

Steffen Schweizer, Diego Tonolla, Andreas Bruder und Stefan Vollenweider

Schwall und Sunk – ein kurzer Überblick

Im vorliegenden Artikel wird versucht, den aktuellen Wissenstand zu den Auswirkungen von Schwall und Sunk auf die aquatische Gemeinschaft zusammenzufassen. Künstliche Pegelschwankungen verursachen kurz- und langfristige Auswirkungen auf die Fließgewässerökologie. Auf Basis von Indikatoren lassen sich diese Auswirkungen bis zu einem gewissen Grad abschätzen und daraus möglichst effiziente Sanierungsmaßnahmen ableiten. Abschließend wird der Stand der Schwallanierung in der Schweiz kurz beschrieben.

1 Einleitung

Wegen der Energiewende wird verstärkt über die zukünftige Rolle der Wasserkraft diskutiert. Es sollte bei diesen Diskussionen nicht nur um die Energieproduktion an sich, sondern vor allem um die Funktion der Wasserkraft für den Erhaltung der Netzstabilität und der kurz- sowie langfristigen Speicherung von Energie gehen. Mindestens seit den 1930er-Jahren tragen die europäischen Speicherkraftwerke einen großen Beitrag für diese bedeutenden Aufgaben bei. In den meist großen Stauseen wird die Energie in Form von Wasser gespeichert und je nach Bedarf in die Kraftwerksturbinen geleitet, um Strom im gewünschten Ausmaß zu produzieren. In der Regel befinden sich diese Stauseen in den Hoch- und Mittelgebirgen von Europa.

Die Speicherbewirtschaftung führt dazu, dass die Abflussbedingungen unterhalb der Wasserrückgabe sowohl saisonal als auch kurzfristig variieren können und das Abflussregime insgesamt künstlich verändert wird (Schwall und Sunk).

2 Hydrologische Beschreibung von Schwall und Sunk

2.1 Hydrologische Parameter

Hydrologisch können die Phänomene von Schwall und Sunk mit den in **Tabelle 1** aufgeführten Parametern beschrieben werden [1], [2]. Kennzeichnend sind ein i. d. R. tiefer Basisabfluss, schnelle und häufige Änderungen des Abflusses sowie ein hoher Maximalabfluss (**Bild 1**).

2.2 Unterschied zwischen natürlichem und künstlichem Abflussregime

Um den tatsächlichen Einfluss eines künstlich veränderten Abflussregimes auf die aquatischen Organismen abschätzen zu können, muss stets die Differenz zum natürlichen Abflussregime (Referenz) betrachtet werden [1]. Dabei ist insbesondere auf die natürliche Variabilität des Abflussregimes zu achten. Zum Beispiel können in gletschergeprägten Einzugsgebieten die natürlichen mittleren Monatsabflüsse zwischen Winter und Sommer häufig um den Faktor 30 variieren. Auch natürliche Abflussschwankungen im Tagesverlauf

können in diesen Regionen infolge der Schnee- und/oder Gletscherschmelze bis zu einem Faktor von 2 bis 3 vorkommen. Allerdings fallen die Änderungsraten und die Häufigkeit der Abflusszu- und -abnahmen bei Kraftwerksbetrieb ungleich höher aus und unterscheiden sich daher deutlich von der natürlichen hydrologischen Variabilität.

Die Auswirkungen eines künstlichen Abflussregimes auf die aquatische Gemeinschaft treten z. T. in sehr kurzen Zeitabständen auf und können sich je nach Jahreszeit in ihrer Wirkung deutlich unterscheiden (s. Kap. 3). Daher sollte für ei-

Tab. 1: Wichtigste hydrologische Parameter zur Beschreibung von Schwall- und Sunk-Effekten

Parameter	Einheit	Kurzbeschreibung
Minimalabfluss Q_{\min}	m^3/s	Minimaler Abflusswert in einem bestimmten Beobachtungszeitraum. Tritt i. d. R. auf, wenn Turbinen still stehen.
Maximalabfluss Q_{\max}	m^3/s	Maximaler Abflusswert in einem bestimmten Beobachtungszeitraum. Tritt i. d. R. auf, wenn Kraftwerk auf Vollast betrieben wird.
Schwallrate ΔQ_{\max}	$m^3/(s \cdot \text{min})$	Abflusszunahme in einem bestimmten Zeitraum. Aussagekräftig ab einer zeitlichen Auflösung der Abflussganglinie von 15 Minuten.
Sunkrate ΔQ_{\min}	$m^3/(s \cdot \text{min})$	Abflussabnahme in einem bestimmten Zeitraum. Aussagekräftig ab einer zeitlichen Auflösung der Abflussganglinie von 15 Minuten.
Pegelanstiegsrate ΔP_{\max}	mm/min	Anstieg der Wassertiefe in einem bestimmten Zeitraum. Aussagekräftig ab einer zeitlichen Auflösung der Abflussganglinie von 15 Minuten.
Pegelrückgangsrate ΔP_{\min}	mm/min	Rückgang der Wassertiefe in einem bestimmten Zeitraum. Aussagekräftig ab einer zeitlichen Auflösung der Abflussganglinie von 15 Minuten.
Volatilität	1/d	Anzahl von Ereignissen mit Zu- und Abnahme im Abfluss während einem bestimmten Beobachtungszeitraum.

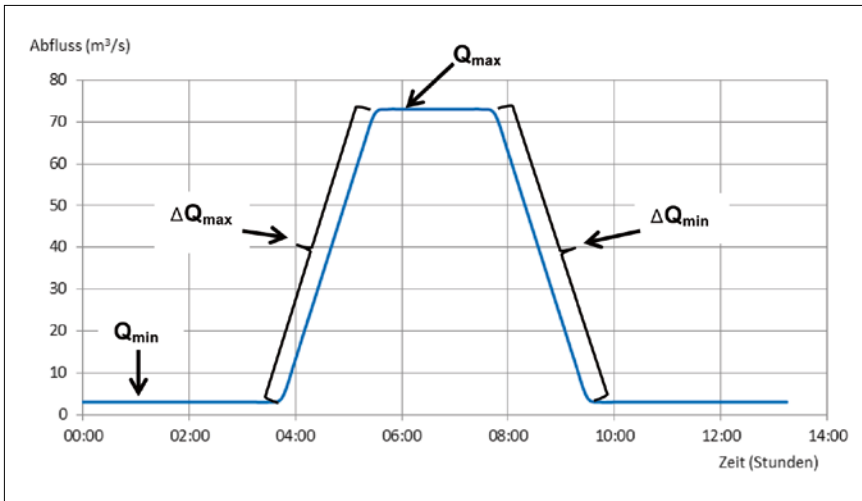


Bild 1: Schematische Darstellung eines Schwallereignisses (Quelle: S. Schweizer)

ne statistische Analyse eine Abflussganglinie von mindestens einem repräsentativen Jahr mit einer zeitlichen Auflösung von 10 bis 15 min vorliegen. Es empfiehlt sich, für jeden Tag die Extremwerte der in Tabelle 1 aufgeführten Parameter zu ermitteln. Häufig werden in einem nächsten Schritt die jeweiligen 95%- sowie die 100%-Perzentile dieser Werte bestimmt [3], teilweise auch weitere Perzentile. In jedem Fall sollten die hydrologischen Kennwerte für eine ökologische Interpretation verwendet werden, die auch aus gewässerökologischer Sicht relevant sind. Das häufig verwendete Verhältnis von Schwall und Sunk gibt zwar einen ersten Eindruck über die Dimension der Veränderung – es sagt aber nichts über die tatsächlichen Auswirkungen eines künstlichen Abflussregimes auf spezifische gewässerökologische Prozesse aus.

2.3 Veränderungen im Längsverlauf

In der Regel verändern sich die Schwallparameter (Tabelle 1) im Längsverlauf einer Schwallstrecke. Häufig wird mit zunehmender Entfernung zur Wasserrückgabe eine Dämpfung der Schwall- und Sunkraten sowie des Maximalabflusses durch Retentions- und Verdünnungseffekte beobachtet. Aufgrund von seitlichen Zuflüssen nimmt der Minimalabfluss in der Regel im Längsverlauf zu [3]. In speziellen Fällen (z. B. Versickerungstrecken, größere Zuflüsse) können allerdings auch gegensätzliche Tendenzen hervorgerufen werden.

2.4 Saisonale Betrachtung

Grundsätzlich müssen für eine umfassende Beurteilung der Auswirkungen eines künstlichen Abflussregimes alle relevan-

ten ökologischen Prozesse berücksichtigt werden (s. Kap. 3). In vielen Fällen bedingt dies, dass die Effekte je Jahreszeit separat untersucht werden müssen [2], [3], [4]. Zum Beispiel sollte für alpine Gebirgsflüsse insbesondere die Situation im Winter detailliert untersucht werden. In dieser Jahreszeit treten hier zum einen die größten (absoluten und relativen) Unterschiede zum natürlichen Abflussregime auf. Zum anderen finden in dieser Zeit wichtige ökologische Prozesse, wie beispielsweise die Entwicklung des Fischlaichs (von Salmoniden) oder die Entwicklung vieler Makrozoobenthos Arten, statt. Eine weitere kritische Phase tritt beispielsweise im Frühjahr nach der Emergenz (Verlassen des Flussbetts) der noch schwimmschwachen Fischlarven auf. Je nach der gewässerökologischen Situation müssen in tiefer gelegenen Schwallstrecken andere kritische Prozesse berücksichtigt werden.

3 Gewässerökologische Auswirkungen von Schwall und Sunk

Die Entwicklung der gewässerökologischen Lebensgemeinschaft in einem bestimmten Flussabschnitt hängt neben dem Abflussregime u. a. auch von der Morphologie, der Wasserqualität, dem Geschiebehalt, dem Flusstyp sowie der longitudinalen, lateralen und vertikalen Vernetzung ab. Diese Überlagerung von Einflussfaktoren erschwert eine eindeutige Zuordnung von Ursache und Wirkung. Daher empfiehlt es sich, die verschiedenen Beeinträchtigungen, die durch Schwall und Sunk ausgelöst werden, genauer zu betrachten. Grundsätzlich kön-

nen direkte (i. d. R. kurzfristige) und indirekte (i. d. R. langfristige) Veränderungen unterschieden werden [5].

3.1 Direkte Auswirkungen

Bei geringen Korngrößen und sehr hohen Schwallabflüssen kann es zu periodisch auftretenden Sohlenbewegungen kommen. Dies führt zu einer starken Schädigung der in und auf der Gewässersohle lebenden Organismen, insbesondere von Wirbellosen, Fischeiern oder noch nicht emergierten Fischlarven.

Außerdem beeinträchtigt ein künstliches Abflussregime die natürliche Habitatverteilung und -verfügbarkeit. Die Kombination einer hydraulischen Modellierung mit den spezifischen Habitatansprüchen einer Art erlaubt eine Quantifizierung des verfügbaren Lebensraums [6], wobei gerade bei Fischen die verschiedenen Lebensstadien einzeln betrachtet werden sollten. Aufgrund ihrer Schwimmfähigkeit sind Fische bis zu einem gewissen Grad in der Lage, auf sich ändernde Pegelstände zu reagieren und sich in für sie besser geeignete Standorte zurückzuziehen. Weniger mobile Arten, wie beispielsweise viele Wirbellose, sind dagegen nicht in der Lage, ihren Standort entsprechend schnell zu wechseln. Je nach Morphologie und Sohlenbeschaffenheit kann eine stärkere Beeinträchtigung des Abflussregimes auch zum vollständigen Verschwinden bestimmter Habitattypen und somit zum Fehlen typischer Arten oder Entwicklungsstadien führen. In der Regel dürfte dabei die Empfindlichkeit einer bestimmten Art sowie die Dauer und Häufigkeit von hydrologischen Störungen über den Verbleib einer Art maßgebend sein. Für eine ökologische Beurteilung ist in jedem Fall auch hier wieder das unbeflussste Abflussregime als Referenz heranzuziehen.

Während die o. g. Beeinträchtigungen mit den extremen Abflusswerten (minimaler und maximaler Abfluss) beschrieben werden können, bewirken die unnatürlich schnellen Veränderungen im Abfluss weitere Störungen auf die aquatischen Organismen. Häufig sind mit dem kurzfristigen Einleiten von turbinierem Wasser eine erhöhte Trübung sowie eine Veränderung der Wassertemperatur verbunden. Dies kann u. a. zu einer verhaltensbedingten Verdriftung von Wasserwirbellosen führen [7]. In der Regel dürfte allerdings die abrupte Zunahme der hydraulischen Kräfte (z. B. Sohlenschub-

spannung, Froude-Zahl, Reynolds-Zahl) hauptsächlich für eine Erhöhung der Drift verantwortlich sein [5]. Zusätzlich zur schnellen Abflusszunahme können auch die hydraulischen Verhältnisse bei Maximalabfluss einen bedeutenden Einfluss auf die Anzahl verdrifteter Organismen haben. Neben Invertebraten können auch Fischlarven und juvenile Fische Gefahr laufen, abgeschwemmt zu werden. Auch ein zu schneller Rückgang des Abflusses kann zu einer Beeinträchtigung der aquatischen Fauna führen. In Abhängigkeit von Flussmorphologie, Korngrößenverteilung, Tages-/Nachtzeit und Pegelrückgangsrates besteht die Gefahr, dass insbesondere Jungfische und Wirbellose stranden [2]. Aktuell laufen im österreichischen Lunz Forschungsarbeiten in Versuchsrinnen, um sowohl den Verdriftungs- als auch den Strandungsprozess besser zu verstehen und genauer quantifizieren zu können [2]. Bis zu einem gewissen Grad lassen sich diese Prozesse mit einem dynamischen Habitatmodell quantitativ beschreiben [2], [4], [6].

3.2 Indirekte Auswirkungen

Die im Kapitel 3.1 beschriebenen Störungen treten in einer Schwallstrecke wiederkehrend auf und führen damit zu verschiedenen langfristigen Beeinträchtigungen der aquatischen Fauna [5]. Beispielsweise kann das regelmäßige Verdriften und Stranden von Wirbellosen deren Biomasse und Artenvielfalt reduzieren. Außerdem kann das künstliche Abflussregime auch eine Verschiebung der Häufigkeiten bestimmter Arten hervorrufen. Häufig führen die höheren Fließgeschwindigkeiten während der Schwallphasen dazu, dass auf Strömung empfindlich reagierende Arten verschwinden und strömungsliebende Arten dagegen tendenziell begünstigt werden („Rhithralisierung“). Hinsichtlich dieser indirekten Auswirkungen von Schwall und Sunk auf das Makrozoobenthos besteht allerdings noch ein großer Forschungsbedarf.

Neben den Wirbellosen kann auch die Fischfauna durch die künstlichen Pegelchwankungen beeinträchtigt werden. Die verschiedenen kurzfristigen Störungen

(s. Kap. 3.1) können die Biomasse reduzieren, die Altersstruktur verändern und auch zum Verschwinden von weniger toleranten Fischarten führen. Eine ganzheitliche Beurteilung der hydrologischen Störungen auf die Fischfauna ist jedoch nur möglich, wenn für jedes Entwicklungsstadium der Fische die auftretenden Beeinträchtigungen bekannt und möglichst gut abgeschätzt werden. Letztlich lassen sich damit die entscheidenden Störungen („Flaschenhals“) im natürlichen Lebenszyklus der Fische identifizieren und auf diese Weise die Stoßrichtung für eine effiziente ökologische Sanierung ableiten (Tabelle 2).

3.3 Beschreibung des Ist-Zustands und Vorhersage von künftigen Zuständen

Für die Beurteilung des Ist-Zustands können verschiedene biotische und abiotische Indikatoren herangezogen werden. Allerdings muss bei einer Beurteilung der gewässerökologischen Situation immer berücksichtigt werden, wie sensitiv ein Indi-

Tab. 2: Zusammenfassung der typischen Störungen von Schwall bzw. Sunk auf die verschiedenen Lebensstadien der Fischfauna sowie Vorschläge für eine ökologische Sanierung

Lebenszyklus	Typische durch Schwall bzw. Sunk hervorgerufene Störungen	Möglichkeiten zur Beurteilung	Stoßrichtung für ökologische Sanierung
Paarung	Durch das Abflussregime veränderte Korngrößenverteilung	Hydraulische Berechnung, ob entsprechende Korngrößen mit Schwall abgeschwemmt werden	Reduktion von Maximalabfluss, Geschiebedotierung und/oder Morphologische Aufwertungen
	Für Paarung geeignete Habitate (mind. 12 Stunden)	Habitatmodellierung	Reduktion von Maximalabfluss für bestimmte Zeitfenster
Entwicklung des Laichs	Trockenfallen der Laichgruben	Während Laichentwicklung: Begehung bei Minimalabfluss oder hydraulische Modellierung; Versuche mit befruchteten Eiern in Laichboxen, die in der Sohle vergraben werden	Erhöhung des Minimalabflusses während der Laichentwicklung
	Aufgrund von Schwallabfluss kommt es zu Sohlenbewegung	Hydraulische Modellierung zur Bestimmung des kritischen Abflusses für Sohlenbewegungen und/oder Einrichten von künstlichen Laichgruben mit farbigen Steinen	Reduktion von Maximalabfluss während der Laichentwicklung
Jungfische	Verdriftung	Dynamische Habitatmodellierung, hydraulische Parameter während Abflusszunahme und Maximalabfluss	Reduktion der Schwallrate und evtl. des Maximalabflusses
	Stranden	Pegelrückgangsrates in kritischen Zonen der Wasserwechselzone (Fischfallen)	Reduktion der Sunkrate in bestimmten Abflussbereichen
	Fehlen von geeigneten Habitaten und Unterständen	Habitatmodellierung	Erhöhung des Minimalabflusses und/oder Reduktion des Maximalabflusses und/oder morphologische Aufwertungen
	Reduziertes Nahrungsangebot	Bestimmung der Biomasse des Makrozoobenthos	Reduktion der Schwallrate und evtl. des Maximalabflusses
Adulte Fische	Fehlen von geeigneten Habitaten und Unterständen	Habitatmodellierung	Erhöhung des Minimalabflusses und/oder Reduktion des Maximalabflusses und/oder morphologische Aufwertungen
	Reduziertes Nahrungsangebot	Bestimmung der Biomasse des Makrozoobenthos	Reduktion der Schwallrate und evtl. des Maximalabflusses

kator auf die Auswirkungen von Schwall und Sunk reagiert [8]. Beispielsweise kann eine geringe Dichte von Jungfischen sowohl durch künstliche Pegelschwankungen als auch durch morphologische Defizite oder eine Kombination aus beiden Faktoren bedingt sein. In vielen Fällen ist eine klare Trennung der Einflüsse nicht eindeutig möglich. Daher sollte bei einer Beurteilung der durch Schwall und Sunk verursachten Beeinträchtigungen auch der Referenzzustand (natürliches Abflussregime) mit den verwendeten Indikatoren modellhaft abgeschätzt werden. Nur aus der Differenz (s. Kap. 2.2) der Bewertungen für die Zustände künstliches und natürliches Abflussregime lassen sich die effektiv durch Schwall bzw. Sunk verursachten Auswirkungen korrekt bestimmen. In einigen Fällen ist es möglich, bei der ökologischen Bewertung zusätzlich auf geeignete Referenzstrecken zurückzugreifen [3]. Grundsätzlich sollten Morphologie, natürliches Abflussregime und Wasserqualität von Referenz- und Schwallstrecke vergleichbar sein. Aufgrund der künstlich veränderten Wasserführung eignen sich Restwasserstrecken in der Regel nicht als Referenz.

In **Tabelle 3** sind die zwölf Indikatoren kurz zusammengefasst, die aktuell in der

Schweiz bei der Beurteilung des Ist-Zustands verwendet werden [8]. Basierend auf dieser Bewertung erfolgt die Beurteilung, ob ein Wasserkraftwerk die aquatische Lebensgemeinschaft wesentlich beeinträchtigt und in diesem Fall sanierungspflichtig ist (s. a. Kap. 5).

Nachdem für eine Schwallstrecke die Auswirkungen der künstlichen Pegelschwankungen beurteilt sind, stellt sich die Frage nach geeigneten Sanierungsmaßnahmen. Um verschiedene Optionen beurteilen und letztlich die geeignetsten Maßnahmen auswählen zu können, muss die ökologische Verbesserung je Maßnahme vorhergesagt werden. Der gutachterliche Blick in die Zukunft führt zwangsläufig dazu, dass Komplexität und Unsicherheit hinsichtlich der Beurteilung zunehmen.

3.4 Betrachtung der Unsicherheiten

Grundsätzlich bestehen noch verschiedenste Wissenslücken, um sämtliche Auswirkungen von Schwall und Sunk auf die aquatischen Organismen quantitativ zu beschreiben [2], [5].

Für die Beurteilung der unmittelbaren Auswirkungen (s. Kap. 3.1) laufen aktuell in Österreich verschiedene Forschungsprojekte [2], [9]. Allerdings fehlen bei die-

sen Arbeiten größtenteils noch Untersuchungen in natürlichen Gewässern, so dass es noch den Übertrag von Laborbedingungen auf effektive Verhältnisse in Schwallstrecken bedarf.

Bei der Beurteilung von langfristigen Auswirkungen (s. Kap. 3.2) dürfte die Unsicherheit noch grösser ausfallen. Auch bei mehrjährigen Datenreihen ist es häufig nicht möglich, die verschiedenen Einflüsse von Abflussregime, Morphologie, Wasserqualität, Geschiebehaushalt und Vernetzung eindeutig zu bestimmen. In solchen Situationen muss aktuell zwangsläufig auf die Einschätzung von Experten zurückgegriffen werden.

3.5 Effektives Vorgehen für die Entwicklung von Sanierungsmaßnahmen

Basierend auf der Beurteilung der effektiv durch Schwall bzw. Sunk verursachten Beeinträchtigungen sollte die Stoßrichtung für Sanierungsmaßnahmen ermittelt werden (Tabelle 2). Aufgrund der meist sehr hohen Investitionen sollte vor der Auswahl und Umsetzung einer Sanierungsmaßnahme die zu erwartenden gewässerökologische Verbesserungen möglichst gut abgeschätzt werden. Auch wenn hierbei die Unsicherheiten hinsichtlich der Reaktion der aquatischen Organismen auf eine Sanierungsmaßnahme relativ groß sein können [10]. Nicht zuletzt muss darauf hingewiesen werden, dass u. a. auch hinsichtlich künftigen Betriebsregime, Klimaänderung und zukünftiger Morphologie i. d. R. diverse Annahmen getroffen werden müssen.

4 Technische Sanierungsmöglichkeiten

In Kapitel 3 ist schon mehrfach auf Sanierungsmaßnahmen hingewiesen worden. Grundsätzlich lassen sich bauliche und betriebliche Maßnahmen unterscheiden, wobei in bestimmten Fällen auch eine Kombination aus diesen Maßnahmentypen zielführend sein kann. **Tabelle 4** gibt einen groben Überblick über die verschiedenen Maßnahmentypen sowie über deren hydrologische Wirkung.

In morphologisch stark beeinträchtigten Schwallstrecken wird eine hydrologische Sanierung häufig nur zu einer geringen ökologischen Verbesserung führen. Deshalb sollten parallel zur Sanierung von Schwall und Sunk auch morphologische

Tabelle 3: Beurteilung der 12 Indikatoren der Schweizerischen Vollzugshilfe für die Sanierung von Schwall und Sunk [8] hinsichtlich Sensitivität zu den Auswirkungen von Schwall und Sunk sowie Möglichkeiten der Vorhersage von künftigen Zuständen (? = Sensitivität des Indikators nicht eindeutig, (+) = Indikator ist nicht nur hinsichtlich Abflussregime sensitiv, + = Indikator ist vor allem sensitiv hinsichtlich Abflussregime, M = Modellierbar für künftige Zustände, E = Experteneinschätzung für künftige Zustände nötig)

Indikator	Sensitivität hinsichtlich den Auswirkungen von Schwall und Sunk	Möglichkeit zur Vorhersage von künftigen Zuständen
Innere Kolmation	?	M
Mindestabfluss	(+)	M
Wassertemperatur	+	M
Biomasse Makrozoobenthos	(+)	E
Modulstufenkonzept Makrozoobenthos	(+)	E
Längenzonation Makrozoobenthos	(+)	E
Eintags-, Stein-, Köcherfliegenlarven	(+)	E
Modulstufenkonzept Fische	(+)	E
Stranden von Fischen	+	M
Laichareale der Fische	+	M
Reproduktion der Fischfauna	(+)	E
Fischereiliche Produktivität	(+)	E

Tabelle 4: Übersicht über mögliche Maßnahmentypen zur Sanierung von Schwall und Sunk

Maßnahmentyp	Hydrologische / ökologische Wirkung	Bemerkungen
Direktableitung des Schwalls in einen See oder in ein größeres Fließgewässer	Reduktion von Q_{max} , ΔQ_{max} , ΔQ_{min} sowie der Volatilität im Abfluss	Schwallstrecke wird zur Restwasserstrecke
Ableitung des Schwalls in einem Stollen oder Kanal in ein unterliegendes Kraftwerk	Reduktion von Q_{max} , ΔQ_{max} , ΔQ_{min} sowie der Volatilität im Abfluss	Schwallstrecke wird zur Restwasserstrecke, Schwallproblematik an unterliegendem Kraftwerk bleibt bestehen
Bau von größeren Rückhaltevolumen (Becken und/oder Kavernen)	Reduktion von ΔQ_{max} , ΔQ_{min} sowie der Volatilität im Abfluss	Häufig sind eine Reduktion des Q_{max} und eine Erhöhung des Q_{min} nur für kurze Zeiträume möglich. Häufig mit großem Landbedarf verbunden.
Betriebliche Einschränkungen	Je nach Maßnahme: Erhöhung Q_{min} , Reduktion Q_{max} , Dämpfung von ΔQ_{max} und/oder ΔQ_{min}	Betriebliche Einschränkungen reduzieren die Flexibilität und die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerksbetriebs.
Antizyklisches Turbinieren hintereinander gelegener Kraftwerksstufen	Je nach Maßnahme: Erhöhung Q_{min} , Reduktion Q_{max} , Dämpfung von ΔQ_{max} und/oder ΔQ_{min}	I. d. R. nur mit betrieblichen Einschränkungen möglich. Bei verschiedenen Eigentümern muss der Betrieb vertraglich geregelt werden.

Aufwertungsmöglichkeiten miteinbezogen werden [2], [3], [9]. Insbesondere mit Habitatmodellen [6] und physikalischen Modellversuchen [11] können künftige Situationen effizient simuliert werden.

5 Aktueller Stand von Schwall- und Sunk-Sanierungen

In den Ländern der Europäischen Union wird im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie ein guter ökologischer Zustand der Gewässer gefordert. Dabei obliegt es jedem Land, die Art und Weise, wie dieses Ziel zu erreichen ist, festzulegen. Innerhalb dieses gesetzlichen Rahmens können Schwallanierungen gefordert und umgesetzt werden. Holzapfel et al. [4] beschrei-

ben beispielsweise für Österreich eine Habitatmodellierung zur integrativen Bewertung von Schwall und Sunk.

In der Schweiz wird die Einhaltung gewässerökologischer Aspekte im Rahmen des Schweizerischen Gewässerschutzgesetzes (GSchG) geregelt. Im Jahr 2011 wurden das GSchG und die dazugehörige Verordnung revidiert, wobei darin insbesondere auch die Sanierung von Schwall und Sunk detailliert gesetzlich geregelt wird.

In einer ersten Phase überprüften die Kantone bis 2014, welche Wasserkraftanlagen infolge eines Schwallbetriebs tatsächlich eine wesentliche Beeinträchtigung der Fließgewässerökologie verursachen und im Sinne des Gesetzes sanierungspflichtig sind. Dafür wurde


vom Bundesamt für Umwelt eine Bewertungsmethode mit insgesamt 12 Indikatoren (Tabelle 3) zur Verfügung gestellt [8].

In einem zweiten Schritt müssen die sanierungspflichtigen Kraftwerke mehrere Sanierungsvarianten ausarbeiten. Das Gesetz fordert ausschließlich bauliche Maßnahmen, wobei auf Anfrage des Kraftwerksinhabers auch betriebliche Maßnahmen möglich sind. Aktuell wird eine neue Bewertungsmethode im Auftrag des Bundesamts für Umwelt entwickelt, die es erlaubt, die ökologische Wirkung auch für künftige Zustände einheitlich abzuschätzen (Veröffentlichung für Sommer oder Herbst 2015 vorgesehen). Sobald der Kraftwerksinhaber mehrere Sanierungsvarianten ausgearbeitet hat, entscheidet der zuständige Kanton gemeinsam mit

ANZEIGE

springer-vieweg.de


Vermittelt einen Produktionsintegrierten Umweltschutz



Rolf Stiefel
Abwasserrecycling und Regenwassernutzung
 Wertstoff- und Energierückgewinnung in der betrieblichen Wasserwirtschaft
 2013. ca. 250 S. Geb. EUR (D) 39,99 EUR (A) 41,11 *(sFr) 50,00
 978-3-658-01039-3

Darstellung der sich verschärfenden Anforderung hinsichtlich Wassergewinnung, höhere Anforderung bei der Abwassereinleitung sowie der Preisdruck bei Energie- und Rohstoffen. Lösungsmöglichkeiten für Industriebetriebe durch wassersparende Produktion, Abwasserrecycling, Rohstoffrückgewinnung, Regenwassernutzung und Energieeinsparung.

© (D) sind gebundene Ladenpreise in Deutschland und enthalten 7% MwSt. © (A) sind gebundene Ladenpreise in Österreich und enthalten 10% MwSt. Die mit * gekennzeichneten Preise sind unverbindliche Preisempfehlungen und enthalten die landesübliche MwSt. Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.



Einfach bestellen: SpringerDE-service@springer.com
 Telefon +49 (0)6221 / 3 45 - 4301

Änderungen vorbehalten. Erhältlich im Buchhandel oder beim Verlag. Innerhalb Deutschlands liefern wir versandkostenfrei.

dem Bundesamt für Umwelt, welche der Sanierungsmaßnahmen umgesetzt werden muss. Wenn das betroffene Kraftwerk diese Maßnahmen bis 2030 umsetzt, werden die Kosten für Planung, Umsetzung und Wirkungskontrolle dem Inhaber zurückerstattet. Im Gesetz wird außerdem auf die Verhältnismäßigkeit von Kosten und ökologischer Wirkung verwiesen. Dies kann dazu führen, dass in bestimmten Fällen keine Sanierung oder eine kostengünstigere Variante mit einer geringeren ökologischen Wirkung verfügt wird. Die Finanzierung aller Sanierungsmaßnahmen erfolgt durch die Schweizerischen Stromkonsumenten, die bis ins Jahr 2030 je kWh eine Abgabe von 0,1 Rappen bezahlen.

Nach der Umsetzung der Maßnahmen wird im Rahmen einer Wirkungskontrolle überprüft, ob die Sanierungsziele erreicht oder Nachbesserungen notwendig sind. Dies kann dazu führen, dass auch nach der Umsetzung einer Sanierungsvariante weitergehende Maßnahmen umzusetzen sind.

Aktuell wird die erste Schwallsanierung in der Schweiz an der Hasliaare im Berner Oberland umgesetzt. Dieses Fallbeispiel ist in verschiedenen Publikationen detailliert beschrieben [3], [12].

3 Danksagung

Die in dieser Publikation beschriebenen Arbeiten basieren zu einem großen Teil auf den Vorarbeiten, Untersuchungen, Erfahrungen und dem einmaligen Wissen von Peter Baumann.

Autoren

Dr. Steffen Schweizer

Kraftwerke Oberhasli AG
Grimselstrasse 19
3862 Innertkirchen, Schweiz
steffen.schweizer@kwo.ch

Dr. Diego Tonolla

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
3003 Bern, Schweiz
diego.tonolla@bafu.admin.ch

Stefan Vollenweider

Wasser-Agenda 21
Überlandstrasse 133
8600 Dübendorf, Schweiz
stefan.vollenweider@wa21.ch

Dr. Andreas Bruder

University of Otago
Department of Zoology
PO Box 56
9054 Dunedin, Neuseeland
andreas.bruder@otago.ac.nz

Literatur

- [1] Bruder, A.; Schweizer, S.; Vollenweider, S.; Tonolla, D.; Meile, T.: Schwall und Sunk: Auswirkungen auf die Gewässerökologie und mögliche Sanierungsmaßnahmen. In: Wasser Energie Luft (2012), Nr. 4, S. 257-264.
- [2] Schmutz, S.; Bakken, T. H.; Friedrich, T.; Greimel, F.; Harby, A.; Jungwirth, M.; Melcher, A.; Unfer, G.; Zeiringer, B.: Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropeaking rivers of Austria. In: River Research and Applications (2014).
- [3] Schweizer, S.; Schmidlin, S.; Tonolla, D.; Büsser, P.; Maire, A.; Meyer, M.; Monney, J.; Schläppi, S.; Schneider, M.; Theiler, Q.; Tuhtan, J.; Wächter, K.: Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. In: Wasser Energie Luft (2013), Nr. 4, S. 277-287.
- [4] Holzapfel, P.; Wagner, B.; Zeiringer, B.; Graf, W.; Leitner, P.; Habersack, H.; Hauer, C.: Anwendung der Habitatmodellierung zur integrativen Bewertung von Schwall und Restwasser im Bereich der Wasserkraftnutzung. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 66 (2014), S. 179-189.
- [5] Schweizer, S.; Neuner, J.; Heuberger, N.: Bewertung von Schwall/Sunk – Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzepts. In: Wasser Energie Luft (2009), Nr. 3, S. 194-202.
- [6] Schneider, M.: Abbildung der Auswirkungen von Schwall und Sunk mit dem Habitatmodell CASiMiR. In: Tagungsband des „6. Expertentags Schwall und Sunk“ in Lunz (Österreich), Verein für Ökologie und Umweltforschung, 2014.
- [7] Carolli, M.; Bruno, M. C.; Siviglia, A.; Maiolini, B.: Responses of benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. In: River Research and Applications 28 (2012), Nr. 6, S. 678-691.
- [8] Baumann, P.; Kirchhofer, A.; Schälchli, U.: Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. In: Bundesamt für Umwelt (Hrsg.): Umwelt-Vollzug (2012), Nr. 1 203.
- [9] Hauer, C.; Unfer, G.; Graf, W.; Holzapfel, P.; Leitner, P.; Habersack, H.: Grundlagenuntersuchungen und Methodikentwicklung zur Bewertung des Wasserkraft-Schwalls bei unterschiedlichen Flusstypen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 65 (2013), S. 324-338.
- [10] Bruder, A.; Vollenweider, S.; Schweizer, S.; Tonolla, D.; Meile T.: Schwall und Sunk: Planung und Bewertung von Sanierungsmaßnahmen – Möglichkeiten und Empfehlungen aus wissenschaftlicher Sicht. In: Wasser Energie Luft (2012), Nr. 4, S. 265-273.
- [11] Speerli, J.; Schneider, L.: Schlussbericht Modellversuche OptiFlux – Strukturverbesserungen in Talflüssen. Fachhochschule Rapperswil. Bericht im Auftrag des Fischereinspektorats des Kantons Bern, 2014.
- [12] Schweizer, S. et al.: Erste Schwallsanierung der Schweiz – Fallbeispiel Hasliaare. In: Wasserwirtschaft 105 (2015).

Steffen Schweizer, Diego Tonolla, Andreas Bruder and Stefan Vollenweider

Hydropeaking – a Summary

This article attempts to summarise the state of the art with respect to the subject hydropeaking. The artificial alteration of the discharge regime causes short- and long-term impacts on the aquatic community in hydropeaking reaches. The application of several indicators allows an estimation of these impacts and a scientific based derivation of appropriate measures. Finally, the actual situation in Switzerland with respect to this topic is described.

Штеффен Швайцер, Диего Тонолла, Андреас Брудер и Штефан Фолленвайдер

Подъем и спад воды – краткий обзор

В данной статье сделана попытка обобщить актуальные знания о воздействии подъема и спада воды на водное сообщество. Искусственные колебания воды являются причиной кратковременного и долгосрочного воздействия на экологию проточных вод. На базе индикаторов есть возможность в определенной степени оценить данные воздействия и провести эффективные санирующие мероприятия. В завершении кратко описывается состояние санирования в Швейцарии, проводимого в связи с последствиями подъема-спада воды.