

Beobachtung von Lachssmolts an Fischabstiegsanlagen unterschiedlichen Bautyps in Baden-Württemberg

Klaus Blasel, Büro für Fischereibiologie & Ökologie

1. Einleitung und Zielsetzung

In den Programmgewässern für die Wiederansiedlung von Wanderfischen in Baden-Württemberg wurde die flussaufwärts gerichtete Durchgängigkeit für Fische in den letzten Dekaden stark verbessert. Mit Hilfe von Fischaufstiegshilfen wurden Hauptgewässer durchgängig gestaltet und Zuflüsse fischdurchgängig angebunden. Für Populationen vieler Fischarten, insbesondere für alle Wanderfischarten, ist neben der aufwärts- auch die abwärts gerichtete Wanderung von entscheidender Bedeutung zur Vollendung des Lebenszyklus bzw. zur Ausbreitung in den Gewässersystemen. Im Vergleich zu den Erfahrungen beim Bau funktionsfähiger Fischaufstiegshilfen werden Konzepte für Fischabstiegshilfen erst seit wenigen Jahren umgesetzt. Die abwärts gerichtete Passage von Querbauwerken mit Wasserkraftnutzung stellt für Fische eine besondere Herausforderung dar (Abbildung 1). Bei ausreichendem Wehrüberfall könnte zwar ein Fischabstieg über die Wehrkrone erfolgen. Inwieweit zu den maßgeblichen Zeiten der Abwanderung die hierfür notwendigen Abflüsse vorliegen und ob dies auch schadfrei für die Fische möglich ist, wird in den meisten Fällen eher bezweifelt. Untersuchungen aus Nordrhein-Westfalen (z.B. NEMITZ & STEINMANN 2001) und zahlreiche weitere Untersuchungen zeigen, dass Fische beim Fischabstieg überwiegend der Hauptströmung folgen. Bei Abflüssen bis zur Ausbauwassermenge von Wasserkraftanlagen gelangen die mit der Hauptströmung abwärts wandernden Fische daher zwangsläufig vor den Rechen am Kraftwerkseinlauf und bei fehlendem beziehungsweise unzureichendem Fischschutz auch in die Turbine.



Abbildung 1: Letal geschädigte Lachssmolts nach einer Turbinenpassage
(Foto: Dr. J. Schneider, BFS Frankfurt)

Sowohl bei direktem Kontakt mit dem Rechen als auch in den Turbinen erleiden Fische in der Regel mehr oder weniger starke Schädigungen, die unmittelbar oder durch Folgeereignisse zum Tod führen können. Bei der Turbinenpassage von Fischen treten zahlreichen Studien zufolge je nach Fischart, den hydraulischen Bedingungen im Gewässer, dem Turbinentyp sowie einigen weiteren spezifischen Parametern Sterblichkeitsraten zwischen 5 und mehr als 90% auf (IKSR 2004).

Insbesondere im Zusammenhang mit dem Wanderfischprogramm in Baden-Württemberg, aber auch zum Schutz besonders gefährdeter Fischarten, werden etwa seit 2005 vermehrt Fischabstiegsanlagen in unterschiedlichen Ausführungsvarianten installiert und betrieben. Unter Fischabstiegsanlagen versteht man einen ausreichenden Fischschutz vor der Turbine in Kombination mit einem die Turbine umgehenden Abwanderweg (Bypass).

Ziel der im Folgenden dargestellten Untersuchungen war die Betrachtung ausgewählter Abstiegsanlagen unterschiedlichen Bautyps (s.u.) im Hinblick auf ihre Schutzfunktion vor einer Turbinenpassage und Schädigung am Rechen sowie der Auffindbarkeit und schädigungsfreien Passierbarkeit der Bypässe. Nicht Gegenstand der Untersuchung war die Ermittlung und Bewertung der Gesamteffizienz der Fischabstiegsanlagen an den jeweiligen Wasserkraftanlagen. Eine Beprobung am Turbinenauslass erfolgte nicht.

Im Detail wurden die folgenden Fragestellungen bearbeitet:

- Wie nehmen abstiegswillige Fische diese Neuinstallationen auf ihrem Weg flussabwärts an? (Schutz vor Turbinenpassage, Leitwirkung des Rechens, Konzentration von Fischen an bestimmten Stellen)?
- Wo halten sich die Fische am Rechen bevorzugt auf? Ist die Auffindbarkeit des Bypasseinstiegs gegeben?
- Wie erfolgt die Passage des Bypasses durch wanderwillige Tiere?
- Ist die Unversehrtheit der Fische nach Passage der Fischabstiegsanlage gewährleistet?
- Hängen die flussabwärtigen Passagemöglichkeiten und die Frequenz der Abstiege vom Betriebsregime ab?
- Werden Optimierungen des Abstiegsweges oder Anpassungen des Betriebsregimes notwendig?

Die Untersuchungen sollen eine erste grobe Annäherung zur Bewertung der Funktionsfähigkeit von Abstiegsanlagen ermöglichen und zusätzlich praxisbezogene Hinweise auf eine ggf. notwendige Optimierung der untersuchten Anlagen geben. Darüber hinaus soll durch die Betrachtung mehrerer verschiedener Bautypen versucht werden, grundsätzliche Verhaltensweisen von Smolts vor Schutzsystemen herauszuarbeiten und damit allgemeingültige Empfehlungen zu finden. Schließlich sollen die Ergebnisse beim Bau neuer Abstiegsanlagen künftig berücksichtigt werden und darauf aufbauend dazu dienen, den Stand der Technik zunehmend zu verbessern. Aus diesem Grund sollen auch weitere Fragestellungen gefunden werden, um einen solchen Optimierungsprozess zu unterstützen.

2. Vorstellung der untersuchten Anlagen

Die sehr unterschiedlichen Standortbedingungen an den installierten Wasserkraftanlagen erfordern angepasste Fischschutzkonzeptionen. Dabei führt die notwendige individuelle Einzelfallbetrachtung in der Regel zu unterschiedlichen technischen Umsetzungen (Abbildung 2, Folgeseite).

Die betrachteten Anlagen unterscheiden sich durch die folgenden Parameter:

a) Schutzfunktion

- Rechentyp (z.B. Lochblech- oder Stabrechen)
- Ausrichtung des Rechens
 - Anordnung der Rechenfläche zur Fließrichtung
 - Neigung des Rechens zur Sohle
- Stabausrichtung (vertikal oder horizontal)
- Art und Dimension der Rechendurchlässe (Lochdurchmesser (12 mm), lichte Stabweite 10 – 20 mm)

b) Abstiegsfunktion

- Lage und Dimensionierung des Bypasseinstiegs
- Gestaltung des Bypasses
- Rückführung der Fische ins Unterwasser

Zusätzlich unterscheiden sich die untersuchten Anlagen auch in ihrem Betriebsmanagement (Zusammenstellung siehe Tabelle 1).

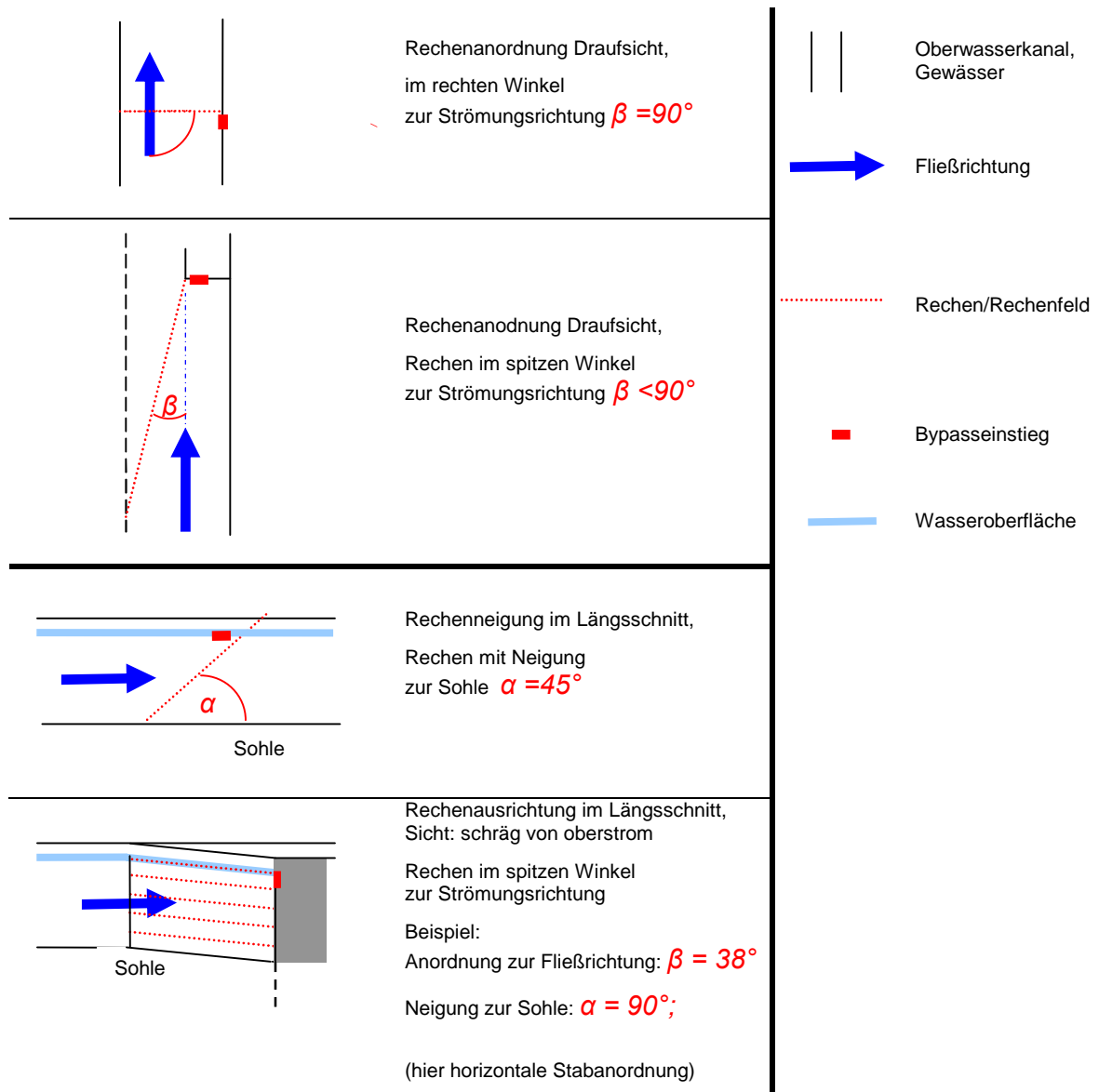


Abbildung 2: Schemadarstellung realisierter Fischschutz- und Abstiegskonzeptionen

Tabelle 1: Überblick über die untersuchten Fischschutz- und Abstiegskonzepte

Anlagen-Standort, „[WKA-Name]“ Gewässer	Abfluss im Gewässer aus Regionalisierung; LUBW (2007) Q [m³/s]	Unter-suchungs-datum 2009	Turbine Ausbau [m³/s] Leistung [kW]		Rechen Prinzip, Dimensionen	Anordnung a) in Fließrichtung b) Neigung	horizontale Anströmgeschwindigkeit vor dem Rechen	Fischabstieg Ausführungsdetails und Betriebsmanagement
1) Lochblechrechen, CR (zirkulierende Lamellen):								
Steinach, „Steinach CR“ Kinzig	MNQ: 3,23 MQ: 19,91 HQ ₅ : 378,7	08/09.04.	13	350	Rechen aus zirkulierenden Lochblechlamellen „Circulation Rake“ [12 mm Loch-Ø] und Bypass	a: 90° b: 30°	0,32	Bypass mit trichterförmiger Öffnung; engste Stelle mit ca. 30 cm Wassertiefe und 40 cm Breite; permanente Dotation mit ca. 150 l/s
2) Stabrechen:								
Obertsrot, „WKO“ Murg	MNQ: 3,42 MQ: 14,35 HQ ₅ : 319,3	15/16.04.	12 (2 x 6)	320	Stabrechen, 18 mm lichter Stababstand, Breite: 2 x 6 m, ca. 3 m tief; schräg angeströmt	a: <20° b: 63,5°	0,43	Bypass, permanente Dotation mit ca. 130- 150 l/s; Leitbleche zur Bündelung des Strahls
Gernsbach, „Klingelmühle“ Murg	MNQ: 3,45 MQ: 14,53 HQ ₅ : 323,5	20/21.05.	13 - 14	240	Horizontaler Stabrechen, 20 mm lichter Stababstand mit Stauklappe	a: ca. 30° b: 90°	ca. 0,30	Abstieg über Stauklappe: Dotation: von März bis Mai , 400 l/s (vorläufige Regelung)
Bad Rotenfels, „Rotenfels“ Murg	MNQ: 3,71 MQ: 15,62 HQ ₅ : 345,9	05/06.08.	Ca. 14 (5,9 & 8)	469 (209 & 260)	Vertikaler Stabrechen, 15 mm lichter Stababstand	a 90° b: 45°	-	Abstieg über den Rechenkopf [25 cm überströmt] in die Abschwemmrinne, Dotation: von März bis Mai , 400 l/s (vorläufige Regelung)
Rastatt, „VWF“ Murg	MNQ: 3,73 MQ: 15,76 HQ ₅ : 351,5	22/23.05.	4,6	119	Vertikaler Stabrechen, 10 mm lichter Stababstand	a: 90° b: ca. 60°	0,45	Abstieg über den Rechenkopf in eine Abschwemmrinne, eine Spülklappe öffnet bei Rechenreinigung nach unten
Schiltach, „Schlossmühle“ Schiltach	MNQ: 0,39 MQ: 2,164 HQ ₅ : 40,26	04/05.05.	2,7	60	Vertikaler Stabrechen, 6 m breit, 1,5 m tief, 10 mm lichte Stabweite bei gerundeter Stabstirnseite	a ca.15° b: 80°	0,31	Trapezförmiger Bypasseinstieg, mit Überfallstrahl, permanent dotiert mit <100 l/s; Rutsche
Gutach-Bleibach, „WKV“ Elz	MNQ: 0,49 MQ: 3,953 HQ ₅ : 67,10	23/24.04.	3	320	Vertikaler Stabrechen [4,5 m Breite], 10 mm lichte Weite, vertikale Stabanordnung, mit Kronenausschnitt	a: 90° b: 60°	0,51	Kronenausschnitt im Rechen [1,3 m breit, Bypass 70 cm Breite] permanent mit ca. 150 l/s dotiert. Positive Schwelle, Fischaufstieg mit ca. 700 l/s
Steinen, „Steinen“ Wiese	MNQ: 1,53 MQ: 10,62 HQ ₅ : 127,4	26/27.05.	13,1	300	Überströmter Stabrechen, 20 mm lichte Weite, 45 ° zur Sohle geneigt, Bypassrinne permanent mit 150 l/s dotiert.	a: 90° b: 30°	0,47	Abstieg über den Rechenkopf [30 cm überströmt]in den Bypass [70 cm Breite] permanent mit 150 l/s dotiert
Lörrach, „Tumringen“ Wiese	MNQ: 1,61 MQ: 11,66 HQ ₅ : 162,9	21/22.07.	14,2	670	Überströmtes Krafthaus, Stabrechen mit 20 mm lichtem Stababstand, Rechenbreite ca, 4,8 m, ab 2 m Wassertiefe bis Grund (ca. 6 m)	a: 90° b: ca.45°	-	über das 13 m lange Krafthaus hinweg, 60 cm breiter Ausschnitt in Spülklappe, zur Hauptabstiegszeit permanent dotiert
Karlsruhe, „Appenmühle“ Alb	MNQ: 1,13 MQ: 3,11 HQ ₅ : 42,7	01/02.07.	1,8	40	Vertikaler Stabrechen, 20 mm lichte Weite mit vertikaler Stabanordnung	a: 90° b: 80°	0,30	über den Rechenkopf, Ausschnitt von 12,5 cm x 12 cm in Spülklappe, von März bis Mai dotiert, kurze Rutsche – Eigenbau des Betreibers

3. Methodik/Vorgehensweise

Die Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Anlagen erfolgte durch Verhaltensbeobachtungen an zuvor besetzten Lachssmolts. An einer Anlage („Steinach CR“) an der Kinzig wurden im Gewässer aufgewachsene Lachssmolts beobachtet, im Folgenden „Wildsmolts“ genannt. Die Beobachtungen wurden im Zeitraum vom 08.04. bis 06.08.2009 jeweils über 24 Stunden hinweg, unmittelbar nach dem Besatz der Fische, durchgeführt. Im Anschluss an die ggf. vorgenommene Passage im Bypass wurden die Lachse im Unterwasser abgefangen und auf ihren Gesundheitszustand überprüft.

Am Untersuchungstag wurde im Oberwasser der jeweiligen Fischabstiegsanlage eine Absperrung eingebracht, um das gewässeraufwärts gerichtete Entweichen von besetzten Lachssmolts zu verhindern. Hierzu wurde eine elektrische Absperrung, teilweise in Kombination mit Netzen eingesetzt. Anschließend wurden Lachssmolts der Altersklasse 1+ mit einer mittleren Länge von 17,6 cm (Minimum: 14 cm, Maximum 22 cm; Längensklasse bei allen Untersuchungen im Zeitraum nahezu identisch) zwischen Fischabstiegsanlage und oberwasserseitiger Absperrung besetzt. Die Längenzunahme der besetzten Lachssmolts im Untersuchungszeitraum vom April bis zum Juli lag im Mittel bei ca. 0,5 cm. Die Besatzdichte lag bei etwa einem Smolt auf 2 m² (bezogen auf die Wasseroberfläche zwischen Rechen und Absperrung). Die besetzten Tiere wurden nach dem Besatz über 24 Stunden hinweg vor dem Rechen oder im Bypass beobachtet. Im Unterwasser des Bypasses wurden abgestiegene Fische in kastenförmigen Hälternetzen (Maschenweite 8 – 10 mm) aufgefangen. Anschließend wurden sie entnommen, auf Schädigungen kontrolliert und in eine Hälterung zur Kontrolle von Spätfolgen (7 Tage) überführt.

In den Bypässen wurden die Gerinnebreiten und Wassertiefen aufgenommen, daneben wurden Strömungsgeschwindigkeiten im Verlauf des Abstiegsweges oder Veränderungen der Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen bei speziellen Betriebssteuerungen gemessen.

4. Ergebnisse

Die besetzten Lachssmolts und zusätzlich auch einige abwandernde „Wildsmolts“ der Kinzig wanderten nahe der Wasseroberfläche ab und folgten größtenteils der Hauptströmung. Je nach Ausbauwassermenge gelangten abwandernde Smolts damit unterhalb von Mittelwasserabflüssen (abhängig von der Abflussaufteilung am jeweiligen Standort) in aller Regel mit dem Hauptstrang der Strömung bis vor die Turbine.

4.1 Schutzwirkung

Auf Grundlage durchgeführter Experimente zur Passierbarkeit von Stabrechen (HÖFER & RIEDMÜLLER 1996) ist bekannt, dass Salmoniden zuverlässig durch Rechen zurückgehalten werden, deren Stabweite bei einem Zehntel der Körperlänge (Totallänge) des Fisches liegt. Bei den betrachteten Lachssmolts von 14 bis 22 cm Länge ist damit bei einem lichten Stababstand unterhalb 14 mm eine physikalische Barriere gegeben. Im badenwürttembergischen Lachswiederansiedlungsgebiet werden natürlicherweise abwandernde Lachssmolts auch mit einer Länge bis zu 12 cm regelmäßig festgestellt. Andere gefährdete Fischarten weisen bei der Abwanderung teilweise geringere Körperlängen auf.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde der Rechen mit der Stabweite von 20 mm an der Anlage „Steinen“ von Lachssmolts durchschwommen.

4.2 Auffindbarkeit der Bypässe

Aufenthaltsbereiche der Fische vor dem Rechen

Vor dem jeweiligen Rechen konzentrierten sich Wildsmolts und Smolts aus Besatz in ihrer vertikalen Verteilung stets am oberen Rand des durchströmten Rechenfeldes. Dementsprechend standen die Fische bei solchen Rechen, die bis an die Wasseroberfläche reichten oberflächennah, während sie sich bei tiefer liegenden Rechen in der entsprechenden Wassertiefe, aber ebenfalls am oberen Rand des Rechenfeldes aufhielten. Je nach Anlagengröße und Strömungsmuster verteilten sich die Fische in der Horizontalen vor dem Rechen mehr oder weniger. Bei schmalen Rechen konzentrierten sich die Fische zwangsläufig auf engere Bereiche, bei breiteren Rechanlagen waren die Fische über das gesamte Rechenfeld verteilt (Beispiel: Abbildung 2). Nach diesen Beobachtungen läge die günstige Positionierung der Eingänge von Bypässen in unmittelbarer Nähe von solchen bevorzugten Aufenthaltsbereichen bzw. -tiefen.

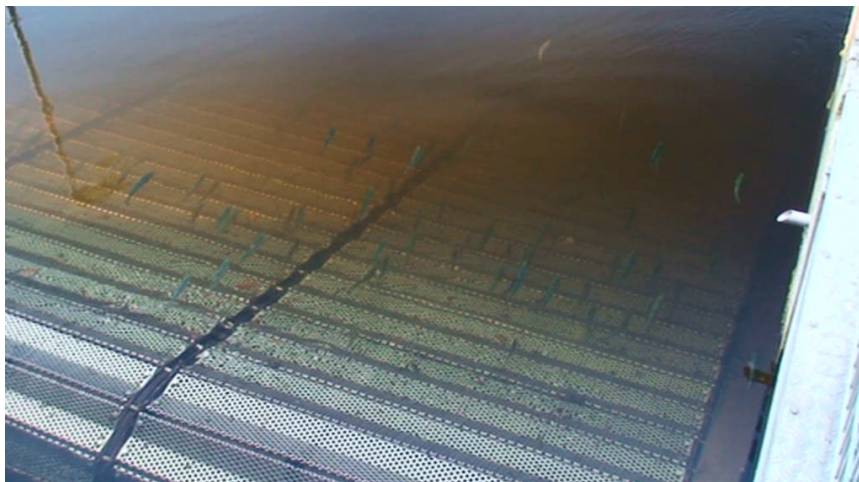


Abbildung 3: Lachssmolts vor dem Rechen an der Anlage „Steinach CR

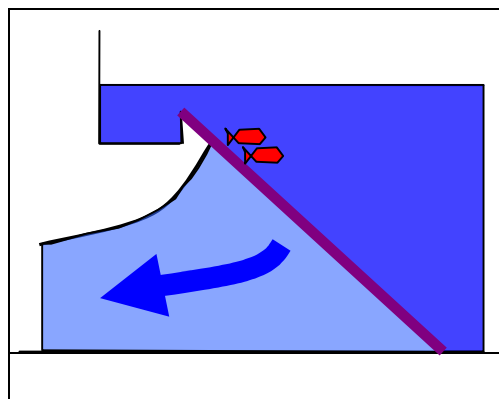


Abbildung 4: Skizze des bevorzugten Aufenthaltsbereichs der Lachssmolts an der oberen Begrenzung des Rechenfeldes vor einem Rechen Längsschnitt

Abstiegssuche vor dem Rechen

Lachssmolts (Wildsmolts an der Anlage „Steinach CR“ 2007) standen in Trupps im Oberwasserkanal, hielten sich über längere Zeit an der Obergrenze des zur Turbine strömenden Wassers vor dem Rechen auf. Seitliche Bewegungen, die als Suchbewegungen interpretiert werden, wurden meist in Gruppen von ca. 3 – 5 Smolts durchgeführt. Diese Suchbewegungen fanden bei senkrecht angeströmten Rechen über die gesamte Rechenbreite, und zwar an der oben beschriebenen Grenzlinie im oberen Bereich des Rechenfeldes statt.

Leitwirkung der Rechen

Bei schräg zur Hauptströmung ausgerichteten Rechen (Winkel $\beta < 90^\circ$; vgl. Abbildung 5) bewegten sich die Smolts flussabwärts entlang der Rechenfläche in Richtung des im spitzen Winkel angeordneten Bypasses. Der Mechanismus dieser Verhaltensbarriere wurde bereits bei PAVLOV (1989) beschrieben.



Abbildung 5: Anlage „Klingelmühle“ in der Bauphase, Blickrichtung gewässerabwärts: schräg angeordneter Horizontalrechen mit Bypassöffnung im spitzen Winkel;

Hinsichtlich der Rechenneigung wurden Winkel zwischen 30° und 80° zur Sohle bei senkrechter Anströmung untersucht (Abbildung 6). Der für andere Fischarten vermutete Leiteffekt flach geneigter Rechen in Richtung zur Oberfläche war bei den untersuchten Lachssmolts nicht feststellbar, da sich diese generell im oberen Bereich der durchströmten Rechenfläche aufhielten.



Abbildung 6: Anlage „Steinach CR“ in der Bauphase: rechteckig zur Fließrichtung angeordneter Lochblechrechen mit flacher Neigung, seitliche Bypassöffnung noch nicht installiert;

Verhalten am Einstieg zum Bypass

Abstiegswillige Lachse hielten sich zum Teil längere Zeit (bis zu mehreren Stunden) im Bereich der sich ändernden Strömung am Bypasseingang auf. Sie wagten sich dabei nur allmählich und zögerlich in Bereiche stärkerer Strömung vor (Abbildung 7). An Kanten (z.B.

Schütz) mit abgelöstem Überfallstrahl wurde besonders intensiv „getestet“. Im Anschluss an diese Annäherungsphase, die im kürzesten Fall ca. 15 Minuten dauerte, stiegen die Smolts in den Bypass ein. Sobald ein Smolt aus einer Gruppe den Einstieg passierte, folgten die anderen Tiere der Gruppe kurz darauf nach.



Abbildung 7: Lachssmolts beim „Test“ des Strömungsverlaufs am trichterförmigen Bypasseinstieg (links im Bild) (Beispiel „Steinach CR“)

Betriebsmanagement:

Ursprünglich bestand vielfach die Vorstellung, dass abwanderwillige Fische auch während der kurzen Reinigungsphase des Rechens, gemeinsam mit dem Rechengut, eine Wasserkraftanlage passieren können. In einem späteren Schritt richteten einige Anlagenbetreiber von der Rechenreinigung unabhängige, zusätzliche Spülphasen ein. Die vorliegenden Ergebnisse - wie auch frühere Untersuchungen (BLASEL 2009) - zeigen jedoch sehr deutlich, dass eine kurzfristige und diskontinuierliche Dotierung der Abstiegswegen nicht den notwendigen Abstieg der Fische ermöglicht. Die Beobachtungen zeigen zusammengefasst, dass die betrachteten Smolts beim Beginn eines Reinigungsvorgangs zunächst flüchten und dadurch die oben beschriebene Annäherungs- und Testphase an der Bypassöffnung nicht durchführen können oder unterbrechen. Die Fische verweilen dadurch so lange im Oberwasser der Wasserkraftanlage, bis sie – sofern möglich – den Rechen durchschwimmen, oder nach vollständiger Erschöpfung durch den Rechenreiniger aufgenommen und dabei nicht selten verletzt werden.

Ein weitestgehend freier Abstieg von Lachssmolts erfolgte im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen nur dann, wenn über einen permanent dotierten Abstiegsweg eine gleichmäßige und kontinuierliche Strömung vorhanden war.

4.3 Passierbarkeit

Im Rahmen der vorliegenden Überblicksbeobachtungen erfolgten keine standortspezifischen hydraulischen Untersuchungen. Diese bleiben weitergehenden Untersuchungen vorbehalten. Mit dieser vergleichenden Studie sollen grundsätzliche Anhaltspunkte für eine, durch nähere Untersuchungen zu definierende Dimensionierung und Gestaltung der Bypässe gegeben werden. Gleichzeitig sollen grundlegende Defizite identifiziert werden, um diese künf-

tig gezielt zu vermeiden. In der Literatur finden sich generelle Angaben zur Gestaltung des Einlaufprofils und Beaufschlagung bei LARINIER & TRAVADE (2002), GLUCH (2007) oder DWA (2005).

Bypasseinstieg

Bei seitlich angeordneten Bypässen wurden Passagen von Lachssmolts bei Öffnungen mit den minimalen Dimensionen von 30 cm Wassertiefe und 40 cm Breite festgestellt. Eine verbesserte Wirkung wurde einer bei allmählicher Fließgeschwindigkeitszunahme in der Öffnung ermittelt, die beispielsweise durch trompetenförmige Gestaltung des Bypasseinstiegs oder andere Reduzierungen der Einstiegsgeometrie erzielbar ist. Geringere Wassertiefen (ca. 25 cm) wurden nur bei deutlich höheren Gewässer/Gerinnebreiten (beispielsweise 1,3 m an der Anlage „WKV“ oder in „Rotenfels“ über die gesamte Rechenbreite) in gleichem Maß angenommen.

Mit einem abgelösten Überfallstrahl an Klappen oder Schützen am Einstieg in den Bypass (Abbildung 8) waren stark verminderte Abstiegszahlen und verzögerte Einstiege verbunden. Sofern Wasserwalzen oder starke Turbulenzen vor dem Bypasseinstieg regelmäßig oder gelegentlich eine Veränderung der in den Bypass gerichteten Strömung verursachten, wurde die Annäherungsphase unterbrochen, was ebenfalls zu Zeitverzögerungen bei der Bypasspassage und in der Folge zu geringeren Abstiegszahlen führte.

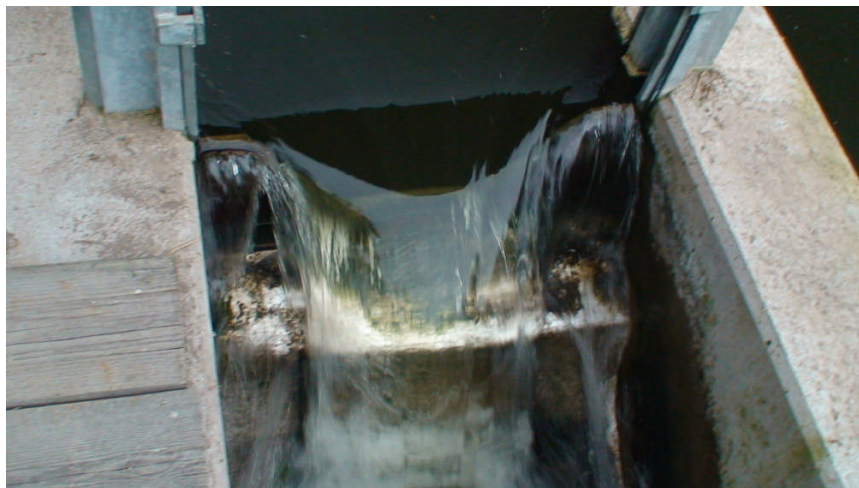


Abbildung 8: Abgelöster Überfallstrahl am Bypasseinstieg

Gestaltung Bypass

Das oben für den Bypasseinstieg beschriebene Annäherungsverhalten der Smolts bestand in ähnlicher Weise auch im Bypass. Es wurde insbesondere an Schützen oder Klappen mit geringem Wasserpolster sowie bei allen Änderungen der Strömungsrichtung in Kurven im Bypass oder bei abrupten Strömungswechseln (plötzliche starke Beschleunigung an steileren Gefällestrecken oder vor Klappen, Abbildung 9) beobachtet. In der Literatur sind entsprechende Befunde unter anderem auch bei HARO et al (1997) beschrieben.

Die „Strömungstests“ durch Smolts konnten sich auch an solchen Stellen im Bypass über Stunden hinziehen. An Kanten (Schütz) mit abgelöstem Überfallstrahl wurde besonders intensiv „getestet“.

Teilweise wurde der Abstieg noch nach der Passage einer größeren Bypassstrecke wieder vollständig abgebrochen und die Fische schwammen wieder ins Oberwasser zurück.



Abbildung 9: Starke und abrupte Zunahme der Fließgeschwindigkeit in der V-förmigen Kerbe (Bündelung des Wasserstrahls, die Fließgeschwindigkeit nimmt auf einer Strecke von ca. 0,8 m um über 1,5 m/s zu)

Um einen günstigen Abstieg im Bypass zu ermöglichen müssen Bypässe mit einer ausreichenden Wassertiefe, glatten Oberflächen und großen Kurvenradien ausgeführt werden. Auch an ggf. vorhandenen Engstellen muss ein nur allmählich beschleunigter Wasserstrom gewährleistet werden. Besser ist es, solche Zwangsstellen generell zu vermeiden.

Sobald die Fließgeschwindigkeit das Schwimmvermögen der Fische überschreitet, werden diese im Wassersog mitgerissen. Bei glatten Oberflächen wurden dann, selbst bei geringen Wassertiefen, schädigungsfreie Passagen über die vorhandenen kurzen Distanzen bis zur Rückführung ins Unterwasser der Anlage festgestellt. Dabei ist von großer Bedeutung, dass keine unbeweglichen Teile (Kanten, Profile, Einbauten) in den Wasserstrahl hineinragen und der Wasserstrahl nicht gegen Wände gerichtet ist. Müssen Höhenunterschiede im Bypass im freien Fall überbrückt werden, ist unterhalb eine ausreichende Wassertiefe vorzusehen („Wasserpolster“), die eine Kollision der Fische mit der Sohle verhindert.

Rückführung

Eine schadfreie Rückführung der Fische ins Unterwasser war in allen Fällen gegeben, sofern ausreichende Wassertiefen gegeben waren und keine Verlegungen durch Gehölzsammlungen vorkamen (vergleiche Abbildung 10). Gemäß den Vorgaben aus DWA (2005) können Abstürze schadlos überwunden werden, deren Wassertiefe ein Viertel der Fallhöhe, mindestens aber 0,9 m Wassertiefe beträgt. An den untersuchten Anlagen, an denen diese Vorgaben eingehalten waren, wurden keine Schädigungen festgestellt.



Abbildung 10: Eine mit Geäst verlegte Abstiegsrinne verhindert die schadhlose Rückführung von Fischen in das Unterwasser

4.4 Ergebnis Smoltabstieg

Die Abstiegszahlen von Smolts über die Bypässe sind in Tabelle 2 (Folgesseite) dargestellt. Die Ergebnisse sind versuchsspezifisch und lassen keine direkten Rückschlüsse auf die absolute Funktionsfähigkeit der Anlagen zu. Sie liefern jedoch Hinweise auf die Funktion der Anlage .

Bei einigen Anlagen sind Smolts auch über die im Nahbereich von Rechenanlagen gelegene Fischaufstiegshilfe abgestiegen. Diese ersetzen jedoch keinesfalls funktionsfähige Fischabstiegsanlagen.

Tagsüber stiegen nur einzelne Tiere über den Bypass ab. Die Abstiege erfolgten hauptsächlich ab der Abenddämmerung über die Nacht. Die höchste Abstiegsfrequenz wurde in der Morgendämmerung registriert. Durch Licht (Halogenstrahler zur Beleuchtung des Bypass-einstiegs) konnte paradoxerweise in der Nacht die Abstiegsaktivität von Smolts erhöht werden (Abbildung 11, Zeitintervall „22:30“, Folgesseite).

Tabelle 2: Abstiege an den im Jahr 2009 untersuchten Anlagen über jeweils 24 Stunden

Anlage	Smolt-anzahl	Abstieg über Bypass		Bemerkungen
Gewässer	zur Beobachtung	n	ca. %	
„Steinach CR“ Kinzig	300	146	48,6	
„WKO“ Murg	1000	93	9,3	Versuche zur Bypassgeometrie mit Umbauarbeiten. Freie Passage nur für wenige Stunden gegeben
„Klingelmühle“ Murg	1000	132	13,2	Absperrung im Oberwasser nicht durchführbar
„Rotenfels“ Murg	590	79	13,3	
„WWF“ Murg	300	31	10,3	Abstiege nur bei permanenter Dotation des Bypasses; 7 Tiere vom Rechen in Bypass gezwungen
„Schlossmühle“ Schiltach	400	66	16,5	
„WKV“ Elz	300	124	41,3	
„Steinen“ Wiese	300	165	55,0	
„Tumringen“ Wiese	302	7	2,3	
„Appenmühle“ Alb	300	47	15,6	Abstiege nur bei permanenter Dotation des Bypasses; 10 Tiere wurden vom Rechen in die Abschwemmrinne gezwungen

*) untersuchungsbedingt war der Fischaufstieg wegen der Absperrungen im Oberwasser nicht erreichbar

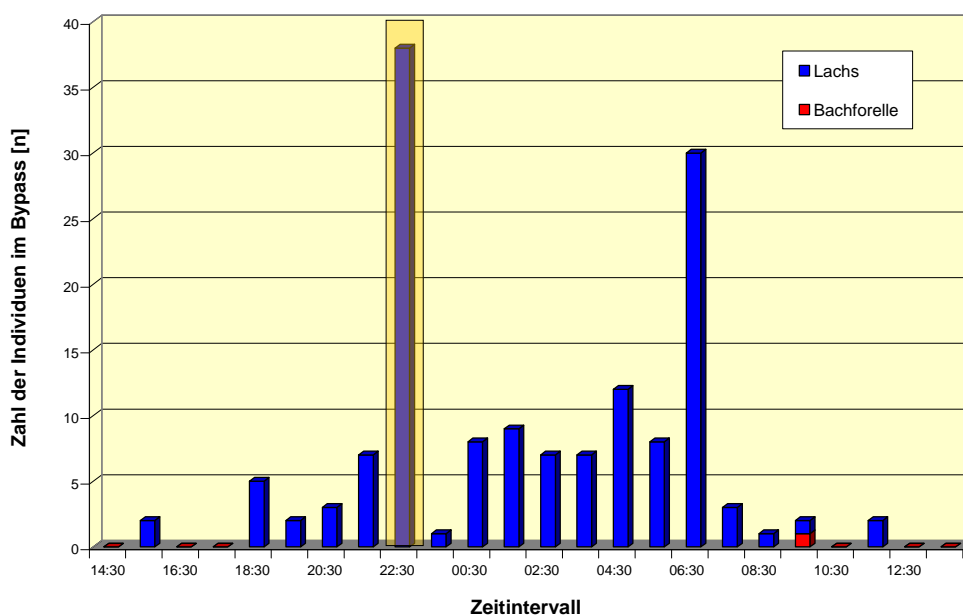


Abbildung 11: Abstiegsfrequenz im Tagesverlauf (Beispiel „Steinach CR“).
Im Zeitintervall „22:30“ wurde der Bypasseinstieg beleuchtet (gelber Kasten)

5. Bewertung der untersuchten Anlagen hinsichtlich des Abstiegs von Lachs-Smolts

Eine Bewertung der dargestellten Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen hinsichtlich des Abstiegs von oberflächennah wandernden Fischen (Lachssmolts) wurde anhand der folgenden Kriterien vorgenommen (Tabelle 3):

- Fischschutz
- Leitwirkung des Rechens
- Einstieg Bypass
- Bypass Verlauf
- Rückführung ins Unterwasser

Zunächst wurden die oben genannten Kriterien in drei Klassen bewertet als:

+	Funktionsfähig
0	Eingeschränkt funktionsfähig
-	Nicht funktionsfähig

Die Bewertung der einzelnen Kriterien mündete dann in eine Gesamtbewertung der Anlage:

✓	Funktionsfähig, (maximal nur ein Kriterium als „eingeschränkt funktionsfähig“ und kein Kriterium als nicht funktionsfähig bewertet)
-	Nicht funktionsfähig (mehr als ein Kriterium als „eingeschränkt funktionsfähig“ oder ein Kriterium als nicht funktionsfähig bewertet (worst case))

Tabelle 3: Bewertung der untersuchten Fischabstiegsanlagen

Anlage	Gesamt	Detail	Kriterien	Bemerkungen
1) Lochblechrechen, CR (zirkulierende Lochblechsegmente)				
Steinach CR	✓	+	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	
		+	Leitwirkung des Rechens	
		+	Auffindbarkeit des Einstiegs	
		+	Passierbarkeit des Bypasses	
		+	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	
2) Stabrechen				
WKO	✓	+	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	18 mm-Rechen, aber Verhaltensbarriere wegen günstiger Anströmung
		+	Leitwirkung des Rechens	
		0	Auffindbarkeit des Einstiegs	Turbulenzen (Wasserwalzen) kehren Strömung vor Bypass bei hohem Abfluss zeitweise um
		+	Passierbarkeit des Bypasses	
		+	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	
Klingelmühle	-	+	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	
		+	Leitwirkung des Rechens	
		+	Auffindbarkeit des Einstiegs	
		-	Passierbarkeit des Bypasses	Stauklappe mit zu geringer Wassertiefe am flussabwärtigen Ende der Stauklappe, abgelöster Überfallstrahl
		-	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	zu geringe Wassertiefe im Unterwasser

Fortsetzung **Tabelle 3:** Bewertung der untersuchten Fischabstiegsanlagen

Anlage	Gesamt	Detail	Kriterien	Bemerkungen
Rotenfels	-	+	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	
		+	Leitwirkung des Rechens	
		+	Auffindbarkeit des Einstiegs	Rechenkopf wird bei 25 cm Wassertiefe über große Breite ohne Zögern passiert.
		-	Passierbarkeit des Bypasses	Anlage wurde zum Untersuchungszeitpunkt nicht im Abstiegsmodus betrieben. (nur ca.100 l/s *). Dadurch unzureichende Strömung in der Abschwimm/Abschwemmwanne. Bei Strömungsinduktion durch Senken der Klappe zu starke Fließgeschwindigkeitsänderung an der Klappe. Einbauten im Bypass.
		+	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	
WWF	-	+	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	
		+	Leitwirkung des Rechens	
		-	Auffindbarkeit des Einstiegs	Wassertiefe über Rechenoberkante mit 9 cm zu gering
		-	Passierbarkeit des Bypasses	Bypass über Spülschütz wird nur angenommen, wenn eine kontinuierliche Strömung generiert wird. Schädigungsgefahr bei Spülung am Dammbalken, zu geringe Wassertiefe im Unterwasser
		-	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	Bypassrinne zum Unterwasser komplett verlegt
Schlossmühle	-	+	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	
		+	Leitwirkung des Rechens	
		0	Auffindbarkeit des Einstiegs	Zeitweilig starke Wasserwirbel mit Strömungsumkehr
		0	Passierbarkeit des Bypasses	Trapezförmige Eintiefung und abgelöster Überfallstrahl wirken als Abstieghemmnis
		-	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	Wassertiefe im Unterwasser mit 45 cm zu gering, Kollision mit Felsnase

*) es ist davon auszugehen, dass sich mit vorgeschriebener Wassermenge die Ergebnisse verbessern

Fortsetzung **Tabelle 3:**

Anlage	Gesamt	Detail	Kriterien	Bemerkungen
WKV	-	+	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	
		+	Leitwirkung des Rechens	
		0	Auffindbarkeit des Einstiegs	Bei eingehaltenem Stauziel funktionsfähig. Beobachtetes Unterschreiten des Stauzieles führt zum Funktionsverlust des Bypasses.
		+	Passierbarkeit des Bypasses	
		-	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	Bypassrinne endet generell zu früh, dort zu geringe Wassersäule. Fische rutschen auf rauer Betonsohle weiter. Bei Abflussschwankungen wird der Grundablass geöffnet anstelle der Ableitung über die Wehrkrone, → sowohl über Grundablass als auch über Bypass absteigende Fische werden vom Wasserstrahl gegen die Betonwand geschleudert
Steinen	-	-	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	Rechenpassage einiger Smolts durch 20 mm Vertikalrechen festgestellt
		+	Leitwirkung des Rechens	
		+	Auffindbarkeit des Einstiegs	
		+	Passierbarkeit des Bypasses	
		-	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	Hohe Mortalität nach Abstieg durch unzureichend tiefes Unterwasser (Stand 2009)
Tumringen	-	-	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	20 mm-Rechen, vertikal
		0	Leitwirkung des Rechens	Rechenoberkante endet in ca. 2 m Wassertiefe, darüber geschlossene Wand mit Turbulenz
		-	Auffindbarkeit des Einstiegs	keine ausreichend wahrnehmbare Strömung
		-	Passierbarkeit des Bypasses	Permanente, gut wahrnehmbare Strömung für Abstieg notwendig. Die bestehende Dotierung reicht hierfür nicht aus.
		0	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	Rückführung durch Abstiegsklappe mit geringer Wassertiefe und abgelöstem Überfallstrahl. Unterwasser ausreichend tief.

Fortsetzung **Tabelle 3:** Bewertung der untersuchten Fischabstiegsanlagen

Anlage	Gesamt	Detail	Kriterien	Bemerkungen
Appenmühle	-	-	Rückhaltevermögen/ Fischschutz	20 mm-Rechen, vertikal
		+	Leitwirkung des Rechens	
		-	Auffindbarkeit des Einstiegs	Wassertiefe über dem Rechen nur wenige cm
		-	Passierbarkeit des Bypasses	Dotation und Dimension durch „Abstiegsfenster“ im Schütz zu gering, für größere Fische nicht passierbar, Kollision mit Geschwemmselrinne oder Sturz über Geschwemmselrinne auf Beton
		-	Ausstieg Bypass/ Rückführung ins Unterwasser	Fische schlittern über raue Betonsohle auf 11 m Strecke Betonstrecke war zudem komplett verlegt.

Die Betrachtung der Gesamtbewertungen ergibt, dass 8 von 10 Anlagen nicht funktionsfähig waren.

Grundlegende Defizite an der Gesamtkonzeption der Fischabstiegsanlagen bestanden an drei Anlagen hinsichtlich des Fischschutzes. An diesen Anlagen („Steinen“, „Tumringen“ und „Appenmühle“), welche vertikal ausgerichtete Stabrechen mit 20 mm lichter Weite aufweisen, wird ein Austausch der Rechenanlage notwendig. An den anderen Fischschutz- und Abstiegsanlagen lässt sich die Funktionsfähigkeit durch vergleichsweise geringe Modifikationen herstellen.

Weitere festgestellte Defizite waren zu geringe Wassertiefen im Unterwasser, was sich in den meisten Fällen mit geringem Aufwand beheben lässt.

Die Auffindbarkeit des Bypasses wurde an einigen Anlagen durch Wasserwirbel vor dem Einstieg, zu geringe Wassertiefe oder nicht wahrnehmbare Strömung in den Bypass erschwert beziehungsweise verhindert.

Eine kontinuierliche Wasserdotation ist unabdingbare Voraussetzung für die Funktionstüchtigkeit des Bypasses. Stauklappen, abgelöste Überfallstrahlen, geringe Dotationen, starke Änderungen der Fließgeschwindigkeit, raue Oberflächen oder Einbauten im Bypass erfordern Anpassungen in einzelnen Funktionsteilen. An den Standorten müssen in regelmäßigen Intervallen Reinigungen des Bypasses zur Verhinderung des Verlegens mit Getreibsel durchgeführt werden.

6. Empfehlungen

Eine wesentliche Erkenntnis der Studie ist, dass bestehende Wasserkraftanlagen mit funktionsfähigen Fischabstiegsanlagen nachgerüstet werden können. Je nach räumlichen und technischen Rahmenbedingungen sowie nach Anforderungen an die Quantität und Qualität des Abstiegs fallen die Aufwendungen einer solchen Nachrüstung mehr oder weniger hoch aus.

Hinsichtlich der Schutzwirkung von Rechen sind physikalische Barrieren generell den Verhaltensbarrieren vorzuziehen. Bei vertikal ausgerichteten Stabrechen durchschwammen Smolts in den Versuchen Rechen mit 20 mm lichter Stabweite. Aufgrund der in den Programmgewässern auftretenden Längen von Smolts zwischen 12 und 27 cm wird konsequenterweise eine lichte Stabweite bei Vertikalrechen von 12 mm empfohlen. Eine Stabweite von 15 mm darf nicht überschritten werden. Bei Horizontalrechen sind je nach Anordnung zum Hauptgewässer auch geringfügig größere Stabweiten denkbar.

Es konnte wiederholt an verschiedenen Anlagen beobachtet werden, dass sich Lachssmolts im oberen Bereich des Rechens im Zulauf des zur Turbine strömenden Wassers sammeln. Aus diesem bevorzugten Aufenthaltsort abwandernder Fische vor dem Rechen ergibt sich die wirkungsvollste Positionierung des Bypasseinstiegs. Schräg zur Strömungsrichtung ausgerichtete Rechen (Winkel $\beta < 90^\circ$; vgl. Abbildung 5) bewirkten eine Lenkung von Fischen zum Bypass. Bypässe müssen generell eine permanente, kontinuierliche Dotation aufweisen. Einstiegsöffnungen mit großer Weite, gut wahrnehmbarer Strömung und allmählicher Beschleunigung der Fließgeschwindigkeit fanden bei den Smolts eine gute Akzeptanz. Bypassöffnungen sollten eine minimale Wassertiefe von 30 cm und eine Breite von 40 cm nicht unterschreiten. Abrupte Richtungsänderungen und starke Wechsel der Fließgeschwindigkeit auf kurzen Strecken sollten im Bypassverlauf unbedingt vermieden werden. Kollisionen mit Einbauten, an Seitenwänden oder Passagen mit rauen Oberflächen sind ebenfalls zu verhindern. Das Bypassgerinne muss regelmäßig auf Verlegungen überprüft und ausreichend gewartet werden. Im Unterwasser müssen ausreichende Wassertiefen für den schadfreien Abstieg von Fischen im freien Fall (ggf. auch aus größeren Höhen) gewährleistet sein.

7. Zusammenfassung

Im Programmgebiet zur Wiederansiedlung des Atlantischen Lachses in Baden-Württemberg wurden an zehn mit Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen ausgestatteten Wasserkraftanlagen Verhaltensbeobachtungen an Lachssmolts durchgeführt.

Im Oberwasser vor den Rechen der Wasserkraftanlagen besetzte Lachssmolts sowie beobachtete Wildsmolts wurden bei installierten Feinrechensystemen mit Stabweiten von 10 mm bis maximal 15 mm lichter Weite vom Eindringen in die Turbine wirksam gehindert. Dagegen wurde bei Stabrechen vertikaler Stabausrichtung und senkrechter Anströmung mit 20 mm lichter Stabweite ein Durchschwimmen festgestellt.

Schräg angeströmte Stabrechen mit 18 mm lichtem Stababstand in vertikaler Ausrichtung (Sonderfall Anlage „WKO“) und 20 mm lichtem Stababstand bei horizontaler Stabausrichtung (Anlage „Klingelmühle“) zeigten eine gute Leitwirkung zum Bypasseinstieg. Allerdings muss einschränkend hinzugefügt werden, dass an diesen Rechen wegen der Abgeschlossenheit des Systems nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden konnte, ob Smolts diese Rechen durchswimmen.

Vor der Passage von Bypassöffnungen und anderen Engstellen „testeten“ die Lachse den Strömungsverlauf ausgiebig. Die Lachse tasteten sich dabei allmählich an die sich verändernde Strömung heran. Störungen der „Strömungstests“ durch Strömungsveränderungen bei plötzlichen Spülungen (Rechenreinigung) oder durch Wasserwalzen mit Strömungsrichtungsumkehr verursacht, verzögerten den Abstieg. An Kanten (Schütze oder Klappen) mit abgelöstem Überfallstrahl wurde besonders intensiv „getestet“. Das gelegentliche „Spülen“ (z.B. zusammen mit dem Geschwemmsel) bot den Fischen keine ausreichende Abstiegsmöglichkeit. Bei Störungen flohen die Tiere aus dem betroffenen Bereich meistens kanaufwärts ins beruhigte (Ober-)Wasser.

Eine permanente, möglichst gleichmäßig beschleunigte Strömung ist zielführend, um für abstiegswillige Smolts die Auffindbarkeit des Bypasseinstiegs zu gewährleisten. Günstig ist es, die Strömung durch ein ausreichend groß dimensioniertes Fenster über dem Rechen ohne weitere Richtungsänderung in den Bypass zu führen. Auch seitliche Bypasseinstiege sind möglich, bei breiten Rechenfeldern ggf. an beiden Seiten. Zur Gewährleistung einer zügigen und sicheren Passage von Fischen durch die Bypässe dürfen dort keine enge Kurven oder abrupte Fließgeschwindigkeitszunahmen vorhanden sein. Auch Kanten an Schützen oder Klappen mit abgelöstem Überfallstrahl sowie raue Oberflächen und Einbauten, mit denen Fische kollidieren können, sind auszuschließen. Weiterhin sollte ein durchflossener Mindestquerschnitt von 30 cm Breite und 40 cm Tiefe am Beginn des Bypasses nicht unterschritten werden. Das Unterwasser von Bypässen muss – sofern ein Höhenunterschied im freien Fall überbrückt werden muss – eine ausreichende Wassertiefe aufweisen.

Acht von zehn Anlagen wurden hinsichtlich der Kriterien Fischschutz, Leitwirkung des Rechens, Auffindbarkeit des Einstiegs, Passierbarkeit des Einstiegs und der Rückführung ins Unterwasser als „nicht funktionsfähig“ bewertet. Gravierend ist hierbei eine unzureichende Schutzfunktion des Rechens an drei Anlagen, was grundlegender Veränderungen bedarf. Weitere Defizite lassen sich durch vergleichsweise geringe Modifikationen mit einfachen Mitteln beheben. Besonderes Augenmerk sollte hierbei auf ausreichende Wassertiefen im Unterwasser der Anlagen und auf die regelmäßige Wartung der Bypässe gelegt werden.

8. Literatur:

- BLASEL, K. (2009): Fischereibiologische Funktionsüberprüfung des zirkulierenden Rechens an der Wasserkraftanlage Steinach /Kinzig. Endbericht. Auftraggeber: Regierungspräsidium Freiburg, Landesbetrieb Gewässer und Universität Karlsruhe, Institut für Wasser- und Gewässerentwicklung. 28 S.
- DWA (2005): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. DWA-Themen, 256 S, Hennef.
- GLUCH (2007): Kombiniertes Fisch- und Treibgutableiter für Wasserkraftanlagen. Wasser und Abfall 9: 38 – 43.
- HARO, A. ODEH, M., NOREIKA, J. & CASTRO-SANTOS, T. (1997): Effect of Water acceleration on downstream migratory behaviour and passage of Atlantic Salmon smolts and juvenile American Shad at surface bypasses. Transactions of the American Fisheries Society: Vol.127, No 1, pp.118-127.
- HÖFER & RIEDMÜLLER (1996): Fischschäden bei Salmoniden durch Turbinen von Wasserkraftanlagen. Studie im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg. 81 Seiten + Anhang.
- IKSR (2004): Auswirkungen von Wasserkraftanlagen in den Rheinzufüssen auf den Wanderfischabstieg. 70. Plenarsitzung – 8./9. Juli 2004 – Bern. IKSR-Bericht Nr 140.
- LARINIER, M. & TRAVADE, F. (2002): Downstream migration: problems and facilities. Bull.Fr. Pêche Piscic. 364 (suppl.): 181 – 207.
- LUBW (2007): Abfluss-Kennwerte in Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- NEMITZ, A. & STEINMANN, I. (2001): Zum Aufkommen und zur Abwanderung von Lachssmolts im Siegsystem - Unveröffentlichte Studie im Auftrag der LÖBF, 47 S.
- PAVLOV (1989): Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. FAO Fisheries Technical Paper 308, 97 S., Rome.

Kontakt zum Referent:

Klaus Blasel
Büro für Fischereibiologie & Ökologie
Klostergasse 6
79294 Sölden
Tel. 0049-761-470 98 25
e-mail: K.Blasel@t-online.de