

Zeitschrift:	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	101 (2009)
Heft:	4
Artikel:	Abschätzung der Schäden an Fischen und Nährtieren in einer Schwall-Sunk-Strecke der Saane (Freiburg, Schweiz)
Autor:	Zurwerra, Andreas / Bur, Markus
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-941961

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Abschätzung der Schäden an Fischen und Nährtieren in einer Schwall-Sunk-Strecke der Saane (Freiburg, Schweiz)

■ Andreas Zurwerra, Markus Bur

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie fasst Ergebnisse aus der Gerichtsexpertise zur Schwall-Sunk-Problematik durch den Betrieb des Kraftwerkes unterhalb des Stausees Schiffenen zusammen und macht die Resultate der Öffentlichkeit zugänglich. Mit Hilfe von computergestützten Habitatssimulationen, unterstützt durch Felduntersuchungen wurden Gefährdungen und Verluste der Fischpopulation qualitativ und quantitativ abgeschätzt. Es wurden Abschätzungen im seit 1964 genutzten, gestörten Flussystem bezüglich vernichteter Biomasse an Nährtieren und Fischen durchgeführt. Eine natürliche Reproduktion der Fische ist kaum mehr möglich. Die Resultate bestätigen Aussagen bisheriger Untersuchungen und zeigen, dass das Ausmass der Schäden durch das Trockenfallen wesentlich vom Gerinnequerschnitt abhängt und Schäden auch bei geringen Abflusschwankungen auftreten.

Es wurde aufgezeigt, wie der Gesamtschaden an der Fischpopulation, verursacht durch Schwall-Sunk, auf der 11.2 km langen Strecke abgeschätzt werden kann. Er ergibt sich aus dem Rückgang des JHE und des nutzbaren Fischlebensraumes nach Inbetriebnahme des Kraftwerkes sowie der Verluste der natürlichen Reproduktion von Bachforelle und Äsche.

Résumé

La présente étude reprend les principaux résultats de l'expertise juridique concernant la problématique du marnage en aval du barrage de Schiffenen, engendrée par l'exploitation de la centrale hydroélectrique. Les résultats sont ainsi rendus publics. A l'aide de modèles numériques de simulation des habitats, complétés par des observations ponctuelles sur le terrain, nous avons estimé quantitativement et qualitativement les dangers et les dégâts sur les populations piscicoles. Les estimations ont été effectuées pour l'écosystème fluvial perturbé, utilisé depuis 1964, et ont porté sur la biomasse détruite des invertébrés benthiques et des poissons. La reproduction naturelle de la faune piscicole n'est plus possible. Les résultats confirment les conclusions d'études précédentes. Elles indiquent en effet que l'étendue des dommages par assèchement dépend essentiellement de la section du cours d'eau et que des dommages surviennent également lors de faibles variations du niveau d'eau.

La présente étude montre, comment le dégât total sur la population piscicole, causé par le marnage, peut être estimé sur le tronçon long de 11.2 km. Le dégât total résulte de la baisse du rendement annuel par hectare, du recul de l'habitat piscicole utile après la mise en exploitation de la centrale hydroélectrique ainsi que des pertes naturelles de reproduction des truites de rivière et des ombres.

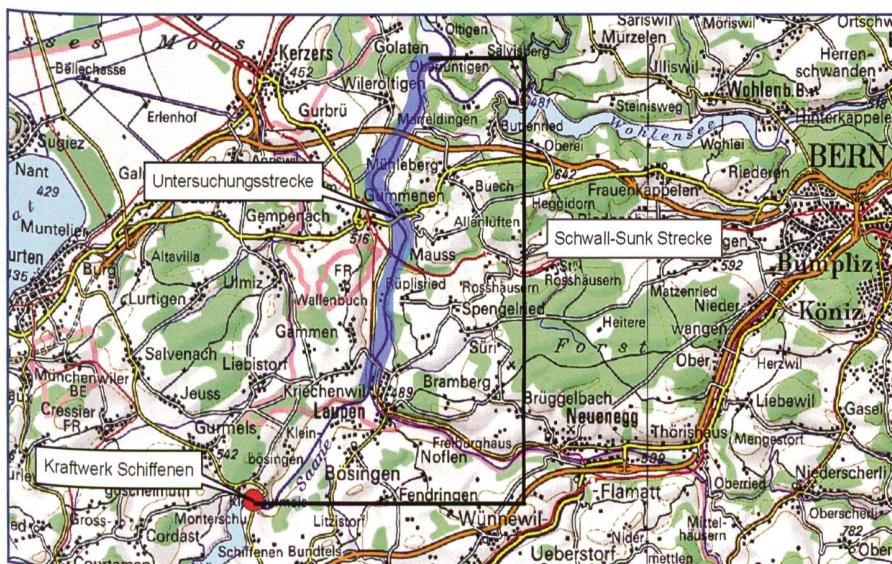


Bild 1. Standort des Kraftwerks Schiffenen mit Untersuchungsstrecke.

1. Einleitung

Das Kraftwerk Schiffenen liegt nördlich von Freiburg und ist seit 1964 in Betrieb. Es ist die unterste einer Reihe von Staustufen in der Saane. Die Saane mündet 15.6 km unterhalb des Kraftwerkes in die Aare (siehe Bild 1). Der Abfluss unterhalb des Kraftwerkes ist stark durch Schwall-Sunk-Betrieb geprägt.

Im Jahre 2004 hat der Bernisch Kantonalen Fischereiverband gegen den Kraftwerkbetreiber wegen Tierquälerei, Verletzung der Konzessionsbestimmungen und Gewinnsucht Strafklage eingereicht. Im November 2005 eröffnete der Untersuchungsrichter das Strafverfahren. Die an die PRONAT Conseils SA erteilte Expertise sollte die an der Fischwelt unterhalb der Staumauer bis zur Aareeinmündung verur-

sachten Fischschäden durch Schwall-Sunk beurteilen und den Schaden beziffern.

Der enge Zeitrahmen zur Erstellung der Expertise erlaubte Felderhebungen nur während den Sommermonaten.

2. Charakterisierung der Schwall-Sunk Strecke

Die Saane wurde auf einer Länge von 15.6 km unterhalb der Staumauer Schiffenen bis zur Einmündung in die Aare beurteilt. Die Schäden an der aquatischen Fauna wurden aufgrund der Vorabklärungen nur für den 11.2 km langen Berner Teil der Saane zwischen der Sensemündung bei Laupen und der Einmündung in die Aare berechnet, da in diesem Abschnitt die Schäden in der Wasserwechselzone offensichtlich sind. Oberhalb dieses Abschnittes fliesst die Saane teilweise in

einem in Sandsteinfels eingehauenen und stark abgetieften Kanal oder ist mit Uferverbauung stark eingeengt.

Die Saane ist zwischen Laupen und der Mündung in die Aare begradigt. Das Gerinne weist eine geringe Sohlenbreite-Variabilität auf. Beide Ufer sind meist mit Steinblöcken gesichert. Bei Schwall ist das Gerinne auf der gesamten Flussbreite benetzt. Die Sohle ist natürlich. Bei Niedrigwasser bilden sich Kiesbänke.

3. Durchgeführte Untersuchungen

Zur Bezifferung der Schäden für die Fischerei ist keine standardisierte Methode verfügbar. In der Expertise wurde deshalb versucht, durch Beobachtungen im Sommer 2006 auf trockenfallenden Kiesbänken bei Sunk die Verluste an Nährtie-

ren und Fischen zu quantifizieren. Zudem wurde mit Sohlenmarkierungen und Habitatssimulationen aufgezeigt, welche Auswirkungen der Schwall-Sunk-Betrieb auf den Lebensraum Fließgewässer bzw. für die hier lebenden Fische und Nährtiere hat. Die Abschätzung der finanziellen Verluste für die Fischerei stützt sich auf die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen sowie der Entwicklung des Jahreshektarertrages (JHE) und des nutzbaren Fischlebensraumes vor und nach Inbetriebnahme des Kraftwerkes Schiffenen.

3.1 Ausgewertete Grundlagen

Für die Studie wurden die Abflussdaten der Messstationen in der Saane bei Freiburg, bei Laupen und Thörishaus sowie der turbinierten Abflussmengen des Kraftwerks Schiffenen analysiert. Als weitere Grundlage diente die Expertise von Ammann (1975, 1976) über die Beeinträchtigung der Fischerei in der Saane durch das Kraftwerk Schiffenen.

3.2 Habitatsmodellierungen

Die Habitatsmodellierungen wurden mit dem Programm CASIMIR von sjc Schneider & Jorde, Ecological Engineering, Stuttgart durchgeführt. Dazu wurde an ausgewählten Stellen (US1, US2, US3) eine prä-



Bild 2. Die Untersuchungsstellen US1, US2 und US3 wurden mittels Feldbeobachtungen und Casimir-Simulationen vertieft untersucht.



Bild 3. Untersuchungsstelle US1 (oben) und US3 (unten) bei Schwall (Abfluss Schiffenen: 135 m³/s) und bei Niederwasser (Abfluss Schiffenen: 5 m³/s).

zise Feldvermessung vorgenommen.

Mit CASIMIR können kritische Stellen und Abflüsse rechnerisch auf der Basis von 1D- und 2D-Modellierung berechnet und grafisch dargestellt werden. Mit einer 1D-Modellierung konnte die Verformung der Abflussganglinie (Abflachung, Dämpfung) vom Kraftwerk bis zur Aaremündung mittels vorhandenen Querschnittsdaten dargestellt werden. Eine instationäre, hydrodynamische 2D-Modellierung erlaubt für die ausgewählten Stellen US1, US2 und US3 eine präzise Gewässerbeschreibung mit Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten, Wasserspiegeländerungen und Trockenfallen von benetzten Bereichen. Mit Einbezug der Habitatsansprüche bezüglich Wassertiefe, Strömung und Substrat einzelner Fischarten bzw. deren Entwicklungsstadien erlaubt CASIMIR die Habitatseignung bei verschiedenen Abflüssen für die Untersuchungsstrecken flächig darzustellen (Einzelheiten siehe Schneider & Noack, 2009).

3.3 Beobachtungen auf trocken-fallenden Kiesbänken

In den Monaten Mai bis August 2006 wurden an mehreren Tagen Beobachtungen an den drei Untersuchungsstellen US1,

US2 und US3 bei verschiedenen Abflüssen dokumentiert. Dabei wurden die trockenfallenden Kiesbänke nach gestrandeten Fischen und Nährtieren abgesucht und ausgewertet.

3.4 Sohlenmarkierungen

Zur Dokumentation der Auswirkungen des Geschiebetriebes bei normalem Abfluss bis zu $135 \text{ m}^3/\text{s}$ wurden im Januar 2007 Sohlenmarkierungen durchgeführt. Bei US1 und US3 wurden bei Niederwasser auf der trockenliegenden Kiesbank mehrere $50 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$ grosse Flächen in einem Profil angeordnet und mit roter Markierfarbe eingefärbt und fotografisch dokumentiert. Die markierten Flächen wurden nach einer Woche kontrolliert.

4. Resultate

4.1 Abflusschwankungen

Die täglichen Abflusschwankungen in der Saane sind gross. Gemäss Konzession von 1961 sind folgende Abflüsse beim Kraftwerk Schiffenen festgelegt:

- Mindestrestwassermenge: $5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Höchstabflussmenge: $135 \text{ m}^3/\text{s}$, solange der natürliche Zufluss nicht grösser ist.

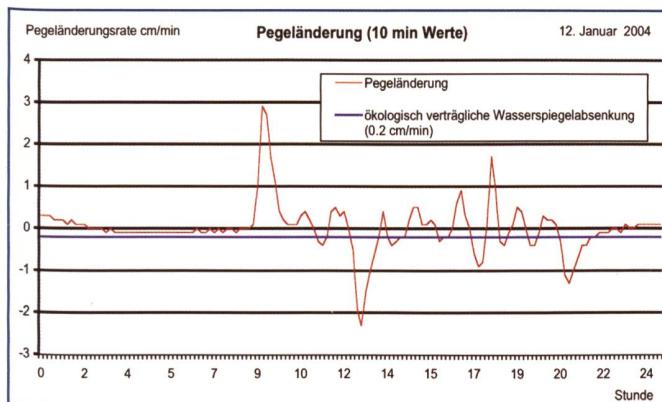


Bild 4. Pegeländerungsrate in der Saane bei der Messstation Laupen am 12. Januar 2004. 10-Minuten-BWG-Messwerte, gemittelt auf Minutenwerte.

Bei Laupen erhöht sich der Abfluss durch den Zufluss der Sense um etwa $5 \text{ m}^3/\text{s}$, womit hier der Abfluss zwischen $10 \text{ m}^3/\text{s}$ bis maximal $140 \text{ m}^3/\text{s}$ variiert. Dies entspricht einem Abflussverhältnis von bis zu 14:1 zwischen minimalem und maximalem Abfluss. Die natürlichen täglichen

Abflussschwankungen in der Sense liegen unter 4:1, was dem ökologisch verträglichen Schwall-Senk-Verhältnis entspricht, welches gemäss Meile, Fette & Baumann (2005) bei 2:1 bis 5:1 liegt.

4.2 Pegeländerungsraten

Der Abfluss kann gemäss Betriebsreglement von 1961 bei normalem Betrieb innerhalb von 3 Minuten von $135 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $5 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert werden. Dies bedeutet, dass der Senk schnell erfolgt. In Laupen treten Pegeländerungsraten von über 2 cm/min täglich auf. Eine ökologisch verträgliche Wasserstandsänderung bei Senk sollte 12 cm/h bzw. 0.2 cm/min nicht überschreiten (Meile, Fette & Baumann, 2005). Täglich kommt es zu mehreren Schwall-Senk-Phasen mit Wasserspiegelabsenkungen, welche deutlich über dem ökologischen Wert liegen (siehe Bild 4).

4.3 Fließgeschwindigkeiten

Bei Niederwasser liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit bei US1 bei 0.8 m/s . Die vorherrschenden Geschwindigkeiten liegen zwischen 0.4 – 1.2 m/s . Bei einem Schwall von $135 \text{ m}^3/\text{s}$ nimmt die mittlere Fließgeschwindigkeit bis zu 1.7 m/s zu. Die Fließgeschwindigkeiten, welche bei Niederwasser in der Hauptströmung vorherrschen, werden auf eine schmale Uferzone und in die Wasserwechselzone zurückgedrängt. Im Bereich der Niederwasserrinne fehlen sie vollständig (siehe Bild 5).

4.4 Wassertiefe

Bei Niederwasser variiert die Wassertiefe in der Saane stark. Flachwasserzonen sind häufig. Während der Schwallphase ist die Wassertiefe zwischen Laupen und der Aaremündung gross. Seichte Bereiche fehlen fast vollständig oder sind auf den Gewässerrand oder einen sehr schmalen Bereich in der Uferböschung und auf die Wasserwechselzone beschränkt (siehe Bild 6).

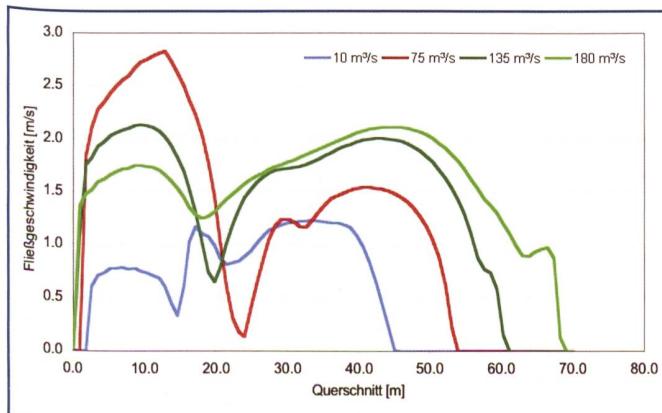


Bild 5. Fließgeschwindigkeit (links) und Profil (rechts) bei US1 bei verschiedenen Abflüssen (Simulation CASIMIR).

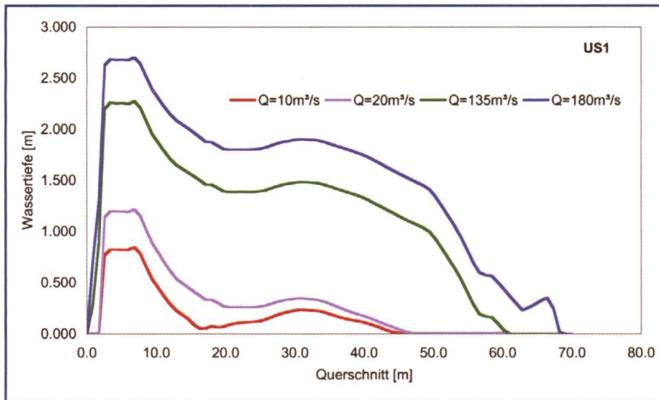


Bild 6. Wassertiefen bei US1 bei verschiedenen Abflüssen (Simulation aus 2D-Strömungsmodell). Profil siehe Bild 5.

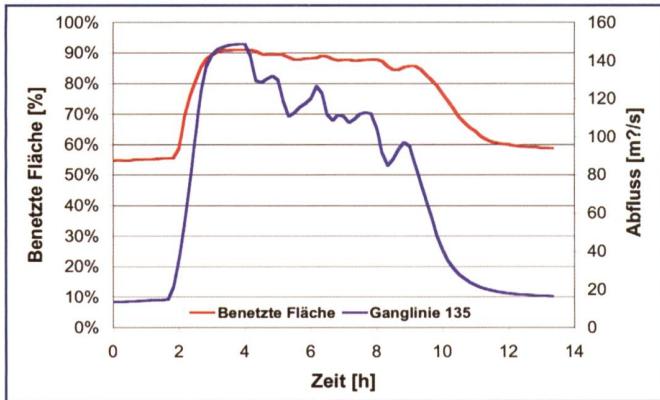


Bild 7. Verhältnis der benetzten Fläche zur Gesamtfläche in Abhängigkeit vom Abfluss bei US1. Ganglinie 135 m^3/s (Simulation CASIMIR).

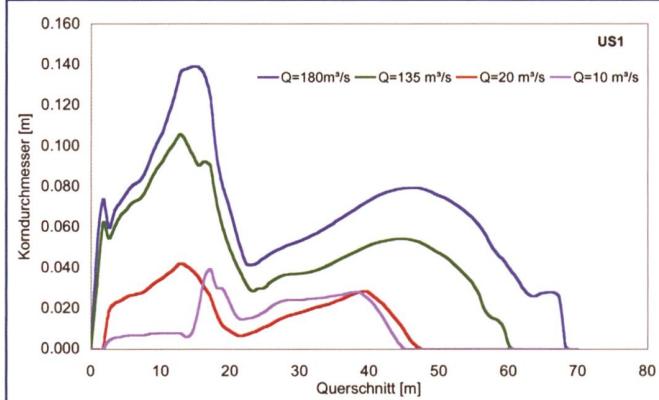


Bild 8. Bewegte Korngrößen (links) und Querprofil (rechts) bei US1 (ermittelt auf Basis der 2D-Strömungsmodellierung).

4.5 Benetzte Flächen

Bei US1 sind bei Schwall 90% der Kiesbänke benetzt. Beim Sunk auf unter $20 m^3/s$ sinkt der benetzte Anteil auf weniger als 60%, d.h., fast die Hälfte des Flussbettes liegt trocken (siehe Bild 7). Die in der Saane anrechenbare Lebensraumfläche für Fische beträgt gemäss Bonitierung des Fischereiinspektors des Kantons Bern aufgerundet 26 ha (Vuille, 1997). Bei Schwall werden auf dem gesamten Abschnitt zwischen Laupen und der Mündung in die Aare regelmässig zusätzlich 15.2 ha Kiesbänke und Uferzonen benetzt, welche beim Sunk auf die Mindestrestwassermenge wieder trockenfallen.

4.6 Geschiebebetrieb

Die Zufuhr von Geschiebe bei Schiffen ist durch die Stauseen im Oberlauf unterbunden. Geschiebebetrieb findet nur unterhalb der Sensemündung statt, wo jährlich von der Sense bei Hochwasser 1500–2000 m^3 Geschiebe in die Saane eingetragen wird. Grösserer Geschiebetransport beginnt in der Saane bei $100 m^3/s$. Berechnungen mit CASIMIR bestätigen, dass Geschiebebetrieb bereits bei deutlich geringerem Abfluss möglich ist. Bei US1 werden schon bei Abflüssen bis $20 m^3/s$ kleine Korngrößen

transportiert; lokal werden bereits Steine bis 4 cm Korndurchmesser verschoben (siehe Bild 8). Bei der täglich stattfindenden Turbinierung bis zu $135 m^3/s$ werden im Niederwasserbett Fein- und Grobkies mit Korndurchmesser bis 10 cm, in der Wasserwechselzone bis 5 cm bewegt.

Markierversuche der Sohle in der Wasserwechselzone im Januar 2007 bestätigen die Berechnungen. Bei US1 erfolgt Geschiebetrieb bei Schwall auf der gesamten benetzten Fläche (siehe Bild 9). Die Sohle wird beim normalen Kraftwerksbetrieb dauernd umgestaltet. Dabei werden alle Korngrößen bis zu einer Schichtdicke von 10 cm umgeschichtet. Im Vergleich zu US3 ist die Umgestaltung der Sohle bei US1 ausgeprägter, da aus der Sense regelmäßig Geschiebe eingetragen wird und die Sohle nicht kolmatiert ist.

4.7 Laichhabitatem

Durch den Schwall-Sunk-Betrieb werden potenzielle Laichplätze vernichtet bzw. sind nicht mehr nutzbar.

- Die Wassertiefe ist starken Schwankungen unterworfen. Sie ist im Bereich potenzieller Laichplätze in der Niederwasserrinne bei Schwall mit 1–2.3 m zu hoch und liegt meist deut-

lich über der optimalen Wassertiefe (siehe Tabelle 1), oder der Bereich liegt in der Wasserwechselzone und fällt bei Sunk trocken. Trockenfallender Laich ist für die Nase dokumentiert.

- Die Fliessgeschwindigkeit variiert zwischen Schwall und Sunk stark. An potenziellen Laichplätzen in der Niederwasserrinne sind Fliessgeschwindigkeiten bei Schwall mit mindestens 1.3 m/s (US1) deutlich zu hoch. Sie liegen deutlich über dem optimalen Bereich (siehe Tabelle 1). Bei Schwall vorhandene potenzielle Laichplätze fallen bei Sunk trocken.
- Durch den Schwallbetrieb wird lockeres Fein- und Grobkies von der Korngröße der bevorzugten Laichsubstrate der in der Saane heimischen Fische täglich bewegt, sodass potenzielle Laichplätze dauernd verändert werden bzw. abgelegter Laich mit dem Kies weggeschwemmt wird, zerrieben wird oder bei Sunk trockenfällt.

4.8 Verluste an Fischen in der Wasserwechselzone

Die grössten Fischverluste sind in der Saane beim Laich und den Jungfischen zu erwarten. Dies umso mehr, als potenzielle

Laichplätze einer täglich stattfindenden Veränderung durch Geschiebetrieb unterworfen sind und die bevorzugten Habitate der Jungfische (seichte Stellen) sehr unstabili sind und sich dauernd verschieben.



Laich und Jungfische werden bei Schwall auch ausgeschwemmt. Zudem herrscht bei Schwall Nahrungsmangel in den bevorzugten Habitaten der Jungfische, da diese durch Nährtiere kaum besiedelt sind. Bei



Bild 9. Geschiebetrieb bei Turbinierung bis zu 135 m³/s. Sohlenmarkierung bei US1. Markierung am 14.1.2007, Kontrolle am 21.1.2007. Entfernung vom rechten Ufer: 71 m (a, b), 52 m (c, d), 27 m (e, f), 16 m (g, h).

	Wassertiefe	Fliessgeschwindigkeit	Substrat
Bachforelle***	0.6 - 0.8 m	0.1 - 0.8 m/s	0.6 - 13 cm
Äsche**	0.1 – 1.0 m	0.15 - 0.6 m/s	0.8 - 6 cm
Nase*	0.15 - 0.6 m	0.7 - 1.1 m/s	1 -10 cm
Barbe*	0.1 - 0.4 m	0.3 – 0.5 m/s	2 - 25 cm

Tabelle 1. Laichplatzansprüche von Bachforelle, Äsche, Nase und Barbe. * Troschel (2004), ** Guthruf (1996), * EAWAG (2004).**

Sunk können Laichplätze und Laich, aber auch Jungfische trockenfallen. Die Verluste einzelner Altersstadien wirken sich naturgemäß negativ auf den Bestand der nachfolgenden Altersstadien aus.

Direkte Schadensbeobachtungen an Fischen konnten bei den Begehungen im Sommer 2006 gemacht werden. Am 12./13. 7. 2006 wurden insgesamt 9 Gruppen in der trockenfallenden Kiesbank bei US1 gefunden. Die Verlustrate ist stark abhängig von der Kiesbankstruktur, welche sich durch regelmässigen Geschiebeeintrag aus der Sense häufig ändert. Bei ungünstiger Struktur kann der tägliche Schwall-Sunk zu grossen Verlusten führen.

Barben verenden bei Sunk auf den flachen, trockenfallenden Kiesbänken häufig und verbreitet. Zudem bestehen lokal stark erhöhte Risiken durch kleine Senken im Uferbereich, was v.a. bei US3 festgestellt wurde, wo auf kleiner Fläche täglich 50–200 verendende Jungbarben gezählt wurden (siehe Bild 10).

Durch die Kraftwerksnutzung verenden im bereits stark gestörten Gewässer vorsichtig geschätzt, jährlich mehr als 6000 Fische, v.a. junge Barben und Gruppen. Während der Beobachtungsperiode im Juli/August sind die Barben besonders stark gefährdet, da sie in Schwärmen auftreten. Die Verluste für die Barben wurden deshalb nur auf diese Periode berechnet. Verluste sind aber auch später möglich. In der Annahme, dass 10% der Barbensömerlinge die Geschlechtsreife mit 3–4 Jahren erreichen, werden jährlich etwa 600 zukünftige Geschlechtstiere (300 Weibchen) vernichtet, welche keine Nachkommen erzeugen. Die Bestände werden dadurch nachhaltig geschädigt.

Schäden an Jungfischen anderer Fischarten konnten in der kurzen Beobachtungszeit nicht nachgewiesen werden. Der Beobachtungszeitraum (Juli/August) war v.a. für die Barben, nicht aber für andere Fischarten ideal. Bei Versuchen in der Nidelva (Norwegen) lag der Anteil der gestrandeten Bachforellen-Sömerlinge bei mindestens 10–20% (Baumann & Klaus, 2003). Es ist deshalb anzunehmen, dass in der Saane nicht unerhebliche Verluste von Jungfischen anderer Arten als der beobachteten Barben entstehen, sofern natürliche Verlaichung überhaupt noch möglich und erfolgreich ist.

Verluste adulter Fische konnten nur für die Gruppe beobachtet werden. Dass aber in der Saane Verluste anderer Fischarten auftreten ist bekannt und für die Bachforelle dokumentiert.



Bild 10. Fischfallen für Groppe US1 (links) und Barben bei US3 (rechts, 80–100 Tiere). Beobachtungen am 12.7.2006.



Bild 11. Fischfalle für Bachflohkrebs (links) und Eintagsfliegen (rechts). Beobachtungen vom Juli 2006.

Aufgrund des aktuellen JHE (50 kg) und der hohen Verluste muss angenommen werden, dass sich die Fischbestände in der Saane nur schwer halten können und auf Zuwanderung von Tieren aus der Sense und der Aare bzw. Ausschwemmung aus der Sense bei Hochwasser angewiesen sind oder durch Besatz gestützt werden müssen (Bachforelle, Äsche). Es ist bemerkenswert, dass nur im Bereich der Sense mündung bei US1 strandende Gruppen gesichtet wurden. Es ist zu befürchten, dass im Unterlauf der Saane kaum noch Gruppen vorkommen. Dies lässt den Schluss zu, dass durch den Schwall-Sunk grundsätzlich auch der Fischbestand der Sense geschädigt wird, da wegen der dauernden Verluste in der Saane eine Rückwanderung in die Sense kaum mehr stattfindet.

4.9 Verluste an Nährtieren in der Wasserwechselzone

Durch den Sunk entstehen Verluste von Steinfliegen, Eintagsfliegen, Zückmücken, Bachflohkrebsen und Köcherfliegen (siehe Bild 11). Die Tiere können sich in der Wasserwechselzone nicht in tiefere Schichten des Substrates zurückziehen, da die Zwischenräume meist mit Feinmaterial verdichtet sind. Sie überleben deshalb den Sunk nicht.

Aufgrund der Beobachtungen wird

der Verlust an Nährtieren in der Wasserwechselzone auf 33 pro m^2 geschätzt. Bei Erhebungen in der Linth wurden vergleichbare Individuenverluste pro m^2 festgestellt, wobei lokal grosse Unterschiede vorhanden waren (Limnex, 2006a, Limnex, 2006b). Zwischen Laupen und der Mündung errechnen sich die täglichen Individuenverluste in der trockenfallenden Fläche von 15.2 ha auf 2.1 Mio.

Bei einer mittleren Besiedlungsdichte in der Saane von 4400 Individuen/ m^2 (Erhebungen des Fischereiinspectores des Kantons Bern) kann die tägliche Verlustrate durch Trockenfallen der Kiesbänke bei Sunk auf 0.16% des Nährtierbestandes geschätzt werden. Der Eintrag an Nährtieren aus der naturnahen und artenreichen Sense (Tomka et al., 1998) durch die Drift ist deshalb nicht zu unterschätzen.

Auf der Basis der beobachteten Nährtierverluste in der Wasserwechselzone wurde der Fischbiomasseverlust abgeschätzt. Die mittlere Nährtierdichte in der

Wasserwechselzone beträgt etwa 1 kg/ha. Werte dieser Größenordnung wurden auch bei Erhebungen in anderen durch Schwall-Sunk beeinflussten Gewässern festgestellt (Linth: Limnex, 2006a, Lech: Schnell, 2004, Literaturstudie Baumann & Klaus, 2003). Daraus ergibt sich ein jährlicher Verlust an Fischbiomasse von etwa 400 kg für den gesamten Abschnitt.

Verluste durch Eiablagen der Nährtiere während des Schwalls in der Wasserwechselzone sind nicht bekannt, aber wahrscheinlich. Eiablagen in der Wasserwechselzone führen zum vollständigen Verlust der Nachkommen und somit zu einem zusätzlichen Verlust an Fischbiomasse.

5. Abschätzung des Schadens durch Schwall-Sunk

Als Grundlage zur Abschätzung des Gesamtschadens durch den Schwall-Sunk-Betrieb kann der Rückgang des Jahreshektarertrages (JHE), der Verlust an nutzbarem Lebensraum, der Verlust an

Periode	JHE (kg/ha)	Ertragsfläche (ha)	JE Saane (kg)	Ertragsverlust/Jahr (%)	Referenz
Vor dem Bau (1960)	99	43.5	4'300	-	Ammann, 1975
Betrieb (ab 1964)	74	26	1'930	55 %	Ammann, 1975
Aktuell	50	26	1'280	70 %	Vuille, 1997

Tabelle 2. Jahres-Hektar-Ertrag und jährliche Ertragsverluste in der Saane zwischen Laupen und der Aaremündung vor und nach dem Bau des Kraftwerkes sowie aktuell.

Laichplätzen bzw. der Verlust der natürlichen Reproduktion herangezogen werden.

5.1 Ertragsrückgang

Die rückläufigen Erträge in der Saane können folgenden Faktoren zugeschrieben werden:

- Ertragsverluste durch die hydroelektrische Nutzung.
- Allgemeine Ertragsverluste durch Verschlechterung des Lebensraumes, Belastungen mit chemischen und teilweise hormonwirksamen Stoffen, Krankheiten, fehlende Vernetzung und andere Umweltfaktoren (EAWAG, 2004).

Das Produktionsvermögen der Saane hat sich durch den Bau und Betrieb des Kraftwerkes Schiffenen deutlich verschlechtert. Der Ertragsverlust in der Saane beträgt gegenüber dem Zustand vor dem Bau des Kraftwerkes Schiffenen zu heute etwa 70% (siehe Tabelle 2). Abfischungen in der Bregenzerache zeigen, dass sowohl der Artenbestand als auch die Biomasse durch Schwall-Sunk gegenüber einer Referenzstrecke sehr stark beeinträchtigt wird. Bei den bestandesbildenden Arten wurde dort ein Ausfall von 60% bis 100% beobachtet. Der Biomasseausfall lag bei 90% (Baumann & Klaus, 2003).

Die jährlichen Ertragsverluste in der Saane unterhalb Laupen betragen im Vergleich zum ursprünglichen Zustand auf der Grundlage der Bonitierung und der produktiven Flächen 70% (siehe Tabelle 3). Dabei ist zu berücksichtigen, dass allgemein die Fangerträge in Bächen und Flüssen seit etwa 1980 rückläufig sind (EAWAG, 2004), sodass nicht die gesamten Verluste auf die Wasserkraftnutzung zurückgeführt werden können. Gemäss Ammann (1975) reduzierte sich der JHE durch die Inbetriebnahme des Kraftwerkes Schiffenen von 99 kg auf 74 kg und der Jahresertrag um 55%. Dieser Verlust entspricht etwa der stabilen Situation nach Inbetriebnahme des Kraftwerkes Schiffenen und kann der hydroelektrischen Nutzung durch Schwall-Sunk zugeordnet werden. Der übrige Rückgang des JHE von 74 kg auf aktuell 50 kg/ha wird der allgemeinen Verschlechterung des Gewässerbewirtschaftungsraumes der letzten 30 Jahre zugeordnet.

5.2 Reproduktionsverlust

Die Untersuchungen und die CASIMIR-Simulation haben gezeigt, dass die Bedingungen für eine erfolgreiche natürliche Reproduktion der Fische in der Saane durch die hydroelektrische Nutzung ge-

stört sind. Einerseits wird in der Wasserwechselzone abgelegter Laich durch Austrocknung vernichtet, andererseits sind die Bedingungen beim Schwall im Bereich der Niederwasserrinne bezüglich Substrat, Substratstabilität, Wassertiefe und Fliessgeschwindigkeit derart ungünstig, dass kaum mehr nutzbarer Laichplatz vorhanden ist oder aber abgelegter Laich ausgeschwemmt bzw. beim täglich stattfindenden Geschiebetrieb zerstört wird. Es muss deshalb angenommen werden, dass die Reproduktion beeinträchtigt ist bzw. verunmöglich wird und der Fischbestand der wichtigen Nutzfische (Äsche, Bachforelle) in der Saane durch Besatz sowie durch Zuwanderung aus Aare und Sense wesentlich gestützt werden muss.

Für eine Abschätzung des Schadens durch den Reproduktionsverlust kann deshalb angenommen werden, dass eine natürliche Reproduktion der wichtigen Nutzfische Äsche und Bachforelle nicht mehr möglich ist. Der Schaden kann entsprechend einem totalen Verlust dem Aufwand gleichgesetzt werden, welcher für den Aufbau einer neuen Population gemäss Roth (1985) erforderlich ist.

6. Gesamtschaden

Auf der Basis von punktuellen Beobachtungen konnten die Schäden an Fischen und Nährtieren auf der Gesamtstrecke abgeschätzt und den Auswirkungen durch Schwall-Sunk-Betrieb und den allgemeinen Umwelteinflüssen zugewiesen werden. Im Rahmen der Expertise wurde aufgezeigt, wie der Schaden abgeschätzt werden kann, welcher durch den Schwall-Sunk-Betrieb in einem Fließgewässer entsteht. Der Gesamtschaden durch Schwall-Sunk resultiert aus der Summe des jährlichen Ertragsrückganges und des Reproduktionsverlustes.

Referenzen

- Ammann E. (1975). Expertise über die Beeinträchtigung der Fischerei in der Saane unterhalb der Staumauer des Kraftwerkes Schiffenen durch den Bau und Betrieb des Kraftwerkes Schiffenen. Ermittlung des Schadenumfangs, der Dauer der akuten Schäden sowie Berechnung der Schadenersatzansprüche der Fischereiregalinhaber. Forstdirektion des Kantons Bern, Abteilung Jagd und Fischerei des Kantons Freiburg, Fischereipachtvereinigung Bern und Umgebung.
- Ammann E. (1976). Expertise über die Beeinträchtigung der Fischerei in der Saane unterhalb der Staumauer des Kraftwerkes Schiffenen durch den Bau und Betrieb des Kraftwerkes Schiffenen vom 1.10.1975. Stellungnahme des
- Expert zu Einwänden der Entreprises Electriques Fribourgeoises (EEF), im Auftrag der Forstdirektion des Kantons Bern.
- Baumann, P. und Klaus, I. (2003). Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Ergebnisse einer Literaturstudie. BUWAL. Bern.
- EAWAG (2004). Dem Fischrückgang auf der Spur (Schlussbericht), Fischnetz.
- Meile, Fette & Baumann (2005). Synthesebericht Sunk/Schwall des Rhone-Thur-Projektes.
- Limnex (2006a). Schwallversuche in der Linth. Ökologische Auswirkungen von schwalddämpfenden Massnahmen, AfU Kanton Glarus.
- Limnex (2006b). Kraftwerksanlagen Linth-Limmern. Konzessionsprojekt 2006. Bericht zur Umweltverträglichkeit 1. Stufe. Fachbericht Gewässerökologie Schwallstrecke zwischen Linthal und Schwanden. Kraftwerke Linth-Limmern AG (KLL).
- EAWAG (2004). Dem Fischrückgang auf der Spur (Schlussbericht), Fischnetz.
- Guthruf, J. (1996). Populationsdynamik und Habitatwahl der Äsche (*Thymallus thymallus L.*) in drei verschiedenen Gewässern des schweizerischen Mittellandes. Zürich, ETH Zürich: 1–180.
- Roth, H. (1985). Berechnung der Schäden bei Fischsterben in Fließgewässern. Schriftenreihe Fischerei Nr. 44. Bern, Bundesamt für Umweltschutz (BUS).
- Schneider, M., Noack M. (2009). Untersuchung der Gefährdung von Jungfischen durch Sunkereignisse mit Hilfe eines Habitatssimulationsmodells. Wasser Energie Luft. Jahrgang 101, Heft 2. 107–112.
- Schnell, J. (2004). Untersuchungen zu gewässerökologischen Auswirkungen von Kraftwerksschwellbetrieb auf eine Fließstrecke, dargestellt anhand des Naturschutzgebietes «Litzauer Schleife» am Lech. H.-U. z. Berlin. Berlin, Fischwirtschaft und Gewässerbewirtschaftung.
- Troschel, H. J. (2004). Fischereibiologischer Beitrag «Alte Dreisam» (Gottenheim/Wasenweiler-Riegel), Interessengemeinschaft DREISAM e.V.
- Vuille, T. (1997). Ertragsvermögen der Patentgewässer im Kanton Bern. Bern, Fischereiinspektorat des Kantons Bern.
- Tomka I., Zurwerra A., Bur M. & Turcsanyi, B. (1998). Auswirkungen von Hochwasser und technischen Eingriffen auf die benthische Fauna in Fließgewässern. Bern, Bundesamt für Straßen (ASTRA). Forschungsauftrag Nr. 52/90.
- Anschrift der Verfasser
Dr. Andreas Zurwerra
Dr. Markus Bur
PRONAT Conseils SA
Kreuzmattstrasse 56, CH-3185 Schmitten
info@pronat.ch