengewässer" der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft "Wasser")	-	Entwicklung einer Handlungsempfehlung zur Klassifizierung der Fischdurchgängigkeit in den Fließgewässern			laufendes Projekt, Abschluss Ende 2022 vorgesehen			Umweltbundesamt: Stephan Naumann		laufend		D

FGE=Fish guidance efficiency= $N_{\text{bypass}}/N_{\text{total}}$ FPE=Fish protection efficiency= $(N_{\text{bypass}}+N_{\text{refusal}})/N_{\text{total}}$