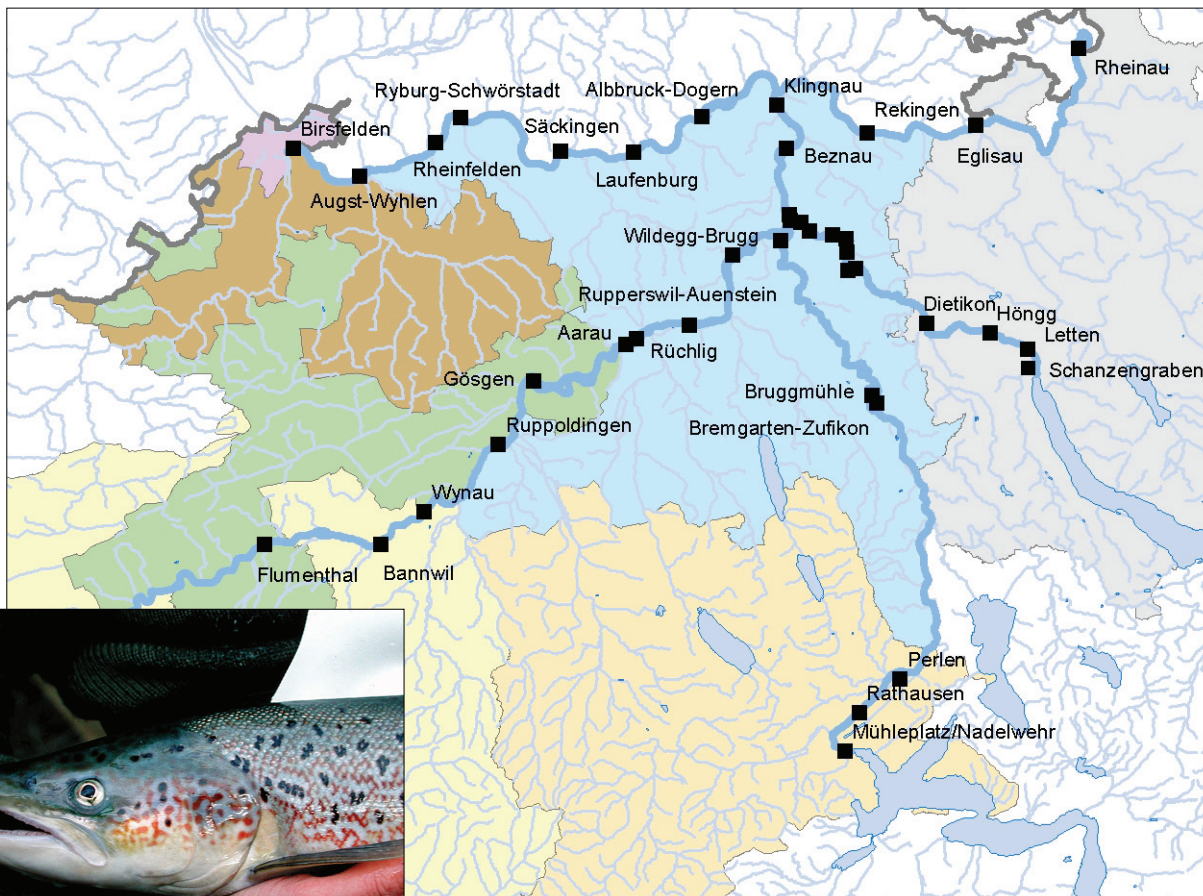




WWF Schweiz



Untersuchte Kraftwerkanlagen und Regulierwehre



Foto J. Freyhof, Berlin

Potentialabschätzungen und Massnahmen für die Rückkehr des Lachses in die Schweiz

Passierbarkeit der Wasserkraftwerke und Regulierwehre an Rhein, Aare, Limmat und Reuss

Zug, Juni 2011



Elber Hürlimann Niederberger

Bundesstrasse 6 · CH-6300 Zug
Fon +41 41 729 30 00 · Fax +41 41 729 30 01
admin@aquaplus.ch

FISCHWERK

WERNER DÖNNI

FISCHBIOLOGIE · GEWÄSSERÖKOLOGIE · GEOINFORMATIK

HIMMELRICHSTRASSE 8, 6010 KRIENS

T 041 310 10 43

INFO@FISCHWERK.CH

WWW.FISCHWERK.CH

Impressum

Autoren: Lukas Boller, AquaPlus, Zug
Werner Dönni, Fischwerk, Kriens

Auftraggeber: WWF Schweiz, Abt. Umwelt & Ressourcen, Bereich Wasser

Auftragserteilung: 12.2.2009

Projektleitung: Andreas Knutti, WWF Schweiz, Zürich

Begleitung: Ruedi Bösiger, WWF Aargau, Aarau
Martin Huber, WWF Schweiz, Zürich

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	3
1.1. Problemstellung und Auftrag	3
1.2. Untersuchungsperimeter	3
1.3. Grundlagen	3
1.4 Lebenszyklus des Atlantischen Lachses	3
2. Vorgehen	2
2.1. Hydrologische und Kraftwerk spezifische Angaben	2
2.2. Bewertungsgrundlagen	2
2.3. Fischaufstieg	8
2.4. Fischabstieg	10
3. Ergebnisse und Diskussion	12
3.1. Fischaufstieg	12
3.1.1. Alle Fischarten	12
3.1.2. Lachs	15
3.1.3. Nase	16
3.2. Fischabstieg	16
3.2.1. Alle Fischarten	16
3.2.2. Lachs	19
4. Empfehlungen	20
4.1. Fischaufstieg	20
4.2. Fischabstieg	20
4.2.1. Allgemein	20
4.2.2. Mögliche Massnahmen	21
4.2.3. Forschungsbedarf und Anwendungen in der Praxis	21
5. Zitierte Literatur	25
Anhang	26
A. Klassifizierungssystem für die Bewertung der Fischaufstiegsanlagen	27
A.1. Auffindbarkeit	27
A.2. Bewertung für den Aufstieg des Lachses	28
A.3. Bewertung für den Aufstieg der Nase	29
B. Klassifizierungssystem für die Bewertung des Fischabstiegs	30
B.1. Bewertung für die grundsätzlich Passierbarkeit von Querbauwerken	30
B.2. Schädigung abwandernder Fische	31
C. Spezifische Angaben zu den Kraftwerks- und Wehranlagen	33

Separate Datenblätter

Zusammenfassung

Für das WWF-Projekt «Lachs COMEBACK» wurden die Möglichkeiten und Risiken für die Aufwärtswanderung adulter Lachse und Nasen in potenziell geeigneten Lebensräumen des Lachses in der Schweiz beurteilt. Zusätzlich wurden die Bedingungen für die Abwärtswanderung juveniler Lachse (Smolts) untersucht. Neben der Vernetzung spielen noch weitere Aspekte wie eine gute Wasserqualität, naturnahe Gewässerstrecken und intakte Flusssohlen eine wichtige Rolle für Lachse und andere Fische. Diese Aspekte wurden in dieser Studie nicht näher betrachtet. Insgesamt wurden 57 Kraftwerk- und Regulieranlagen an den vier grossen Mittellandflüssen, Hochrhein, Aare, Limmat und Reuss beurteilt.

Diese Anlagen verfügen insgesamt über 63 **Fischaufstiegshilfen** (FAH), wobei 10 Anlagen keine FAH haben. Bei 57 % der untersuchten FAH wurde die Auffindbarkeit der FAH als «schlecht» beurteilt, bei 19 % als «unbefriedigend» oder «mässig». Nur gerade bei 14 % ist die FAH «gut» auffindbar. Der Einstieg in die FAH ist somit bei weitaus den meisten Anlagen von den Fische offenbar schwierig zu finden. Das hängt damit zusammen, dass

- Kanalkraftwerke oft nur über eine einzige FAH beim Wehr oder beim Maschinenhaus verfügen.
- Der Einstieg in die FAH meist viel zu weit im Unterwasser liegt, statt unmittelbar beim Wehrfuss oder beim Turbinenauslauf.
- Die Leitströmung aus der FAH für die Fische oft kaum erkennbar ist.

Fische, die den Einstieg in die FAH dennoch finden, müssen diese durchwandern können. Die Passierbarkeit fast aller diesbezüglich untersuchter Anlagen ist sowohl für den Lachs als auch die Nase mit Schwierigkeiten verbunden. Für den grosswüchsigen Lachs sind die meisten FAH zu klein dimensioniert. Für die Nase sind die hydraulischen Bedingungen, z. B. die Fliessgeschwindigkeiten in den Engstellen oder die Wasserspiegeldifferenzen zwischen den Becken, das grösste Problem.

Eine problemlose freie Wanderung flussaufwärts ist für den Lachs bei lediglich neun, für die Nase bei einer der 57 untersuchten Anlagen garantiert.

Der **Fischabstieg** konnte aufgrund der vorliegenden Angaben nur bei 30 Wehranlagen bewertet werden. Bei 13 von 26 Anlagen wurde die grundsätzliche Passierbarkeit als «stark beeinträchtigt» beurteilt, bei 11 weiteren als «erheblich beeinträchtigt» oder «mässig beeinträchtigt». Nur das Dotierkraftwerk Alte Aare und das Kraftwerk Gurben weisen eine geringfügige Beeinträchtigung für den Fischabstieg auf. Bei 92 % der bewerteten Anlagen besteht dringender Handlungsbedarf. Bei sechs von 28 Anlagen muss von einer «starken» Schädigung der Fische ausgegangen werden, wenn sie über das Wehr absteigen. Bei sechs weiteren ist die Schädigung «erheblich» oder «mässig». Bei insgesamt 43 % der bewerteten Anlagen besteht ein Handlungsbedarf beim Abstieg übers Wehr. Ein mehr oder weniger schadloser Abstieg übers Wehr ist bei den meisten Kraftwerken am Rhein und an der Reuss möglich.

Die Passage durch die Turbinen der Kraftwerksanlage muss bei allen untersuchten Anlagen als «mässig schädigend» oder gar «erheblich schädigend» eingestuft werden. Bei allen Anlagen besteht ein grosser Handlungsbedarf, um den Abstieg über die Turbinen mittels Fischabstiegsanlagen zu verhindern und so die Mortalitätsraten und Schäden an Fischen zu reduzieren.

Die technischen **Lösungen** für den Fischaufstieg sind hinlänglich bekannt. Sie werden seit Jahrzehnten dem Stand des Wissens und den technischen Möglichkeiten angepasst. Auch für den Fischabstieg gibt es Lösungsansätze z. B. der Fisch- und Treibgutableiter nach Gluch (2007) und Ebel (2008 und -2010), die noch weiter entwickelt werden müssen. Dazu braucht es dringend Pilotanlagen und Funktionskontrollen. Mit den technischen Massnahmen allein sind aber weder der Auf- noch der Abstieg gelöst. Massnahmen im Anlagenmanagement (Betrieb der Turbinen und Wehröffnungen) sind unabdingbar, um die Fischwanderung bei Wasserkraftwerken in beide Richtungen zu verbessern.

Die Faktenblätter der einzelnen Kraftwerke geben den Stand der Informationen über die einzelnen Anlagen zum Zeitpunkt der Untersuchungen wieder. Die Bewertung der einzelnen Anlagen erfolgte nach den DWA-Kriterien (Schwevers & Adam 2006). Die absehbare Rückkehr des Lachs in die Schweiz stellt neue Anforderungen an die Fischaufstiegs- und Abstiegsanlagen der Wasserkraftanlagen am Rhein, an der Aare und deren wichtigster Zuflüsse. Entsprechend sind die Resultate einzuordnen. Die Untersuchung macht deutlich, dass sowohl beim Aufstieg und ganz besonders auch beim Abstieg grosser Handlungsbedarf besteht, wenn das COMEBACK des Lachs in der Schweiz Realität werden soll.

1. Einleitung

1.1. Problemstellung und Auftrag

Im Rahmen des Projektes «Lachs COMEBACK» will der WWF die heutigen Möglichkeiten und Gefahren der Auf- und Abwärtswanderung für den Lachs an den vier grossen Mittellandflüssen aufzeigen. Hierfür wurden die Wasserkraftwerken und Regulierwehre an Rhein, Aare, Limmat und Reuss beurteilt. Die Aufwärtswanderung wurde zusätzlich hinsichtlich der Nase geprüft, die aufgrund ihres Lebenszyklus ebenfalls auf grossräumig durchgängige Gewässersysteme angewiesen ist.

1.2. Untersuchungsperimeter

- Rhein von Basel bis Rheinau
- Aare von der Mündung bis Interlaken
- Limmat von der Mündung bis Zürich
- Reuss von der Mündung bis Luzern

1.3. Grundlagen

- Begehungen vom 27.4., 6.5., 8.5. und 28.5.2009
- Beurteilung der technischen Gegebenheiten von Fischpässen bei Aarekraftwerken (Gebler 2004)
- Fischaufstiegskontrollen an der Aare (Guthruf 2006 und cretao 2009)
- Fischaufstiegskontrollen am Hochrhein (Guthruf 2008 und Aquatica 2009)
- Beurteilung der Aufwärtswanderung an den Limmat-Kraftwerken (AquaPlus 2009, creato 2009)
- Fischaufstiegskontrolle am KW Windisch, Reuss (Aquatica 2008)
- Informationen zu Restwasser, Geschiebe und Fischwanderung bei Kraftwerken an Rhein und Aare (Winzeler 2008)

1.4. Lebenszyklus des Atlantischen Lachses

Der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) wird zu den so genannt anadromen Fischarten gezählt, welche im Süsswasser aufwachsen, ins Meer abwandern und für das Laichgeschäft wieder zurückkehren (Abb. 1). Die laichreifen Lachse (Länge: 80 - 100 cm) steigen aus dem Meer in die Oberläufe der grossen Flüsse und in ihre Seitengewässer auf bis sie geeignete Laichplätze vorfinden. Lachse zeigen dabei ein ausgeprägtes «homing»-Verhalten, d.h. sie wandern ihrem Geruchssinn folgend zurück in ihr Geburtsgewässer.

Der Aufstieg beginnt im Sommer - Herbst, das anschliessende Laichgeschäft erfolgt zwischen Oktober und Januar mit einem Schwerpunkt zwischen Mitte November bis Mitte Dezember. Nach dem Ablachen sterben die meisten Lachse aufgrund von Erschöpfung und nur die wenigsten erreichen das Meer und kommen im darauf folgenden Jahr erneut zum Ablachen zurück. Für die Schweiz darf davon ausgegangen werden, dass erfolgreich abgelaichte Lachse (Kelts) nur in Ausnahmefälle wieder ins Meer zurückgelangen, da der Aufstieg (auch unter unbeeinträchtigten Verhältnissen) kräftezehrend ist.

Nach dem Verlassen des Kiesbettes im Frühling verbleiben die Junglachse 1 - 2 Jahre im Süsswasser bevor sie als «Smolts» Richtung Meer abwandern. Die Abwanderung findet Mitte März bis Ende Mai statt und erreicht den Peak ab Anfang April. Im Salzwasser verbringen die Lachse anschliessend eine Fress- und Wachstumsphase von 1 - 4 Jahren, bevor sie im Alter von 3 - 6 Jahren als erwachsene Tiere wieder in ihr Geburtsgewässer zurückkehren. Viele Kraftwerkstufen und Regulierwehre erschweren oder verhindern heute diesen Wanderzyklus der Lachse. Als Folge davon und aufgrund weiterer Faktoren wie der Gewässerverschmutzung gilt der Lachs heute in der Schweiz seit den 1950er Jahren als ausgestorben.

Entwicklungszyklus des Atlantischen Lachses (*Salmo salar*)

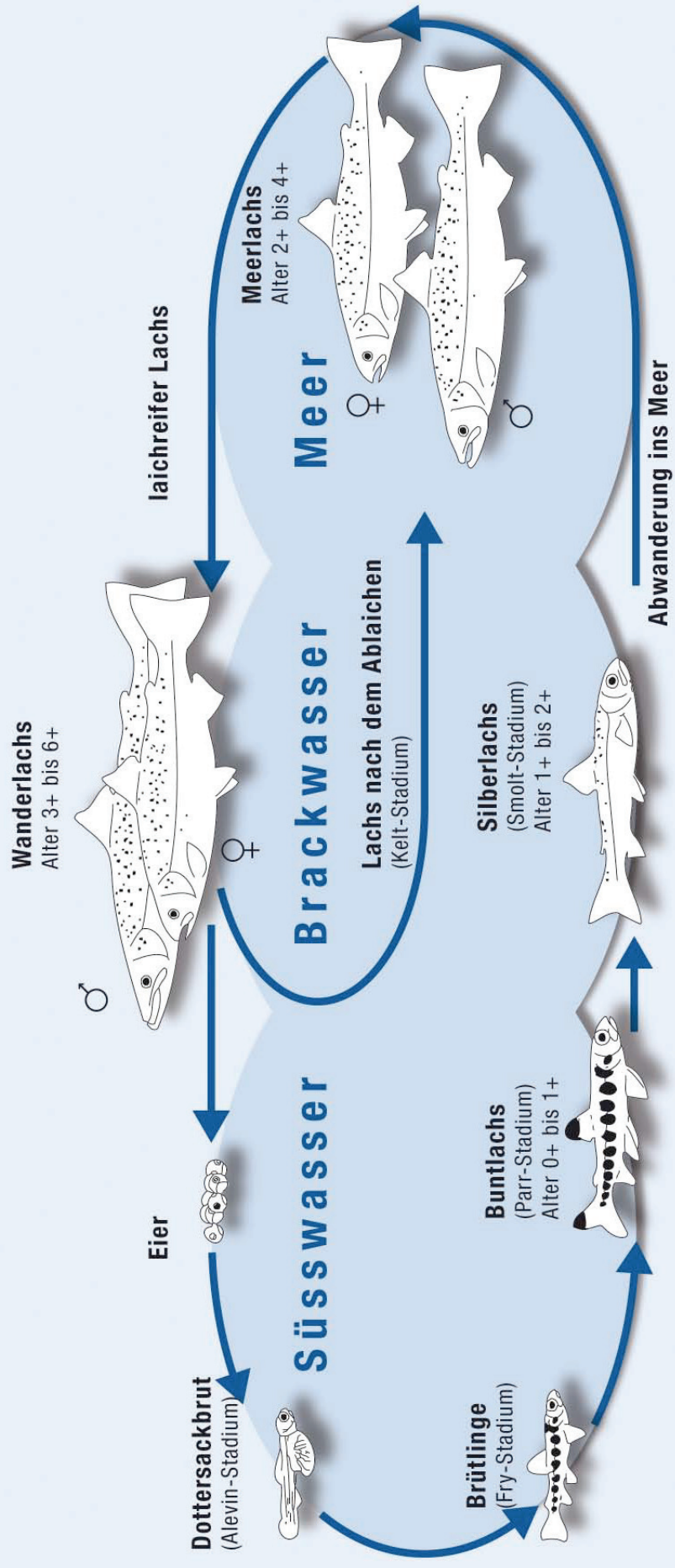


Abb. 1: Entwicklungszyklus des Atlantischen Lachses (*Salmo salar*). Quelle: WWF Schweiz

2. Vorgehen

Insgesamt wurden 57 Anlagen beurteilt (Abb. 2). Bei Kanalkraftwerken (Ausleitungskraftwerken) wurde zwischen der Situation beim Maschinenhaus (Kraftwerkzentrale) und beim Wehr unterschieden. Hilfswehre wurden separat beurteilt. Sämtliche Angaben zur Beurteilung finden sich in den jeweiligen Datenblättern der Anlagen.

Die Bewertung der einzelnen Anlagen erfolgte anhand den DWA-Kriterien (Schwevers & Adam 2006).

2.1. Hydrologische und Kraftwerk spezifische Angaben

Die hydrologischen Angaben in den Datenblättern stammen von der Landeshydrologie. Die Angaben zur Ausbauwassermenge und den Turbinentypen sind Angaben der Kraftwerke oder stammen aus Gebler (2004) bzw. aus WWF (2008). Gewisse Werte wie z. B. die Fallhöhe bei Wehrüberfall mussten bei einzelnen Anlagen im Rahmen der Begehung abgeschätzt werden. Einige Kraftwerksanlagen befinden sich zurzeit in einem Neukonzessionsverfahren oder planen Verbesserungen der Fischdurchgängigkeit. Soweit vorhanden, wurden Informationen zu diesen Neuerungen berücksichtigt.

2.2. Bewertungsgrundlagen

Die Beurteilung der Fischdurchgängigkeit einer Anlage beinhaltet eine **technische und eine biologische Bewertung** sowohl für den Fischaufstieg als auch den Fischabstieg. Die methodischen Grundlagen der Bewertungen sind in Tabelle 1 aufgelistet. Eine vollständige Bewertung konnte für keine Anlage durchgeführt werden. Insbesondere eine biologische Bewertung des Fischabstiegs fehlte dazu. Auch die übrigen Daten sind lückenhaft. Trotzdem erlauben sie eine grobe Beurteilung der Anlagen und geben Hinweise auf das Verbesserungspotenzial (Tab. 2).

Für die Bewertung der Anlagen ist aufgrund der Biologie der Fische das **Minimumprinzip** ausschlaggebend. Das heisst, die schlechteste Bewertung eines Parameters ist massgebend für die Gesamtbeurteilung. Sie führt auf den ersten Blick zu ernüchternden Resultaten, welche manche Anlagenbetreiber erstaunen mag. Die Bewertung «schlecht» bedeutet demnach nicht, dass die ganze Anlage als solche «schlecht» ist, sie weist aber darauf hin, dass mindestens eine Parameter den Anforderungen des Lachs bzw. der wandernden Nase nicht entspricht. Beispielsweise kann eine FAH ausreichend grosse und tiefe Becken aufweisen. Wenn aber die Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken zu gross ist, können Nasen trotzdem nicht aufsteigen. Im neusten Entwurf der DWA (Adam et al. 2010) wird erneut auf die Wichtigkeit dieses Minimumprinzips hingewiesen.

Die Bewertung mit dem Minimumprinzip zeigt den grundsätzlichen Handlungsbedarf auf. Eine Bewertung mit der tiefsten Wertung zeigt also nicht zwingend den Umfang der notwendigen Verbesserungsmassnahmen auf. Ein «schlecht» kann teilweise auch mit relativ kleinem Aufwand korrigiert werden, damit die Anlage als Ganzes eine ausreichende Bewertung erhält.

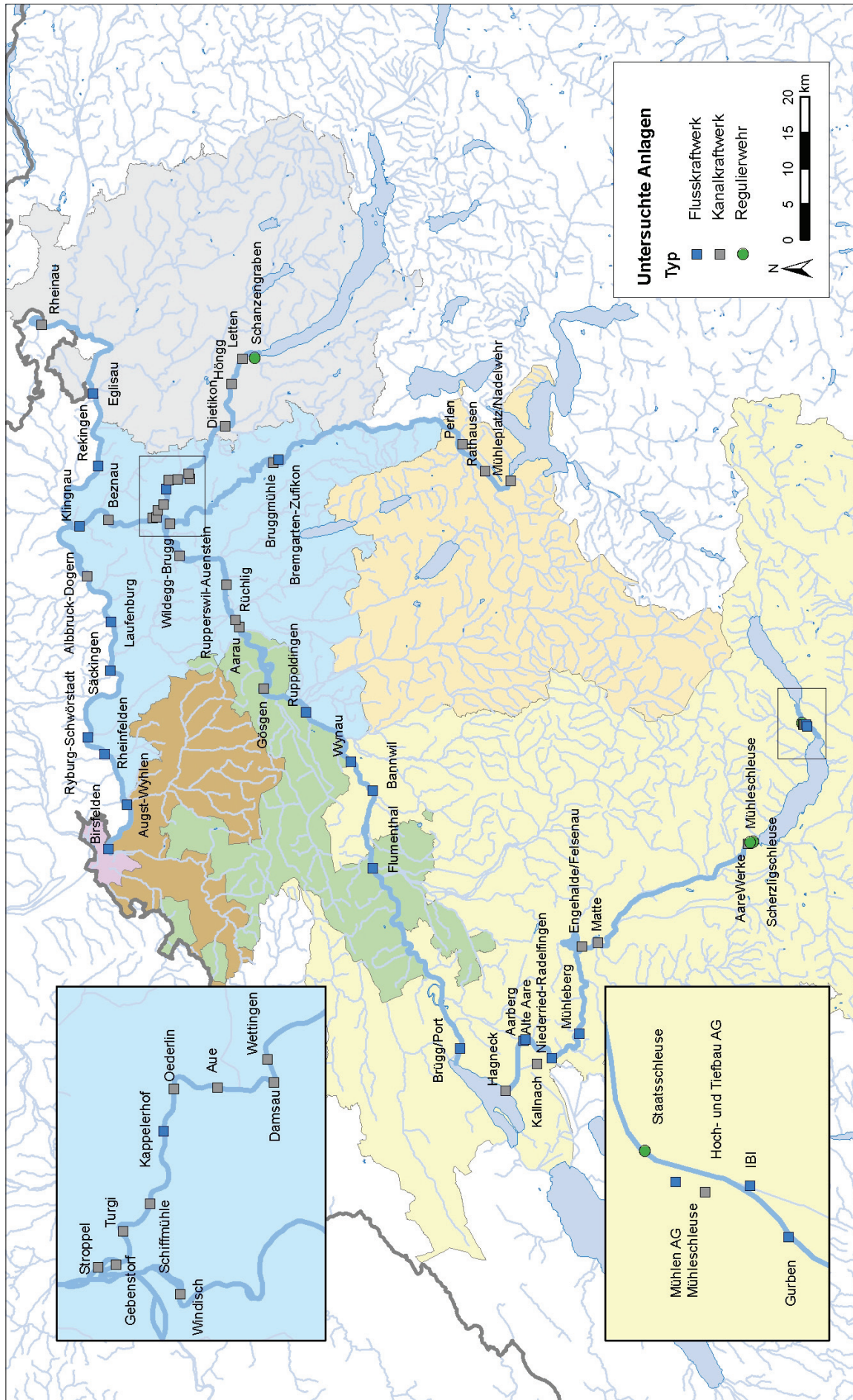


Abb. 2: Lage der an Hochrhein, Aare, Limmat und Reuss untersuchten Anlagen. Gewässernetz: Vector200_Hyd© swisstopo T851-BA03-09295.

Tab. 2: Für die Bewertung verwendete Datengrundlagen. Die Begehungen fanden im April/Mai 2009 statt.

Fluss	Anlage Ort Name	Typ	Fischaufstieg			Fischabstieg
			Technische Bewertung		Biologische Bewertung	
			Auffindbarkeit	Dimensionierung Hydraulik		
Hochrhein	Albruck-Dogern	Kraftwerk	Begehung	Guthruf 2008	keine Beurteilung	Begehung
	Augst-Wyhlen	Kraftwerk	Begehung	Guthruf 2008	Guthruf 2008, Aquatica 2009	Begehung
	Birsfelden	Kraftwerk	Begehung	Guthruf 2008	Guthruf 2008	Begehung
	Eglisau	Kraftwerk	Begehung	Guthruf 2008	Guthruf 2008	Begehung
	Laufenburg	Kraftwerk	Begehung	Guthruf 2008	Guthruf 2008	Begehung
	Reckingen	Kraftwerk	Begehung	Guthruf 2008	Guthruf 2008	Begehung
	Rheinau	Kraftwerk		keine FAH		Begehung
	Rheinfelden	Kraftwerk		Guthruf 2008	Guthruf 2008	keine Beurteilung
	Ryburg-Schwörstadt	Kraftwerk	Begehung	Guthruf 2008	Guthruf 2008	Begehung
Säckingen	Kraftwerk	Begehung	Guthruf 2008	Guthruf 2008	Begehung	
Aare	Aarau	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung
	Aarberg	Kraftwerk	Begehung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	Begehung
	Aarberg Alte Aare	Dotierkraftwerk	Begehung		keine Beurteilung	Begehung
	Bannwil	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Bern Engehald/Felsenau	Kraftwerk	Begehung		keine Beurteilung	Begehung
	Bern Matte	Kraftwerk	Begehung		keine Beurteilung	Begehung
	Beznau	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	Begehung
	Biel Brügg/Port	KW/Regulierwehr	Begehung			Begehung
	Flumenthal	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung
	Gösgen	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung
	Hagneck	KW/Regulierwehr	Begehung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	Begehung
	Interlaken Hoch- u. Tiefbau AG	Kraftwerk		keine FAH		Begehung
	Interlaken Gurben	Kraftwerk	Begehung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	Begehung
	Interlaken IBI	Kraftwerk		keine FAH		Begehung
	Interlaken Mühle	KW/Regulierwehr		keine FAH		Begehung
	Interlaken Staatsschleuse	Regulierwehr	Begehung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	Begehung
	Kallnach	Kraftwerk		keine FAH		Begehung
	Klingnau	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung
	Mühleberg	Kraftwerk		keine FAH		Begehung
	Niederried-Radelfingen	Kraftwerk	Begehung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	Begehung
	Rüchlig	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung
	Rupperswil-Auenstein	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung
	Ruppoldingen	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung
Thun AareWerke	Kraftwerk	Begehung		keine Beurteilung	Begehung	
Thun Mühleschleuse	Regulierwehr		keine FAH		Begehung	
Thun Scherzligschleuse	Regulierwehr		keine FAH		Begehung	
Wildegg-Brugg	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung	
Wynau	Kraftwerk	Gebler 2004	Gebler 2004	Guthruf 2006	keine Beurteilung	
Limmat	Aue	Kraftwerk	AquaPlus 2009	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Baden Kappelerhof	Kraftwerk			creato 2009	keine Beurteilung
	Baden Oederlin	Kraftwerk		kein Querbauwerk		keine Beurteilung
	Damsau	Kraftwerk	AquaPlus 2009	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Dietikon	Kraftwerk	AquaPlus 2009	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Gebenstorf	Kraftwerk	AquaPlus 2009	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Schanzengraben	Regulierwehr	AquaPlus 2009	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Turgi	Kraftwerk	AquaPlus 2009	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Turgi Schiffmühle	Kraftwerk	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Turgi Stroppel	Kraftwerk	AquaPlus 2009	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Wettingen	Kraftwerk	AquaPlus 2009	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Zürich Höngg	Kraftwerk	AquaPlus 2009	AquaPlus et al. 200	keine Beurteilung	keine Beurteilung
	Zürich Letten	Kraftwerk	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	keine Beurteilung
Reuss	Bremgarten Bruggmühle	Kraftwerk	Begehung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	Begehung
	Bremgarten-Zufikon	Kraftwerk	Begehung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	Begehung
	Luzern Mühleplatz	Kraftwerk	Begehung	keine Beurteilung	keine Beurteilung	Begehung
	Perlen	Kraftwerk		keine FAH		Begehung
	Rathausen	Kraftwerk	Begehung		keine Beurteilung	Begehung
	Windisch	Kraftwerk	Auqatica 2008	Auqatica 2008	keine Beurteilung	Begehung

Tab. 1: Methodische Grundlagen für die Bewertung der Fischdurchgängigkeit.

Aspekt		Grundlage	Bemerkungen
Fischaufstieg	Technische Bewertung	Schwevers & Adam 2006	Verfahren der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Zurzeit die am weitesten entwickelte Bewertungsmethodik.
	Biologische Bewertung	Guthruf 2006 (Tab. 15, S. 90), 2008 (Tab. 12, S. 86), creato 2009 (Tab. 7, S. 60)	Umfassend durchgeführte Aufstiegszählungen. Eine Aufstiegszählung gibt nur dann schlüssig Auskunft über die Funktionalität einer FAH, wenn die erhobenen Daten gewissen Grundanforderungen genügen (einwandfrei funktionierende Zählvorrichtung, Zählung über den grössten Teil des Jahres, Angaben zum Wehrüberfall und zum Turbinenbetrieb, Berücksichtigung des Fischvorkommens im Unterwasser usw.). Einzelne Aufstiegszählungen oder Beobachtungen von aufsteigenden Fischen erlauben keine Beurteilung und wurden daher nicht berücksichtigt.
Fischabstieg	Technische Bewertung	Dumont et al. 2005	Zurzeit das am weitesten entwickelte Bewertungsverfahren, dass jedoch nur eine rein qualitative Beurteilung zulässt. Es ist für relative Vergleichszwecke geeignet und gibt einen Überblick über die potenzielle Beeinträchtigung und Schädigung absteigender Fische an einer Wehranlage.
	Biologische Bewertung	keine Grundlagen	Soweit uns bekannt ist, wurde bisher kein biologisches Bewertungsverfahren entwickelt.

2.3. Fischaufstieg

Die **technische Bewertung** der FAH (Fischaufstiegshilfe) erfolgte nach den DWA-Kriterien (Schwevers & Adam 2006). Es handelt sich dabei um ein 5-stufiges Klassifizierungssystem gemäss Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union (Anhang A).

Die Funktionalität einer FAH wird durch deren **Auffindbarkeit** und **Passierbarkeit** bestimmt. Bei der Auffindbarkeit wird zwischen der grossräumigen Anordnung (z. B. Lage der FAH beim Maschinenhaus und/oder beim Wehr) und der kleinräumigen Positionierung (z. B. Distanz des Einstiegs zum Wanderhindernis) unterschieden. Bei der Passierbarkeit sind die Dimensionierung und Gestaltung der FAH (z. B. Breite der Engstellen wie Schlupflöcher oder Schlitze) sowie die hydraulischen Bedingungen innerhalb der FAH (z. B. Fliessgeschwindigkeit in den Engstellen) von Bedeutung.

Für die Bewertung der Hochrhein-Kraftwerke und der Aare-Kraftwerke unterhalb von Biel standen für die Bewertung detaillierte Angaben von Guthruf (2008) und Gebler (2004)¹ zur Verfügung. Für die meisten übrigen Anlagen wurden auf Angaben von Kraftwerksbetreibern zurückgegriffen. Die Auffindbarkeit der FAH wurde mehrheitlich aufgrund von Begehungen der Anlagen beurteilt.

Gewisse Ausnahmen vom Minimumprinzip wurden gemacht:

- Bei der kleinräumigen Auffindbarkeit wurde der Mündungswinkel der FAH nicht berücksichtigt, falls sich der Einstieg der FAH ohne Sackgasse am Fuss des Wanderhindernisses befand.
- Die Dotierwassermenge wurde nicht berücksichtigt, da er indirekt in anderen hydraulischen Parametern beschrieben wird.
- Die Passierbarkeit der Sohle wurde für den Lachs und die Nase als wenig relevant betrachtet und daher nicht berücksichtigt.

Für die Bewertung der Dimensionierung und der Hydraulik mussten im Minimum folgende Kriterien bekannt sein:

- Dimensionierung: Beckenlänge sowie die Breite der Engstelle (wichtigste Parameter für den Lachs).
- Hydraulik: Maximale Fliessgeschwindigkeit in den Engstellen (wichtigster Parameter für den Lachs).
- Hydraulik: maximale Leistungsdichte in den Becken sowie die Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken (wichtigste Parameter für die Nase).

¹ Die Bewertung in Gebler (2004) beruht noch auf den älteren DVWK-Kriterien, die inzwischen durch die DWA-Kriterien von 2006 (Schwevers & Adam) abgelöst wurden.

Auf eine Gesamtbewertung für den Fischeaufstieg wurde verzichtet, falls die Angaben zu den Minimumkriterien fehlten, ausser es lag bereits die schlechteste Bewertungsstufe vor.

Folgende Sachverhalte müssen bei der Interpretation der Bewertungen berücksichtigt werden:

- Die DWA-Kriterien gehen oft von maximalen bzw. minimalen Kennwerten aus (z. B. minimale Beckenbreite). Das bedeutet, die Situation müsste für jedes Becken einer FAH separat beurteilt werden². Die Angaben in Gebler (2004) und in Guthruf (2008) beziehen sich aber nur auf Messungen einzelner, kritisch erscheinender Becken.
- Die Erhebungen von AquaPlus (2009), Gebler (2004) und Guthruf (2008) sowie unsere Aufnahmen, die im Rahmen von Begehungen erhoben wurden, waren Momentaufnahmen. Insbesondere die Abflussverhältnisse unterhalb und innerhalb einer FAH können sich im Jahresverlauf ändern und damit zu veränderten hydraulischen Bedingungen führen.
- An verschiedenen FAH wurden inzwischen Verbesserungen durchgeführt oder es sind Neubauten geplant.
- Eine Bewertung «schlecht» bedeutet nicht, dass keine Fische in der entsprechenden FAH aufsteigen können. Sie bedeutet, dass lediglich ein kleiner Teil der Fische die FAH finden bzw. passieren kann. Umgekehrt heisst das: Beobachtungen aufsteigender Fische bedeuten nicht zwangsläufig, dass eine FAH «funktioniert».
- Die DWA-Kriterien entsprechen dem heutigen Stand des Wissens. Neue Erkenntnisse können aber dazu führen, dass gewisse Parameter künftig anders beurteilt werden.

In die Bewertung nach den DWA-Kriterien fliessen mehrere Faktoren nicht ein, die erwiesenermassen eine wichtige Bedeutung für das Funktionieren des Fischeaufstiegs haben:

- Turbinenbetrieb/Wehrüberfall: Der Einstieg in die FAH sollte möglichst nahe der Hauptströmung liegen. Folglich sollten Turbinen bzw. Wehrfelder nahe der FAH prioritär betrieben werden.
- Leitströmung: Sie sollte deutlich ausgeprägt sein und sich flussabwärts gegenüber der Hauptströmung abheben. Vor allem darf sie sich als Folge von Wirbeln nicht flussaufwärts richten.
- Sohlschluss im Unterwasser: Eine möglichst raue Rampe als Verbindung zwischen der Flusssohle und dem untersten Becken erleichtert benthisch orientierten Fischarten und Wasserwirbellosen den Einstieg in die FAH.
- Beleuchtung: Die DWA-Kriterien gehen von Tageslicht in der FAH aus. Einzelne FAH sind aber ganz oder teilweise überdeckt. Sie sind dunkel oder mit Kunstlicht beleuchtet.
- Ruhebecken: Es handelt sich um grössere Becken mit geringeren Turbulenzen. Sie erleichtern es den Fischen eine «Aufstiegspause» einzulegen.

Die Bewertung der Auffindbarkeit einer FAH kann für alle Fischarten verallgemeinert werden. Die Passierbarkeit wurde spezifisch für den Lachs und die Nase bewertet. **Die Bewertungen der Passierbarkeit sind folglich nicht auf andere Fischarten oder Fische im Allgemeinen übertragbar.** Beide Arten sind sehr anspruchsvoll. So benötigt der Lachs vergleichsweise grosse Becken überwindet aber relativ hohe Wasserspiegeldifferenzen. Die Nase hingegen kann nur geringe Wasserspiegeldifferenzen überwinden, ist aber bereits mit deutlich kleineren Becken zufrieden.

Das bedeutet aber nicht, dass für verschiedene Fischarten verschiedene FAH gebaut werden müssten. Es ist sehr wohl möglich eine FAH so zu bauen, dass alle vorkommenden Fischarten darin aufsteigen können.

Die **biologische Bewertung** der FAH erfolgte auf Basis der detaillierten Aufstiegszählungen von Guthruf (2006, 2008) in der Aare unterhalb Biel und im Hochrhein. Er wandte ein 6-stufiges Klassifizierungssystem an (0=sehr schlecht bis 5=sehr gut). Um die Vergleichbarkeit mit dem 5-Stufensystem der DWA zu gewährleisten wurden Guthrufs Klassen 0 (sehr schlecht) und 1 (schlecht) zusammen in die DWA-Klasse E (schlecht) gelegt.

Der **direkte Aufstieg** über die Wehranlage, also nicht via FAH, wurde anhand der selben Klassifizierung eingestuft wie die technische Bewertung.

² Unsere Erfahrungen zeigen, dass die Abmessungen einer FAH manchmal nicht mit den Ausführungsplänen übereinstimmen. Vor allem unterschiedliche Beckenlängen und Wasserspiegeldifferenzen innerhalb der selben FAH kommen vor, selbst bei neugebauten Anlagen.

Box Turbinenmortalität

Die Mortalität von Fischen bei der Turbinenpassage hängt massgeblich vom Turbinentyp ab. Bei **Pelton**-Turbinen (bei Hochdruckkraftwerken) beträgt die Mortalität nahezu 100%, auch bei kleinen Fischen. In Laufkraftwerken werden vor allem **Kaplan**- und **Francis**-Turbinen eingesetzt. Die Mortalität hängt ab von den Dimension der Turbine, dem Betriebszustand, der Fallhöhe sowie von der Art und der Grösse der Fische. Sie schwankt bei Francis-Turbinen zwischen 5 und 90%. In Kaplan-turbinen liegen die Mortalitäten im Mittel zwischen 5 und 20%.

Die turbinenbedingte Mortalität ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen:

- Verletzung durch **Kontakt** mit Teilen der Turbine (v. a. Laufradschaufel). Diese teilt den Wasserstrang in Abschnitte bestimmter Länge. Die Fischlänge darf nicht grösser sein als diese Wasserabschnitte.
- Die **Fliessgeschwindigkeit** im Ein- und Auslaufkanal der Turbine beträgt i. a. nicht mehr als 2 m/s. Fische können bei dieser Strömung Anlageteilen in der Regel ausweichen. In der Turbine treten Geschwindigkeiten bis zu 30 m/s auf. Bei geringer Turbineneffizienz treten zudem Turbulenzen auf, so dass es zu Kontakten mit Turbinenteilen kommen kann.
- Bei der Turbinenpassage treten grosse **Druckschwankungen** auf, welche die Schwimmblasen der Fische zum Platzen bringen können.
- Bei Überlastung der Turbinen (z. B. bei zu grossen Wassermengen) entstehen Wirbel, die Luft in die Turbine reissen können (**Kavitation**). Die dabei entstehenden Gasblasen können bis zu 50 cm im Durchmesser betragen. Dies führt zu Schäden in der Schwimmblase, den Blutgefässen und den Kiemen der Fische.

Konstruktions- und betriebsbedingte Charakteristika der Turbinen haben einen Einfluss auf die Mortalität:

- Je geringer der Abfluss ist, desto kleiner ist der Spalt (**Anstellwinkel**) zwischen den Laufradschaufeln bei Kaplan-turbinen, um eine konstante Drehzahl zu gewährleisten. Je kleiner der Anstellwinkel, desto grösser die Schadensrate bei den Fischen.
- Je höher die **Drehzahl**, desto höher ist die Mortalität (mechanische Verletzungen).
- Trifft das Wasser nicht in **Drehachsen**richtung auf die Turbinenblätter (bei Francis-turbinen der Fall) und wird abgelenkt, bedeutet dies eine erhöhte Mortalität.
- Je geringer der **Laufraddurchmesser**, desto grösser ist die schädigende Wirkung der Turbine.

2.4. Fischabstieg

Allgemeine **technische Bewertungsmethoden** für die Gesamtbeurteilung des Fischabstiegs und dessen ökologischen Auswirkungen auf Fischbestände, die an den unterschiedlichsten Wehranlagen angewendet werden können, sind derzeit nicht vorhanden. Allerdings lassen sich nach der Methode von Dumont et al. (2005) wichtige Teilbereiche des Abstiegs qualitativ bewerten.

Von Bedeutung ist zum einen die **grundsätzliche Auffindbarkeit und Passierbarkeit** einer Wehranlage. Bei Kanalkraftwerken ist das Verhältnis der ausgeleiteten Wassermenge zum Gesamtabfluss des Gewässers wichtig. Dies ergibt Hinweise darauf, mit welcher Wahrscheinlichkeit abwandernde Fische zu den Turbinenanlagen gelangen oder ob sie eher über das Wehr abwandern können.

Zusätzlich interessiert das Vorhandensein einer Abwandereinrichtung. Steht den Fischen, die nicht über das Wehr abwandern, ein Wanderkorridor ins Unterwasser zur Verfügung? Finden sie diesen und können sie diesen schadlos passieren? Fische wandern grundsätzlich im Bereich der stärksten Strömung flussabwärts. Ist keine gut auffindbare Alternative vorhanden, folgen abwandernde Fische der Hauptströmung und passieren die Turbinen.

Die **Schädigung der Fische bei der Passage der verschiedenen Wanderkorridore** kann bewertet werden. Die Methode von Dumont et al. (2005) berücksichtigt einerseits das Verletzungsrisiko bei der Passage des Wehrrückens und beim Aufprall im Unterwasser. Andererseits wird die Schädigung von Fischen bei der Passage der Kraftwerkanlage (Betriebskanäle, mechanische Barrieren, Turbinen) beurteilt.

Die Bewertung der grundsätzlichen Auffindbarkeit und Passierbarkeit gilt für alle Fischarten. Die Bewertung der Schädigung bei der Wehrpassage gilt für alle Arten mit Ausnahme des Aals. Für die Bewertung der Turbinenpassage waren die spezifischen Grössen der abwandernden Junglachse massgebend.

Die Bewertung zeigt auf, wo bei Anlagen Defizite technischer oder betrieblicher Art vorliegen und wo Handlungsbedarf vorliegt. Sie beruht auf einem 5-stufigen Klassifizierungssystem, wobei die be-

ste Stufe nur erreicht werden kann, falls kein Querbauwerk vorhanden ist. Mit anderen Worten: auch bei einem noch so gut für den Fischabstieg gerüsteten Kraftwerk, muss immer noch von einer geringfügigen Beeinträchtigung der abwandernden Fische ausgegangen werden. Deren ökologische Auswirkung ist jedoch gering, so dass kein Handlungsbedarf besteht.

Bei der Interpretation der Bewertungsergebnisse müssen die folgenden Sachverhalte berücksichtigt werden:

- Das Bewertungsschema berücksichtigt viele weiche Faktoren wie Länge des Stauraumes, Eignung des Tosbeckens als Lebensraum für Prädatoren. Stauseen und tiefe, langsam fließenden Staustufen können zu beträchtlichen Verlusten von abwandernden Junglachsen führen. Die verlangsamte Strömung hat ein energiezehrendes Suchverhalten und eine Verzögerung der Abwanderung zur Folge. Junglaxse werden dabei leichter Opfer von Raubfischen und fischfressenden Vögeln. Populationsverluste können auch bei tiefen, langsam fließenden Tosbecken auftreten. Die nach der Kraftwerkpassage verwirrten, desorientierten oder geschwächten Fische können zur leichten Beute von Prädatoren werden. Daneben ist von einer unbekanntem Verlustrate von Fischen auszugehen, die zwar vorerst überleben, jedoch später an inneren Verletzungen oder an Verpilzungen zugrunde gehen. Das bedeutet, dass bei der Bewertung des Abstiegs an einem Wehr immer eine Best-Case-Situation vorliegt, die Grauziffer an effektiven Fischverlusten vermutlich aber höher liegt.
- Das verwendete Bewertungsschema ermöglicht keine Quantifizierung der Schäden. Es ist deshalb nicht möglich Aussagen über die Gesamtmortalitätsrate (kumulierte Mortalitäten der einzelnen Abstiegsrouten) eines Kraftwerks zu machen.
- Nur wenige Parameter (z.B. lichte Weite des Rechens) des Bewertungsschemas berücksichtigen Unterschiede zwischen Fischarten und -größen. Beurteilungskriterien für unterschiedliche biologische Ansprüche der einzelnen Arten sind lückenhaft.
- Die Bewertung der Schädigung bei der Kraftwerkspassage, wie sie Dumont et al. (2005) vorschlagen, setzt teilweise Detailkenntnisse über die vorhandenen Turbinenmortalitäten voraus, die uns aber nicht vorlagen. Da wissenschaftliche Untersuchungen zu Turbinenmortalitäten eine beträchtliche Streuung der Resultate aufweisen, wurde ein pragmatisches Vorgehen zur Abschätzung der Schädigung gewählt. Grosse Kaplan-turbinen (inklusive Straflo-, Rohr- oder Propellerturbinen) wurden als mässig schädigend eingestuft währenddem grosse Francisturbinen als erheblich schädigend bewertet wurden. Beim Vorliegen einer hohen Anzahl Turbinen (mit entsprechend kleinerer Dimensionierung) oder einem Schluckvermögen $<50 \text{ m}^3/\text{s}$ wurden teilweise auch Kaplan-turbinen der Kategorie erheblich schädigend zugewiesen (vgl. Box Turbinenmortalität).
- Das Fachwissen zum Thema Fischabstieg ist noch lückenhaft, wird sich aber in den nächsten Jahren bestimmt vergrössern. Es darf davon ausgegangen werden, dass in Zukunft bessere und spezifischere Bewertungsmethoden entwickelt werden, die zu neuen Erkenntnissen führen werden. Abweichungen zu der hier verwendeten Methode sind deshalb wahrscheinlich.
- Alle Teilaspekte wurden einzeln beurteilt, auf eine Gesamtbeurteilung wurde beim Fischabstieg verzichtet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Trotz aller methodischer Relativierungen liefern die vorliegenden Auswertungen einen aktuellen Überblick über die Situation des Auf- und Abstiegs für den Lachs und die Nase in den vier grossen Mittellandflüssen.

3.1. Fischaufstieg

3.1.1. Alle Fischarten

Die viel gestellte Frage «wann funktioniert ein Fischpass?» ist nicht einfach zu beantworten. Sicher ist, dass eine Aufstiegszählung keine abschliessende Aussage erlaubt darüber, wie gut eine FAH funktioniert. Eine FAH kann noch so schlecht konzipiert sein, einzelne Fische wird man darin immer finden. Auch wenn täglich Dutzende von Fischen aufsteigen, ist dies noch kein Beweis für das Funktionieren der Anlage. Möglicherweise stehen im Unterwasser Hunderte bis Tausende von Fischen, die den Einstieg in die FAH nicht finden. Aufstiegszählungen können nur dann richtig interpretiert werden, wenn auch die technische Funktionsfähigkeit der FAH bekannt ist.

Die technische und biologische Funktionsfähigkeit einer FAH bedeutet, dass sämtliche im Unterwasser vorkommenden Fischarten und deren verschiedenen Grössenklassen die FAH während der weitaus meisten Zeit ihrer Wanderungsphase in kurzer Zeit auffinden und vollständig passieren können (Ebel et al. 2006, Schwevers & Adam 2006). Die technische Funktionskontrolle soll aufzeigen wo Defizite hinsichtlich Lage, Bau und Dimensionierung bestehen. Die biologische Funktionskontrolle zeigt, wie sich allfällige technische Defizite auf den Fischaufstieg in der FAH auswirken.

Bei den 57 Kraftwerk- und Regulieranlagen im Untersuchungsperimeter waren insgesamt 63 FAH vorhanden. 10 Anlagen verfügten über keine FAH und bei einer Anlage (KW Oederlin, Baden) war die freie Durchgängigkeit vollständig gewährleistet. Eine technische Gesamtbewertung war bei 48 der 63 beurteilten FAH, eine biologische bei 32 möglich (Tab. 3). Für alle Anlagen ohne FAH wurde sowohl die technische als auch die biologische Bewertung als «schlecht» eingestuft.

Auffindbarkeit der FAH

Für 58 FAH lagen Angaben zur Auffindbarkeit vor. Die bewerteten Kriterien gelten sowohl für den Lachs als auch für die Nase (und alle anderen Fischarten). Bei 37 FAH wurde die Auffindbarkeit als «schlecht» beurteilt, bei 12 weiteren als «unbefriedigend» oder «mässig». Nur 9 FAH wiesen eine «gute» Auffindbarkeit auf. Der Einstieg in die FAH wird also bei vielen Anlagen von den Fische offenbar nicht oder lediglich zufällig gefunden.

Ein wichtiger Faktor ist die **grossräumige Anordnung**, d. h. die Lage der FAH beim Maschinenhaus und/oder beim Wehr. Fische wandern grundsätzlich im Bereich der stärksten Strömung flussaufwärts. Bei Kanalkraftwerken mit offen geführtem Unterwasserkanal und geringem Restwasserabfluss im Vergleich zur turbinieren Wassermenge werden die aufwandernden Fische wegen der im Vergleich zur Restwasserstrecke starken Strömung des Unterwasserkanals mehrheitlich zum Maschinenhaus geleitet. Diejenigen Fische, die den Weg in die Restwasserstrecke finden, gelangen zum Wehr. Folglich sind zwei FAH notwendig, eine beim Maschinenhaus und eine beim Wehr. Bei den meisten Anlagen gibt es aber nur eine FAH. Diese befindet sich in den meisten Fällen beim Wehr. Bei Flusskraftwerken liegen Wehr und Maschinenhaus an der selben Stelle im Fluss. Gemäss DWA-Kriterien ist ab einer Flussbreite von 50 m an beiden Ufern eine FAH notwendig. Bei den bewerteten Flusskraftwerken gibt es einige Anlagen, die trotz mehr als 50 m Flussbreite nur eine FAH haben. Die meisten Fischarten wandern in Ufernähe (primär entlang des Prallhangs). Folglich sind FAH, die in der Flussmitte, z. B. zwischen Wehr und Maschinenhaus platziert sind, eher ungeeignet. Dies gilt jedoch nicht für die Nase und die Barbe. Sie wandern bevorzugt in der Flussmitte. Wichtig für die Auffindbarkeit der FAH ist, dass das Wehrfeld bzw. die Turbine, die dem Einstieg in die FAH am nächsten liegt, prioritär betrieben wird. Nur so ist eine Strömungsverteilung gewährleistet, welche die Fische zur FAH führt.

Tab. 3: Bewertung des Fischaufstiegs bei den Kraftwerkanlagen und Regulierwehren an den vier Flüssen.

Für die Gesamtbewertung gilt das Minimumprinzip, d. h. die sie kann nicht besser sein, als der am schlechtesten klassifizierte Parameter.

W = Wehr, MH = Maschinenhaus, li = linksufrig, re = rechtsufrig, mi = Flussmitte

Klassifizierung:

A sehr gut	Die Durchgängigkeit des Flusses wird nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört und ermöglicht eine ungestörte Wanderung aquatischer Organismen. Kein Handlungsbedarf.
B gut	Der Fischaufstieg funktioniert in dem Masse, dass der gute ökologische Zustand der Fischfauna erreicht werden kann. Kein Handlungsbedarf.
C mässig	Der Fischaufstieg funktioniert in dem Masse, dass der gute ökologische Zustand der Fischfauna nicht erreicht werden kann. Handlungsbedarf.
D unbefriedigend	Der Fischaufstieg funktioniert in dem Masse, dass der mässige ökologische Zustand der Fischfauna nicht erreicht werden kann. Deutlicher Handlungsbedarf.
E schlecht	Der Fischaufstieg funktioniert in dem Masse, dass der unbefriedigende ökologische Zustand der Fischfauna nicht erreicht werden kann. Grosser Handlungsbedarf.
X	Nicht bewertbar.

Anlage		Technische Bewertung						Gesamtbe- wertung		Biologische Bewertung	direkter Aufstieg über das Wehr		
Ort Name	Lage	Auffind- barkeit	Passierbarkeit				Lachs	Nase	Lachs		Nase	Lachs	Nase
			Dimensionier. Gestaltung		Hydraulik								
			Lachs	Nase	Lachs	Nase	Lachs	Nase					
Hochrhein													
Albruck-Dogern	MH li	B	B	B	C	D	C	D	X		E	E	
	W li	B	B	B	C	D	C	D	X		E	E	
Augst-Wyhlen	Augst Wyhlen	MH li	D	C	B	A	E	D	E	C	E	E	
		MH re	B	C	B	C	D	C	D	B	E	E	
		mi	D	X	X	X	X	X	X	D	E	E	
Birsfelden	MH re	E	C	A	A	E	E	E	C	E	E		
Eglisau	mi	D	D	B	E	E	E	E	E	E	E		
Laufenburg	MH li	E	C	B	A	D	E	E	D	E	E		
	W re	E	D	B	D	E	E	E	D	E	E		
Reckingen	MH re	E	D	C	E	E	E	E	D	E	E		
	W li	E	D	C	D	E	E	E	D	E	E		
Rheinau		keine Fischaufstiegshilfe				E	E	E	E	E	E		
Rheinfelden	W re	E	X	X	X	X	E	E	X	E	E		
	mi	E	C	A	A	D	E	E	B	E	E		
	W li	B	B	B	X	X	X	X	X	E	E		
Ryburg-Schwörstadt	mi	E	D	C	E	E	E	E	D	E	E		
Säckingen	MH re	E	D	C	A	C	E	E	D	E	E		
Aare													
Aarau	MH re	E	C	B	B	D	E	E	D	E	E		
	W re	B	D	C	X	X	X	X	B	E	E		
Aarberg	MH li	E	X	X	X	X	E	E	X	E	E		
Aarberg Alte Aare	MH re	C	D	B	X	X	X	X	X	E	E		
Bannwil	MH li	E	D	C	A	A	E	E	X	E	E		
Bern Engehalde/Felsenau	W li	E	D	B	D	E	E	E	X	E	E		
Bern Matte	W re	B	C	B	X	X	X	X	X	B	D		
Beznau	W li	E	D	C	A	D	E	E	E	E	E		
	W mi	D	D	C	C	E	D	E	D	E	E		
Biel Brügg/Port	MH li	E	D	B	X	X	E	E	X	E	E		
Flumenthal	MH li	E	E	D	A	E	E	E	D	E	E		
Gösgen	W re	E	D	B	C	D	E	E	B	E	E		
Hagneck	MH li	E	X	X	X	X	E	E	X	E	E		
Interlaken Gurben	MH re	D	D	D	A	E	D	E	X	E	E		
Interlaken Hoch- u. Tiefb.		keine Fischaufstiegshilfe				E	E	E	E	E	E		
Interlaken IBI		keine Fischaufstiegshilfe				E	E	E	E	E	E		
Interlaken kl. Staatsschl.		keine Fischaufstiegshilfe				E	E	E	E	E	E		

Tab. 3: Fortsetzung.

Anlage		Technische Bewertung						Gesamtbe- wertung		Biologische Bewertung	direkter Aufstieg über das Wehr	
Ort Name	Lage	Auffind- barkeit	Passierbarkeit									
			Dimensionier. Gestaltung		Hydraulik							
		Lachs	Nase	Lachs	Nase	Lachs	Nase	Lachs	Nase			
Interlaken gr. Staatsschl.	li	E	X	X	X	X	E	E	X	E	E	
Kallnach		keine Fischaufstiegshilfe						E	E	E	E	E
Klingnau	mi	E	D	C	D	E	E	E	D	E	E	
Mühleberg		keine Fischaufstiegshilfe						E	E	E	E	E
Niederried-Radelfingen	mi	E	X	X	X	X	E	E	X	E	E	
Rüchlig	W re	E	D	D	D	E	E	E	C	E	E	
	MH re	E	D	C	E	E	E	E	C	E	E	
Rupperswil-Auenstein	W li	X	X	X	X	X	X	X	X	E	E	
	W re	X	X	X	X	X	X	X	X	E	E	
	MH re	E	C	B	C	D	E	E	C	E	E	
Ruppoldingen	MH li	C	D	B	D	D	D	D	X	E	E	
Thun AareWerke	MH li	E	D	D	A	E	E	E	X	E	E	
Thun Mühleschleuse		keine Fischaufstiegshilfe						E	E	E	E	E
Thun Scherzligschleuse		keine Fischaufstiegshilfe						E	E	E	B	D
Wildegg-Brugg Stauwehr Maschinenhaus Hilfswehr Dachwehr	W li	D	D	B	C	D	D	D	D	E	E	
	MH re	E	C	B	C	D	E	E	C	E	E	
	W li	E	D	B	D	E	E	E	X	E	E	
	W li	E	D	B	C	E	E	E	X	E	E	
Wynau	MH re	C	D	C	D	D	D	D	C	E	E	
Limmat												
Aue	W li	X	X	X	X	X	X	X	X	E	E	
Baden Kappelerhof	MH li	B	C	B	C	E	C	E	B	E	E	
Baden Oederlin		freie Durchgängigkeit						A	A	A	A	A
Damsau	W mi	C	X	X	X	X	X	X	X	B	C	
Dietikon	W li	E	X	X	X	X	E	E	X	E	E	
Gebestorf	W re	E	X	X	X	X	E	E	X	B	C	
Turgi	W re	E	X	X	X	X	E	E	X	B	C	
Turgi Schiffmühle	W li	X	X	X	X	X	X	X	X	E	E	
Turgi Stropfel	W li	E	X	X	X	X	E	E	X	E	E	
	MH li	D	X	X	X	X	X	X	X	E	E	
Wettingen	W li	B	X	X	X	X	X	X	X	E	E	
Zürich Höngg	W mi	E	E	D	E	E	E	E	X	E	E	
Zürich Letten	MH li	X	X	X	X	X	X	X	X	E	E	
Zürich Schanzengraben	re	C	X	X	X	X	X	X	X	D	D	
Reuss												
Bremgarten Bruggmühle	MH mi	B	X	X	X	X	X	X	X	B	D	
Bremgarten-Zufikon	MH li	E	X	X	X	X	E	E	X	E	E	
Luzern Mühleplatz	MH re	E	X	X	X	X	E	E	X	D	E	
Perlen		keine Fischaufstiegshilfe						E	E	E	B	D
Rathausen	W re	E	E	D	X	X	E	E	X	B	D	
Windisch	W mi	E	D	C	C	E	E	E	X	E	E	

Eine möglichst geringe Distanz zwischen dem Einstieg in die FAH und dem Wanderhindernis ist für die **kleinräumige Auffindbarkeit** wichtig. Der Einstieg in die FAH muss beim Wehrfuss oder beim Turbinenauslauf liegen. Bei den meisten bewerteten Anlagen lag der Einstieg in die FAH zu weit im Unterwasser. Ein FAH-Einstieg, der mehr als 10 m unterhalb des Wanderhindernisses liegt, wird dabei aber höchstens zufällig gefunden. Wenn der Einstieg der FAH nicht strömungsparallel ist, sondern im rechten Winkel in die Hauptströmung mündet, finden die aufwandernden Fische den Einstieg in die FAH kaum. Die aufwandernden Fische werden zum Wehr bzw. zur Turbine und damit in eine Sackgasse geleitet. Durch seitliches Suchen einer Aufstiegsmöglichkeit versuchen sie zu entkommen. Für aufsteigende Lachse ist die Auffindbarkeit einer FAH das wichtigste Kriterium. Befinden sie sich einmal innerhalb der FAH, lassen sie sich auch von einer ungünstig dimensionierten FAH kaum aufhalten (mündliche Mitt. J. Schneider). Diese Aussage mag auch für die Seeforelle gelten, nicht aber für die übrigen Fischarten.

Biologische Bewertung

Lediglich bei 5 der 26 Anlagen, an denen ausführliche Aufstiegszählungen durchgeführt wurden, wurde der Fischaufstieg als gut eingestuft:

- Wyhlen Maschinenhaus rechts (technische Gesamtbewertung «mässig» beim Lachs und «unbefriedigend» bei der Nase)
- Rheinfelden Flussmitte (technische Gesamtbewertung «schlecht»)
- Aarau Wehr rechts (keine technische Gesamtbewertung)
- Gösgen Wehr rechts (technische Gesamtbewertung «schlecht»)
- Baden Kappelerhof Maschinenhaus links (technische Gesamtbewertung «unbefriedigend» beim Lachs und «schlecht» bei der Nase)

Bei allen anderen untersuchten FAH gab es einen mehr oder weniger grossen Handlungsbedarf.

Aufstieg via Wehr

Ein direkter Aufstieg via Wehr ist bei Anlagen mit unterströmten Schützen prinzipiell möglich. Die Passierbarkeit hängt stark von der Abflussmenge und deren Verteilung auf die verschiedenen Wehröffnungen sowie von der Anhebungshöhe der Schützen ab. Werden nur einzelne Schützen und diese zudem nur wenige Dezimeter angehoben, bilden sich unterhalb der Schützen Fliessgeschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde. Das Wehr bleibt für Fische unpassierbar.

Der Fischaufstieg via Wehr kann verbessert werden, wenn alle (oder mehrere) Schützen gleichzeitig geöffnet werden. Wenn eine FAH vorhanden ist, ist es bei bestimmten Abflüssen oft sinnvoller, nur den Schütz bei der FAH zu öffnen. Grundsätzlich kann mit einem Abfluss abhängigen Betriebsmanagement der Wehröffnungen der Fischaufstieg optimiert werden.

3.1.2. Lachs

Bei 35 FAH war eine Beurteilung der Passierbarkeit (Dimensionierung und Hydraulik) für den Lachs möglich. 6 FAH wurden als «schlecht» beurteilt, 29 weitere als «unbefriedigend» oder «mässig». Keine wurde als «gut» bewertet. Die FAH waren meist zu klein dimensioniert. Der Lachs wurde beim Bau der Anlagen vermutlich nicht berücksichtigt.

Bei 48 FAH war eine technische Gesamtbeurteilung für den Lachs möglich. 37 FAH wurden als «schlecht» beurteilt, 10 weitere als «unbefriedigend» oder «mässig». Bei 5 dieser nur mit einer ungenügenden FAH ausgestatteten Anlagen wurde der Aufstieg für den Lachs direkt via Wehr als «gut» beurteilt. Somit verbleiben insgesamt 42 (88%) der bewerteten FAH bei denen ein Handlungsbedarf besteht.

Wie viele der 57 Kraftwerkanlagen und Regulierwehre können nun von aufwärts wandernden Lachsen ohne grosse Probleme überwunden werden? Eine Beurteilung war aufgrund der vorhandenen Datenbasis für 55 Anlagen möglich. Lediglich bei 9 Anlagen ist eine Lachswanderung flussaufwärts möglich:

- Kraftwerk Matte in Bern: via Wehr.
- Scherzligschleuse in Thun: via Wehr.
- Kraftwerk Oederlin in Baden: komplett freie Durchgängigkeit.
- Dachwehr Damsau: via Blockrampe.
- Kraftwerk Gebenstorf: via Blockrampe.
- Kraftwerk Turgi: via Wehr.
- Kraftwerk Bruggmühle in Bremgarten: via Wehr.
- Kraftwerk Perlen: via Wehr.
- Kraftwerk Rathausen: via Wehr.

3.1.3. Nase

Bei 48 FAH war eine technische Gesamtbeurteilung für die Nase möglich. 42 FAH wurden als «schlecht» beurteilt, 6 weitere als «unbefriedigend» oder «mässig». Das Problem lag primär bei der hydraulischen Belastung in den FAH, z. B. bei zu hohen Fliessgeschwindigkeiten in den Schlitten und Schlupflöchern oder bei zu grossen Turbulenzen in den Becken.

Von aufwärts wandernden Nasen kann lediglich eine der insgesamt 57 beurteilten Anlagen ohne grosse Probleme überwunden werden. Es handelt sich um das Kraftwerk Oederlin in Baden, wo die freie Durchgängigkeit für Fische praktisch ohne Einschränkungen garantiert ist.

3.2. Fischabstieg

Die Abwanderung von Fischen ist dann gewährleistet, wenn mindestens ein funktionsfähiger Abwanderweg zur Verfügung steht und wenn abwandernde Fische nicht oder höchstens geringfügig geschädigt werden. Die Beurteilung im Hinblick auf den Fischabstieg ist komplex und erfordert immer die Betrachtung der Gesamtanlage. Die alleinige Abschätzung der Turbinenmortalität oder nur der Schädigung bei der Wehrpassage reichen nicht aus, um der Problematik Fischabstieg gerecht werden zu können. Je nach Betriebszustand, Abfluss, Zeitpunkt und Anlagengestaltung sind andere Abstiegsrouten mit unterschiedlichem Gefährdungsgrad für Fische vorhanden.

Sämtliche 6 Kraftwerk- und Regulieranlagen an der Reuss, 15 Anlagen an der Aare (von Interlaken bis Biel) und 9 der 10 Anlagen am Hochrhein von Rheinau bis Birsfelden wurden beurteilt (Tab. 4). Eine Bewertung für alle oder einzelne Aspekte des Fischabstiegs erfolgte für insgesamt 30 Anlagen.

3.2.1. Alle Fischarten

Auffindbarkeit und grundsätzliche Passierbarkeit von Wanderkorridoren

26 Anlagen konnten aufgrund vorliegender Angaben auf ihre Auffindbarkeit und grundsätzliche Passierbarkeit von Wanderkorridoren hin überprüft werden. Die bewerteten Kriterien gelten sowohl für den Lachs als auch für andere abwanderungswillige Fischarten. Bei keiner der untersuchten Anlagen konnte eine explizit dafür vorgesehene Abwanderungseinrichtung festgestellt werden.

Die Auffindbarkeit und grundsätzliche Passierbarkeit wurde bei 13 Anlagen als «stark beeinträchtigt» beurteilt, bei 11 weiteren als «erheblich beeinträchtigt» oder «mässig beeinträchtigt». Die Ausnahme bilden das Dotierkraftwerk Alte Aare und das Kraftwerk Gurben. Bei den übrigen Kraftwerken ist während einem wesentlichen Teil des Jahres nur ein mässig bis stark beeinträchtigter Abstieg von Fischen möglich.

Die Erklärung liegt darin, dass praktisch alle untersuchten Anlagen sehr grosse Anteile des anfallenden Wassers nutzen. Vielfach wird mehr als 100% des durchschnittlichen Mittelwasserabflusses turbinert. Folglich tritt nur an wenigen Tagen im Jahr eine Situation mit Wehrüberfall auf, welche für absteigende Fische eine grundsätzliche Passagemöglichkeit bieten würde, während der restlichen Zeit bleibt einzig der Weg durch die Turbinen.

Darüber hinaus muss bei Ausleitkraftwerken auch die Durchwanderbarkeit der Restwasserstrecke gewährleistet sein, falls ein Abstieg über das Wehr möglich ist. Alle untersuchten Ausleitkraftwerke erfüllten dieses Kriterium.

Tab. 4: Bewertung des *Fischabstiegs* über das Wehr oder via die Turbinen der Kraftwerksanlagen an den vier Flüssen.

Klassifizierung:

A sehr gut	Die Durchgängigkeit des Flusses wird nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört und ermöglicht eine ungestörte Wanderung aquatischer Organismen. Kein Handlungsbedarf.
B gut	Der Fischabstieg funktioniert in dem Masse, dass der gute ökologische Zustand der Fischfauna erreicht werden kann. Kein Handlungsbedarf.
C mässig	Der Fischabstieg funktioniert in dem Masse, dass der gute ökologische Zustand der Fischfauna nicht erreicht werden kann. Handlungsbedarf.
D unbefriedigend	Der Fischabstieg funktioniert in dem Masse, dass der mässige ökologische Zustand der Fischfauna nicht erreicht werden kann. Deutlicher Handlungsbedarf.
E schlecht	Der Fischabstieg funktioniert in dem Masse, dass der unbefriedigende ökologische Zustand der Fischfauna nicht erreicht werden kann. Grosser Handlungsbedarf.
X	Nicht bewertet.

Hochrhein

Albruck-Dogern	E	B	C
Augst-Wyhlen	E	B	C
Birsfelden	E	B	C
Eglisau	E	B	C
Laufenburg	E	B	C
Reckingen	E	B	C
Rheinau	E	B	C
Rheinfelden	X	X	X
Ryburg-Schwörstadt	E	C	C
Säckingen	E	B	C

Aare

Aarau	X	X	X
Aarberg	E	C	C
Aarberg Alte Aare	B	X	C
Bannwil	X	X	X
Bern Engehald/Felsenau	D	E	C
Bern Matte	C	C	C
Beznau	X	X	X
Biel Brugg/Port	D	B	C
Flumenthal	X	X	X
Gösgen	X	X	X
Hagneck	D	E	C
Interlaken Gurben	B	B	D
Interlaken Hoch- und Tiefbau	X	X	X
Interlaken IBI	X	X	X
Interlaken kl. Staatsschleuse	X	B	X
Interlaken gr. Staatsschleuse	X	D	X
Kallnach	C	X	D
Klingnau	X	X	X
Mühleberg	E	E	D
Niederried-Radelfingen	D	E	C
Rüchlig	X	X	X
Rupperswil-Auenstein	X	X	X
Ruppoldingen	X	X	X
Thun AareWerke	E	E	C
Thun Mühleschleuse	X	E	X
Thun Scherzligschleuse	X	B	X
Wildeggen-Brugg	X	X	X
Wynau	X	X	X

Tab. 4: Fortsetzung

Limmat			
Aue	X	X	X
Baden Kappelerhof	X	X	X
Baden Oederlin	X	X	X
Damsau	X	X	X
Dietikon	X	X	X
Gebenstorf	X	X	X
Turgi	X	X	X
Turgi Schiffmühle	X	X	X
Turgi Stropfel	X	X	X
Wettingen	X	X	X
Zürich Höngg	X	X	X
Zürich Letten	X	X	X
Zürich Schanzengraben	X	X	X
Reuss			
Bremgarten Bruggmühle	D	B	D
Bremgarten-Zufikon	E	C	C
Luzern Mühleplatz	C	B	C
Perlen	C	B	D
Rathausen	C	B	D
Windisch	C	C	D

Abstiegsmöglichkeiten über FAH oder Schiffsschleusen wurden nicht explizit bewertet. Soweit bekannt finden Fische den Weg über eine vorhandene FAH nur zufällig, da deren Einstieg aufgrund der fehlenden Leitströmung und der räumliche Anordnung kaum gefunden wird. Schiffsschleusen werden vermutlich häufiger als Abstiegsroute benutzt. Wichtige Kriterien sind dabei die Nähe zum Maschinenhaus und die Häufigkeit und der Zeitpunkt der Schleusungen.

Um einen schadlosen Abstieg mit geringer Beeinträchtigung an Wehranlagen zu erreichen, sollte nicht als mehr 25% des Mittelwasserabflusses genutzt werden. Während einem Grossteil des Jahres oder zumindest während der Hauptwanderzeit von Zielarten sollte zusätzlich ein gut auffindbarer Bypass vorhanden sein, der entsprechende Kriterien bezüglich Abfluss und Positionierung (Adam et al. und Dumont et al. 2005) einhält. Junge Lachse wandern zwischen Mitte März und Ende Mai, hauptsächlich aber zwischen Anfang April und Mitte Mai Richtung Meer. Wird während dieser Zeitspanne ein möglichst schadloser Abstieg für Lachse gewährleistet, ist höchstens von einer geringfügigen Beeinträchtigung auszugehen.

Abstieg über das Wehr

Wird nicht alles anfallende Wasser genutzt, besteht für abwandernde Fische grundsätzlich die Möglichkeit über das Wehr abzustiegen. Hierbei steht die Frage im Zentrum, wie gross das Verletzungsrisiko bei der Wehrpassage und beim Aufprall im Unterwasser ist. Bereits ab einer Fallhöhe über 10 m ist von einer mässigen Schädigung (unabhängig von der Fischgrösse) auszugehen. Damit über das Wehr absteigende Fische höchstens geringfügig geschädigt werden, darf die Fallhöhe nicht mehr als 10 m betragen, die Wassertiefe muss mindestens 0.9 m und 25% der Fallhöhe entsprechen und der Aufprallbereich darf keinerlei harte Strukturen enthalten.

Für 28 Anlagen konnte eine Beurteilung der Schädigung bei der Passage des Wehres vorgenommen werden. Die bewerteten Kriterien gelten sowohl für den Lachs als auch für alle anderen abwanderungswilligen Fischarten. Bei 6 Anlagen wurde die Schädigung als «stark» beurteilt, bei 6 weiteren als «erheblich» oder «mässig». Die Mehrheit (16 Wehre) führt beim Abstieg über das Wehr höchstens zu geringfügigen Schädigungen der Fische.

Die Ergebnisse zeigen unterschiedliche Verhältnisse an den vier Flüssen. Am Hochrhein besteht beim Wehrabstieg mit Ausnahme von Ryburg-Schwörstadt kein Handlungsbedarf, bei allen bewerteten Staustufen ist nur eine leichte Schädigung der Fische zu erwarten. Bei den Kraftwerken an der Reuss ist ebenfalls mehrheitlich kein Handlungsbedarf beim Abstieg über das Wehr auszumachen. Ausnahmen bilden die Wehranlagen der Kraftwerke Bremgarten-Zufikon und Windisch, die beide eine mässige Schädigung verursachen. An der Aare zeigt sich ein weniger deutliches Bild. Einige Kraftwerke und Regulierwehre rufen beim Wehrabstieg vermutlich grossen Schäden hervor, teilweise aufgrund der grossen Fallhöhe (z.B. Mühleberg), meistens jedoch wegen harten Störkörpern³ und zu geringer Wassertiefe im Unterwasser. Dementsprechend besteht an der Aare bei rund zwei Drittel der Kraftwerke Handlungsbedarf. Für die Kraftwerke an der Limmat wurde keine Bewertung des Fischabstiegs vorgenommen. Es ist aber davon auszugehen, dass bei der Mehrheit ein Abstieg über das Wehr (vielfach Streichwehre) nur zu geringfügigen Schäden an Fische führt.

3.2.2. Lachs

Abstieg über die Kraftwerkanlage

Von einer geringfügigen Schädigung bei der Kraftwerkpassage kann dann ausgegangen werden, wenn entweder eine funktionierende Fischschutzvorrichtung Fische davon abhält zur Turbine zu gelangen und ein gut auffindbarer Bypass vorhanden ist, der die Fische schadlos dem Unterwasser zuführt. Oder wenn die Wasserkraftnutzung mittels Wasserkraftschnecke oder ähnlichen Maschinen mit geringer Schädigung erfolgt.

Für 26 Anlagen lagen Angaben zur Schädigung bei der Passage der Kraftwerkanlage vor. Die bewerteten Kriterien gelten in erster Linie für abwandernde Junglachse. Für andere Fischarten und -grössen sind teilweise andere Werte von Bedeutung. Bei allen untersuchten Anlagen wurde die Schädigung der abwandernden Fische als «erheblich» oder «mässig» eingestuft. Starke Schädigungen sind bei keinem Kraftwerk zu erwarten, da es sich um grosse bis sehr grosse Laufkraftwerke mit grosser Ausbauwassermenge und entsprechend gross dimensionierten, vergleichsweise langsam drehenden Turbinen handelt. Wird berücksichtigt, dass während eines Grossteils des Jahres (vgl. oben) die einzige Abstiegsroute über die Turbinen führt, darf davon ausgegangen werden, dass bei der Passage jedes einzelnen Kraftwerks eine mässige bis erhebliche Schädigung der absteigenden Fische erfolgt.

Obwohl die Ausfallrate an einem einzelnen Kraftwerk für Lachssmolts (12–20 cm) als relativ gering eingestuft wird, bewirkt der kumulative Effekt auf Ebene Gewässersystem doch eine deutliche Bedrohung für die Wiederansiedlung einer potenziellen Lachspopulationen in der Schweiz. Auch bei potamodromen Fischarten ist mit einer nicht unerheblichen Beeinträchtigung zu rechnen, vor allem bei langlebigen und wanderfreudigen Arten wie Nase und Barbe. Diese Arten müssen im verlaufe ihres Lebens die Kraftwerkstufen mehrmals flussauf- und -abwärts überwinden. Demnach lässt sich beim Abstieg über die Turbinen bei allen Kraftwerken ein Handlungsbedarf feststellen.

Erkennbare und funktionierende Fischschutzvorrichtungen, die verhindern, dass Fische zu den Turbinen gelangen, konnten bei keinem der auf den Abstieg hin untersuchten Kraftwerke festgestellt werden. Bei praktisch allen begutachteten Kraftwerken ist die einzig vorhandene mechanische Barriere vor den Turbinen ein konventioneller Stabrechen mit lichten Weiten von über 8 cm. Diese liegen deutlich über den in der Literatur geforderten Zielwerten für den maximalen Stababstand. Adam et al. (2005) empfiehlt für Junglachse einen Maximalabstand von 2 cm, Dumont et al. (2005) schlägt für anadrome Arten sogar 1 cm vor, soll ein optimaler Schutz erreicht werden. Gleichzeitig zu den feineren lichten Weiten der Rechen muss auch die maximal zulässige Anströmgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Anderenfalls kann die Fischschutzvorrichtung selbst zur tödlichen Falle werden indem Fische an den Rechen gepresst werden und verenden. Ein auffindbarer und funktionierender Bypass bildet dabei die Voraussetzung für einen effizienten Fischschutz.

Biologische Bewertung

Wegen fehlender Bewertungsmethoden konnte keine biologische Bewertung vorgenommen werden.

³ Unter Störkörper werden harte Elemente wie Steine, Betonelemente, Gitterroste usw. verstanden, die sich bei über- oder unterströmtem Wehr im Aufprallbereich (Tosbecken) des Wassers befinden.

4. Empfehlungen

4.1. Fischaufstieg

Die Anforderungen an eine funktionierende FAH sind hinlänglich bekannt. In den letzten Jahren wurden denn auch mehrere neue Anlagen gebaut, die dem heutigen technischen Standard entsprechen. Teils sind diese FAH für den Lachs passierbar, teils können sie mit wenig Aufwand angepasst werden.

Eine moderne FAH allein genügt aber nicht. Sie muss von den aufsteigenden Fischen auch gefunden werden. So ist es zwingend nötig, dass ein Wasserkraftwerk sowohl beim Maschinenhaus als auch beim Wehr uferseitig eine FAH besitzt. Dies gilt aber nicht nur für Kanalkraftwerke sondern auch für Flusskraftwerke, da die Gewässerbreite der vier untersuchten Flüsse durchwegs mehr als 50 m beträgt. Lediglich eine FAH, die zwischen Wehr und Maschinenhaus platziert ist, ist keine ausreichende Lösung.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass der Einstieg der FAH nicht zu weit ins Unterwasser des Wehrs bzw. des Maschinenhauses gebaut ist. Zudem muss im Rahmen des Anlagenmanagements (Turbinenbetrieb, Wehröffnungen) wenn immer möglich dafür gesorgt werden, dass eine Strömungssituation entsteht, die die Auffindbarkeit der FAH bei verschiedenen Abflusssituationen ermöglicht bzw. verbessert. Eine FAH muss an den jeweiligen Standort angepasst sein sowie sorgfältig gebaut und betrieben werden.

Bei Neukonzessionierungen, aber auch bei Ökostrom-Zertifizierungen nach «naturmade star» muss diesen Aspekten vermehrt Rechnung getragen werden. Es erstaunt, dass bei 8 von 12 «naturmade star»-zertifizierten Anlagen⁴, die Auffindbarkeit der FAH als «schlecht» oder «unbefriedigend» eingestuft wird.

Zudem sollten biologische Funktionskontrollen (Aufstiegszählungen) im gleichen Umfang und mit der selben Akribie durchgeführt werden, wie dies am Hochrhein und teilweise an der Aare erfolgt ist (Guthruf 2006, 2008). Solche Kontrollen sollten fester Bestandteil einer Neukonzession bzw. einer «naturmade star»-Zertifizierung sein. Sie sollten mindestens alle 10 Jahre, koordiniert über möglichst viele Kraftwerke am selben Fluss, durchgeführt werden.

4.2. Fischabstieg

4.2.1. Allgemein

Der Fischabstieg sollte soweit gewährleistet sein, dass die Fischbestände nicht gefährdet werden. Ganz entscheidend ist die Betrachtung auf der Ebene der Population. Diese wird massgeblich von biologischen Faktoren wie Wanderverhalten oder Alter der Geschlechtsreife der einzelnen Fischarten beeinflusst. Bei diadromen Arten (z. B. Lachs oder Aal) ist der Wechsel zwischen Süss- und Salzwasser Voraussetzung für ein Überleben der Population. Für abwandernde Junglachse und Blankaale kumulieren sich die Verluste an den einzelnen Kraftwerkstufen bis zur Mündung ins Meer. Für diese Arten ist die Gesamtüberlebensrate auf Stufe Gewässersystem entscheidend.

Für die meisten potamodrome Arten sind die Auswirkungen von Schädigungen an Wehranlagen auf den Populationserhalt geringer. Bei langlebigen Arten wie Barben und Nasen sollten aber ähnliche Massstäbe wie für den Lachs angesetzt werden. Adultfische tragen bei diesen Arten erst nach einigen Jahren massgeblich zur Reproduktion bei. Folglich müssen sie die Wanderungen über einzelne Kraftwerke mehrmals bewältigen, bevor sie einen wesentlichen Beitrag an die Aufrechterhaltung der Populationen liefern können. Damit kumuliert sich deren Mortalität ähnlich wie beim Lachs. Dumont et al. (2005) empfehlen als Ziel für die Abwanderung von Lachsen eine Gesamtüberlebensrate von 75% pro Gewässersystem. Daraus lässt sich für jedes Kraftwerk das prozentuale Schutzziel ableiten. Sind in einem Gewässersystem nur wenige Kraftwerke vorhanden, kann das Schutzziel pro Anlage entsprechend tiefer angesetzt werden, als wenn viele Kraftwerke vorhanden sind. Als Vorgabe für die

⁴ Das Zertifikat «naturmade star» besitzen die folgenden Wasserkraftwerke: Aarberg, Bern Engehalde/Felsenau, Bern Matte, Dotierkraftwerk Alte Aare, Interlaken Gurben, Kallnach, Niederried-Radelfingen, Ruppoldingen, Thun AareWerke, Wettingen, Höngg, Windisch

Schutzeffizienz (Überlebensrate) für diadrome Arten empfehlen Lucas und Baras (2001) einen Bereich von 90–100% pro Anlage. Dies gilt sowohl für die Auffindbarkeit als auch für die Passage von Fischabstiegswegen. Für potamodrome Arten wird dieselbe Grössenordnung empfohlen.

Damit beim Abstieg Fische höchstens geringfügig geschädigt werden, muss eine Turbinenpassage möglichst verhindert und eine auffindbare und funktionierende Abstiegsalternative vorhanden sein. Der Abstieg über das Wehr oder eine Bypassvorrichtung muss schadlos erfolgen können und orientiert sich an den biologischen Ansprüchen der Zielarten. Beim Lachs liegt die Hauptwanderzeit zwischen Mitte März und Ende Mai.

Bei den Begehungen stellte sich heraus, dass an den untersuchten Kraftwerken und Regulierwehren dem Fischabstieg keine prioritäre Bedeutung zugemessen wird. Oft weil es sich um grosse Laufkraftwerke mit verhältnismässig geringen Schädigungsraten handelt. Nicht zuletzt auch deshalb, weil tote Fische im Unterwasser nicht wahrgenommen werden. Im weiteren sind technische Lösungen für den Fischschutz und den Fischabstieg bei grossen Anlagen noch eine grosse Herausforderung. Bei kleineren Anlagen sind Lösungen vorhanden, die weiter entwickelt werden müssen.

Gesetzlich gefordert ist die freie Fischwanderung in beide Richtungen flussauf- und flussabwärts. Genauso wie beim Fischaufstieg muss auch der Fischabstieg an jedem einzelnen Kraftwerk sorgfältig geplant, gebaut und betrieblich unterstützt werden.

Bei Neukonzessionierungen muss der Fischabstieg künftig auf der gleichen Stufe wie der Fischaufstieg behandelt werden. «Naturmade star»-zertifizierte Kraftwerke schneiden auch bezüglich Fischabstieg mässig bis schlecht ab. Von einem modernen Fischschutz mit der Gewährleistung eines gefahrlosen Fischabstiegs kann bei diesen Kraftwerken zurzeit nicht gesprochen werden.

4.2.2. Mögliche Massnahmen

Der Wissensstand beim Fischabstieg ist längst noch nicht soweit gediehen wie beim Fischaufstieg. Das bedeutet aber nicht, dass keine funktionierenden Möglichkeiten zur Verbesserung des Fischabstiegs bestehen. In Tabelle 5 wird eine ganze Palette möglicher Massnahmen aufgeführt. Für alle Massnahmen wird kurz auf die Auswirkungen auf Fische allgemein und die Anforderungen für Lachse im speziellen eingegangen. Daneben wird versucht, Aufwand und Machbarkeit grob abzuschätzen. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit es soll aufgezeigt werden, dass es umsetzbare und wirtschaftlich tragbare Lösungen gibt.

Der in Deutschland entwickelte Fisch- und Treibgutableiter nach Gluch (2007) und Ebel (2008 und 2010) bildet zumindest für Kraftwerke bis zu einer Ausbauwassermenge von 90 m³/s eine nachweislich funktionierende Fischschutz- und Fischabstiegsvorrichtung für das gesamte Artenspektrum. Der Fischableiter besteht aus einem schräg angeströmten Horizontalrechen mit einem Stababstand von 20 mm. Die entstehende Tangentialströmung lenkt Fische und Treibgut entlang dem Rechen zu einem permanent geöffneten Bypass, über welchen Fische schadlos ins Unterwasser gelangen. Betrieblich bietet dieses Prinzip den Vorteil, das Kosten für die Entnahme und Entsorgung von Treibgut entfallen. Weitere Informationen sind in einem Dokument zusammengefasst, das beim WWF Schweiz zu beziehen ist.

4.2.3. Forschungsbedarf und Anwendung in der Praxis

In den letzten Jahren wurden an unzähligen FAH viele wertvolle Erkenntnisse zum Fischaufstieg gewonnen. Nach wie vor besteht aber die Notwendigkeit mehr Wissen und Erfahrung zum Fischabstieg zu sammeln. Es wäre daher wünschenswert, Lösungsansätze im Rahmen von Pilotanlagen zu realisieren und auf ihre Funktionalität hin zu überprüfen, um eine Weiterentwicklung auch in der Schweiz in Gang zu bringen.

Zudem sind umfassendere Bewertungsmethoden erwünscht, die auch biologische Aspekte, die Auswirkungen von Stauräumen und den erhöhten Prädationsdruck mit berücksichtigen. Methoden, die eine Quantifizierung der Schädigungsrate erlauben, würden eine einfachere Defizitanalyse des Fischabstiegs ermöglichen.

Möglichkeiten für die Verbesserung des Fischabstiegs können nur auf der Basis genauerer und umfassenderer Untersuchungen formuliert werden, als dies im Rahmen dieser Studie möglich war. Jede

Anlage weist spezifische Vor- und Nachteile auf, die es möglichst genau zu erfassen gilt, bevor ein Konzept zur Behebung bestehender Defizite ausgearbeitet werden kann. Wenn immer möglich soll der Fischabstieg zusammen mit dem Fischaufstieg betrachtet werden. So kann z. B. die Dotierung des Bypasses für den Fischabstieg allenfalls gleichzeitig als Leitströmung für die Auffindbarkeit der FAH dienen.

Tab. 5: Mögliche Massnahmen zur Verbesserung des Abstiegs für abwandernde Lachse an Kraftwerken.

Betroffene Anlagebereiche	Auswirkungen auf Fische	Anforderungen für Lachse	Aufwand und Machbarkeit
Stauraum	Langsam fliessende und tiefe Stauräume setzen Junglachse einem erhöhten Frassdruck durch Raubfische und Vögel aus.	Möglichst kein oder nur kurzer Stauraum.	Ohne wesentliche Veränderung des Kraftwerkes oder einer Stauspiegelabsenkung nicht machbar. Mit hohen wirtschaftlichen Einbussen ist zu rechnen.
Wehr und Tosbecken	Bei genügend Abfluss ist eine Passage mit dem überströmenden Wasser über die Wehroberkante oder über den Grundablass möglich. Fische sind nach der Wehrpassage meist orientierungslos und verwirrt. Grosse, tiefe Tosbecken setzen sie deshalb ebenfalls einer erhöhten Prädation v.a. durch Raubfische aus.	Die Fallhöhe darf nicht mehr als 10 m betragen. Genügende Wassertiefe im Tosbecken (mind. 0.9 m und 1/4 der Fallhöhe) ist Voraussetzung. Das Tosbecken darf keine harten Elemente im Aufprallbereich aufweisen. Anhebbare Wehrklappen sind nur dann für eine gefahrlose Passage geeignet, wenn Änderungen der Fliessgeschwindigkeiten und Druckunterschiede nicht plötzlich und stark auftreten.	Ja nach Situation mit mehr oder weniger Aufwand und Kosten verbunden. Defizite können z. B. im Rahmen einer Wehrsanierung behoben werden.
Rechen und andere mechanische Barrieren	Rechen mit grossem Stababstand werden von abwandernden Fischen durchschwommen und sie gelangen zu den Turbinen. Sind Rechen so konstruiert, dass sie nicht von Fischen passiert werden können, besteht die Gefahr, dass sie aufgrund einer zu hohen Anströmgeschwindigkeit an den Rechen gepresst oder von der Rechenreinigungsanlage erfasst werden. Beides kann tödlich sein.	Die Anströmgeschwindigkeit an Rechen darf 0.5 m/s nicht überschreiten (ohne gut auffindbaren Bypass wird sogar 0.3 m/s als oberes Limit empfohlen). Die lichte Weite des Rechens sollte 20 mm nicht überschreiten, besser sind 10 mm. Rechen und mechanische Barrieren sollten Fische davor bewahren, in gefährdende Anlagenteile zu gelangen und sie idealerweise einem geeignetem Bypass zuzuführen ohne selbst eine potenzielle Gefahrenquelle darzustellen.	Ein hoher Fischschutz kann bei einzelnen Kraftwerken mit seitlicher Ausleitung relativ einfacherzielt werden, sofern gleichzeitig eine Bypassmöglichkeit besteht. Investitionen für Rechen sind je nach Dimensionierung nicht unerheblich. Einkommenseinbussen entstehen durch den Wasserverlust über den Bypass.
Turbinen	Überleben Fische die Turbinenpassage, weisen sie teilweise innere und äussere Verletzungen auf, an denen sie erst nach Tagen zugrunde gehen. Zudem sind sie verwirrt und geschwächt und fallen somit häufiger ihren Fressfeinden zum Opfer. Turbinen mit grossem Durchmesser, wenig Schaufeln und einer geringen Drehzahl verringern das Schädigungsrisiko.	Neuere Turbinentypen wie Spiralturbinen oder so genannte Minimal-Gap-Runner können die Mortalität etwas verringern. Bei Kleinkraftwerken anbieten sich langsam drehende Wasserräder oder Wasserkraftschnecken, die wenig Schäden bei absteigenden Fischen verursachen.	Kann mit erheblichen Kosten verbunden sein. Einbau von weniger schädlichen Turbinen eignet sich nur bei Neuanlagen oder wesentlichen Änderungen an der Anlage.

Tab. 5: Fortsetzung

Betroffene Anlagebereiche	Auswirkungen auf Fische	Anforderungen für Lachse	Aufwand und Machbarkeit
Bypässe	Bypässe stellen Möglichkeiten dar, Fische gefahrlos ins Unterwasser zu leiten.	<p>Geeignete Rechen oder Barrieren können dazu dienen, Fische einem gut auffindbaren Bypass zuzuleiten. Folgende Anordnung für die Auffindbarkeit und Funktionsfähigkeit sollte für Junglachse gewählt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Einlauf oberflächennah (0–20 cm) - Einlauf innerhalb 2 m vom Rechen entfernt - Strömungsgeschwindigkeit sollte im Einlaufbereich zunehmen (Saugeffekt) - Turbulenzen müssen vermieden werden - Dotierung: 2–10% der Turbinenbeaufschlagung <p>Die Bypassleitungen müssen folgende Kriterien einhalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Glatte Oberfläche der Innenauskleidung - Fließgeschwindigkeit < 12 m/s - Kurvenradius bei gekrümmtem Verlauf > 3 m 	Je nach Anlage sehr einfach und günstig umsetzbar, z.B. indem ein Spülschutz entsprechen umgerüstet wird. Die Dotation über den Bypass führt durch den Wasserverlust zu Einkommenseinbussen.
Anlagenmanagement	Verschiedene betriebliche Massnahmen können die Mortalität und Schädigungen bei Fischen reduzieren.	<p>Optimierung des Öffnungswinkels von Turbinenschaufeln verringert die Mortalität (Verzicht auf optimalen Wirkungsgrad).</p> <p>Permanente Wanderkorridore schaffen durch das Öffnen von Wehrklappen nahe bei der Wasserausleitung (Leitströmung erzeugen).</p> <p>Bei ansteigendem Abfluss und bei Wehrüberfall zuerst nur eine Wehrklappe, möglichst nahe bei der Wasserausleitung öffnen um eine Leitströmung zu erzeugen.</p> <p>Ausserbetriebnahme der gesamten Anlage oder Reduktion der genutzten Wassermenge während der Hauptabwanderung der Junglachse (Mitte März bis Ende Mai).</p>	<p>Relativ einfach umsetzbar.</p> <p>Wird bei Wehrüberfall die optimale Klappe geöffnet, entstehen keine Zusatzkosten.</p> <p>Bei Betriebsreduktion oder permanentem Wehrüberfall ist teilweise mit erheblichen Einkommenseinbussen zu rechnen.</p>

5. Zitierte Literatur

- Adam B., Bosse R., Dumont U., Hadderingh R., Jörgensen L., Kalusa B., Lehmann G., Pischel R. (2005) Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.). Bonn, 256 S.
- Adam B., Bosse R., Dumont U., Göhl C., Görlach J., Heimerl S., Kalusa B., Krüger F., Redeker M., Schwevers U., Sellheim P., (2010) Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Entwurf. DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.). Bonn, 286 S.
- AquaPlus (2009) Grundlagen für ein Programm zur Überwachung des Fischaufstiegs in der Limmat. Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz), 23 S.
- AquaPlus & Colenco (2007) Beurteilung und Optimierung des Fischpasses bei der Wehranlage Höngg. Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz), 18 S. + Anhang.
- Creato (2009) Ausbau KW Kappelerhof - Erfolgskontrolle der ökologischen Ersatz- und Ausgleichsmaßnahmen - Zustand vor und nach dem Bau, 65 S.
- Dumont U., Anderer P., Schewers U. (2005) Handbuch Querbauwerke. Düsseldorf. Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 212 S.
- Ebel G., Fredrich F., Gluch A., Lecour C., Wagner F. (2006) Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., 115 S.
- Ebel G. (2008) Turbinenbedingte Schädigung des Aals (*Anguilla anguilla*) - Schädigungsraten an europäischen Wasserkraftanlagenstandorten und Möglichkeiten der Prognose. Mitteilungen BGF, Heft 3, 176 S., Halle (Saale)
- Ebel G. (2010) Vermeidung turbinenbedingter Fischschäden durch Fischschutz- und Fischabstiegsysteme - Ingenieurbiologische Grundlagen und Fallbeispiele. Tagungsband 21. SVK-Fischereitagung am 15./16. März in Fulda, 12 S.
- Gebler R. J. (2004) Fischaufstiegsmonitoring an den Aare-Kraftwerken zwischen Bielersee und Mündung in den Rhein. Beurteilung der technischen Gegebenheiten von 18 Fischpässen bei 12 Aarekraftwerken. Jagd- und Fischereiverwaltung des Kantons Aargau, Fischereiinspektorats des Kantons Bern und Amt für Umwelt des Kantons Solothurn.
- Gluch A. (2007) Kombiniertes Fisch- und Treibgutableiter für Wasserkraftanlagen. Wasser und Abfall, 38-43.
- Guthruf J. (2006) Koordinierte Fischaufstiegskontrollen an den Aare-Kraftwerken zwischen Solothurn und der Mündung in den Rhein. Amt für Umwelt des Kantons Solothurn, Amt für Wald, Jagd und Fischerei des Kantons Solothurn, Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau, Baudepartement des Kantons Aargau, 100 S. + Anhang.
- Guthruf J. (2008) Fischaufstieg am Hochrhein. Koordinierte Zählung 2005/2006. BAFU, Umwelt-Wissen 8010, 161 S.
- Guthruf J. (2009) Fischaufstiegskontrolle im neuen Raugerinne-Beckenpass beim Wehr Schönenwerd. Kraftwerk IB Aarau AG, 16 S.
- Guthruf J. (2009) Wirkungskontrolle Sanierung Beckenpass Whylen, Zwischenbericht, 16 S.
- Lucas M. & Baras E. (2001) Migration of Freshwater Fishes. Oxford, 420 S.
- Schneider J. (2009) Gesamtanalyse einschließlich Bewertung der Wirksamkeit der laufenden und geplanten Maßnahmen im Rheingebiet mit Blick auf die Wiedereinführung von Wanderfischen. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), (in Vorbereitung).
- Schwevers U., Adam B. (2006) Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. Auswertung durchgeführter Untersuchungen und Diskussionsbeiträge für Durchführung und Bewertung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), 123 S.
- Winzeler T. (2008) Zusammenstellung von bekannten Informationen zu einzelnen Kraftwerken an Hochrhein (inkl. Restrhein) und Aare. WWF Schweiz, 16 S.
- WWF (2008) «Aare-Lachs» Infos. WWF Schweiz, 40 S.

Anhang

A. Klassifizierungssystem für die Bewertung der Fischaufstiegsanlagen

Das angewandte Bewertungsverfahren wurde von Schwevers & Adam (2006) für die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) entwickelt. Es handelt sich um ein 5-stufiges Klassifizierungssystem gemäss Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union.

A.1. Auffindbarkeit

Die DWA-Kriterien wurden ergänzt, um allen angetroffenen Situationen gerecht zu werden.

Bewertungsstufe	Grossräumige Anordnung		
	Wehr ohne Maschinenhaus	Flusskraftwerk	Kanalkraftwerk (Ausleitungskraftwerk)
A sehr gut	Es ist kein Querbauwerk vorhanden.	Es ist kein Querbauwerk vorhanden.	Es ist kein Querbauwerk vorhanden.
B gut	Die FAH liegt am Prallhang oder an der Uferseite, an der die Hauptströmung an ≥ 300 Tagen/Jahr vorbeistreicht.	Eine FAH ist uferseitig neben dem Maschinenhaus vorhanden. Bei ≥ 50 m breiten Gewässern besteht eine zusätzliche FAH am gegenüberliegenden Ufer.	Eine FAH ist uferseitig neben dem Maschinenhaus und beim Ausleitungswehr vorhanden. Eine FAH ist nur uferseitig beim Ausleitungswehr vorhanden und der Unterwasserkanal ist sehr kurz.
C mässig	Die FAH ist in geringem Abstand vom Ufer gelegen.	Eine FAH ist uferseitig neben dem Maschinenhaus vorhanden. Bei ≥ 50 m breiten Gewässern besteht keine zusätzliche FAH am gegenüberliegenden Ufer. Die FAH liegt zwischen Maschinenhaus und Wehr oder zwischen Maschinenhaus und Schiffsschleuse.	Eine FAH gibt es nur beim Maschinenhaus. Eine FAH gibt es nur beim Ausleitungswehr. Am Zusammenfluss der Restwasserstrecke und des Unterwasserkanals ist eine Sperre vorhanden, die eine Aufwanderung der Fische zur Kraftwerkszentrale verhindert.
D unbefriedigend	Die FAH ist inmitten des Wehres bzw. zwischen Wehr und Schiffsschleuse oder anderen Bauelementen gelegen.	Die FAH liegt in deutlichem Abstand vom Maschinenhaus.	Eine FAH gibt es nur beim Ausleitungswehr. Am Zusammenfluss der Restwasserstrecke und des Unterwasserkanals ist eine Sperre vorhanden, die zumindest einen Teile der Fische von einer Aufwanderung zur Kraftwerkszentrale abhält.
E schlecht	Die FAH liegt am Gleitufer.	Die FAH liegt am anderen Ufer, gegenüber dem Maschinenhaus.	Eine FAH gibt es nur beim Ausleitungswehr. Es ist keine Aufwanderungssperre im Unterwasserkanal vorhanden.

Bewertungsstufe	Kleinräumige Positionierung des Einstiegs	Mündungswinkel	Min./max. Fließgeschw. der Leitströmung [m ³ /s]
A sehr gut	Es ist kein Querbauwerk vorhanden.	Es ist kein Querbauwerk vorhanden.	-
B gut	Der Einstieg liegt ohne Sackgasse am Fuss des Wanderhindernisses oder die Sackgasse ist für Fische nicht passierbar.	Parallel zur Hauptströmung bis $< 30^\circ$	0.30-1.60 (deutlich erkennbar)
C mässig	Der Einstieg ist ≤ 5 m ins Unterwasser vorgebaut, so dass eine kurze Sackgasse entsteht.	30° - 60°	-
D unbefriedigend	Der Einstieg ist ≤ 10 m ins Unterwasser vorgebaut, so dass eine deutliche Sackgasse entsteht.	60° - 90°	-
E schlecht	Der Einstieg ist > 10 m ins Unterwasser vorgebaut.	$> 90^\circ$	< 0.30 / > 1.60 (nicht bzw. kaum erkennbar/stark strömend)

A.2. Bewertung für den Aufstieg des Lachses

Dimensionierung und Gestaltung

Bewertungsstufe	Minimale Beckenlänge [m]	Minimale Beckenbreite [m]	Minimale Wassertiefe [m]	Breite der Engstelle [m]		Passierbarkeit der Sohle
				Fischpass	Umgehungsgerinne	
A sehr gut	>4.00	>3.00	>0.50	>0.60	>0.60	Es ist kein Querbauwerk vorhanden.
B gut	2.80-4.00	1.80-3.00	0.50	0.30-0.60	0.60	Die Sohle weist eine grosse Rauigkeit auf, die den Aufstieg leistungsschwacher, bodenorientierter Fischarten ermöglicht. Es ist eine ≥ 0.20 m mächtige, durchgehende und durchgängige Substratschicht vorhanden.
C mässig	2.10-2.80	1.35-1.80	0.38-0.50	0.23-0.30	0.45-0.60	Die Rauigkeit der Sohle ist mässig. Die Mächtigkeit der Substratschicht beträgt < 0.20 m.
D unbefriedigend	1.40-2.10	0.90-1.35	0.25-0.38	0.15-0.23	0.30-0.45	Es ist kein ausreichendes Lückensystem vorhanden oder es ist nicht durchgängig (z. B. Verschlammung, Querriegel).
E schlecht	<1.40	<0.90	<0.25	<0.15	<0.30	Die Sohle ist glatt, ein Lückensystem fehlt oder ist nur in einzelnen Becken vorhanden.

Hydraulik

Es gelten die DWA-Kriterien für die Äschenregion.

Bewertungsstufe	Max. Wasserspiegeldifferenz zwischen Becken (ergänzt durch Angaben aus Schneider 2009) [m]	Maximale Fließgeschw. in Engstellen [m/s]	Max. mittlere Fließgeschw. in Becken [m/s]	Max. Leistungsdichte in Becken [W/m ³]	Dotierung [l/s]	
					Fischpass	Umgehungsgerinne
A sehr gut	<0.30	<1.70	>0.20 bis <0.50	<200	>1000	>550
B gut	0.30	1.70	0.50	200	400-1000	500-550
C mässig	0.30-0.38	1.71-1.90	0.51-0.75	201-250	300-400	375-500
D unbefriedigend	0.38-0.45	1.90-2.20	0.76-1.00	251-300	200-300	250-375
E schlecht	>0.45	>2.20	>1.00	>300	<200	<250

A.3. Bewertung für den Aufstieg der Nase

Dimensionierung und Gestaltung

Bewertungsstufe	Minimale Beckenlänge [m]	Minimale Beckenbreite [m]	Minimale Wassertiefe [m]	Breite der Engstelle [m]		Passierbarkeit der Sohle
				Fischpass	Umgehungsgerinne	
A sehr gut	>2.00	>1.40	>0.45	>0.30	>0.60	Es ist kein Querbauwerk vorhanden.
B gut	2.00	1.40	0.45	0.17-0.30	0.40-0.60	Die Sohle weist eine grosse Rauigkeit auf, die den Aufstieg leistungsschwacher, bodenorientierter Fischarten ermöglicht. Es ist eine ≥ 0.20 m mächtige, durchgehende und durchgängige Substratschicht vorhanden.
C mässig	1.50-2.00	1.05-1.40	0.34-0.45	0.13-0.17	0.30-0.40	Die Rauigkeit der Sohle ist mässig. Die Mächtigkeit der Substratschicht beträgt < 0.20 m.
D unbefriedigend	1.00-1.50	0.70-1.05	0.23-0.34	0.09-0.13	0.20-0.30	Es ist kein ausreichendes Lückensystem vorhanden oder es ist nicht durchgängig (z. B. Verschlammung, Querriegel).
E schlecht	<1.00	<0.70	<0.23	<0.09	<0.20	Die Sohle ist glatt, ein Lückensystem fehlt oder ist nur in einzelnen Becken vorhanden.

Hydraulik

Es werden die DWA-Kriterien für die Barbenregion verwendet (pers. Mitt. M. Huber, WWF Schweiz).

Bewertungsstufe	Max. Wasserspiegeldifferenz zwischen Becken [m]	Maximale Fliessgeschw. in Engstellen [m/s]	Max. mittlere Fliessgeschw. in Becken [m/s]	Max. Leistungsdichte in Becken [W/m ³]	Dotierung [l/s]	
					Fischpass	Umgehungsgerinne
A sehr gut	<0.13	<1.60	>0.20 bis <0.50	<100	>250	>350
B gut	0.13	1.60	0.50	100	150-250	350
C mässig	0.14-0.16	1.61-1.80	0.51-0.75	101-125	110-150	260-350
D unbefriedigend	0.17-0.20	1.81-2.0	0.76-1.00	126-150	75-110	170-260
E schlecht	>0.20	>2.00	>1.00	>150	<75	<170

B. Klassifizierungssystem für die Bewertung des Fischabstiegs

Das angewandte Bewertungsverfahren wurde von Dumont et al. (2005) entwickelt. Es handelt sich um ein 5-stufiges Klassifizierungssystem.

B.1 Bewertung für die grundsätzlich Passierbarkeit von Querbauwerken

Bewertungsstufe	Auffindbarkeit und grundsätzliche Passierbarkeit von Wanderkorridoren für die flussabwärts gerichtete Wanderung		
	Technische Kriterien		
	Fischökologische Definition	Wanderkorridor am oder über Querbauwerk	Bypass am Querbauwerk
A	Unbeeinträchtigte Abwanderung.	Es findet keine Ausleitung statt.	Keine Wasserkraftnutzung oder Wasserentnahme.
B	Die Auffindbarkeit von Abwanderkorridoren ist nur geringfügig beeinträchtigt.	Lediglich geringfügige Ausleitung von Wasser (maximal 25% MQ), so dass die meisten Fische über das Querbauwerk abwandern. Eine genügende Restwassermenge betreffend der Durchwanderbarkeit (Tiefe) der Restwasserstrecke wird eingehalten.	Abstiegsanlage an der Nutzungseinrichtung ist gut auffindbar und erfüllt die notwendigen Kriterien bezüglich Abfluss und Positionierung (gemäss Dumont et al. 2005 und Adam et al. 2005).
C	Die Auffindbarkeit von Abwanderkorridoren ist mässig beeinträchtigt.	Ausleitung von bis zu 50% MQ, so dass nur ein mässiger Anteil der Fische über das Querbauwerk geleitet wird. Die Restwassermenge betreffend der Durchwanderbarkeit (Tiefe) der Restwasserstrecke wird nur knapp oder teilweise eingehalten.	Abstiegsanlage an der Nutzungseinrichtung ist gut auffindbar und erfüllt die notwendigen Kriterien bezüglich Abfluss und Positionierung (gemäss. Dumont et al. 2005 und Adam et al. 2005) nur teilweise.
D	Die Auffindbarkeit von Abwanderkorridoren ist erheblich beeinträchtigt.	Wasserausleitung bis 100% MQ.	Abstiegsanlage an der Nutzungseinrichtung ist schlecht auffindbar und weicht erheblich von den notwendigen Kriterien bezüglich Abfluss und Positionierung (gemäss. Dumont et al. 2005 und Adam et al. 2005) ab.
E	Die Abwanderkorridore sind nicht vorhanden oder nicht auffindbar	Wasserausleitung über 100% MQ.	Keine oder unwirksame Abstiegsanlage an der Nutzungseinrichtung oder Abstiegsanlage vorhanden oder nur in sehr geringem Mass auffindbar und funktionsfähig.

B.2 Schädigung abwandernder Fische

Bewertungsstufe	Schädigung abwandernder Fische bei der Passage eines Wehrs	
	Technische Kriterien	
A	Keine Schädigung abwandernder Fische	Es ist kein Querbauwerk vorhanden
B	Abwandernde Fische werden nur geringfügig geschädigt	Absturzhöhe des Querbauwerkes geringer als 10 m UND ausreichendes Wasserpolster (mindestens 1/4 der Fallhöhe) im Unterwasser; keine Störkörper oder andere Strukturen, die abwandernde Fische gefährden
C	Abwandernde Fische werden mässig geschädigt	Die Absturzhöhe des Querbauwerkes beträgt 10 bis 15 m UND / ODER unzureichendes Wasserpolster (weniger als 1/4 der Fallhöhe) im Unterwasser, um Schädigungen abwandernder Fische zuverlässig zu verhindern bzw. Störkörper oder andere Strukturen, die eine mässige Schädigung bewirken
D	Abwandernde Fische werden erheblich geschädigt	Die Absturzhöhe des Querbauwerkes beträgt 15 bis 20 m UND / ODER unzureichendes Wasserpolster (wesentlich weniger als 1/4 der Fallhöhe) im Unterwasser, um Schädigungen abwandernder Fische zuverlässig zu verhindern bzw. Störkörper oder andere Strukturen, die eine erhebliche Schädigung bewirken
E	Abwandernde Fische werden sehr stark geschädigt	Die Absturzhöhe des Querbauwerkes beträgt mehr als 20 m UND / ODER im Unterwasser prallen die Fische auf feste Oberflächen oder Störkörper

B.2 Schädigung abwandernder Fische (Fortsetzung)

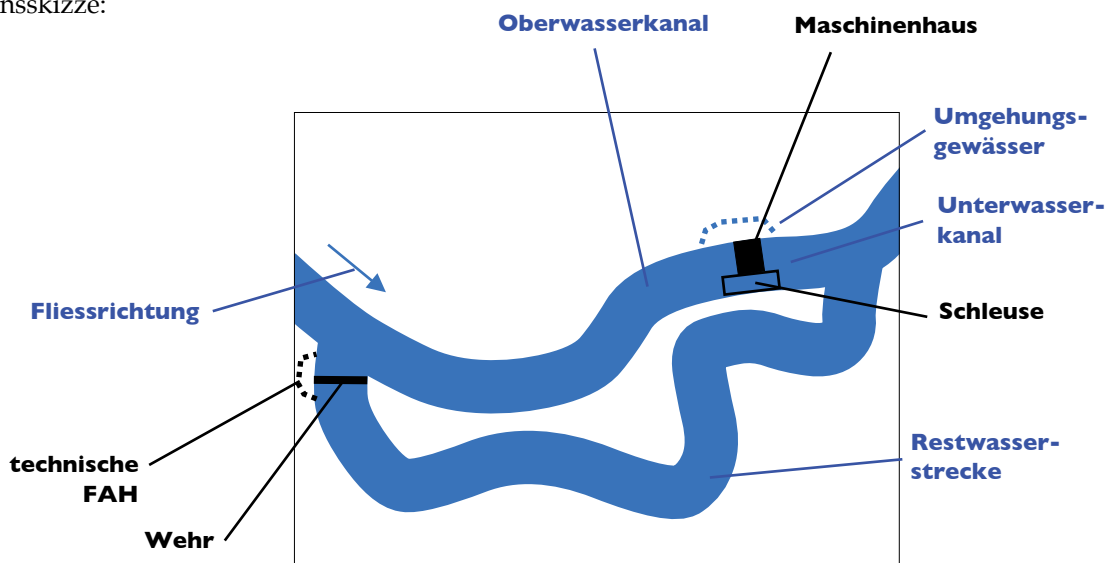
Bewertungsstufe	Schädigung abwandernder Fische bei der Passage von Kraftwerkanlagen	
	Technische Kriterien	
A	Keine Schädigung abwandernder Fische	Keine Wasserkraftnutzung
B	Abwandernde Fische werden nur geringfügig geschädigt. Die Populationen der diadromen und potamodromen Zielarten werden nicht gefährdet.	Mechanische Barriere vor Wasserkraftanlage mit Anströmgeschwindigkeit $V_A \leq 0,5$ m/s und lichter Stabweite d_R ≤ 10 mm bei anadromen Zielarten ≤ 15 mm bei katadromen Zielarten ≤ 20 mm bei potamodromen Zielarten ¹ ODER Wirksames Betriebsmanagement ODER Wasserkraftnutzung mit langsam drehendem Wasserrad, Wasserkraftschnecke oder vergleichbaren Maschinen mit geringer Schädigung.
C	Abwandernde Fische werden mässig geschädigt. Die Populationen der diadromen und potamodromen Zielarten werden gefährdet.	Mechanische Barriere vor Wasserkraftanlage mit Kaplan- oder Francisturbine mit grossem Laufraddurchmesser und mässiger Schädigung, $V_A \leq 0,7$ m/s und lichter Stabweite d_R entsprechend Stufe B ODER $V_A \leq 0,5$ m/s und d_R ≤ 15 mm bei anadromen Zielarten ≤ 20 mm bei katadromen Zielarten ≤ 25 mm bei potamodromen Zielarten ODER Mässig wirksames Betriebsmanagement
D	Abwandernde Fische werden erheblich geschädigt. Die Populationen der diadromen und potamodromen Zielarten werden erheblich gefährdet.	Mechanische Barriere vor Wasserkraftanlage mit Kaplan- oder Francisturbine mit kleinem Laufraddurchmesser und erheblicher Schädigung, $V_A \leq 1,0$ m/s und lichter Stabweite d_R entsprechend Stufe C ODER $V_A \leq 0,7$ m/s und d_R ≤ 20 mm bei anadromen Zielarten ≤ 20 mm bei katadromen Zielarten ≤ 40 mm bei potamodromen Zielarten ODER schlecht wirksames Betriebsmanagement
E	Abwandernde Fische werden sehr stark geschädigt. Die Populationen der diadromen und potamodromen Zielarten können nicht überleben.	Keine wirksamen Fischschutzeinrichtungen vor der Wasserkraftanlage, kein bzw. kein wirksames Betriebsmanagement UND Wasserkraftnutzung mit Francis-Spiral-, Durchström- oder Pelton-turbine, mit sehr hoher Schädigung.

¹ Bei potamodromen Zielarten, deren Population gefährdet ist, richtet sich die lichte Stabweite nach den Anforderungen dieser Art

C. Spezifische Angaben zu den Kraftwerks- und Wehranlagen

Die Datenblätter zu den einzelnen Wasserkraft- und Regulieranlagen an Hochrhein, Aare, Limmat und Reuss sind einheitlich aufgebaut. Es werden folgende Symbole bzw. Abkürzungen verwendet:

Situationsskizze:



Geografie/Hydrologie: MQ = langjähriger mittlerer Jahresabfluss

Q_{347} = Abflussmenge, die im langjährigen Mittel während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird. Sie ist ein Mass für den Niederwasserabfluss.

$Q_{\min. \text{ Restwasser}}$ = minimale Restwasserdotierung