

# Geschiebe- und Habitatsdynamik

Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

# Geschiebe- und Habitatsdynamik

Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie

---

# Abstracts

This publication expands on the factsheet entitled “Hydraulic engineering and ecology”, which was published in 2012 (FOEN 2012). It summarises the most important practical findings from the research project entitled “Bed load and habitat dynamics” 2013 – 2017. The topics and content were compiled in an interdisciplinary and interactive process within the framework of various sub-projects. Researchers and experts from various areas of the federal administration and associations participated in this process. The factsheets provide readers with information on the current status of research and its application and indicate further literature.

Die vorliegende Publikation ist eine Fortsetzung der Merkblatt-Sammlung «Wasserbau und Ökologie», die im Jahr 2012 erschienen ist (BAFU 2012). Sie fasst die wichtigsten praxisrelevanten Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» 2013 – 2017 zusammen. Die Themen und Inhalte wurden in einem interdisziplinären und interaktiven Prozess im Rahmen von verschiedenen Teilprojekten erarbeitet. An diesem Prozess beteiligten sich Forschende sowie Fachleute verschiedener Bereiche aus Verwaltung und Interessensverbänden. Die Merkblätter informieren die Leserinnen und Leser über den aktuellen Stand der Forschung sowie deren Anwendung und dienen als Wegweiser zu weiterführender Literatur.

La présente publication fait suite au *Recueil de fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau*, paru en 2012 (OFEV 2012). Elle résume les principaux résultats utiles pour la pratique qui proviennent du projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats», réalisé entre 2013 et 2017. Les sujets traités et les contenus ont fait l'objet d'un processus interdisciplinaire et interactif dans le cadre de divers projets partiels, auxquels ont pris part des scientifiques et des spécialistes de différents domaines issus de l'administration et d'associations professionnelles. Les lecteurs trouveront dans ces fiches les connaissances les plus récentes et des informations sur leur application ainsi que des renvois vers des ouvrages spécialisés.

La presente pubblicazione è una continuazione della raccolta «Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua», edita nel 2012 dall'UFAM. Riassume i risultati di maggior rilievo per la pratica del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» 2013 – 2017. I temi e i contenuti sono stati elaborati nell'ambito di un processo interdisciplinare e interattivo nel quadro di diversi progetti parziali. Al processo hanno partecipato anche ricercatori ed esperti di vari settori amministrativi e di associazioni portatrici d'interesse. Le schede informano le lettrici e i lettori sullo stato attuale della ricerca dal punto di vista delle sue applicazioni e sono completate da una bibliografia a carattere orientativo per un eventuale approfondimento.

**Keywords:**

*bed load, sediment, habitat, dynamics, reactivation, wetlands, biodiversity, networking, watercourses, discharges, erosion*

**Stichwörter:**

*Geschiebe, Sediment, Habitat, Dynamik, Reaktivierung, Auen, Biodiversität, Vernetzung, Fliessgewässer, Schüttungen, Erosion*

**Mots-clés :**

*charriage, sédiment, habitat, dynamique, réactivation, zones alluviales, biodiversité, connectivité, cours d'eau, recharge sédimentaire, érosion*

**Parole chiave:**

*materiale solido di fondo, sedimenti, habitat, dinamica, riattivazione, golene, biodiversità, connettività, corsi d'acqua, riporti di materiale, erosione*

---

# Vorwort

Sediment- und Abflussdynamik bestimmen die Morphologie von Fliessgewässern sowie ihre ökologische Funktionsfähigkeit. In der Schweiz ist die Sedimentdynamik vieler Fliessgewässer stark beeinträchtigt. Der Mensch hat die Sedimentdynamik durch Stauanlagen, Verbauungen und Begradigung stark verändert – mit zahlreichen ökologischen Folgen. So führen etwa viele der grossen Mittellandflüsse kaum noch Geschiebe. Andererseits gibt es Fliessgewässer, welche einen Überschuss an Sedimenten aufweisen.

Die Bedeutung der Sedimente für die Funktionsfähigkeit von Fliessgewässern ist in der Öffentlichkeit kaum bekannt. Sedimente werden oft erst dann bewusst wahrgenommen, wenn sie bei Hochwasser oder Murgängen aus dem Flussbett austreten und zu einer Gefahr für Menschen, Siedlungen oder Infrastrukturanlagen werden. Dabei sind Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Geröll, Kies und Sand prägend für die Morphologie natürlicher Fliessgewässer.

Sedimente tragen zur Entstehung neuer Lebensräume für spezialisierte Organismen wie Pionierpflanzen bei und fördern die Biodiversität in und an Fliessgewässern. Eine naturnahe Sediment- und Abflussdynamik ist generell eine Voraussetzung für ökologisch wertvolle, funktionsfähige Fliessgewässer. Die Reaktivierung der Abfluss- und Sedimentdynamik und somit der ökologischen Funktionen ist eine Voraussetzung für erfolgreiche Gewässerrenaturierungen und ein wichtiges Ziel des Wasserbaugesetzes und des revidierten Gewässerschutzgesetzes.

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» hat den menschlichen Einfluss auf die Sedimentdynamik in Fliessgewässern erforscht sowie Massnahmen untersucht und weiterentwickelt, mit denen sie sich reaktivieren lässt. Die wichtigsten praxisrelevanten Resultate werden in der vorliegenden Merkblatt-Sammlung vorgestellt. Die Merkblätter informieren über den aktuellen Stand der Forschung und gewährleisten den zeitnahen Wissenstransfer der jüngsten Erkenntnisse und Entwicklungen in die Praxis.

Paul Steffen  
Vizedirektor  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

# Sediment- und Habitatsdynamik in Fließgewässern

*Sediment- und Abflussdynamik bestimmen die Morphologie von Fließgewässern sowie ihre ökologische Funktionsfähigkeit. In der Schweiz ist die Sedimentdynamik vieler Fließgewässer stark beeinträchtigt.*

*Die Reaktivierung der ökologischen Funktionen sowie der Abfluss- und Sedimentdynamik ist eine Voraussetzung für erfolgreiche Gewässerrenaturierungen und ein wichtiges Ziel des revidierten Gewässerschutzgesetzes. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» hat den menschlichen Einfluss auf die Sedimentdynamik in Fließgewässern erforscht sowie Massnahmen untersucht und weiterentwickelt, mit denen sie sich reaktivieren lässt. Die wichtigsten praxisrelevanten Resultate werden in der vorliegenden Merkblatt-Sammlung vorgestellt.*

**M. Di Giulio, M. J. Franca, Ch. Scheidegger, A. Schleiss, D. Vetsch, Ch. Weber**

Die Morphologie natürlicher Fließgewässer wird stark von der Sedimentdynamik geprägt, also von Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Geröll, Kies und Sand. Sedimente tragen zur Entstehung neuer Lebensräume für spezialisierte Organismen wie Pionierpflanzen bei und fördern die Biodiversität in und an Fließgewässern (Abb. 2). Der Mensch hat die Sedimentdynamik durch Stauanlagen, Verbauungen und Begradigung stark verändert – mit zahlreichen ökologischen Folgen (Abb. 1).

Die Bedeutung der Sedimente für die Funktionsfähigkeit von Fließgewässern ist in der Öffentlichkeit kaum bekannt. Sedimente werden oft erst dann bewusst wahrgenommen, wenn sie bei Hochwasser oder Murgängen aus dem Flussbett austreten und zu einer Gefahr für Menschen, Siedlungen oder Infrastrukturanlagen werden. (Fortsetzung auf Seite 8)

## **Forschungsprogramm «Wasserbau und Ökologie»**

Vor fünfzehn Jahren lancierte das Bundesamt für Umwelt BAFU gemeinsam mit den Forschungsinstitutionen VAW (ETH Zürich), LCH (EPF Lausanne), Eawag und WSL das Forschungsprogramm «Wasserbau und Ökologie». Ziel des Programms ist es, wissenschaftliche Grundlagen zur Beantwortung aktueller Praxisfragen zu erarbeiten und umsetzungsgerecht aufzuarbeiten. Am Programm beteiligen sich Forschende aus verschiedenen Disziplinen sowie Fachleute aus der Praxis. Die Resultate sollen einen Beitrag leisten zur Umsetzung des Wasserbau- und Gewässerschutzgesetzes und stehen den Praktikerinnen und Praktikern in Form von Handbüchern, Fachartikeln oder Merkblättern zur Verfügung.

Das Projekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» ist nach «Rhone-Thur» und «Integrales Flussgebietsmanagement» das dritte Forschungsprojekt des Programms «Wasserbau und Ökologie». Es umfasst zwei

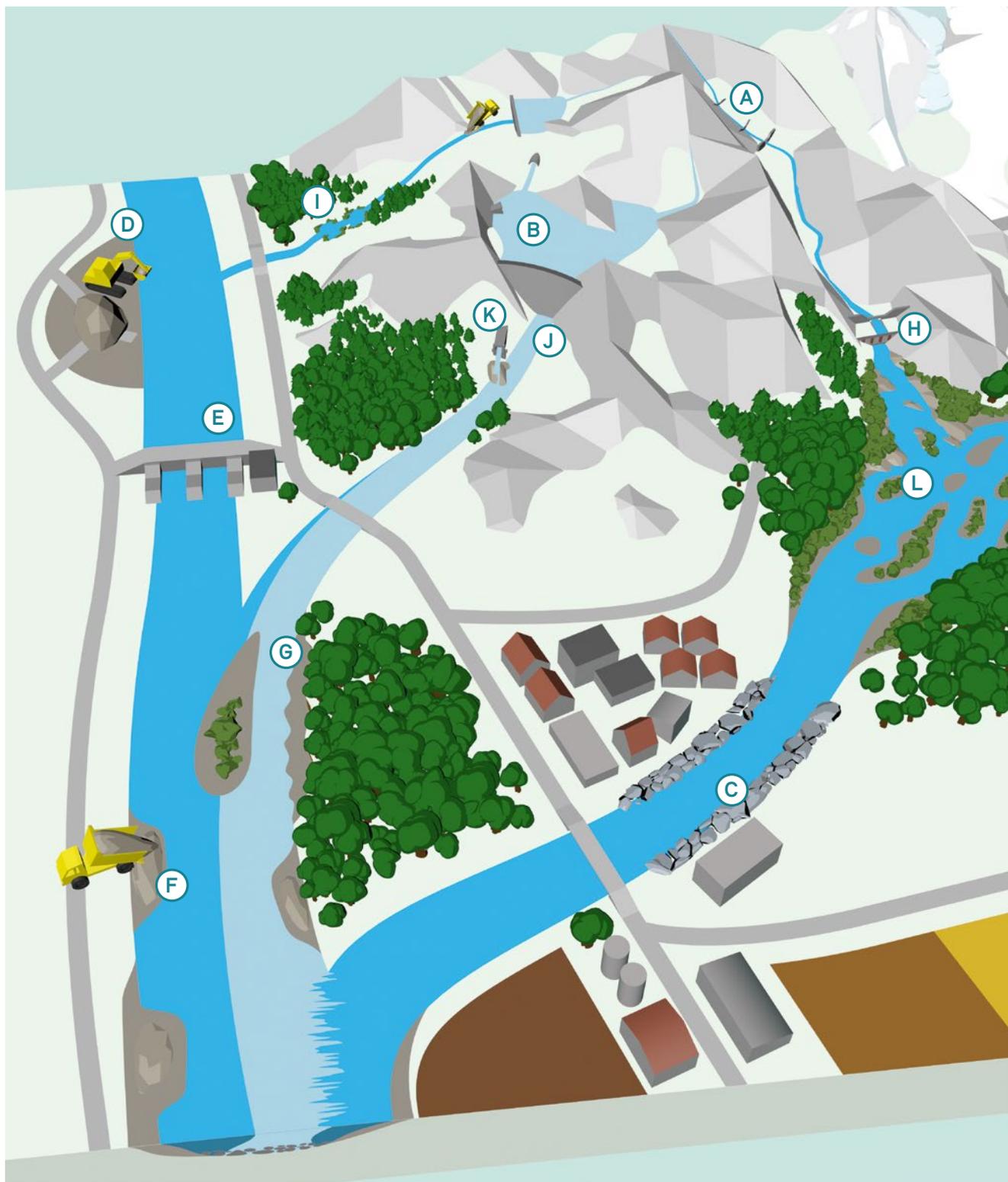
Forschungsschwerpunkte: 1) Geschiebeaktivierung und Gewässerdynamisierung sowie 2) Revitalisierung von Auenlandschaften. Eine detaillierte Beschreibung des Forschungsprojekts mit seinen Schwerpunkten, Teilprojekten und Forschungsfragen geben Schleiss et al. (2014) und Scheidegger et al. (2014).

Wichtige bisherige Praxis-Produkte des Forschungsprogramms sind:

- Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen (Woolsey et al. 2005)
- Integrales Gewässermanagement – Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt (Rohde 2005)
- Synthesebericht Schwall/Sunk (Meile et al. 2005)
- Wasserbauprojekte Gemeinsam Planen. Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten (Hostmann et al. 2005)
- Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Erkenntnisse aus dem Projekt Integrales Flussgebietsmanagement (BAFU 2012).

Abbildung 1

Modell eines Fließgewässernetzwerks mit menschlichen Eingriffen in die Sedimentdynamik sowie Massnahmen zur Reaktivierung der Dynamik (Tab. 1), die in der vorliegenden Merkblatt-Sammlung behandelt werden.



**Tabelle 1**

Erläuterungen zu Abbildung 1: Ursachen einer beeinträchtigten Sedimentdynamik und Massnahmen zur Reaktivierung der Dynamik.

Die Tabelle führt Beispiele für ökologische Folgen auf und verweist auf die entsprechenden Merkblätter (MB) der vorliegenden Sammlung.

	Ursachen	Ökologische Folgen (Bsp.)	MB Nr.
A	Im oberen Bereich des Einzugsgebiets werden Wildbachsperrn eingesetzt, um Sohle und Ufer zu stabilisieren. Sie verringern die Erosion und damit den Eintrag von Geschiebe.	Flussabwärts entsteht ein Defizit an Geschiebe, welches die Lebensraumvielfalt im und am Fließgewässer verringert.	4
B	Stauseen unterbrechen den Sedimenttransport nahezu vollständig: Die Fließgeschwindigkeit nimmt ab, die Sedimente werden abgelagert und zurückgehalten.	Mit dem Sediment sinken Pflanzensamen im Staubereich auf den Grund und verlieren ihre Keimfähigkeit. Ihre Verbreitung wird unterbrochen.	6
C	Begradigungen und Uferverbau erhöhen die Transportkapazität von Sedimenten und unterbinden den seitlichen Eintrag durch Ufererosion.	Uferverbau vermindert die Entstehung von strukturreichen und dynamischen Lebensräumen an den Ufern.	1, 3
D	Bei geringer Geschiebefracht können Kiesentnahmen zu einem Defizit an Geschiebe führen.	Ein Geschiebedefizit kann eine Eintiefung der Sohle bewirken. Dadurch sinkt der Grundwasserspiegel, und Auen werden von der Flusssdynamik abgekoppelt.	1, 5
E	Im Staubereich von Flusskraftwerken werden Sedimente abgelagert. Je nach Betriebsweise des Kraftwerks kann dies flussabwärts zu einem Sedimentdefizit führen.	Unterhalb von Flusskraftwerken fehlt es an geeignetem Sediment für die Laichplätze von kieslaichenden Fischen wie der Äsche.	1
	Massnahmen	Ökologische Folgen (Bsp.)	MB Nr.
F	Durch Kiesschüttungen wird Sediment zugeführt. Kiesschüttungen werden bei einem Geschiebedefizit in Mittellandflüssen wie auch an Gebirgsflüssen unterhalb von Stauanlagen durchgeführt.	Geschiebeschüttungen versorgen aquatische und terrestrische Lebensräume mit Geschiebe.	7
G	Der Uferverbau wird entfernt und die Ufererosion durch Kiesschüttungen oder Bühnen gefördert. Solch induzierte Ufererosion erhöht den Eintrag von Sedimenten.	Dank Ufererosion entstehen Lebensräume wie Brutwände für Eisvögel oder Uferschwalben.	7
H	Durchgängige Geschiebesammler lassen kleine und mittlere Hochwasser mitsamt Geschiebe passieren und halten nur grosse Ereignisse zurück, die Siedlungen und Infrastrukturanlagen gefährden.	Im Unterlauf wird die Geschiebedynamik reaktiviert und das Entstehen eines dynamischen Habitatmosaiks ermöglicht.	4
I	Das Einrichten von Uferbuchten beeinflusst die Ablagerung von Feinsedimenten; dies zeigen Laborexperimente.	Eine Ablagerung von Feinsedimenten kann die Lebensraumvielfalt an Fließgewässern erhöhen.	3
J	Regelmässige künstliche Hochwasser kombiniert mit Kiesschüttungen können die Sedimentdynamik flussabwärts reaktivieren.	Künstliche Hochwasser können Feinsedimente aus der Sohle ausspülen und die Fortpflanzung kieslaichender Fischarten wie der Forelle verbessern.	3, 6, 7
K	Umleitstollen leiten Sedimente um Stauhaltungen und ermöglichen damit die Geschiebedurchgängigkeit.	Eine reaktivierte Geschiebedurchgängigkeit verbessert die Ausbreitung von Samen und Pflanzenteilen. Im Unterlauf wird die Geschiebedynamik reaktiviert und das Entstehen eines dynamischen Habitatmosaiks ermöglicht.	6
L	Eine naturnahe Sedimentdynamik stärkt die Vernetzung von Lebensräumen und fördert die Biodiversität in Auen.	Durch eine naturnahe Sedimentdynamik entstehen Kiesbänke als Lebensraum für Pionierarten.	5

**Abbildung 2**

Die Kander im Gasterntal (BE) wird von einer naturnahen Sediment- und Abflusssdynamik geprägt.



Foto: Vinzenz Maurer

**Abbildung 3**

Grafenort (OW) wurde im August 2005 überschwemmt, weil die Engelberger Aa über die Ufer trat.



Foto: Schweizer Luftwaffe

(Fortsetzung von Seite 5)

Im Jahr 2005 etwa mobilisierten Starkniederschläge vielerorts grosse Mengen an Sedimenten und führten gebietsweise zu Damnbrüchen, grossflächigen Überschwemmungen und Geschiebeablagerungen. Zum Beispiel bei der Engelberger Aa im Kanton Obwalden, wo rund 170 000 m<sup>3</sup> Sediment aus dem oberen Einzugsgebiet in die Ebene von Grafenort verfrachtet wurde und erhebliche Schäden verursachte (Abb. 3). Unter anderem wurde die Kantonsstrasse nach Engelberg teilweise mitgerissen, was einen Schaden von über 10 Mio. Franken anrichtete (BAFU 2007).

Viele der mit Sedimenten verbundenen Prozesse sind äusserst komplex. Beispielsweise bleiben Sedimente häufig für mehr als ein Jahr lang auf Böschung, Sohle oder Auen liegen, bevor sie wieder mobilisiert und flussabwärts transportiert werden. Deshalb können Jahrzehnte vergehen bis sie in einen See oder ein Meer gelangen und dort abgelagert werden. In ausgedehnten Flusssystemen wie dem Amazonas verstreichen sogar bis zu 10 000 Jahre bis Sedimente von der Quelle bis ins Meer gelangen (Wohl et al. 2015).

## Sedimentdynamik reaktivieren

In zahlreichen Schweizer Fließgewässern ist die Sedimentdynamik stark beeinträchtigt (Abb. 1, Tab. 1). So führen etwa viele der grossen Mittellandflüsse kaum noch Geschiebe. Als Geschiebe wird der grobe Teil des Sediments bezeichnet, der in Kontakt zur Flusssohle rollend oder hüpfend transportiert wird. Wichtige Gründe für das Geschiebedefizit sind Wildbachsperrern oder Uferverbau zum Schutz vor Erosion sowie Geschiebesammler in Wildbächen, die grosse Mengen an Geschiebe zurückhalten. Des Weiteren unterbrechen Wasserkraftwerke den Geschiebetransport, da das Geschiebe in der Stauhaltung liegen bleibt. Andererseits gibt es Fließgewässer, welche einen Überschuss an Sedimenten aufweisen (Schälchli et al. 2005), zum Beispiel weil Feinsedimente aus landwirtschaftlichen Flächen abgeschwemmt werden. Feinsedimente werden in der Wassersäule schwebend transportiert.

Eine naturnahe Sediment- und Abflusssdynamik ist eine Voraussetzung für ökologisch wertvolle, funktionsfähige Fließgewässer. Ihre Wiederherstellung ist deshalb ein wichtiges Ziel des revidierten Gewässerschutzgesetzes (vgl. Kap. Das revidierte Gewässerschutzgesetz: ein politischer Auftrag). Sie kann sowohl mit betrieblichen als auch mit baulichen Massnahmen oder beiden zusammen erreicht werden. Bauliche Massnahmen werden in der

Regel einmalig ausgeführt, betriebliche Massnahmen sind wiederkehrend. Die Vollzugshilfe «Sanierung Geschiebehaushalt – Strategische Planung» des Bundesamts für Umwelt BAFU (Schälchli und Kirchhofer 2012) gibt einen ausführlichen Überblick über geeignete Massnahmen bei verschiedenen Anlagen. Einige dieser Massnahmen und ihre wasserbaulichen und ökologischen Folgen (Abb.1, Tab.1) wurden im Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» (vgl. Box S.5) untersucht.

### **Das revidierte Gewässerschutzgesetz: ein politischer Auftrag**

Im Jahr 2011 trat das revidierte Gewässerschutzgesetz in Kraft. Das Gesetz hat zum Ziel, Fliessgewässer als naturnahe Lebensräume aufzuwerten und ihre natürlichen Funktionen wieder herzustellen. In der Folge wurde ein schweizweites Renaturierungsprogramm gestartet. Dieses umfasst die Revitalisierung von 4000 Kilometer Gewässer bis ins Jahr 2090 sowie die Sanierung der negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung bis ins Jahr 2030 (v. a. Schwall-Sunk, Geschiebe, Fischgängigkeit). Des Weiteren soll bis Ende 2018 ein ausreichender Gewässerraum entlang des gesamten Gewässernetzes ausgedehnt werden.

Für die Umsetzung des Renaturierungsprogramms hat das Bundesamt für Umwelt BAFU eine modular aufgebaute Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» entwickelt (BAFU 2017). Sie soll die Kantone bei der Umsetzung der rechtlichen Bestimmungen unterstützen und einen schweizweit koordinierten und einheitlichen Vollzug ermöglichen.

### **Merkblatt-Sammlung**

Die wichtigsten praxisrelevanten Ergebnisse des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» sind in der vorliegenden Sammlung von Merkblättern zusammengefasst. Sie ist die Fortsetzung der Merkblatt-Sammlung «Wasserbau und Ökologie», die im Jahr 2012 erschienen ist (BAFU 2012). Wie bei der ersten Ausgabe wurden die Themen und Inhalte in einem interdisziplinä-

ren und interaktiven Prozess erarbeitet. An diesem Prozess beteiligten sich Forschende sowie Praktikerinnen und Praktiker verschiedener Fachbereiche aus Verwaltung und Interessensverbänden. Die Merkblätter informieren die Leserinnen und Leser über den aktuellen Stand der Forschung und dienen als Wegweiser zur weiterführenden wissenschaftlichen Literatur. In den Merkblättern werden nur wenige wissenschaftliche Arbeiten zitiert, um die Texte gut lesbar zu halten. Eine vollständige Liste aller bisher publizierten wissenschaftlichen Arbeiten und das Glossar zu den Merkblättern sind auf der Programmwebsite [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **Produkte und Publikationen** aufgeführt.

### **Literatur**

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **Produkte und Publikationen**.

**Die Sammlung umfasst folgende Merkblätter**

**1 Sedimentdynamik im Gewässernetz**



Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Sedimenten unterliegen grossen zeitlichen und räumlichen Schwankungen. Gesteuert wird diese Dynamik durch die Geomorphologie, das Klima, die Hydrologie und Hydraulik sowie durch ökologische Faktoren. Tiere, Pflanzen, Pilze und Mikroorganismen haben vielfältige Anpassungen entwickelt, um mit der Sedimentdynamik umzugehen; zahlreiche Arten sind für ihre Entwicklung sogar auf sie angewiesen. Der Mensch verändert die Dynamik direkt und indirekt. Merkblatt 1 gibt einen Überblick zur Sedimentdynamik in Schweizer Gewässern und beschreibt die Folgen menschlicher Eingriffe.

**3 Bedeutung und Einflussfaktoren der Feinsedimentdynamik**



Feinsedimente und ihre Dynamik beeinflussen die Morphologie und die Lebensräume der Fliessgewässer. Feinsedimente entstehen durch Prozesse wie Bodenerosion und tragen zur Entstehung von Hartholzauen und anderen Lebensräumen in und an Fliessgewässern bei. Merkblatt 3 beschreibt die Feinsedimentdynamik und zeigt, wie sie durch die Uferstruktur und weitere Faktoren beeinflusst wird. Im Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» wurde der Einfluss der Geometrie von Uferbuchten auf die Feinsedimentdynamik systematisch in Laborexperimenten untersucht.

**2 Sedimentdynamik und ihre Auswirkungen messen**



Weltweit werden verschiedene Methoden verwendet, um die Sedimentdynamik und ihre Auswirkungen auf Umweltbedingungen, ökologische Prozesse und Lebewesen zu messen. Im Einsatz sind sowohl klassische Methoden als auch neu entwickelte Technologien wie Fernerkundung mittels Drohnen, Messungen des Sauerstoffverbrauchs in der Kiessohle oder genetische Untersuchungen. Merkblatt 2 gibt einen Überblick über die verwendeten Methoden und zeigt Anwendungen im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik».

**4 Durchgängige Geschiebesammler in Wildbächen**



Geschiebesammler halten in Wildbächen Geschiebe zurück, um Hochwasserschäden in Siedlungen und an Infrastrukturbauten zu verringern. Klassisch konzipierte Geschiebesammler halten Geschiebe bereits bei kleinen Hochwassern zurück, die schadlos abgeführt werden könnten. Damit verursachen sie Geschiebedefizite und ökologische Beeinträchtigungen im Unterlauf. Merkblatt 4 zeigt auf, wie sich mit durchgängigen Geschiebesammlern die Geschiebekontinuität verbessern lässt.

### 5 Dynamik und Biodiversität in Auen



Auen mit einer grossen Vielfalt an Lebensräumen sind ökologisch widerstandsfähiger als solche mit geringer Lebensraumvielfalt. In Auen wird die Lebensraum- und Artenvielfalt hauptsächlich durch den Gewässerraum, die Abfluss- und Sedimentdynamik sowie die Lebensraumvernetzung bestimmt. Mit spezifischen Massnahmen zur Förderung von auentypischen Arten kann die Artenvielfalt erhöht werden. Merkblatt 5 erläutert die wichtigsten Einflussfaktoren, führt Beispiele auf und gibt einen Einblick in die aktuelle Forschung zu Auen.

### 6 Sedimentumleitstollen und künstliche Hochwasser



Die Geschiebedurchgängigkeit wird durch Stauseen unterbrochen. Im Unterlauf führt dies zu einem Geschiebedefizit, mit negativen Folgen für die Ökologie und Morphologie der Fliessgewässer. Sedimentumleitstollen und künstliche Hochwasser sind Massnahmen, mit denen sich die Sedimentverfügbarkeit erhöhen und Geschiebedefizite mildern lassen. Merkblatt 6 beschreibt die beiden Massnahmen und erläutert sie anhand von Fallbeispielen. Zudem zeigt es auf, wie sie sich auf die Ökologie und Morphologie von Gewässern auswirken.

### 7 Kiesschüttungen und Ufererosion



Zahlreiche Schweizer Fliessgewässer sind ökologisch beeinträchtigt, weil sie zu wenig Geschiebe führen. Mit Kiesschüttungen und einer induzierten Ufererosion kann die Geschiebeverfügbarkeit verbessert werden. Dadurch lassen sich unter anderem Lebensräume aufwerten und die Sohlenerosion vermindern. Merkblatt 7 erläutert die beiden Massnahmen anhand von Fallbeispielen und beschreibt ihre ökologischen Auswirkungen. Des Weiteren zeigt es, wie beide Massnahmen geplant und umgesetzt werden.

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Beteiligte Forschungsinstitutionen:** Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

**Projektleitung:** Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario J. Franca, LCH-EPFL

**Fachliche Begleitung:** BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapoza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redaktion:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Lektorat:** Regina Gerber

**Zitierung:** Di Giulio, M., Franca, M. J., Scheidegger, Ch., Schleiss, A., Vetsch, D., Weber, Ch., 2017: Sediment- und Habitatsdynamik in Fließgewässern. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Einleitung.

**Gestaltung und Illustrationen:** Anamorph, Marcel Schneeberger

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d [www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

© BAFU 2017

# 1 Sedimentdynamik im Gewässernetz

*Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Sedimenten unterliegen grossen zeitlichen und räumlichen Schwankungen. Gesteuert wird diese Dynamik durch die Geomorphologie, das Klima, die Hydrologie und Hydraulik sowie durch ökologische Faktoren. Tiere, Pflanzen, Pilze und Mikroorganismen haben vielfältige Anpassungen entwickelt, um mit der Sedimentdynamik umzugehen; zahlreiche Arten sind für ihre Entwicklung sogar auf sie angewiesen. Der Mensch verändert die Dynamik direkt und indirekt. Das vorliegende Merkblatt gibt einen Überblick zur Sedimentdynamik in Schweizer Gewässern und beschreibt die Folgen menschlicher Eingriffe.*

**Ch. Weber, M. Döring, S. Fink, E. Martín Sanz, Ch. Robinson, Ch. Scheidegger, N. Siviglia, C. Trautwein, D. Vetsch, V. Weibrecht**

Als Sedimente werden mineralische Feststoffe wie Sand und Kies bezeichnet sowie Bruchstücke von biologischem Material wie Blattreste. Die Sedimentdynamik umfasst drei Prozesse: 1. Mobilisierung (= Eintrag oder Produktion), 2. Transport und 3. Ablagerung von Sedimenten.

Die Sedimente gelangen v. a. durch Erosion, Erdbeben sowie Murgänge in die Gewässer und werden mit dem Wasser flussabwärts transportiert. Aufgrund des Transports im Gewässer werden zwei Typen von Sedimenten

unterschieden: A. Feinere Körner wie Sand, Schluff und Ton, die im Wasser schweben. Sie sind in der Regel kleiner als 2 mm und in der Fachsprache als Schwebstoffe oder Feinsedimente bekannt (vgl. Merkblatt 3). B. Größere Körner wie Kies und Geröll, die auf der Gewässer- sohle rollen oder gleiten. Sie werden als Geschiebe bezeichnet. Die Sedimentdynamik wird auch Sedimenthaushalt, Feststoffhaushalt oder Sedimentregime genannt.

Mobilisierung, Transport und Ablagerung können unterschiedlich viel Zeit beanspruchen – von wenigen Minuten bis zu Jahrtausenden (Wohl et al. 2015). Auch lassen sie sich an unterschiedlichen Orten beobachten – im ganzen Einzugsgebiet (Abb. 1) wie auch im Lebensraum eines einzelnen Fisches. Die verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalen beeinflussen sich gegenseitig: Prozesse, die grossräumig ablaufen, wirken sich auch kleinräumig aus und umgekehrt.

## Zeitliche Skala

Die Mobilisierung und der Transport von Sedimenten setzen oft abrupt ein, z. B. wenn während eines Hochwassers ein bestimmter Abfluss überschritten wird. Dies gilt insbesondere für das Geschiebe. Für die Schwebstoffe ist

### Abbildung 1

*Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Sedimenten laufen an verschiedenen Orten eines Einzugsgebiets ab (links). Dynamische Schwemmebene im Val Roseg (GR; rechts).*



der zeitliche Verlauf kontinuierlicher; die Mobilisierung und der Transport folgen dem Abfluss direkter (Wohl et al. 2015). Einmal abgelagert, bleiben Sedimente unterschiedlich lange liegen, bis sie erneut mobilisiert werden. Häufig lagert sich das Geschiebe für mehr als ein Jahr ab und ruht während Jahren bis Jahrzehnten in Form von Inseln im Hauptgerinne oder auf Schwemmflächen, an Ufern oder Talflanken. Sedimente, die in Seen abgelagert werden, werden nur durch grossräumige, sehr seltene und damit unvorhersehbare Ereignisse wie Erdbeben, Hurrikane oder Tsunamis mobilisiert. Im Jahre 563 etwa verursachte wahrscheinlich ein Felssturz am Genfersee

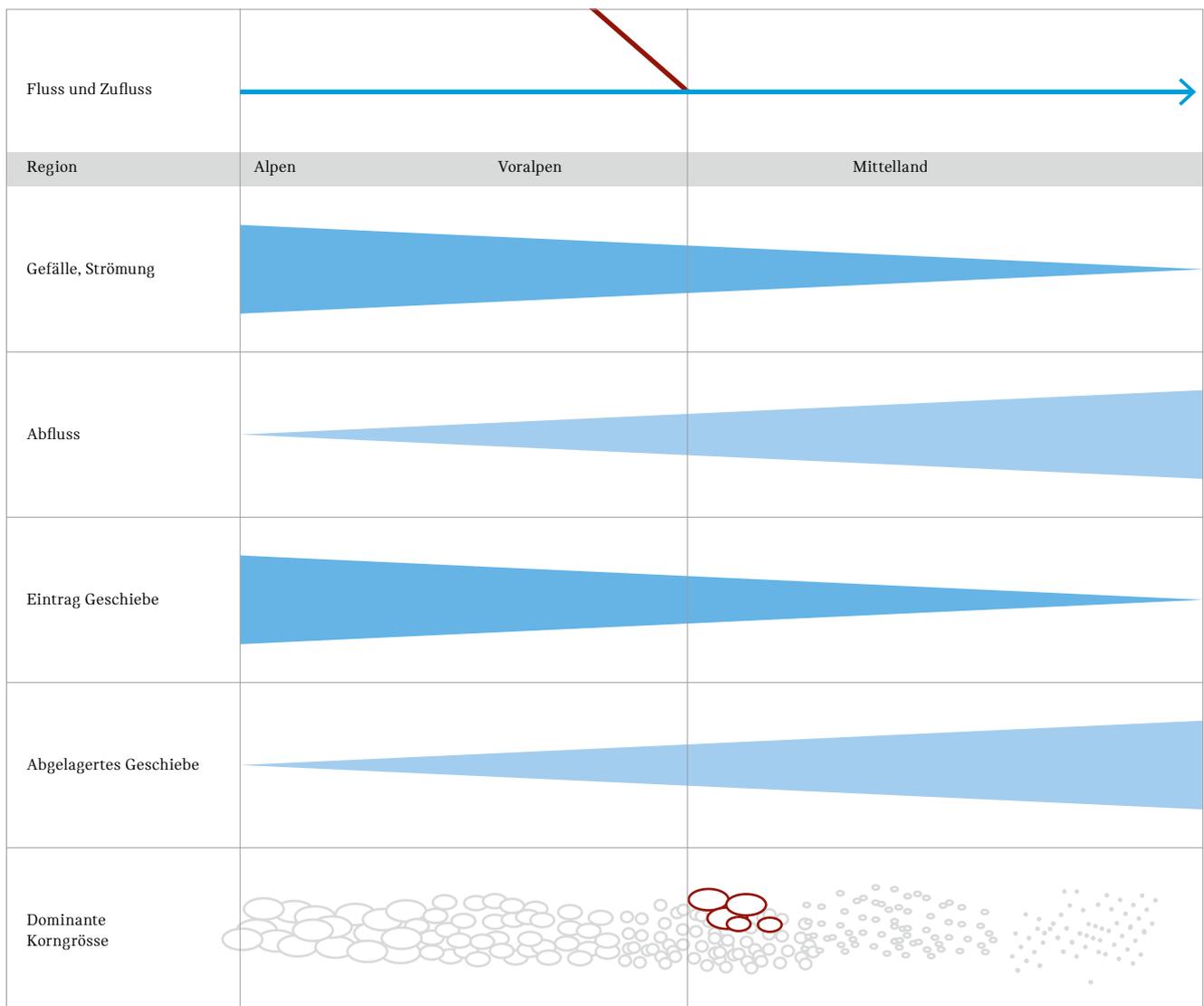
einen Kollaps des Rhonedeltas und verschob 250 Mio. Kubikmeter Sediment tiefer in den See; der daraus resultierende Tsunami führte zu grosser Zerstörung rund um den See.

### Räumliche Skala

Entlang des Flusslaufs – von der Quelle bis zur Mündung – werden die Körner des transportierten Geschiebes kontinuierlich kleiner, durch Abrieb während des Transports und durch Verwitterung (Jungwirth et al. 2003).

**Abbildung 2**

*Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Sedimenten entlang eines Flusslaufs.*



Quelle: Eawag

Im Unterlauf ist deshalb die Verteilung der Korngrößen auf der Flusssohle meist einheitlicher und der mittlere Korndurchmesser kleiner als im Oberlauf. Im flacheren Unterlauf werden vorwiegend feinere Körner und Schwebstoffe transportiert. Im Oberlauf dominiert dagegen der Geschiebetransport, mit Ausnahme der Gletscherbäche, die grosse Frachten an Schwebstoffen mit sich führen. Einmündende Zuflüsse können das Längsmuster unterbrechen und beträchtliche Mengen an Sedimenten unterschiedlicher Korngrößen eintragen (Wohl et al. 2015; Abb. 2). Entlang des Flusslaufs wechseln sich Ablagerungs- und Erosionsabschnitte mit unterschiedlicher Gerinneform ab. Seen wirken als Sedimentfallen; Seeausflüsse führen entsprechend wenig Geschiebe. Auch kleinräumig, also innerhalb eines Flussabschnitts, liegen Lebensräume mit sehr unterschiedlichen Korngrößen eng beieinander, z. B. Kolke mit feinen und Schnellen mit gröberen Körnern.

## Steuerfaktoren der Sedimentdynamik

Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Sedimenten werden von verschiedenen Faktoren gesteuert. Diese Steuerfaktoren lassen sich in vier Gruppen unterteilen und sind in den folgenden Abschnitten beschrieben:

- 1) Geomorphologische Steuerfaktoren wie die Beschaffenheit des Einzugsgebiets,
- 2) klimatische und meteorologische Steuerfaktoren wie das Auftreten von Starkniederschlägen,
- 3) hydrologisch-hydraulische Steuerfaktoren wie die Fließgeschwindigkeit des Wassers,
- 4) ökologische Steuerfaktoren wie das Vorkommen von Wasserpflanzen oder Schwemmholz.

Je nach Lage im Einzugsgebiet sind unterschiedliche Steuerfaktoren wichtig; auch wirken in einem Flussabschnitt meist mehrere Steuerfaktoren gleichzeitig. Sie können sich dabei gegenseitig verstärken oder hemmen.

### 1) Geomorphologie

Die geologische Zusammensetzung im Einzugsgebiet, also der Typ des Gesteins sowie dessen Verwitterungsgrad, beeinflusst die Mobilisierung des Sediments, seine Form und Härte, die Korngrößenverteilung sowie die

chemische Zusammensetzung. Kalkhaltige Steine werden im Flussbett über kürzere Distanz abgerieben und zerkleinert als kristallines Gestein. Die Topographie spielt ebenfalls eine Rolle, insbesondere die Talform sowie das damit zusammenhängende Gefälle im Gerinne und die Neigung der Talflanken. So führt ein stärkeres Gefälle zu grösserem Sedimenttransport oder im Extremfall sogar zu Murgängen. Steilere Talflanken führen vermehrt zu Hangrutschen und Felsstürzen und somit zu verstärktem Sedimenteintrag ins Gerinne.

### 2) Klima und Meteorologie

In höheren Lagen erfolgt der Sedimenteintrag ins Gewässer v. a. durch Ufererosion, Erdbeben und Murgänge. Diese werden meist durch Starkniederschläge während Gewittern ausgelöst, aber auch durch langanhaltenden Regen, der den Boden mit Wasser sättigt und dadurch dessen Speicherkapazität vermindert. Ausserdem tragen Lawinen Sedimente in die Gewässer ein.

Verschiedene Faktoren bestimmen die Versickerung und das Verhältnis von Niederschlag und Abfluss: Neben der Sättigung des Bodens sind dies dessen Beschaffenheit sowie der Bewuchs durch Pflanzen mit ihrem Wurzelwerk. In einem durch Wurzeln aufgelockerten Boden versickert das Wasser bei Regen schneller, dadurch werden Hochwasserspitzen gedämpft und Transportraten verringert.

### 3) Hydrologie und Hydraulik

Je nach Abfluss, Gefälle und Gerinnestruktur bilden sich unterschiedliche Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und Belastungen der Flusssohle aus. Diese beeinflussen den Sedimenttransport im Fließgewässer auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen. Der Sedimenttransport kann je nach Jahreszeit variieren, da er von Niederschlag und Abfluss abhängig ist und sich diese regional und saisonal unterscheiden. So führen etwa Gletscherbäche bei warmem Sommerwetter tagsüber hohe Frachten an Feinsedimenten mit sich, die durch den Gletscherabrieb entstanden sind. Generell ist die Geschiebedynamik weit weniger vorhersehbar als die Abflussdynamik.

### 4) Ökologie

Pflanzen im und rund um das Gewässer beeinflussen die Sedimentdynamik. Einerseits festigen ihre Wurzeln den

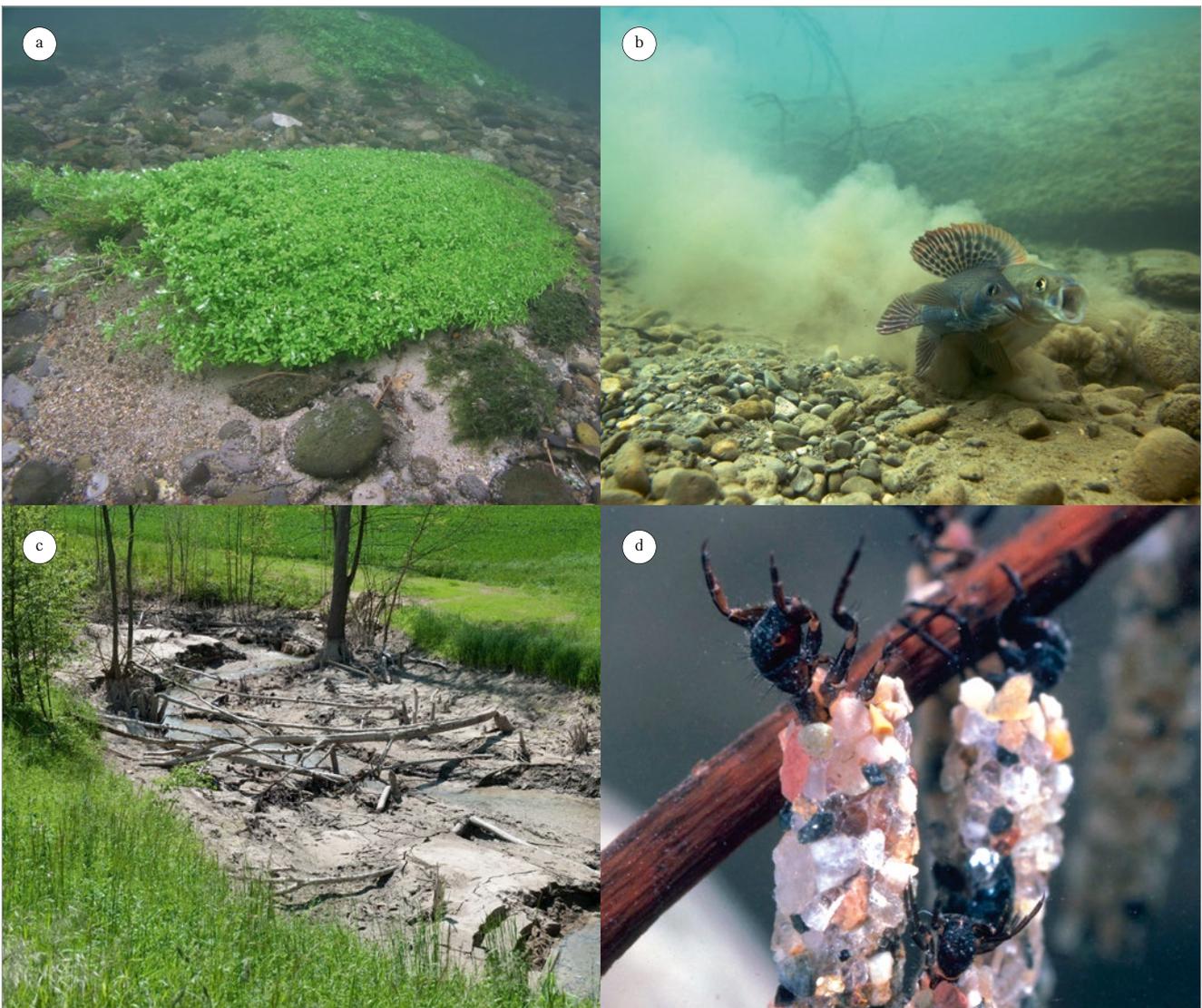
Boden und vermindern dadurch die Erodierbarkeit von Ufern und Flanken. Andererseits führen dichte Bestände von Wasserpflanzen und Ansammlungen von Schwemmholtz dazu, dass Sediment lokal abgelagert wird (Abb. 3a) oder Ufer erodiert werden.

Lebewesen greifen aktiv in die Sedimentdynamik ein – man spricht von Ökosystemingenieuren: Laichende Forellen und Äschen graben die Sohle um und schwemmen Feinsedimente aus (Abb. 3b). Biberdämme verlangsamen

die Fließgeschwindigkeit und führen zur Ablagerung von Sedimenten oder gar zur Verlagerung des Gerinnes (Abb. 3c). Köcherfliegenlarven leben gut geschützt in selbstgebauten Köchern aus Sedimentpartikeln (Abb. 3d) und verändern durch ihren Köcher kleinräumig die Strömungsdynamik. Algen auf der Flusssohle verkleben Sedimentpartikel und erhöhen damit die Sohlstabilität.

**Abbildung 3**

*Lebewesen beeinflussen die Geschiebedynamik. a) Wasserpflanzen wie Callitriche sp. halten Feinsedimente zurück. b) Laichende Äschen (Thymallus thymallus) graben die Kiessohle um. c) Biberdämme führen zur Ablagerung von Feinsedimenten. d) Larven der Köcherfliegenart Allogamus auricollis bauen ihre Köcher aus Sedimentpartikeln.*



## Auswirkungen der Sedimentdynamik

Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Sedimenten prägen den Charakter vieler Fliessgewässer (Wohl et al. 2015). Die Sedimentdynamik wirkt sich insbesondere aus auf die:

- A) **Umweltbedingungen** in den Fliessgewässerlebensräumen, d. h. Temperatur, Fliessgeschwindigkeit etc.;
- B) **ökologischen Prozesse** wie Nährstoffkreislauf oder Photosynthese (Nutzung von Sonnenlicht durch Pflanzen und Algen);
- C) **Lebewesen** wie Fische, Insektenlarven oder Pflanzen.

In den folgenden drei Kapiteln werden diese Auswirkungen der Sedimentdynamik vertieft behandelt. Im Allgemeinen liegt der Fokus auf den kleinen bis mittleren Skalen – diese widerspiegeln die Lebensdauer und den Lebensraum der meisten Flusslebewesen. Es gilt jedoch zu bedenken, dass Umweltbedingungen, ökologische Prozesse und Lebewesen auch von grossräumigen und langfristigen Prozessen beeinflusst werden (vgl. Kap. Zeitliche Skala).

### A. Umweltbedingungen

Die Lebensräume im und am Fluss werden durch Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Sedimenten gebildet und zerstört (Döring et al. 2012). Dabei spricht die Fachliteratur von einem dynamischen Habitatmosaik<sup>1</sup> («shifting habitat mosaic»). Das bedeutet, dass sich in naturnahen Fliessgewässern die Lage von Kiesbänken oder Kolken zwar ändert, ihre Gesamtfläche in einem Flussabschnitt aber über lange Zeiträume ungefähr gleich bleibt.

#### Lebensräume im Fluss

Im benetzten Bereich unterscheidet sich die Korngrößenverteilung auf der Flusssohle kleinräumig, je nach Fliessgeschwindigkeit oder Wassertiefe. Im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» wurden an der Thur (TG/ZH) kanalisierte und aufgeweitete Flussabschnitte verglichen (Martín Sanz 2017). Da-

bei wurden die Korngrößenverteilung und ihre zeitliche Veränderung untersucht (Abb. 4a, 4b). Die Korngrößen in den kanalisierten Abschnitten ober- und unterhalb der Aufweitung waren vergleichbar: relativ grob und einheitlich. Auch veränderten sie sich kaum über die Zeit (4b). In der Aufweitung waren die Korngrößen wesentlich variabler und dynamischer: Es kamen Abschnitte mit gröberen sowie feineren Körnern vor, und die Veränderung über die Zeit war deutlich ausgeprägter.

#### Grundwassergespiesene Lebensräume

Das Flusswasser steht mit dem Grundwasser und der ungesättigten Zone im Austausch (vgl. Merkblatt 5). Diese vertikale Vernetzung beeinflusst wichtige Umweltbedingungen wie die Wassertemperatur. So sind Zonen mit aufstossendem Grundwasser generell im Sommer kühler und im Winter wärmer als das umgebende Flusswasser (Jungwirth et al. 2003). Die vertikale Vernetzung wird bestimmt durch die Zusammensetzung und die Dicke der Flusssohle sowie durch die Korngrössenzusammensetzung. Abgelagerte Feinsedimente können die Sohle bedecken, den Porenraum verstopfen («Kolmation») und die vertikale Vernetzung einschränken (vgl. Merkblatt 3). Eine Umlagerung der Sohle führt zum Ausspülen der Feinsedimente.

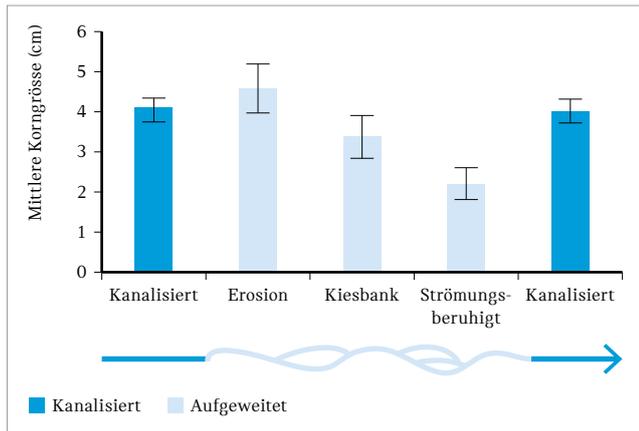
#### Lebensräume an Land

Die Sedimentdynamik steuert, welche Lebensräume sich entlang von Fliessgewässern bilden: Ablagerungen von Feinsedimenten auf den Vorländern sind Schlüsselfaktoren für die Bildung von Hartholzauen (vgl. Merkblatt 5). Werden Kiesbänke umgelagert, kommt es zu einer Umverteilung der Korngrößen. Damit ändern sich die Durchlässigkeit und die Wasserverfügbarkeit auf einer Kiesbank. So entstehen neue Lebensräume für Erstbesiedler («Pionierpflanzen») wie Fleischers Weidenröschen (*Epilobium fleischeri*) oder die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*). Experimente unter kontrollierten Bedingungen im Treibhaus verdeutlichen, wie die Keimung und die Entwicklung der Deutschen Tamariske von der Zusammensetzung des Sediments abhängig sind (Abb. 4c; Benkler und Bregy 2010). Ein sandiger Grund fördert das Auskeimen; fehlt der Sand, ist die Keimrate gering bzw. die Samen keimen gar nicht. Die Keimung verläuft zwar schnell, das Austreiben der Blätter jedoch benötigt deutlich mehr Zeit. Auch hier sind Unterschiede zwischen den

<sup>1</sup> Der Begriff «dynamisches Habitatmosaik» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > Produkte und Publikationen.

**Abbildung 4a**

Die Korngrössenzusammensetzung in kanalisierten und aufgeweiteten Abschnitten der Thur.



Quelle: Martín Sanz 2017

Sedimenttypen erkennbar. Des Weiteren unterscheiden sich die verschiedenen Populationen, beispielsweise keimen Samen aus dem Rhone-Einzugsgebiet schneller als solche aus dem Inneinzugsgebiet.

**B. Ökologische Prozesse**

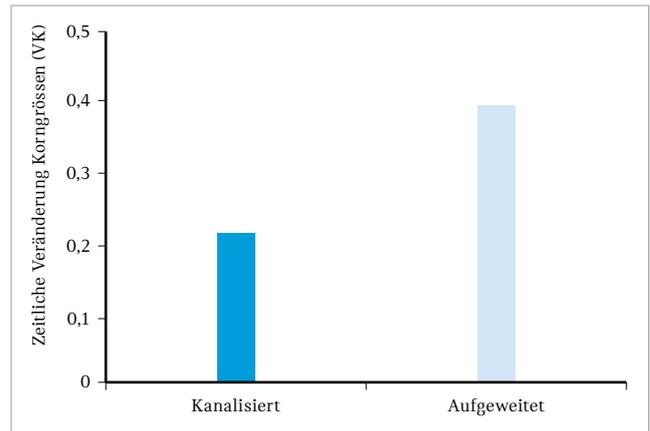
**Nährstoffkreislauf**

Nährstoffreiches Material wie Laub, das vom angrenzenden Ufer oder von oberhalb liegenden Flussabschnitten angeschwemmt wird, bleibt in der Flusssohle hängen und sammelt sich an. Dort wird es von einer Vielzahl an Mikroorganismen, Pilzen, Algen und Insektenlarven weiterverarbeitet. Diese sind ihrerseits Nahrung für Fische und andere Lebewesen (Jungwirth et al. 2003). Der Rückhalt an Laub auf der Flusssohle ist deshalb für das gesamte Nahrungsnetz wichtig, insbesondere in höher gelegenen Fließgewässern und in Auen.

Rückhalt, Ansammlung und Verarbeitung von Pflanzenmaterial hängen unter anderem von der Korngrößenverteilung auf der Flusssohle ab – je gröber die Körner und je langsamer die Fließgeschwindigkeit, desto stärker ist der Rückhalt. Ausserdem sind Häufigkeit und Stärke von geschiebeführenden Hochwassern wichtig. Eine Abnahme von geschiebeführenden Hochwassern kann zu einer starken Ansammlung von Pflanzenmaterial führen.

**Abbildung 4b**

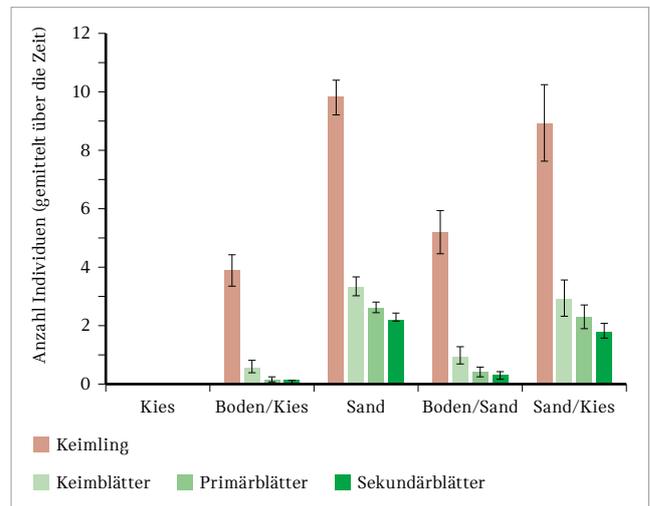
Die zeitliche Veränderung der Korngrössenzusammensetzung in kanalisierten und aufgeweiteten Abschnitten der Thur. VK = Variationskoeffizient (je grösser, desto stärker die Veränderung).



Quelle: Martín Sanz 2017

**Abbildung 4c**

Keimung und Entwicklung der Deutschen Tamariske auf unterschiedlichem Sediment. Die Farben widerspiegeln unterschiedliche Wachstumsstadien.



Quelle: Benkler und Bregy 2010

Dadurch wird die Respiration, also die Verarbeitung von organischem Material in der Flusssohle, angekurbelt und der Sauerstoffverbrauch steigt. Dies kann die Nährstoffkonzentrationen im Gewässer verändern und damit den Stoffwechsel des gesamten Ökosystems.

Im Projekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» wurde in kanalisiertem und aufgeweiteten Abschnitten der Thur (ZH/TG) untersucht, wie stark die Respiration von der Geschiebedynamik abhängig ist (Martín Sanz 2017). In kanalisiertem Abschnitten war die Verarbeitung generell höher (Abb. 5). Auch waren sich die einzelnen Messungen untereinander ähnlicher als in den aufgeweiteten Abschnitten, wo grössere lokale Unterschiede bestanden. Mit zunehmender Stärke und Häufigkeit der Hochwasser nahm die Verarbeitung ab. Dies zeigte sich am deutlichsten in den aufgeweiteten Abschnitten, in denen die Sohle dynamischer ist (Abb. 4b).

Auch die Kolmation kann sich auf wichtige ökologische Prozesse in der Flusssohle auswirken. Beispielsweise wird in Infiltrations-Zonen mehr Sauerstoff verbraucht als in Grundwasseraufstössen, da mit dem Flusswasser auch Pflanzenmaterial eingespült und verarbeitet wird. Dagegen ist das aufstossende Grundwasser reich an Nährstoffen, die aus der Mineralisation von Pflanzenmaterial in der ungesättigten Zone anfallen.

**Interaktionen im Nahrungsnetz**

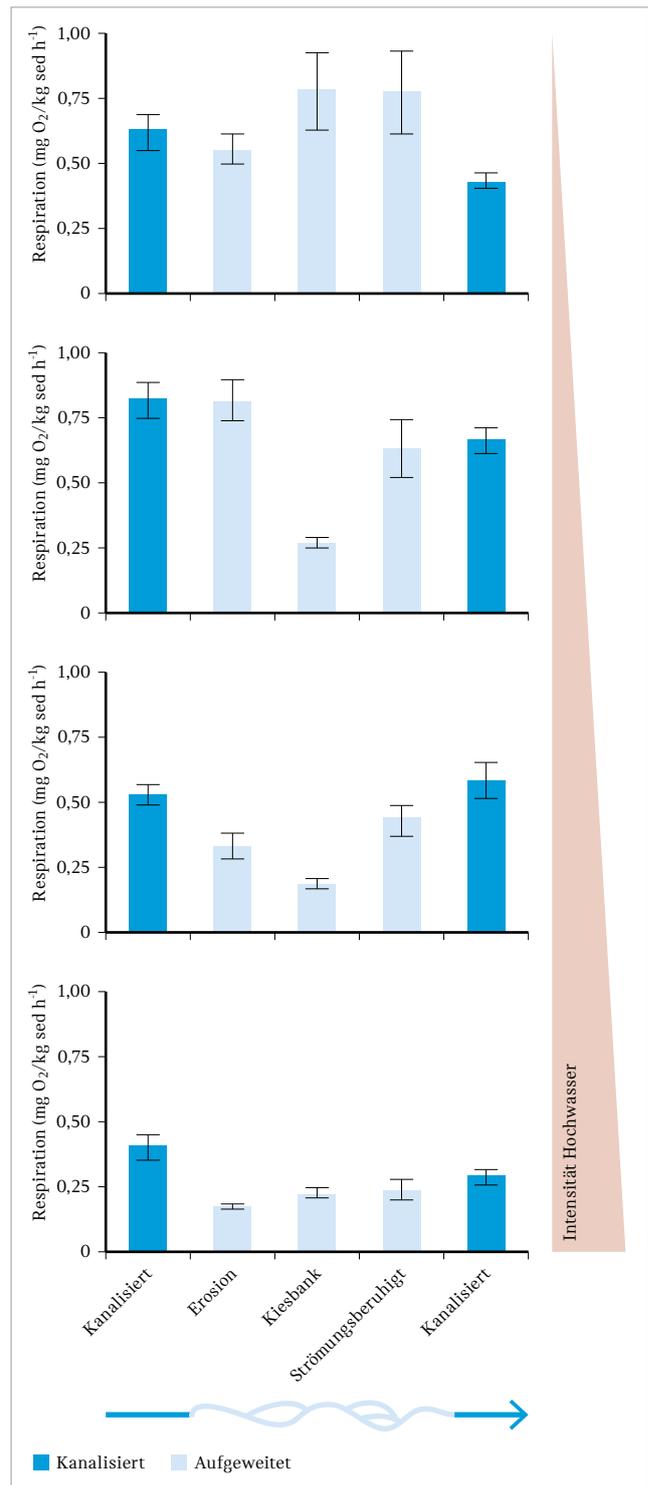
Schwebstoffe können je nach Partikelgrösse und -typ den Lichteintrag in Fließgewässer reduzieren («Trübung») und dadurch die Photosyntheseleistung von Algen oder Wasserpflanzen einschränken. Zudem können abgelagerte Feinsedimente auf der Flusssohle Algen und Wasserpflanzen überdecken und zu einer verminderten Photosyntheseleistung oder sogar zum Absterben von Organismen führen (vgl. Merkblatt 3).

In Flusskies-Pionierfluren finden spezialisierte Insekten Nahrung und Schutz. So ernährt sich der Kiesbankgrashüpfer (*Chorthippus pullus*) vorwiegend von grasartigen Pflanzen wie *Carex ssp.* und *Calamagrostis ssp.* Eine andere Heuschreckenart, die Wildfluss-Dornschröcke (*Tetrix tuerki*), sucht dagegen auf feinsedimentreichen, schlammigen Uferabschnitten nach Algen.

Um Fressfeinden zu entgehen, verstecken sich viele landlebende Insekten im Sediment. So verkriecht sich der grüngestreifte Grundkäfer (*Omopron limbatum*) tagsüber in Sandröhren, bevor er sich nachts auf die Jagd nach Insekten macht (Rust-Dubié et al. 2006).

**Abbildung 5**

Die Verarbeitung von organischem Material (Respiration) in der Flusssohle in Abhängigkeit der Hochwasser- und Geschiebedynamik während der Untersuchungsperiode. Die Dynamik wurde dabei integral bewertet (Abflussdauer und -höhe).



Quelle: Martín Sanz 2017

**C. Lebewesen**

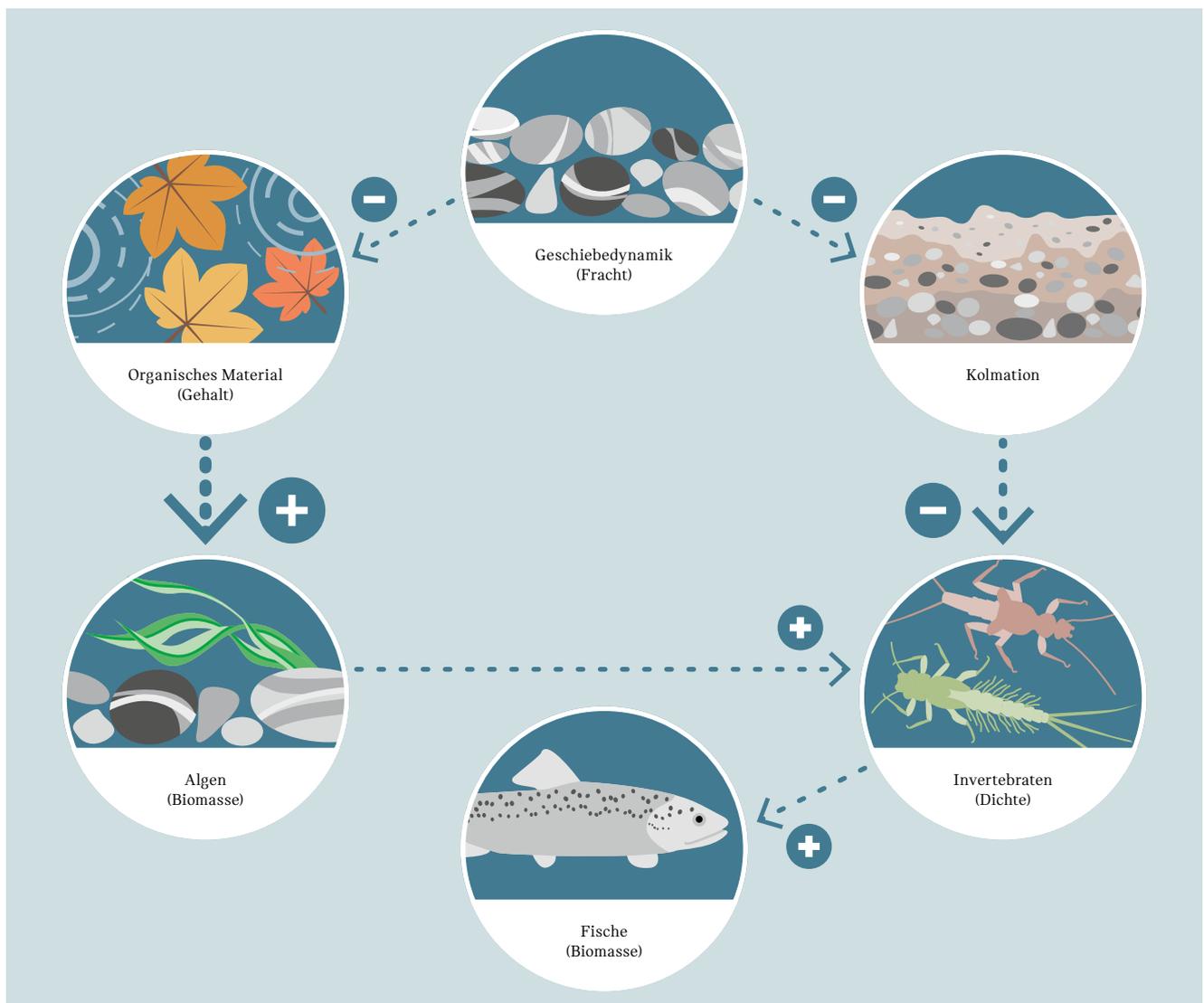
Lebewesen können durch die Sedimentdynamik direkt beeinflusst werden, beispielsweise durch Schürfungen oder Zerdrücken. Es gibt aber auch indirekte Einflüsse: Wenn beispielsweise ein geschiebeführendes Hochwasser die Kiessohle bewegt und Feinsedimente ausspült, entstehen geeignete Laichbedingungen für kieselalchende Fischarten, die auf lockeres, gut durchspültes Kies angewiesen sind. Für die Lebewesen in Fluss und Aue ist entscheidend, wie stark ein Ereignis ist. Zum Beispiel, wie viele Schwebstoffe oder Geschiebe während eines Hoch-

wassers abgelagert werden, wie lange das Hochwasser dauert, zu welcher Jahreszeit es auftritt oder wie häufig bzw. selten es vorkommt.

Die Lebewesen in den Fließgewässern haben sich im Verlauf ihrer Evolution an die Sedimentdynamik angepasst. Viele Tier- und Pflanzenarten sind sogar von ihr abhängig und in ihrer Entwicklung behindert, wenn die Dynamik ausbleibt. Grundsätzlich werden verschiedene Typen von Anpassungen unterschieden, beispielsweise der Morphologie (z. B. Körperform), der Physiologie (z. B.

**Abbildung 6**

Die Geschiebedynamik und ihre direkten und indirekten Auswirkungen auf die Lebewesen in Fließgewässern (vereinfachte Darstellung). Die Dicke der Pfeile zeigt die Stärke der Auswirkung; Plus- und Minuszeichen stehen für eine positive bzw. negative Auswirkung.



Quelle: Eawag

Stoffwechsel), des Verhaltens (z. B. Bewegung) oder des Lebenszyklus (z. B. Zeitpunkt der Fortpflanzung). Lebewesen passen sich nicht nur an die Sedimentdynamik an, sondern an viele verschiedene Umweltfaktoren gleichzeitig. Neue Studien an Fischen und anderen Lebewesen zeigen, dass Anpassungen an die Umwelt relativ schnell ablaufen können, d. h. innerhalb weniger Generationen.

#### Fische, Algen und Insektenlarven

Algen haben abriebresistente Formen entwickelt, z. B. durch Verdickung ihrer Zellwände. Bei Flussfischen wurden innerartliche Unterschiede in der Körperform dokumentiert, je nachdem, ob die Fische vorwiegend Kolke mit feinem Sediment und geringen Fließgeschwindigkeiten (Pools) bewohnten oder Schnellen mit gröberer Sohle und höherer Strömung (Riffles). Die Groppe, eine bodenorientierte Kleinfischart, kann sich bis 30 cm tief in die Kiessohle eingraben und ist so während eines moderaten Hochwassers vor dem Geschiebetransport auf der Kiessohle geschützt. Der Zeitpunkt der Laichaktivität von kieslaichenden Fischen ist an die Sediment- und Abflussdynamik angepasst: In Schweizer Gewässern etwa laichen Forellen während des spätherbstlichen Niedrigwassers. Ihre Eier entwickeln sich in der Winterzeit mit wenig Hochwasser und Geschiebedynamik gut geschützt im Kies. In einer umfangreichen Feldstudie des Projekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» wurde untersucht, wie sich das Nahrungsnetz unter unterschiedlich starker Geschiebedynamik ausbildet (Abb. 6). Dabei wurden verschiedene Lebewesen und ihre Nahrungsquelle erforscht: Algen auf der Flusssohle, Blattreste im Kieslückensystem, Insektenlarven sowie Fische. In der Auswertung wurden sowohl direkte als auch indirekte Auswirkungen nachgewiesen. Unter anderem wurde festgestellt, dass die Anzahl und das Gesamtgewicht aller Forellen im Fluss mit der Ansammlung von Blattresten im Kiesbett stiegen; auch wurden vermehrt terrestrische Kleintiere wie Spinnen, Ameisen, Käfer und Würmer in den Mägen der Forellen gefunden. Je verstopfter der Kies war, desto kleiner war die Dichte an Insektenlarven. Des Weiteren wurden in gröberem Kies mehr Kleintiere nachgewiesen als in feinerem.

#### Amphibien und Reptilien

Sämtliche Auenspezialisten haben Strategien entwickelt, um mit schnell wechselnden Wasserständen oder mit Se-

dimentablagerungen umzugehen. Zahlreiche Reptilien und Amphibien sind während ihres Lebenszyklus vom Habitatmosaik einer naturnahen Aue abhängig. Beispielsweise jagt die Würfelnatter (*Natrix tessellata*) auf Kiesbänken, während sie ihre Eier in Ablagerungen von Feinsediment und Geschwemmsel ablegt (Rust-Dubié et al. 2006). Die adulten Kreuzkröten (*Bufo calamita*) nutzen die ausgedehnten Kiesflächen von Flusstälern als Lebensraum und benötigen zur Eiablage Überschwemmungsräume oder flache Altarme.

#### Lebewesen an Land

Die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*) wurzelt tief, um während eines Hochwassers nicht von der Kiesbank gespült zu werden. Sedimentablagerungen von mehreren Zentimetern Mächtigkeit schädigen verholzte Auenpflanzen kaum – diese bilden einfach neue Triebe aus. Krautige Pflanzen, ob ein- oder mehrjährig, verfügen über Samenbanken; die Samen überdauern im Kies. Die Eier von Vögeln wie des Flussuferläufers (*Actis hypoleucos*), der auf unbewachsenen Kiesbänken brütet, sind mit ihrer grau-gesprenkelten Färbung optimal getarnt (Rust-Dubié et al. 2006). Der Kiesbankgrashüpfer (*Chorthippus pullus*) hat unterschiedliche Körperformen und verschiedene Wanderstrategien entwickelt: Langflügelige Kiesbankgrashüpfer treten auf, wenn die Populationsdichten hoch sind und neue Kiesbänke besiedelt werden sollen. Bei ausreichend vorhandenen Lebensräumen mit guter Vernetzung kommen vorwiegend Kiesbankgrashüpfer mit kurzen Flügeln vor.

#### (Sediment)dynamik und Biodiversität

Das wissenschaftliche Konzept der «Hypothese mittlerer Störungsintensität» besagt, dass sich die höchste Biodiversität bei mittlerer Dynamik einstellt. Bei einer ausgeprägten Dynamik bestehen einzig die resistenten Arten, die mit der Dynamik umgehen können. Bei geringer Dynamik hingegen verschwinden Arten, weil sie von konkurrenzstärkeren Arten verdrängt werden. Wird das Gewässernetz als Gesamtes angeschaut, können Sedimentquellen wie Einträge aus Zuflüssen identifiziert und ihr räumlicher und zeitlicher Einfluss auf die Biodiversität bestimmt werden.

## Menschliche Eingriffe in die Sedimentdynamik

Der Mensch beeinflusst die Sedimentdynamik seit Jahrhunderten; beispielsweise wurden bereits im frühen Mittelalter Ufer mittels Schupfwuhren vor Erosion geschützt. Grundsätzlich lassen sich zwei Typen von Eingriffen unterscheiden, die in den nachfolgenden Abschnitten weiter ausgeführt werden:

- A) Direkte Eingriffe in die Sedimentdynamik zwecks Nutzung der Ressource Sediment oder zur Gefahrenprävention, und
- B) indirekte Eingriffe, d. h. Massnahmen, die nicht der Sedimentdynamik gelten, sie aber dennoch beeinflussen.

Die menschlichen Eingriffe umfassen sowohl kleinräumige, lokale Eingriffe wie auch grossräumige Massnahmen mit weitreichenden Folgen.

### A. Direkte Eingriffe

Kies wird in Fliessgewässern aus zwei Gründen abgebaut: einerseits, um Kies als Baumaterial zu gewinnen, andererseits um eine Auflandung der Sohle zu verhindern (Hochwasserschutz). Bevorzugte Stellen für den Kiesabbau sind Aufweitungen oder Deltas, da Kies tendenziell dort abgelagert wird. Regulierte Fliessgewässer sind so dimensioniert, dass sie Hochwasser einer bestimmten Grösse abführen und dabei die Sohlenlage möglichst unverändert bleibt. Entsprechend dienen Geschiebesammler (vgl. Merkblatt 4) oder Kiesabbau in den Zuflüssen auch dazu, den Kieseintrag bei Hochwasser zu regulieren.

### B. Indirekte Eingriffe

Unsere Fliessgewässer wurden grossräumig begradigt und eingeengt, um in den Ebenen Hochwasser zu verhindern und die Geschiebefracht so zu regulieren, dass die Sohlenlage stabilisiert werden kann. Stauseen und Stauhaltungen blockieren den Sedimenttransport (vgl. Merkblatt Sediment- und Habitatsdynamik in Fliessgewässern: Abb. 1; Merkblatt 6). Die abgelagerten Sedimente müssen zwecks Unterhalts ausgebaggert oder mittels Spülungen ausgeschwemmt werden. In Gebieten mit intensiver Land- oder Forstwirtschaft werden verstärkt Feinsedimente abgeschwemmt und ins Gewässer einge-

tragen (vgl. Merkblatt 3), besonders wenn eine als Puffer dienende Ufervegetation fehlt. Die morphologische Vielfalt eines begradigten Flusses wird hauptsächlich durch seine Breite und die Hydrologie beeinflusst. Die zunehmende Verstädterung und die Versiegelung grosser Flächen führen dazu, dass Regenwasser schneller abfließt und Hochwasserspitzen dadurch verstärkt werden. Damit ist das Gewässer in der Lage, mehr Sediment mitzuführen. Der Klimawandel hat zur Folge, dass Gletscher schmelzen, Permafrost auftaut und Niederschläge vermehrt in Form von Regen statt Schnee fallen. Die Sedimentdynamik wird deshalb in Zukunft zunehmen, sowohl in Gebirgsbächen wie auch in Mittellandflüssen.

## Auswirkungen menschlicher Eingriffe

Die direkten und indirekten menschlichen Eingriffe in die Sedimentdynamik wirken sich auf Mobilisierung, Transport und Ablagerung aus und führen sowohl zu einem Defizit als auch einem Überschuss an Sediment (Wohl et al. 2015; vgl. Merkblatt 7). Das gesamte Gewässernetz hängt dabei zusammen: Ein Defizit im Oberlauf kann lokal zu erhöhter Erosion führen und flussabwärts einen Sedimentüberschuss verursachen. Defizit und Überschuss beeinflussen die Umweltbedingungen, die ökologischen Prozesse sowie die Lebewesen.

### Umweltbedingungen

Bei einem Sedimentdefizit kann sich das Gerinne in den Untergrund eintiefen und die Flusssohle vergrößern («Abpflästerung»); zudem kann es zu einer stark eingeschränkten bzw. vollständig veränderten Morphodynamik kommen (Bezzola 2004). Dieser Fall tritt ein, wenn zu viel Kies zurückgehalten oder entnommen wird oder wenn an Stauanlagen das Sediment zurückgehalten, das Wasser aber weiterhin abgegeben wird. Tieft sich der Fluss ein, sinkt auch der Grundwasserspiegel in der Umgebung. Dadurch werden artenreiche Auenlebensräumen wie Altarme oder Tümpel abgekoppelt und nicht mehr mit Grundwasser versorgt. Umfangreicher Kiesabbau sowie Ufererosion, die durch eine erhöhte Fliessgeschwindigkeit in kanalisierten Gewässern entsteht, führen zu einem starken Rückgang an ökologisch wertvollen terrestrischen Auenhabitaten (z. B. Kiesbänken). Ein Überschuss an Schwebstoffen führt zu verstärkter Ablagerung ent-

lang der Ufer oder in Flussabschnitten mit langsam fließendem Wasser.

### **Ökologische Prozesse und Lebewesen**

Änderungen in der Sedimentdynamik können die Konkurrenz zwischen Arten und Individuen verändern und innerhalb des Nahrungsnetzes eine Kettenreaktion auslösen. Diese kann an der Basis des Nahrungsnetzes auftreten, z. B. durch eine geringere Photosyntheseleistung der Algen, oder auf einer der höheren Stufen, z. B. durch veränderten Frassdruck von Fischen. In jedem Fall kann sich der Zustand eines Ökosystems unter Umständen unwiderruflich verändern («state shift»).

Werden übermässig Schwebstoffe abgelagert, kann dies den Fortpflanzungserfolg von kieslaichenden Fischarten verringern. Auch kann sich die Zusammensetzung und Funktion der Lebensgemeinschaften verändern. Uferpflanzen sind besonders stark vom Lebensraumverlust betroffen, der durch menschliche Eingriffe in die Sedimentdynamik verursacht wird. Eine veränderte Sedimentdynamik ermöglicht beispielsweise anspruchsloseren Arten («Generalisten»), die Lebensräume von empfindlicheren Spezialisten zu besiedeln. Meist wirkt sich ein derartiger Verlust an Lebensraum nicht linear auf die Biodiversität aus: Ist bereits wenig Lebensraum vorhanden, fällt ein weiterer Verlust viel stärker ins Gewicht.

### **Fazit**

Abfluss- und Sedimentdynamik prägen unsere Fließgewässerökosysteme auf vielfältige Art und Weise. Die ökologische Bedeutung des Sediments wird seit Jahrzehnten erforscht. Dabei wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, z. B. wie sich die Sohlenzusammensetzung auf den Fortpflanzungserfolg von kieslaichenden Fischen auswirkt, oder welche Effekte die Eintiefung für Auen hat. Weniger gut untersucht hingegen sind die dynamischen Aspekte, z. B. wie sich Zeitpunkt und Intensität des Sedimenttransports auf Organismen auswirken. Hier darf man in den nächsten Jahren wichtige Ergebnisse erwarten, auch weil sich die Messmethoden weiter verbessern (z. B. Fernerkundung; vgl. Merkblatt 2).

### **Literatur**

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **Produkte und Publikationen.**

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Beteiligte Forschungsinstitutionen:** Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

**Projektleitung:** Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario J. Franca, LCH-EPFL

**Fachliche Begleitung:** BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapoza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redaktion:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Lektorat:** Regina Gerber

**Zitierung:** Weber, Ch., Döring, M., Fink, S., Martín Sanz, E., Robinson, Ch., Scheidegger, Ch., Siviglia, N., Trautwein, C., Vetsch, D., Weitbrecht, V., 2017: Sedimentdynamik im Gewässernetz. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 1.

**Gestaltung und Illustrationen:** Anamorph, Marcel Schneeberger

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d [www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

© BAFU 2017

## 2 Sedimentdynamik und ihre Auswirkungen messen

*Weltweit werden verschiedene Methoden verwendet, um die Sedimentdynamik und ihre Auswirkungen auf Umweltbedingungen, ökologische Prozesse und Lebewesen zu messen. Im Einsatz sind sowohl klassische Methoden als auch neu entwickelte Technologien wie Fernerkundung mittels Drohnen, Messungen des Sauerstoffverbrauchs in der Kiessohle oder genetische Untersuchungen. Das vorliegende Merkblatt gibt einen Überblick über die verwendeten Methoden und zeigt Anwendungen im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik».*

**M. Döring, M. Facchini, S. Fink, M. J. Franca, E. Martín Sanz, Ch. Robinson, Ch. Scheidegger, N. Siviglia, C. Trautwein, D. Vetsch, Ch. Weber**

Mobilisierung, Transport und Ablagerung von Sediment sind sehr dynamisch und beeinflussen die Umweltbedingungen, die ökologischen Prozesse und die Lebewesen im und am Fluss (vgl. Merkblatt 1). Die Erfassung der Sedimentdynamik ist eine Voraussetzung für ein besseres Verständnis und Management unserer Fließgewässer. Gleichzeitig sind die Messungen aufgrund der hohen Viel-

falt und Dynamik in Fließgewässern eine Herausforderung – technisch, zeitlich und personell.

Zur Messung der Sedimentdynamik (Abb. 1) und ihrer Auswirkungen werden weltweit eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden verwendet, sei es in Revitalisierungen, Umweltverträglichkeitsprüfungen, Abschätzungen zu Umweltgefahren oder in Forschungsarbeiten. Das vorliegende Merkblatt bietet eine tabellarische Übersicht über die verfügbaren Methoden, deren Anwendungsbereiche sowie Stärken und Schwächen. Tabelle 1 (S. 7) stellt Methoden für die Messung der Sedimentdynamik vor, Tabellen 2 (S. 10) und 3 (S. 10) geben einen Überblick darüber, wie die Auswirkungen auf die Umweltbedingungen, bzw. die Lebewesen gemessen werden können.

Die Tabellen führen einerseits klassische Methoden auf, die teilweise seit Jahrzehnten in Praxis und Forschung eingesetzt werden und gut etabliert sind. Andererseits erläutern sie Methoden, die sich in Entwicklung befinden, und illustrieren diese mit Anwendungen aus dem Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik». Für einzelne Methoden gibt es Indikatoren zur Bewertung der Naturnähe der Sedimentdynamik. Dies wird in den Tabel-

### Abbildung 1

*Die Geschiebedynamik und ihre Auswirkungen auf Lebensräume, Pflanzen und Tiere lässt sich mit verschiedenen Messgrößen erheben (links). Geophon zur direkten Messung des Geschiebevolumens im Erlenbach (rechts).*



len unter Stärken vermerkt. Für sämtliche Erhebungen ist ein Vergleich mit naturnahen Referenzstandorten möglich.

## Sedimentdynamik messen

### Klassische Methoden

Zu den klassischen Methoden gehören die Erhebung der Sedimentdynamik durch Feldaufnahmen und das Sammeln von Feldproben, z.B. via Schöpfproben zur Bestimmung der Schwebstoffkonzentration, oder mittels Beschreibung der Korngrößenverteilung. Einen Schwerpunkt bildet dabei die Bestimmung der Frachten, insbesondere der Schwebstoffe, sowie der Ab- und Umlagerung von Sedimenten. Im Allgemeinen sind die klassischen Methoden robust und einfach anzuwenden. Einige jedoch beeinflussen Abfluss und Feststofftransport und gewisse benötigen eine umfangreiche Feldausrüstung. Bei einzelnen Methoden sind die Resultate von der Erfahrung der Erheber abhängig, was die Vergleichbarkeit der Erhebungen erschwert. Im Allgemeinen erlauben die klassischen Methoden keine häufigen Wiederholungen der Aufnahmen und benötigen oft ergänzende Laboranalysen. Ausserdem ist eine automatisierte Datenerhebung

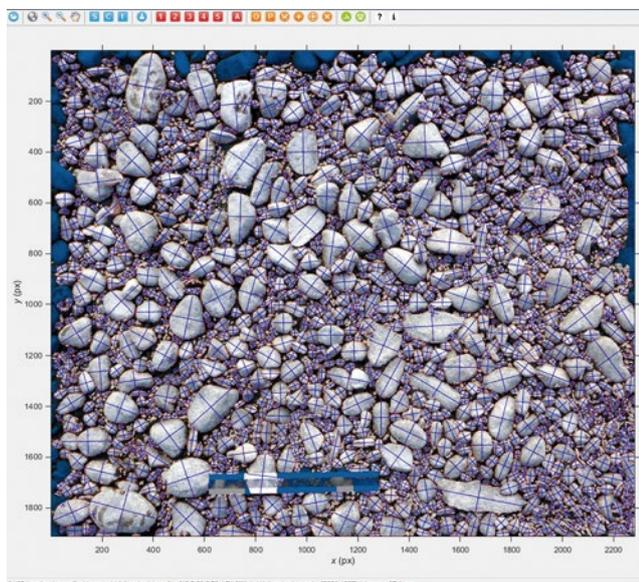
nicht möglich. Das Messnetz ist entsprechend grob und es gibt weltweit kaum langfristige, kontinuierliche Datenreihen, ausser zu den Schwebstoffkonzentrationen.

### Methoden in Entwicklung

In den vergangenen Jahren hat sich die Fernerkundung stark weiterentwickelt und für die Erhebung und Bewertung der Geschiebedynamik an Bedeutung gewonnen. Die Fernerkundung reicht von der Verwendung historischer Luftbilder bis hin zum Einsatz von Drohnen oder akustischen Geräten zur Erstellung von Längs- und Querprofilen. Generell lassen sich mittels Fernerkundung hydrologische und morphologische Veränderungen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung untersuchen. Zum Beispiel lassen sich die Sedimentdynamik früherer Zeiten rekonstruieren, 3D-Informationen zu kürzlichen Erosions- und Ablagerungsmustern bewerten oder Veränderungen im Sedimentbudget untersuchen. Zudem lässt sich die Sedimentdynamik im Feld in Echtzeit messen, z.B. der Transport von Schwebstoffen. Dies sind wichtige Grundlagendaten zur Kalibrierung von Modellen zum Sedimenttransport. Ein weiterer Vorteil dieser neu entwickelten Ansätze ist ihr Einsatz ausserhalb des Gewässersystems, z.B. bei Hochwasser oder in Naturschutz- oder anderen Gebieten, die nicht betreten wer-

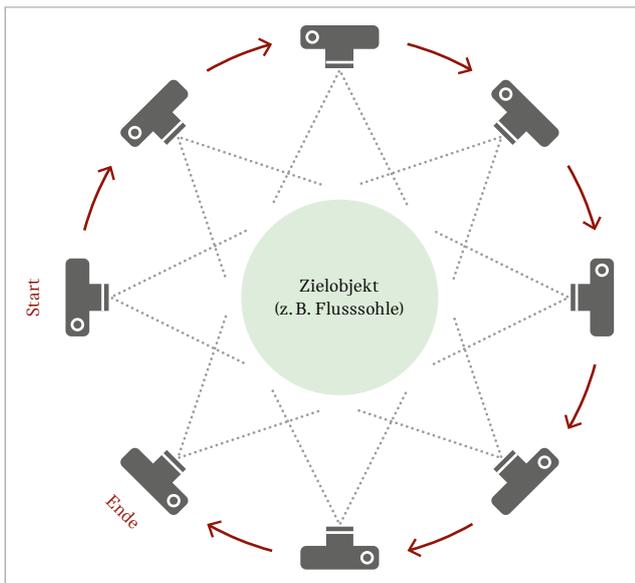
### Abbildung 2

Instrumente zur Messung der Sedimentdynamik (Tab. 1). Bestimmung der Korngrössen mittels BASEGRAIN-Software (links). LiDAR-Erhebung unter Verwendung von grünem Laser (rechts); dies ermöglicht eine Unterwasser-Erhebung.



**Abbildung 3**

Prinzip der Structure-from-motion Messung: Anstelle eines einzelnen Luftbilds wird eine Vielzahl an sich überlappenden Aufnahmen erstellt. Daraus wird eine 3D-Darstellung abgeleitet (z. B. digitales Höhenmodell).



Verändert nach Westoby et al. 2012

den sollten. Eine Kombination von klassischen Methoden und neuen Ansätzen ermöglicht ein effektives Monitoring<sup>1</sup> auf der Ebene des Einzugsgebiets sowie die Berechnung von dynamischen Messgrößen, die Veränderungen in morphologischen Prozessen widerspiegeln.

## Auswirkungen auf Umweltbedingungen und ökologische Prozesse

### Klassische Methoden

Ökologische Prozesse werden mit klassischen Methoden kaum untersucht. Erst in den vergangenen Jahren haben in der ökologischen Forschung und Bewertung funktionelle, d. h. prozess-orientierte Größen, an Bedeutung gewonnen. Die klassischen Methoden sind wichtig für ein prozess-basiertes Verständnis der Auswirkungen von Sedimenteintrag und -ablagerung auf biologische Gemeinschaften, z. B. hinsichtlich der Auswirkung von Fein-

sedimenten auf die Sauerstoffversorgung in der Flusssohle.

### Methoden in Entwicklung

Neu entwickelte Mikrosensoren erlauben es, in der Flusssohle Nährstoff- und Sauerstoff-Konzentrationen im Mikro-Massstab zu messen. Damit ermöglichen sie, die Auswirkungen der Sedimentdynamik auf den Biofilm oder die Flussprofile zu analysieren, z. B. unter Berücksichtigung des Austauschs zwischen Grund- und Oberflächenwasser. Zeitreihen von Tages- bis Mehrjahresdauer der Schwebstoffe und Ablagerungsprozesse sind essentiell, um die Reaktion des Ökosystems auf veränderte Sedimentdynamik besser zu verstehen. Die Sensorentwicklung geht weiter, aber bereits die vorhandenen Sensoren sind weit verbreitet. Sie werden unter anderem als Frühwarnsystem genutzt, z. B. im Zusammenhang mit der dynamischeren Restwasserabgabe an den Auslassstrukturen von Staumauern.

## Auswirkungen auf Lebewesen

### Klassische Methoden

Klassische Methoden beschreiben die Populationsstruktur und -dynamik von Pflanzen, Tieren und Pilzen sowie die Struktur und Dynamik von aquatischen, amphibischen und terrestrischen Gemeinschaften. Ökosystemleistungen werden auf verschiedenen Ebenen – von den Arten bis zu den Lebensgemeinschaften – bestimmt. Ausserdem werden funktionelle, d. h. prozessorientierte Parameter verwendet, beispielsweise für Lebewesen wie Mikroben, die taxonomisch schwierig zu bestimmen sind.

### Methoden in Entwicklung

Drohnen und andere Messgeräte der Fernerkundung ermöglichen es, Hochwasser-bedingte kleinräumige Veränderungen in Ablagerung und Erosion zu quantifizieren (Abb. 4). Die Auswirkungen der Sedimentdynamik auf die Populations- und Gemeinschaftsdynamik lassen sich modellieren (Abb. 6). Die Populationsgenetik ermöglicht Rückschlüsse auf wichtige Prozesse in der Vergangenheit (z. B. Gründereffekt, Flaschenhalse) sowie eine Quantifizierung des Genflusses auf Ebene der Flusslandschaft. Durch die Messung von Ökosystemfunktio-

<sup>1</sup> Der Begriff «Monitoring» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > Produkte und Publikationen.

**Abbildung 4**

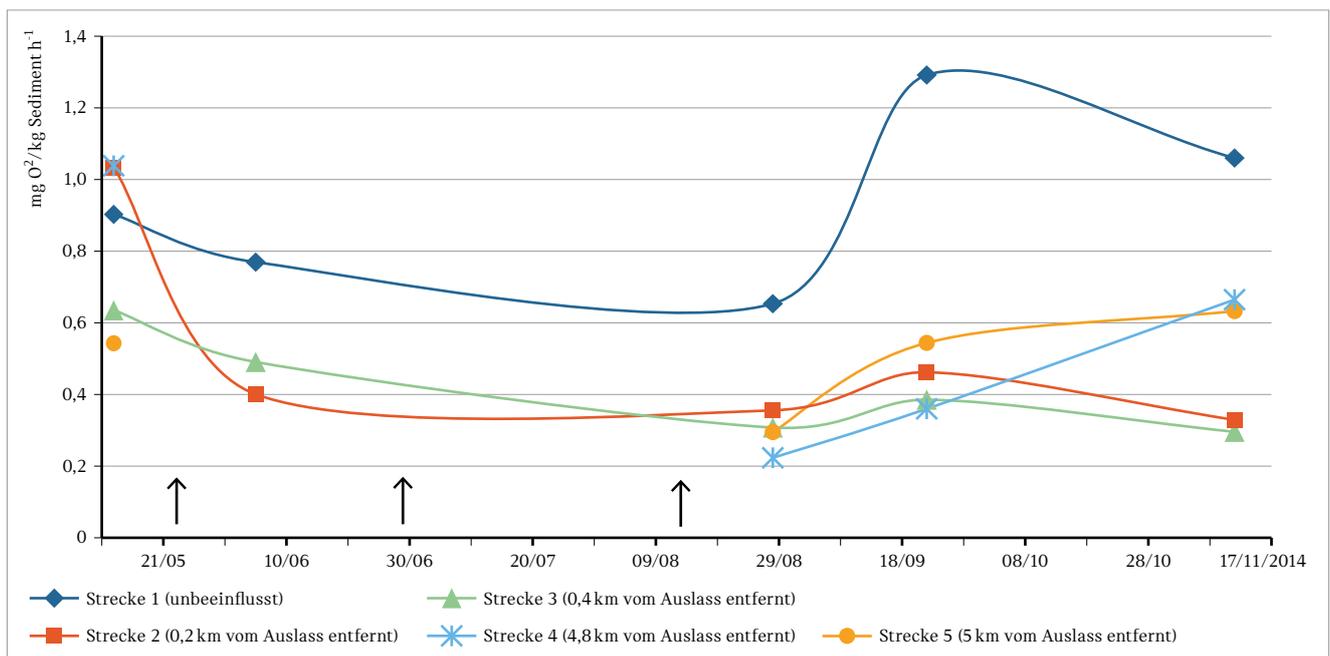
Verlagerung von Uferlinie und Kiesbänken zwischen Dezember 2013 und Januar 2015 an der Thur bei Neunforn (ZH). Die Daten wurden mittels GIS von Luftbildern digitalisiert.



Quelle: Eawag

**Abbildung 5**

Der zeitliche Verlauf der Sedimentrespiration in fünf Untersuchungsstrecken im Unterlauf der Albula (GR). Die Strecken 2 bis 4 liegen zwischen 0,2 bis 5 km unterhalb des Auslass des Sedimentumleitstollens beim Kraftwerk Solis, Strecke 1 liegt zwischen Staumauer und Auslass. Im untersuchten Zeitraum wurde der Sedimentumleitstollen dreimal bei Hochwasser in Betrieb genommen. Der Zeitpunkt der Hochwasser ist mit Pfeilen markiert.



Quelle: Eawag

nen können Ökosystemleistungen mit der Geschiebedynamik verknüpft werden.

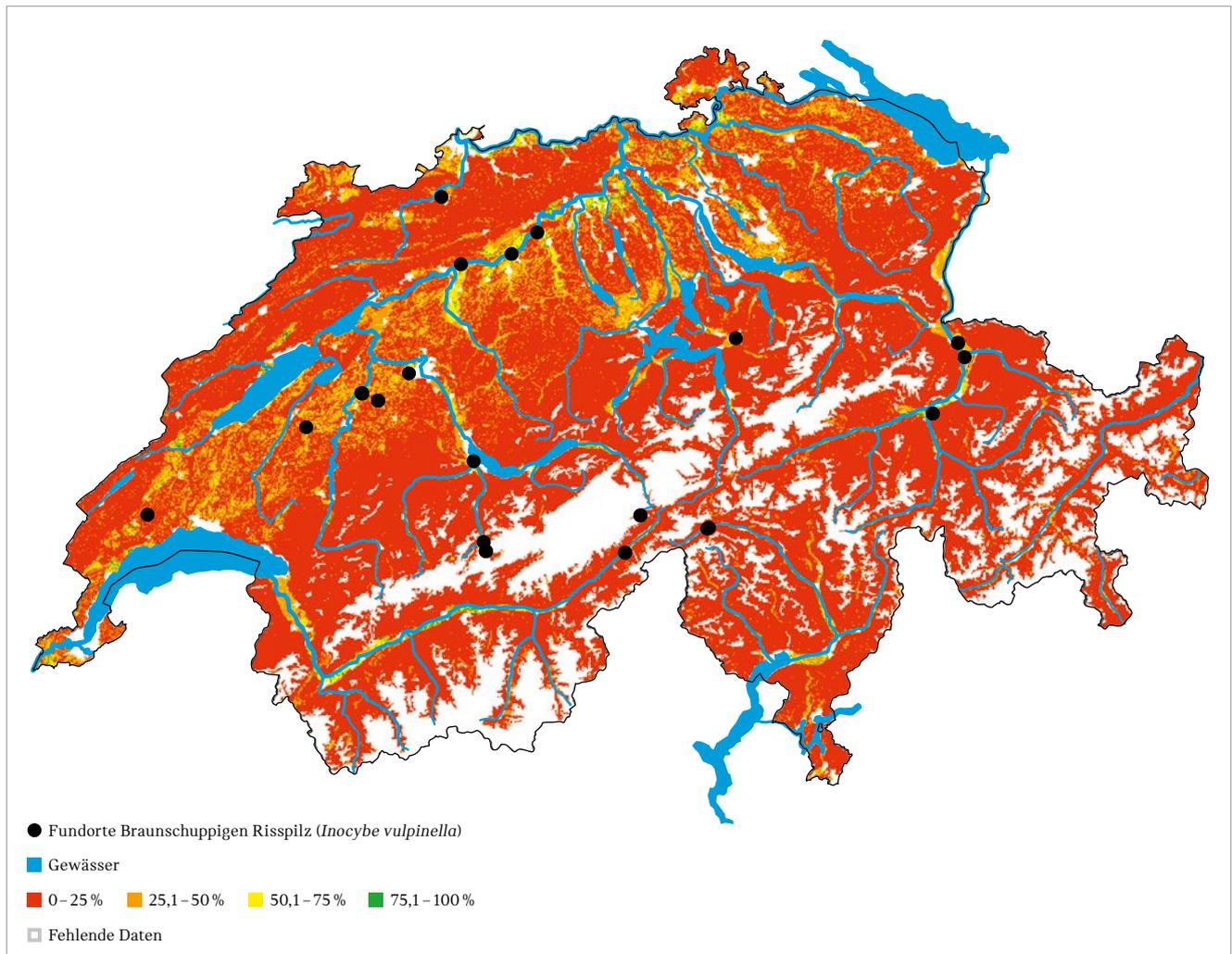
### Fazit

Die Messung und Bewertung der Sedimentdynamik ist eine komplexe Aufgabe. Die verfügbaren Methoden – klassische und solche in Entwicklung – erlauben eine Abschätzung und teilweise auch eine Vorhersage auf der räumlichen Ebene eines Habitats bis hin zur Ebene des gesamten Einzugsgebiets. Allerdings können bisher die

Effekte der unterschiedlichen Steuerfaktoren auf die Geschiebedynamik nur bedingt auseinandergehalten werden (z.B. Hydrologie, Klima, Landnutzung). Auch eine Bewertung der Auswirkungen der Geschiebedynamik auf die Struktur und die Funktion von Ökosystemen ist bisher nur eingeschränkt möglich. Diese Informationen sind jedoch notwendig, um die Sedimentdynamik in einem effektiven Fließgewässermanagement zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang sind hierbei die schnell voranschreitende Entwicklung neuer Methoden und insbesondere deren Verbindung mit klassischen Methoden zu nennen. Zu diesen Methoden zählen beispielsweise die

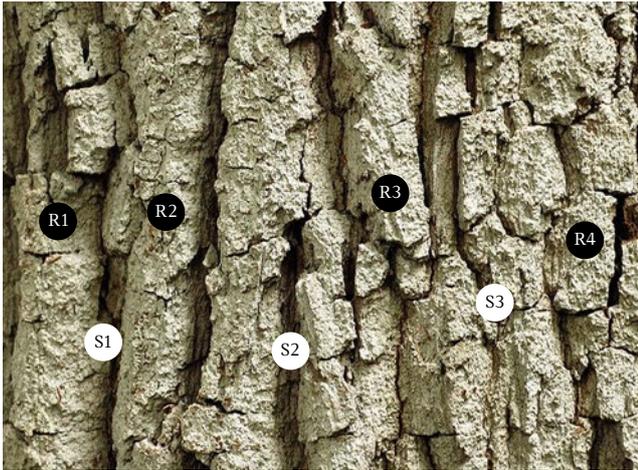
### Abbildung 6

Modellierte Vorkommenswahrscheinlichkeit für den Braunschuppigen Risspilz (*Inocybe vulpinella*). Der Braunschuppige Risspilz kommt vorwiegend auf flachen, sandigen Böden in Flussnähe vor. Modellierungen zur ökologischen Nische ermöglichen Voraussagen zu heutigen und zukünftigen Vorkommen einer Art.



**Abbildung 7a**

Beprobung (R1 – R4, S1 – S3) der Eichenstabflechte *Bactrospora dryina* an einer Eiche für eine populationsgenetische Analyse. Die Eichenstabflechte besiedelt über 100-jährige Eichen in Auenwäldern.



Quelle: Nadyeina et al. 2017

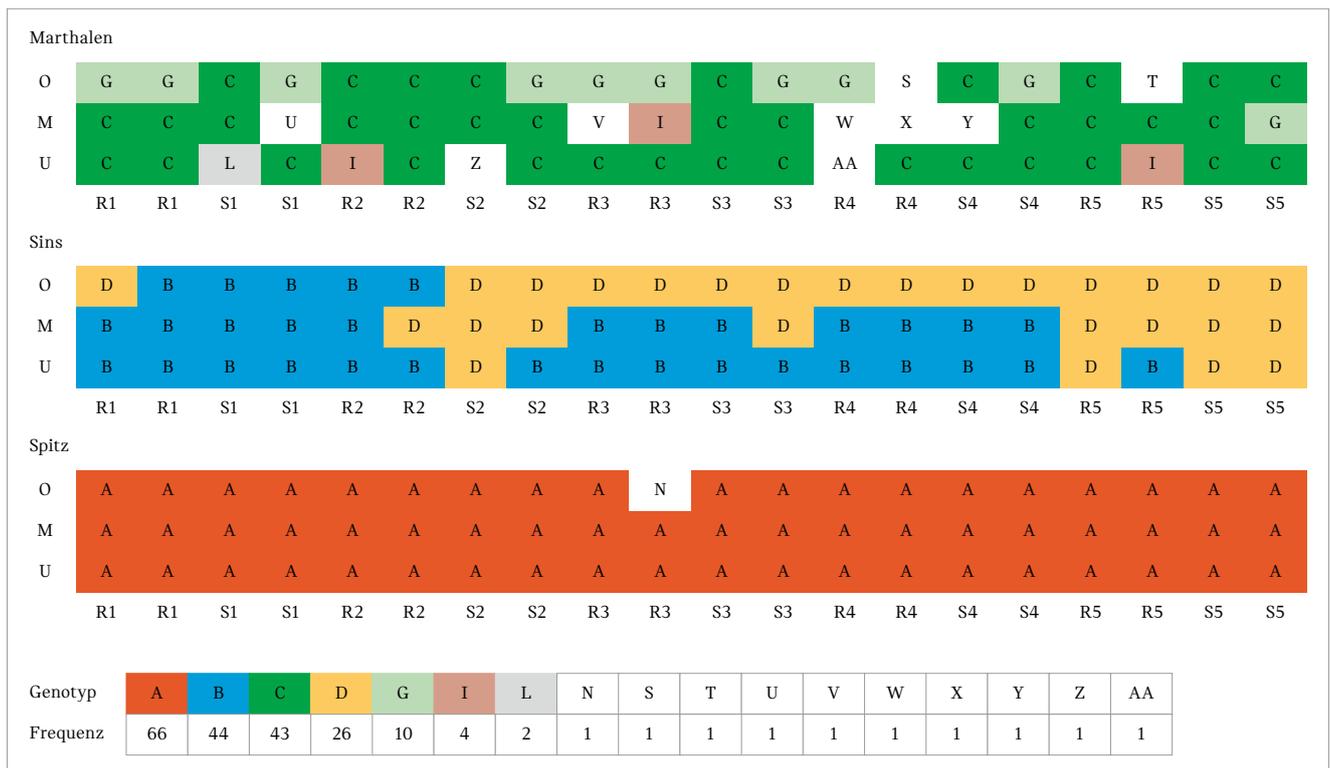
Kopplung ökologischer Aufnahmen am Boden mit Fernerkundungsmethoden oder mit der Modellierungssoftware BASEMENT (Vetsch et al. 2016). Diese Kopplung hat grosses Potential, Ökosysteme entlang unterschiedlicher Skalen – von kleinräumigen Habitaten bis hin zum Gesamteinzugsgebiet – integrativ zu bewerten.

**Literatur**

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **Produkte und Publikationen.**

**Abbildung 7b**

Die Genotypen (Farbcode) der Eichenstabflechte *Bactrospora dryina* an drei Eichen von drei Standorten (Marthalen, Sins, Spitz). Die populationsgenetische Analyse zeigt unterschiedlich hohe genetische Vielfalt auf einzelnen Bäumen und einen niedrigen Genfluss zwischen den drei Standorten. Diese Daten weisen darauf hin, dass die Hartholzauenwälder untereinander nicht vernetzt sind.



Quelle: Nadyeina et al. 2017

**Tabelle 1**

Methoden zur Messung der Sedimentdynamik. Methoden in Entwicklung sind blau hinterlegt. EZG: Einzugsgebiet.

Messgrösse	Methode/ Messgerät	Anwendungs- bereich	Stärke (+) Schwäche (-)	Skala		Literatur-Nr.
				Zeit	Raum	
<b>Schwebstoffe</b>						
Konzentration (und z.T. Grösse und/ oder Form)	Optische Sensoren (Licht oder Laser)	Bestimmung der Schwebstoffkon- zentration als Funktion der Trübung	+ Präzision + Zeiterfassung + autonome Messung + Abschätzung Transport via Geschwindigkeit (zwei Sensoren) - Stromversorgung - Sedimente nicht gesammelt - Kalibrierungsbedarf	Momentauf- nahme – Monitoring	Punktmessung	1)
	Akustische Verfahren (Nutz- ung Dopplereffekt, d. h. mittels Re- fektion Schall- wellen)	Vielfältiger Einsatzbereich (Monitoring, Forschung etc.)	+ Präzision + Profilerstellung möglich + Geschwindigkeitsberechnung - in Weiterentwicklung - spezifische Kalibrierung	Momentauf- nahme – Monitoring	Punktmessung, Profile und Transecte	2)
	Vertikale Röhrensammler	Standardisierte Felderhebung, anschliessende Laboranalyse	+ Design robust, einfach + Sedimente gesammelt - Störung des Abflusses, v. a. sohlennahe - Variabilität zwischen Erhebern	Sammelprobe	Punktmessung	3)
	Pumpsammler	Standardisierte Felderhebung, anschliessende Laboranalyse	+ Design robust + Sedimente gesammelt + Profilerstellung möglich - anfällig auf Verstopfung - Installation aufwändig	Kontinuierlich oder gepulst (inkl. Zeitreihen)	Punktmessung und Profile	1)
	Visuelle Einschät- zung Sichttiefe	Grobe Einordnung Trübung, z. B. Bewertung äusserer Aspekt	+ Standardmethode + einfache Anwendung - Subjektivität	Moment- aufnahme	Abhängig von Beprobung	4) 5)
	Schöpfproben	Standardisierte Felderhebung, anschliessende Laboranalyse	+ Design robust, einfach + Sedimente gesammelt + breite Anwendung, etabliert - Störung des Abflusses, v. a. sohlennahe und seichte Stellen - Variabilität zwischen Erhebern	Momentaufnahme	Punktmessung und Profile	1)
	<b>Geschiebe</b>					
Masse oder Volumen pro Zeit	Geschiebe(fang)- körbe	Beprobung Geschiebe	+ rel. kostengünstig + Messung während Hochwasser - Fluss watbar - mehrere Körbe nötig	Einmalige Erhebung	Mesohabitat – Abschnitt	6)
	Geophon-Senso- ren (Vibrations- messung)	Quantifizierung Geschiebetrans- port	+ autonome Messung - aufwändige Installation - Standortanforderungen - Kalibrierung schwierig	Mehrmalige und kontinuierliche Erhebung	Mesohabitat – Abschnitt	7) Abb. 1

Messgrösse	Methode/ Messgerät	Anwendungs- bereich	Stärke (+) Schwäche (-)	Skala		Litera- tur-Nr.
				Zeit	Raum	
	Structure from motion (3D Oberflächenberechnung via digitaler Bildvermessung)	Charakterisierung Topographie und Monitoring geomorphologischer Veränderungen	+ kostengünstig + Aufnahmen in schwer zugänglichem Gebiet möglich - Datenaufbereitung aufwändig - limitiert in benetzten/bewachsenen Flächen - Expertenwissen	Jahre (mehrmalige Erhebung)	Mesohabitat – Abschnitt	8) Abb. 3
Umwälzung/ Partikel- Verhalten	Scour chains	Bestimmung Nettounterschied zwischen Erosion und Ablagerung	+ Messung während Hochwasser - Störung Sohle bei Installation - aufwändig (Feld) - Auffindbarkeit - Messung Nettounterschied (≠ zeitliche Variation)	Ereignis-Monitoring	Mesohabitat – Abschnitt	9)
	Farbmarkierung Partikel	Ausmass Sedimentumlagerung	+ kostengünstig - zeitaufwändig - Fluss watbar - Auffindbarkeit	Ereignis-Monitoring	Mesohabitat – EZG	10)
	PIT-Tagging Partikel	Ausmass Sedimentumlagerung	+ Tracking Einzelpartikel + relativ kostengünstig - Fluss watbar - aufwändig (Vorbereitung, Feld)	Ereignis-Monitoring	Mesohabitat – EZG	11)

Substratzusammensetzung						
Korngrößen- Verteilung	Pebble-count, z.B. entlang eines Transekts	Charakterisierung Lebensraum, Grundlagendaten (z.B. hydraulische Modellierung)	+ Datenaufbereitung schnell + kostengünstig + Beprobung benetzter Flächen - Unterschätzung kleiner Partikel - Variabilität zwischen Erhebern und Proben - nur Deckschicht	Jahre	Mesohabitat – Abschnitt	12)
	Linienzahlanalyse	Charakterisierung Lebensraum, Grundlagendaten (z.B. Berechnung Geschiebefracht)	+ Datenaufbereitung schnell + kostengünstig + Beprobung benetzter Flächen + geringe Variabilität zwischen Erhebern und Proben - zeitaufwändig im Feld - nur Deckschicht	Jahre	Mesohabitat – Abschnitt	13)
	Mittlere Korngrösse und Heterogenität	Charakterisierung Lebensraum	+ schnelle, einfache Erhebung + ökologisch relevante Grössen - nur Deckschicht	Jahre	Mesohabitat – Abschnitt	14)
	Basegrain/ Bildanalyse	Charakterisierung Korngrößen-Verteilung	+ schnelle Erhebung + kostengünstig + geringe Variabilität zwischen Erhebern und Proben + Extrapolation auf Verteilung unterhalb Deckschicht - Datenaufbereitung lang - Fehler aufgrund Schattenwurfs - Präzision unter Wasser reduziert	Jahre	Mesohabitat – Abschnitt	15) Abb. 2a

Messgrösse	Methode/ Messgerät	Anwendungs- bereich	Stärke (+) Schwäche (-)	Skala		Litera- tur-Nr.
				Zeit	Raum	
Akkumulation im Porenraum der Sohle (Kolmation)	Sedimentakkumu- lationskorb	Ausmass Fein- sedimenteintrag in Sohle	+ relativ kostengünstig + Messung während Hochwasser - Fluss watbar - mehrere Körbe nötig	Sammelprobe	Punktmessung	16)
	Visuelle Beur- teilung Kolmation in 5 Stufen	Eignung Laich- plätze, Austausch mit Grundwasser	+ schnelle, einfache Erhebung + ökologische Relevanz - kategorielle Daten - nur unbenetzte Bereiche - Subjektivität	Jahre	Mesohabitat	17)
<b>Gerinneform</b>						
Sinuosität Anzahl Arme Bänke und Inseln Habitatum- lagerung	Fernerkundung (Drohne/Flug- zeug/Satellit)	Veränderung Ökosystem	+ häufige, effektive Bewertung auf Landschaftsebene - Ausrüstung - Expertenwissen - bedingt anwendbar im Wasser	Tage – Jahrzehnte	Mesohabitat – EZG	18) 19) Abb. 4
<b>Gerinnegeometrie</b>						
Gerinne- dimension	Querprofilauf- nahmen	Charakterisierung Lebensraum, Grundlagendaten (z. B. Berechnung Geschiebefracht)	- zeitaufwändig	Jahre	Mesohabitat – EZG	1)
	3D Oberflächenin- formation mittels LiDAR (Light detection and ranging)	Charakterisierung und Veränderung Ökosystem (z. B. Umlagerung)	+ präzise 3D Information - kostspielig - Ausrüstung - Expertenwissen	Jahre	Mesohabitat – EZG	8) Abb. 2b
	Acoustic-Doppler- Current-Profilier (ADCP)	Vielfältiger Einsatzbereich (Monitoring, Forschung etc.)	+ präzise 3D Information - Ausrüstung - Expertenwissen	Tage – Jahrzehnte	Abschnitt	20)
	Modelle (z. B. Basement)	Breite Anwendung, z. B. Gefahren- prävention, eFlows, Revita- lisierung	+ vielfältiger Einsatzbereich + ermöglicht Voraussagen + Visualisierung - zeitaufwändig - grosse Datenmenge	Tage – Jahrzehnte	Abschnitt – EZG	21)

**Tabelle 2**

Methoden zur Messung der Auswirkungen der Sedimentdynamik auf die Umweltbedingungen und die ökologischen Prozesse. Methoden in Entwicklung sind blau hinterlegt. EZG: Einzugsgebiet

Messgrösse	Methode/ Messgerät	Anwendungs- bereich	Stärke (+) Schwäche (-)	Skala		Literatur-Nr.
				Zeit	Raum	
Rückhalt organischen Materials	Ausbringen von künstlichem Laub (Papier)	Bisher v. a. Forschungsprojekte	+ Simulation eines natürlichen Prozesses (Feldexperiment) + standardisierte Bewertung - Fluss wasserbar - Personenaufwand	Stunden	Abschnitt	22) Steckbrief 25
Respiration (CO <sub>2</sub> Flux)	Boden-Respirations-Kammer	Bisher v. a. Forschungsprojekte	+ schnell und günstig + standort- und zeitspezifisch + Erkennen schneller Veränderung - Störung Hyporheos bei Beprobung	Stunden – Tage	Mesohabitat	23) Abb. 5

**Tabelle 3**

Methoden zur Messung der Auswirkungen der Sedimentdynamik auf die Lebewesen in Fließgewässern. Methoden in Entwicklung sind blau hinterlegt. EZG: Einzugsgebiet

Messgrösse	Methode/ Messgerät	Anwendungs- bereich	Stärke (+) Schwäche (-)	Massstab		Literatur-Nr.
				Zeit	Raum	
Sukzessionsstadien						
Zusammensetzung Pflanzen-gemeinschaften und Alters-klassen	Bestandes-erhebung	Charakterisierung Habitatmosaik in Auen	+ kombinierbar (Luftbilder/LIDAR, Verbreitungsdaten) + Indikatorarten für gewisse Habitatstypen - zeitaufwändig - Expertenwissen	Saison – Jahre	Regional – global (CH meist 10 – 100 m <sup>2</sup> )	39) 24) 25)
			+ hohe Auflösung - Datentransformation nötig - Expertenwissen - ggf. Bodendaten nötig			Saison – Jahre
	Ausbreitung und Genfluss	Charakterisierung Lebensraum-verbund	+ Arten und Populationen + präzise + Erklärung vergangener und heutiger Diversität - Interpretation schwierig (versch. Effekte mit gleichem genet. Muster) - Expertenwissen - kostspielig	historisch – heute	regional – global	27) Abb. 7a, 7b
	Modellierung potentiell geeigneter Habitate für Auenpflanzen	Abschätzen Revitalisierungspotential	+ Abschätzung vergangener, heutiger und zukünftiger Verbreitung - Expertenwissen - Umweltdaten nötig	Historisch – Vorhersage	regional – global	28) Abb. 6

Messgröße	Methode/ Messgerät	Anwendungsbereich	Stärke (+) Schwäche (-)	Massstab		Literatur-Nr.
				Zeit	Raum	
<b>Vertikale Vernetzung/Kolmation</b>						
Fortpflanzung kies-laichender Fischarten	Zählen von Laichgruben, Larven, Laichtieren	Eignung Laichhabitat, Fortpflanzungserfolg, z. B. nach Schüttungen	+ schnell und einfach + Index zu mehrjährigem Fortpflanzungserfolg - Zugänglichkeit Standorte	Saison – Jahre	Abschnitt – EZG	29) 30)
	Experimentelles Ausbringen von Fischeiern (z. B. Vibertboxen)	Eignung Laichhabitat, Fortpflanzungserfolg unter Feinsedimenteintrag	+ Anwendung einfach + modifiziert, um Feinsedimenteintrag zu quantifizieren - Anzahl Eier beschränkt	Saison – Jahre	Mesohabitat – Abschnitt	31) 32) 33) 34)
<b>Abschürfung</b>						
Widerstandskraft (= Resistenz)	Ausbringen künstlicher Moose (Velcro Streifen)	Ermittlung Abschürfungintensität	+ kostengünstig	Saison – Jahre	Mesohabitat – Abschnitt, Vergleich zwischen Flüssen	35)
	Ausbringen künstlicher Uferpflanzen (Holzstäbchen)	Ermittlung Geschiebedynamik an Ufern	+ kostengünstig + Quantifizierung Erosion	Saison – Jahre	Mesohabitat – Abschnitt, Vergleich zwischen Flüssen	35)
	Vorkommen abschürfungs-resistenter Artengruppen (z. B. Algen)	Charakterisierung Geschiebedynamik	+ Gilden-basiert, dadurch breit vergleichbar - Expertenwissen	Saison – Jahre	Mesohabitat – EZG	36)
	Dendrochronologie (z. B. Jahrringanalyse)	Rekonstruktion früherer Geschiebedynamik	- Expertenwissen	historisch	Abschnitt	37)
Erholungsfähigkeit (= Resilienz)	Periphytonvorkommen (Gehalt an Chlorophyll a)	Störungsintensität, Zeitpunkt seit geschiebeführendem Hochwasser	+ einfach und günstig + breit genutzt + funktioneller Indikator - Expertenwissen für Bestimmung	Saison – Jahre	Mesohabitat – Abschnitt	35)
	Vielfalt und Intensität mikrobieller Prozesse	Bisher v. a. Forschungsprojekte	+ Erhebung einfach + funktioneller Indikator + Kosten sinken - Expertenwissen	Tage – Jahre	Mesohabitat – Abschnitt	38)

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Beteiligte Forschungsinstitutionen:** Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

**Projektleitung:** Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario J. Franca, LCH-EPFL

**Fachliche Begleitung:** BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapoza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redaktion:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Lektorat:** Regina Gerber

**Zitierung:** Döring, M., Facchini, M., Fink, S., Franca, M. J., Martín Sanz, E., Robinson, Ch., Scheidegger, Ch., Siviglia, N., Trautwein, C., Vetsch, D., Weber, Ch., 2017: Sedimentdynamik und ihre Auswirkungen messen. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 2.

**Gestaltung und Illustrationen:** Anamorph, Marcel Schneeberger

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d [www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

© BAFU 2017

### 3 Bedeutung und Einflussfaktoren der Feinsedimentdynamik

*Feinsedimente und ihre Dynamik beeinflussen die Morphologie und die Lebensräume der Fliessgewässer. Feinsedimente entstehen durch Prozesse wie Boden-erosion und tragen zur Entstehung von Hartholzauen und anderen Lebensräumen in und an Fliessgewässern bei. Das vorliegende Merkblatt beschreibt die Feinsedimentdynamik und zeigt, wie sie durch die Uferstruktur und weitere Faktoren beeinflusst wird. Im Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» wurde der Einfluss der Geometrie von Uferbuchten auf die Feinsedimentdynamik systematisch in Laborexperimenten untersucht.*

**C. Juez, M. J. Franca, S. Fink, Ch. Scheidegger, A. Siviglia, S. Stähly, C. Trautwein, Ch. Weber, A. Schleiss**

Als Feinsedimente werden Partikel mit einem Korndurchmesser von weniger als 2 mm bezeichnet, d. h. die Fraktionen Schluff, Ton und Sand. In Fliessgewässern liegen Feinsedimente meist in der Unterschicht der Flusssohle oder werden als Schwebstoffe im Wasser transportiert. In der Deckschicht kommen Feinsedimente vor allem vor, wenn die Flusssohle kolmatiert ist. Für die Mobilisierung und den Transport der Feinsedimente braucht es genü-

gend starke Turbulenzen wie in alpinen oder voralpinen Flüssen. In der Wassersäule nimmt die Konzentration von Schwebstoffen mit der Tiefe zu: Die höchste Konzentration befindet sich in Sohlennähe, wo die Schwebstoffe mit den Partikeln der Flusssohle im Austausch stehen. Die kleinsten Sedimentpartikel (<0,1 mm) sind ständig in Schwebelage und werden als Feinstschwebstoffe («wash load») bezeichnet.

#### **Mobilisierung, Transport und Ablagerung**

Die drei wichtigsten Quellen von Feinsedimenten sind (vgl. Merkblatt 1):

- Erosion und Verwitterung von Fels und Boden;
- Abrieb von grobkörnigem Geschiebematerial (in Flüssen, Gletschern) und Zusammenprall von größerem Geschiebe während Hochwasserereignissen;
- Erdbeben und Murgänge.

In alpinen und voralpinen Flüssen sind Feinsedimente ständig in Bewegung. In strömungsberuhigten Zonen sowie in langsam fliessenden und stehenden Gewässern hingegen sinken sie auf den Grund und lagern sich ab (Abb. 1). In kanalisiertem Flüssen tragen Feinsedimente

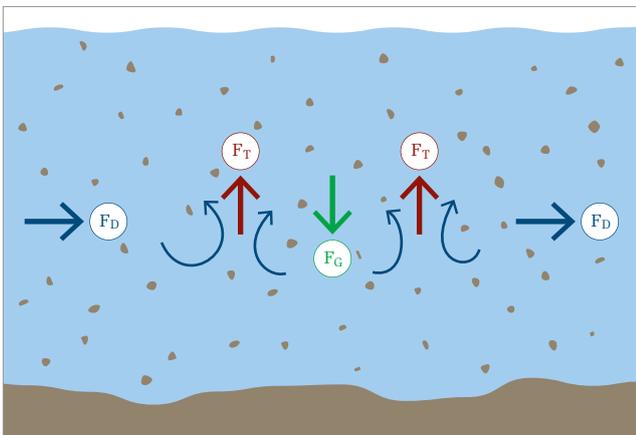
#### **Abbildung 1**

*Schematische Darstellung der Uferbuchten, die in einem Laborversuch erforscht wurden (links). Lokale Aufweitung der Kander in Augand (BE) mit Kiesinseln und Feinsedimentablagerungen (rechts). Das Kanderwasser weist natürlicherweise einen hohen Anteil an Feinsedimenten auf.*



**Abbildung 2**

Schematische Darstellung der Kräfte, welche auf Schwebstoffe wirken. Der dynamische Auftrieb  $F_T$  infolge Turbulenz hält Feinsedimente in Suspension und ist abhängig von der Fließgeschwindigkeit. Die Strömungskraft  $F_D$  transportiert die Sedimente stromabwärts. Die Schwerkraft  $F_G$  wirkt der Turbulenzkraft entgegen und ist abhängig vom Eigengewicht der Partikel.



Quelle: LCH-EPFL

nur geringfügig zu Auflandungen bei. In Seen und Stauseen hingegen machen sie den Hauptanteil des Sedi-  
 menteintrags aus. So werden etwa die Feinsedimente glazialen Ursprungs von der Rhone in den Genfersee transportiert und setzen sich dort im Deltabereich ab oder werden als Trübestrom ähnlich einer Unterwasserlawine in tiefere Bereiche des Sees transportiert. In natürlichen Gewässern werden Schwebstoffe bei Hochwasser auf Vorländer und Auenebenen gespült, wo sie sich absetzen und abgelagert werden. Feinsedimente in

**Tabelle 1**

Grosse Schweizer Seen, in denen sich beträchtliche Mengen an Feinsedimenten aus den Hauptzuflüssen ablagern.

See	Fluss
Brienzersee	Aare, Lütschine
Bodensee	Rhein
Genfersee	Rhone
Lago Maggiore	Ticino
Thunersee	Kander
Vierwaldstättersee	Reuss, Muota
Walensee	Linth

Quelle: LCH-EPFL

Weichholz- und Hartholzauen werden oft als Auenlehm bezeichnet und tragen zum Nährstoffeintrag bei. Durch menschliche Eingriffe ist dieser Prozess jedoch beeinträchtigt (vgl. Kap. Menschliche Eingriffe in die Feinsedimentdynamik).

Abbildung 2 zeigt, dass physikalische Prozesse wie Auftrieb und Turbulenz das Aufwirbeln, Absinken und Ablagern von Feinsedimenten beeinflussen. Der Auftrieb wird im Wesentlichen von der Turbulenz rund um ein Feinsedimentpartikel bestimmt. Das Absinken wird durch die Schwerkraft ausgelöst und hängt primär von der Masse, aber auch von der Form eines Partikels ab (z. B. plattig vs. rund). Die Stärke der Turbulenz beeinflusst die Menge an Feinsedimenten, die in Schwebelag gehalten werden. Nimmt die Feinsedimentkonzentration zu und überschreitet einen bestimmten Grenzwert, beginnen sich die Partikel abzulagern. Werden die Turbulenzkräfte abrupt verringert, z. B. in Aufweitungen oder anderen Gewässerabschnitten mit geringen Fließgeschwindigkeiten, dominiert die Schwerkraft und führt zur Ablagerung und Anreicherung von Feinsedimenten.

**Feinsedimente in Schweizer Gewässern**

Alpine Flüsse transportieren mehr Schwebstoffe als Flüsse in tieferen Lagen. Mündet ein alpiner Fluss in einen See, wird dieser zu einem Sedimentablagerungsbecken. Gewisse Schweizer Seen nehmen die gesamte Feinsedimentfracht ihrer Zuflüsse auf (Tab. 1), und ihre Flussdeltas vergrössern sich deshalb laufend, z. B. das Rheindelta im Bodensee. Der Klimawandel erhöht im Allgemeinen die Schwebstoffzufuhr: Gletscher schmelzen vermehrt ab und legen grosse Mengen an Feinsedimenten in den Moränen frei, die durch Regen und Wind leicht erodiert werden und in die Flüsse gelangen.

**Ökologische Bedeutung von Feinsedimenten**

Organisches, d. h. Kohlenstoff-haltiges Material ist eine wichtige Energiequelle für Lebewesen und damit einer der Grundpfeiler der Nahrungsnetze, im Wasser wie an Land. In Fließgewässern kann organisches Material einerseits direkt im Gewässer produziert werden: Algen, Wasserpflanzen und Cyanobakterien nutzen das Sonnenlicht für die Photosynthese, d. h. für den Aufbau von

organischem Material. Andererseits kann anderswo produziertes organisches Material von aussen eingetragen werden, z.B. durch Laub, das vom angrenzenden Ufer oder von oberhalb liegenden Flussabschnitten eingeschwemmt wird.

Der ökologisch wichtige Kohlenstoffkreislauf ist an die Feinsedimentdynamik gekoppelt. So wird Kohlenstoff zusammen mit Feinsedimenten transportiert, und zwar gelöst im Wasser, an mineralische Oberflächen adsorbiert oder als organisches Material (Blattresten etc.). Seine Speicherung und weitere Verarbeitung auf Flusssohle und Auen hängen unter anderem von der Korngrösse der Feinsedimente ab, die sich ablagern (vgl. Kap. Menschliche Eingriffe in die Feinsedimentdynamik).

An Feinsedimenten können auch Nährstoffe haften. Feinsedimente sind deshalb eine wichtige Nährstoffquelle für die aquatischen Algen und die Auenvegetation, und sie fördern das Wachstum. Zusätzlich trägt die Erosion von Sedimenten in Auen zur Nährstoffversorgung bei, indem das abgetragene organische Material als Nahrung für aquatische Organismen dienen kann (Colditz 1994).

Die Korngrösse der Sedimente beeinflusst das Vorkommen unterschiedlicher Auentypen (vgl. Merkblatt 5): Lagern sich vorwiegend Kies und gröbere Sedimentpartikel entlang des Flussufers ab, entstehen Weichholzaunen; lagern sich hingegen mehr Feinsedimente ab, entstehen

#### Abbildung 3

Ablagerungen von Feinsedimenten in der Kander (BE) bieten Pionierpflanzen einen Lebensraum.



Foto: Vinzenz Maurer

Hartholzaunen. Zusätzlich zur Korngrösse beeinflusst die Häufigkeit von Überflutungen das Vorkommen der beiden Auentypen (Colditz 1994; Ellenberg 2010).

Dank der Feinsedimente und der damit angeschwemmten Nährstoffe können die Samen von Baumarten, die in den Auen vorkommen, nach Abklingen eines Hochwassers auskeimen. Zu diesen Baumarten zählen Weiden, Erlen und Pappeln (Delarze et al. 2015). Dies gilt auch für verschiedene Zielarten<sup>1</sup> im Natur- und Artenschutz. Viele Zielarten profitieren von der Ablagerung von Feinsedimenten, weil dadurch neue nährstoffreiche Lebensräume entstehen (Abb. 3). Bei einzelnen Arten wie der Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica*) jedoch wird die Keimung durch den Eintrag von organischen Feinsedimenten gehemmt.

Die Dynamik von Feinsedimenten hat direkte und indirekte Auswirkungen auf aquatische Organismen im gesamten Nahrungsnetz (vgl. Merkblatt 1). Viele Lebewesen sind an die Sedimentdynamik angepasst, dabei gibt es Anpassungen der Morphologie, der Physiologie, des Verhaltens oder des Lebenszyklus.

### Menschliche Eingriffe in die Feinsedimentdynamik

Menschliche Eingriffe können das natürliche Gleichgewicht zwischen Eintrag und Transport von Feinsedimenten stören. Dies hat vor allem zwei Folgen:

- 1) Ein erhöhter Feinsedimenteintrag kann zur Kolmation der Flusssohle führen. Der Austausch von Oberflächen- und Grundwasser sowie der Sauerstofftransport ins Kieslückensystem werden dadurch beeinträchtigt.
- 2) Geringe Fließgeschwindigkeiten begünstigen die Ablagerung von Feinsedimenten und können dadurch den Hochwasserschutz gefährden.

In der Schweiz wird die Wasserkraft aufgrund der günstigen Topographie stark genutzt. Zudem führten die hohe

<sup>1</sup> Der Begriff «Zielarten» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > Produkte und Publikationen.

Besiedlungsdichte, Hochwasserschutzmassnahmen oder Flussbegradigungen für den Kulturlandgewinn zu einer naturfernen Fliessgewässermorphologie (vgl. Merkblatt 1). Diese Tätigkeiten des Menschen wirken sich direkt oder indirekt auf die Feinsedimentdynamik aus. Die wichtigsten menschlichen Eingriffe in die Feinsedimentdynamik werden in den nächsten Abschnitten kurz erläutert.

#### Bauarbeiten

Bei Baustellen in und an Flüssen können Feinsedimente freigesetzt werden. Diese werden durch Wind oder Regen in Fliessgewässer eingetragen oder durch das Aufwirbeln im Wasser mobilisiert und weitertransportiert.

#### Flussbegradigungen

Flüsse wurden begradigt, um den Hochwasserschutz zu gewährleisten sowie um landwirtschaftliche Flächen zu gewinnen. Flusskorrekturen vermindern die natürliche Variabilität der Gerinnebreite, wodurch auch die Vielfalt an Fliessgeschwindigkeiten und Wassertiefen abnimmt. Als Folge davon verschwinden Lebensräume mit langsam fließendem bis stehendem Wasser sowie Auengebiete, und die Schwebstofffracht kann sich in den begradigten Flüssen kaum mehr absetzen. Eine Ausnahme stellen begradigte Flüsse mit gegliederten Querschnitten wie Doppeltrapezprofilen dar, wo es bei Hochwasser zu Feinsedimentablagerungen auf den Vorländern kommt.

#### Stauanlagen

In der Schweiz wird Strom zu einem grossen Teil durch Wasserkraftwerke produziert. Stauseen erhöhen die Flexibilität in der Elektrizitätsproduktion. Stauanlagen mit grossen Stauseen können Sedimente nahezu vollständig zurückhalten und unterstrom zu einem Defizit führen. Der Stauraum wirkt wie ein Geschiebesammler und verlandet mit der Zeit (vgl. Merkblatt 6). Als Gegenmassnahme, um das Speichervolumen der Stauseen zurückzugewinnen, werden Stauraumpülungen durchgeführt. Bei ungenügender Verdünnung führen diese zu hohen Konzentrationen von Feinsedimenten im Unterwasser (Abb. 4), die sich flussabwärts in Bereichen mit geringen Fliessgeschwindigkeiten ablagern können.

#### Veränderung der Bodenbedeckung

Veränderungen der Bodenbedeckung, z. B. durch landwirtschaftliche Nutzung, Waldbrände oder Forstwirtschaft,

#### Abbildung 4

Die Aare im Haslital (BE) mit einer stark erhöhten Feinsedimentfracht nach der Spülung des Stausees Räterichsbodensee.



Foto: Markus Zeh

schaft, können die Erosion erhöhen. Dadurch werden Feinsedimente abgeschwemmt und die Feinsedimentdynamik verändert. Insbesondere in tieferen Lagen trägt offenes Landwirtschaftsland zu einem grossen Teil des Feinsedimenteintrags in Bäche und Flüsse bei.

#### Morphologische Auswirkungen

Ein erhöhter, lang andauernder Eintrag von Feinsedimenten in Flüssen mit einer Kiessohle und einem Gefälle von 0,1 % bis 1 % steigert zuerst die Mobilität des Kieseltransport. Hält die Zufuhr an, wird das Kieslückensystem der Flusssohle mit der Zeit aufgefüllt, was im Extremfall zur Kolmation der Sohle führen kann. Dadurch wird die Rauheit reduziert, es entsteht eine glatte und statische Flusssohle, welche die Fliessgeschwindigkeiten in Sohlennähe erhöht. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit mittlerer und grösserer Hochwasser kann somit verstärkt werden und Sedimentbewegungen in Form einer Sedimentwelle verursachen.

Erhöhte Einträge und Ablagerungen von Feinsedimenten aufgrund von menschlichen Eingriffen können die Wassertiefe verringern und die Bildung von Sohlformen wie Dünen fördern. Dadurch wird die Makrorauigkeit der Flusssohle erhöht und die Strömung beeinflusst, welche sich wiederum auf die Flussmorphologie auswirkt.

Das Spülen von Feinsedimenten aus Stauseen mit hohen Konzentrationen kann flussabwärts eine erhebliche Verlandung und Ablagerung von Feinsedimenten verursachen. Verlandungen treten vor allem in Bereichen mit geringen Fließgeschwindigkeiten und in Strömungsschatten auf, z. B. hinter grossen Blöcken in Ufernähe.

Ein Defizit an Feinsedimenten kann andererseits Erosion oder Uferinstabilitäten fördern.

### **Ökologische Auswirkungen**

Ein Mangel an Feinsedimenten einerseits hat zahlreiche ökologische Folgen, weil Feinsedimente unter anderem den Nährstoffhaushalt in Auen und anderen Lebensräumen in und an Fließgewässern beeinflussen und zur Entstehung von Hartholzauenwäldern und weiteren Lebensräumen beitragen (vgl. Kap. Ökologische Bedeutung von Feinsedimenten).

Eine erhöhte Konzentration an Schwebstoffen andererseits reduziert den Einfall von Sonnenlicht ins Fließgewässer («Trübung»). Hohe Schwebstoffkonzentrationen können die Photosynthese vermindern oder auf seichte Uferbereiche beschränken. Dies kann zu Veränderungen im gesamten Nahrungsnetz führen, wie neue Studien mithilfe stabiler Isotope zeigen: Beispielsweise sind Insektenlarven bei stärkerer Trübung vermehrt von eingeschwemmter terrestrischer Nahrung abhängig. Erhöhte Schwebstoffkonzentrationen können auch Algen abraspeln («Sandstrahleffekt»), die Beutesuche von optisch jagenden Fischen erschweren oder die Territorien von Fischen verschieben.

Feinsedimente, die auf und in der porösen Kiessohle eines Flusses abgelagert sind, können das Kieslückensystem verstopfen (Kolmation) und damit den Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser verringern oder gar unterbinden. Dies kann die Temperaturvielfalt eines Flussabschnitts vermindern, die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf aufgrund fehlender Pufferung verstärken oder die mittlere Wassertemperatur im Sommer erhöhen. Temperaturerhöhungen können kaltwasserliebende Lebewesen wie Forellen stressen und in ihrem Verhalten und ihrer Entwicklung behindern.

Am besten untersucht sind die negativen Effekte der Kolmation auf kieslaichende Fischarten wie Forelle, Äsche oder Lachs. In einer kolmatierten Sohle werden die Eier im Kieslückensystem nur ungenügend mit Sauerstoff versorgt, und der Abtransport von Stoffwechselprodukten ist erschwert. Dies kann zum Absterben der Eier führen. Die Kolmation wirkt sich auch auf Insektenlarven negativ aus: Sie verlieren innerhalb des Kieslückensystems wichtige Mikrohabitate. Es sind jedoch nicht alle Arten gleichermassen betroffen: Empfindliche Arten werden geschwächt, während tolerantere Arten profitieren. Ausserdem können abgelagerte Feinsedimente Algen überdecken und zu einer Abnahme der Photosynthese führen oder sogar das Absterben der Algen verursachen.

Im Verlauf des Kolmationsprozesses reichert sich auch organisches Material im Kieslückensystem an. Diese Anreicherung in der Sohle wird zusätzlich verstärkt, wenn aufgrund erhöhter Bodenerosion auch vermehrt organisches Material eingetragen wird. Im Kieslückensystem erhöht sich als Folge die Verfügbarkeit von Nahrung und dadurch auch die Abbauraten, die jedoch von der Sauerstoffzufuhr im kolmatierten Sediment limitiert werden.

Feinsedimente können auch Schadstoffe wie Schwermetalle in die Auen eintragen, die sich dort ansammeln (Hostache et al. 2014).

### **Massnahmen zur Beeinflussung der Feinsedimentdynamik**

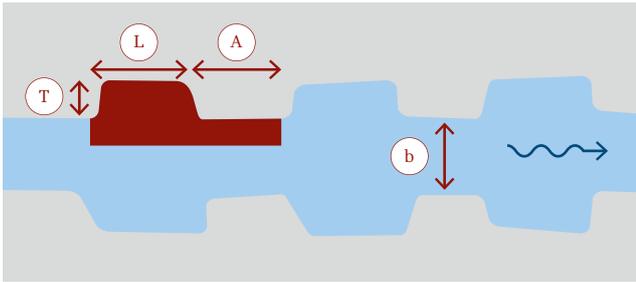
Die Feinsedimentdynamik in Fließgewässern kann durch verschiedene Massnahmen beeinflusst werden. Die nachfolgenden Kapitel erläutern unterschiedliche Typen von Massnahmen.

#### **Stauräumspülungen kombiniert mit Hochwasser**

Bei Stauräumspülungen werden grosse Mengen von abgelagerten Feinsedimenten erodiert und hydraulisch aus dem Stauraum transportiert (Abb. 4). Durch die Spülungen können Feinsedimente in Auenlebensräume transportiert werden, wo sie sich ablagern und die Entstehung von Weichholz- und Hartholzauen begünstigen. Bei der Spülung ist die Schwebstoffkonzentration unterhalb der Werte zu halten, die für die lokalen aquatischen Lebens-

**Abbildung 5**

Definition der im Labor untersuchten Geometrie der Uferbuchten.  
 $L$  = Buchtlänge,  $T$  = Buchttiefe und  $A$  = Buchtabstand.  $b$  bezeichnet die Kanalbreite.



Quelle: LCH-EPFL

gemeinschaften kritisch sind. Auch dürfen keine belasteten Sedimente freigesetzt werden. Stauraumpülungen benötigen daher eine sorgfältige Planung und Ausführung. Idealerweise sollten sie während der natürlichen Hochwasserperiode stattfinden, allenfalls können in Restwasserstrecken durch Öffnen der Auslässe künstliche Hochwasser herbeigeführt werden (vgl. Merkblatt 6). Um die Kolmation der Flusssohle zu verhindern, sollten Stauraumpülungen während des Rückgangs des natürlichen Hochwasserabflusses wieder beendet und mit sauberem Wasser nachgespült werden. In Kombination mit Geschiebeschüttungen unterhalb der Talsperre können Stauraumpülungen die Morphologie eines Fließgewässers verbessern, da der Geschiebetransport wieder aktiviert wird (Battisacco et al. 2016; Juez et al. 2016).

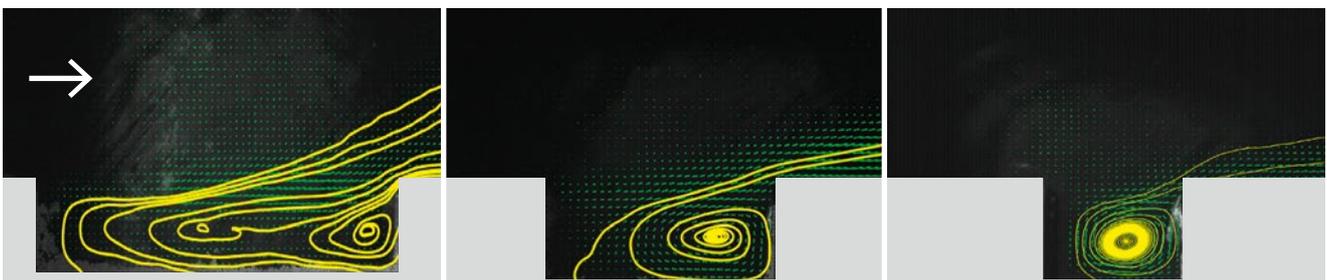
### Lokale Aufweitungen und Uferbuchten

Lokale Aufweitungen oder raue Ufer, z. B. durch Uferbuchten, können zur ökologischen Aufwertung eines Fließgewässers führen, indem sie die Vielfalt von Strömungen und Lebensräumen erhöhen (Abb. 1). Lokale Aufweitungen erstrecken sich über längere Flussabschnitte, deren Länge einem Mehrfachen der Flussbreite entspricht. Uferbuchten hingegen erstrecken sich über kürzere Abschnitte, deren Länge ungefähr einer bis drei Flussbreiten entspricht. Beide Massnahmen führen lokal zu geringeren Fließgeschwindigkeiten und begünstigen dadurch das Absetzen von Feinsedimenten in aufgeweiteten Flussabschnitten bzw. den Uferbuchten. In der Schweiz fehlen bisher praktische Erfahrungen mit systematisch angeordneten Uferbuchten (ausgenommen Buhnenfelder), dafür sind bereits zahlreiche lokale Aufweitungen umgesetzt worden. In Situationen, wo es an Raum mangelt für lokale Aufweitungen, können Uferbuchten eine Alternative darstellen, welche zudem als Fischrefugien in Schwall- und Sunkstrecken dienen können (Ribi et al. 2015).

Die Anordnung mehrerer Uferbuchten (Abb. 5) verursacht an den Ufern eine Makrorauigkeit, die das Absetzen von Feinsedimenten fördert. Die Geometrie der Uferbuchten beeinflusst, wie schnell sich Feinsedimente absetzen und wie rasch sie bei Hochwasser wieder ausgespült werden. Im Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» wurden unterschiedliche Geometrien von Uferbuchten in Laborexperimenten untersucht. Zudem wurden drei verschiedene Abflüsse verwendet, um ein möglichst brei-

**Abbildung 6**

Fließverhalten in Uferbuchten (Draufsicht). Von links nach rechts: Seitenverhältnis (SV) = 0,2, 0,4 und 0,8. Das Expansionsverhältnis (EV) wurde konstant 0,8 gehalten. Die grünen Pfeile entsprechen der Grösse der Geschwindigkeitsvektoren und die gelben Linien den Strömungslinien.



Quelle: LCH-EPFL

**Tabelle 2**

In Laborexperimenten untersuchte Geometrien seitlicher Uferbuchten und Abflüsse.

Parameter	Einheit	Intervall
Seitenverhältnis $SV = T/L$	[-]	0,2 – 0,8
Expansionsverhältnis $EV = T/A$	[-]	0,4 – 1,2
Relative Abflusstiefe = $h/b$	[-]	0,06 – 0,12
Feinsedimentkonzentration	[g/l]	0,5 – 1,5

Quelle: LCH-EPFL

tes Spektrum an Flüssen abzubilden. Das nächste Kapitel stellt die Resultate der Laborexperimente vor.

## Laborexperimente mit Uferbuchten

### Zweck

Mit Experimenten in einem Laborkanal wurde untersucht, wie sich Uferbuchten auf den Transport und die Ablagerung von Feinsedimenten auswirken. Insbesondere wurde analysiert, wie die Geometrie der Uferbuchten die abgesetzte Menge an Feinsedimenten beeinflusst. Daraus lässt sich ableiten, wie makrorauere Ufer den Transport von Feinsedimenten verändern können. Wird ein Rückhalt von Feinsedimenten gewünscht, kann die Geometrie der Buchten so gewählt werden, dass möglichst viele Feinsedimente abgelagert werden. Diese Rückhaltefunktion ist jedoch zeitlich begrenzt, falls die Buchten bei grösseren Hochwassern wieder freigespült werden.

### Untersuchte Geometrien und Abflüsse

Für die Laborexperimente wurde die Geometrie der Uferbuchten durch drei Grössen charakterisiert (Abb. 5): die Buchtlänge ( $L$ ), die Buchttiefe ( $T$ ) und den Buchtabstand ( $A$ ). Aus diesen drei Grössen lassen sich das Seitenverhältnis ( $SV = T/L$ ) sowie das Expansionsverhältnis ( $EV = T/A$ ) berechnen. Die in den Laborexperimenten untersuchten Seiten- und Expansionsverhältnisse sind in Tabelle 2 angegeben.

Neben den unterschiedlichen Geometrien wurden in den Laborexperimenten drei Abflüsse verwendet (niedrig, mittel, hoch). Die relative Abflusstiefe wurde mit dem Verhältnis der Abflusstiefe  $h$  zur Rinnenbreite  $b$  definiert ( $h/b = 0,06, 0,09, 0,12$ ). Die Feinsedimentkonzentration

wurde in den Experimenten so gewählt, dass im Kanal ohne Uferbuchten noch keine Ablagerungen stattfanden.

Je nach Geometrie und Abfluss in der Rinne kommt es in den Uferbuchten zu einer Zu- oder Abnahme der grossräumigen Rotationsströmung. Grossräumige Turbulenzzellen wie Wirbel halten Feinsedimente mehr oder weniger stark in Schwebelage.

### Resultate

Aus den Laborexperimenten ergeben sich folgende Beobachtungen (Abb. 6):

- Grosse Expansionsverhältnisse ( $EV > 0,8$ ) bewirken generell und unabhängig vom Abfluss einen erhöhten Rückhalt an Feinsedimenten.
- Grosse Seitenverhältnisse ( $SV > 0,6$ ) führen zu einem erhöhten Feinsedimentrückhalt bei niedrigen Abflüssen. Umgekehrt führen erhöhte Abflüsse (z.B.  $h/b > 0,07$ ) zu einem Anstieg der Turbulenz und einer Abnahme der zurückgehaltenen Sedimente. Das bedeutet, dass bei Niedrigwasser abgesetzte Feinsedimente bei Hochwasser wieder mobilisiert werden.
- Grosse Expansionsverhältnisse ( $EV > 0,8$ ) kombiniert mit grossen Seitenverhältnissen ( $SV > 0,6$ ) bewirken eine starke Ablagerung von Feinsedimenten in den Uferbuchten.
- Kleine Seitenverhältnisse ( $SV < 0,3$ ) bewirken Ablagerungen in den Ecken der Uferbuchten. Der Rest bleibt frei bzw. es lagern sich nur Grobsand und Kies ab.
- Grosse Seitenverhältnisse ( $SV > 0,6$ ) begünstigen die Ablagerung von Feinsedimenten in der Mitte der Uferbuchten. Die übrigen Bereiche bleiben frei von Feinsedimenten.

### Schlussfolgerungen

Für die praktische Anwendung können aus den Resultaten drei Erkenntnisse abgeleitet werden:

- In Flüssen mit geringer relativer Abflusstiefe ( $h/b < 0,07$ ) können Uferbuchten mit kleinen oder mittleren Seiten- und Expansionsverhältnissen die lokale Ablagerung von Feinsedimenten begünstigen. Wichtig ist, dass in den Uferbuchten Zonen mit hohen wie auch mit geringen Fliessgeschwindigkeiten gefördert werden. Da da-

durch unterschiedliche Korngrößen abgelagert werden, erhöht sich auch die Vielfalt an Habitaten.

- In Flüssen mit hoher relativer Abflusstiefe ( $h/b > 0,10$ ) können Uferbuchten mit grossen Seiten- und Expansionsverhältnissen ( $SV > 0,6$  und  $EV > 0,8$ ) für genügend Turbulenz sorgen. Dadurch lässt sich verhindern, dass Uferbuchten schnell verlanden, oder sie spülen bei Hochwasser Ablagerungen frei.
- Generell löst ein erhöhtes Expansionsverhältnis ( $EV > 0,6$ ) eine schnelle Verlandung von Uferbuchten bei mittleren relativen Abflusstiefen aus, welche bei Hochwasser ( $h/b > 0,10$ ) jedoch wieder mobilisiert werden können.

## Literatur

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite

**[www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > Produkte und Publikationen.**

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Beteiligte Forschungsinstitutionen:** Eawag; Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

**Projektleitung:** Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario Franca, LCH-EPFL

**Fachliche Begleitung:** BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redaktion:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Lektorat:** Regina Gerber

**Zitierung:** Juez, C., Franca, M.J., Fink, S., Scheidegger, Ch., Siviglia, N., Stähly, S., Trautwein, C., Weber, Ch., Schleiss, A., 2017: Bedeutung und Einflussfaktoren der Feinsedimentdynamik. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 3.

**Gestaltung und Illustrationen:** Anamorph, Marcel Schneeberger

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d [www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

© BAFU 2017

01.17 1500 86039243

## 4 Durchgängige Geschiebesammler in Wildbächen

*Geschiebesammler halten in Wildbächen Geschiebe zurück, um Hochwasserschäden in Siedlungen und an Infrastrukturbauten zu verringern. Klassisch konzipierte Geschiebesammler halten Geschiebe bereits bei kleinen Hochwassern zurück, die schadlos abgeführt werden könnten. Damit verursachen sie Geschiebedefizite und ökologische Beeinträchtigungen im Unterlauf. Das vorliegende Merkblatt zeigt auf, wie sich mit durchgängigen Geschiebesammlern die Geschiebekontinuität verbessern lässt.*

**S. Schwindt, M. J. Franca, S. Fink, Ch. Scheidegger, A. Schleiss**

Wildbäche verfügen aufgrund ihres steilen Gefälles über eine grosse Geschiebetransportkapazität, und ihre Einzugsgebiete zeichnen sich durch hohe Geschiebeverfügbarkeit aus. Bei Hochwasser können Wildbäche grosse Geschiebefrachten transportieren und dadurch die Morphologie des Gewässerunterlaufs verändern. Die Gerinnemorphologie und der Geschiebetransport beeinflussen die Entwicklung der Gewässerlebensräume mit deren Flora und Fauna (vgl. Merkblatt 1). Geschiebesammler zum Schutz von Siedlungen und Infrastrukturbauten halten Geschiebe meist vollständig zurück und

unterbrechen damit den Geschiebetransport. Gleichzeitig unterbrechen sie die Längsvernetzung von Lebensräumen entlang von Fliessgewässern (vgl. Merkblatt 5). Geschiebesammler bestehen aus einem Sperrbauwerk mit einer Auslassöffnung sowie einem Rückhalteraum (Abb. 2).

Im Einzugsgebiet eines Wildbachs (vgl. Merkblatt Sediment- und Habitatsdynamik in Fliessgewässern: Abb. 1, Tab. 1; Detailausschnitt: vgl. Abb. 1) beeinflussen verschiedene Schutzbauwerke die Geschiebedurchgängigkeit. Im oberen Bereich des Einzugsgebiets sowie in der oft vorhandenen Schluchtstrecke werden Wildbachsperrn eingesetzt, um die Sohlenerosion zu vermindern und die Ufer zu stabilisieren. Im unteren Bereich des Einzugsgebiets entsteht durch Ablagerungen des Wildbachs ein Schwemmkegel, auf dem sich oft Siedlungen und Infrastrukturanlagen befinden.

Auf dem Schwemmkegel mit geringerem Gefälle ist das Gewässer meist vollständig kanalisiert, mit einer befestigten Sohle zur Erhöhung der Geschiebetransportkapazität. Während extremen Hochwassern können aber trotzdem gefährliche Geschiebeablagerungen insbeson-

### Abbildung 1

*Schematische Darstellung eines Geschiebesammlers zum Schutz einer Galerie (links). Geschiebesammler an einem Zufluss der Reuss bei Gurtellen (UR; rechts).*



dere an Engpässen wie an Brücken entstehen, welche beträchtliche Schäden in Siedlungen verursachen können. Dies zeigten beispielsweise die Hochwasserereignisse im Jahr 2000 in den Gemeinden Brig (VS) und Naters (VS; BWG 2002). Zur Vermeidung von Schäden werden deshalb oberhalb von Siedlungen oder Infrastrukturanlagen Geschiebesammler errichtet.

### **Schutzbauwerke an Wildbächen**

Die Transportprozesse von Geschiebe und Schwemmh Holz sind verschieden, weshalb unterschiedliche Schutzbauwerke zum Einsatz kommen. Klassisch konzipierte Geschiebesammler sind auf den Rückhalt fluvialen Geschiebetransports bei Hochwasser ausgelegt, bei dem der Feststoffanteil nur wenige Prozent des Gesamtabflusses (= Wasser und Feststoffe) beträgt. Ereignisse mit einem Feststoffanteil von mehr als 20% des Gesamtabflusses werden als Murgänge bezeichnet. Schutz vor Murgängen bieten beispielsweise Murbrecher. Aber auch Geschiebesammler können so ausgelegt werden, dass sie das durch Murgänge transportierte Sedimentmaterial zurückhalten. In solchen Fällen ist jedoch das Sperrbauwerk, insbesondere dessen Öffnungsgrösse, differenziert zu betrachten.

Klassisch konzipierte Geschiebesammler haben einen Rückhalteraum oberhalb des Sperrbauwerks, wie Abbildung 2 an einem Beispiel bei Riddes (VS) zeigt. Das Sperrbauwerk ist mit einer (oder mehreren) Auslassöffnung(en) versehen. Bei Hochwasser verschliessen sich diese selbsttätig hydraulisch oder mechanisch, was im Rückhalteraum zu Einstau führt. Hydraulischer Verschluss tritt ein, wenn der Abfluss des Wildbaches die Abflusskapazität der Auslassöffnungen übersteigt. Mechanischer Verschluss entsteht, wenn der Wildbach Geschiebe und/oder Schwemmh Holz transportiert, deren charakteristische Grösse zur Verstopfung der Auslassöffnung führt (Piton und Recking 2016a). Um die Stabilität eines Geschiebesammlers zu gewährleisten, sind weitere bauliche Elemente notwendig (z. B. Kolkenschutz am Fuss des Sperrbauwerks), sowie eine Zufahrt für den Unterhalt. Für den Beschrieb der grundlegenden Wildbachprozesse sowie der baulichen Gestaltung von Geschiebesammlern und Wildbachsperrern wird auf die Fachliteratur verwiesen (z. B. Bergmeister et al. 2009).

Bei klassisch konzipierten Geschiebesammlern ist die Auslassöffnung oft unzureichend bemessen. Auslassöffnungen, die zu schmal oder zu niedrig sind, verursachen bereits bei kleinen Hochwassern einen Rückstau und begünstigen frühe Geschiebeablagerungen im Rückhalteraum. Zu enge Auslassöffnungen unterbrechen zudem für zahlreiche Fischarten die Durchgängigkeit. Der entstehende permanente Rückstau beschleunigt den Abfluss in der Auslassöffnung. Aufgrund der erhöhten Fliessgeschwindigkeit können schwimmschwache Fische das Bauwerk nicht mehr flussaufwärts passieren, insbesondere bei glatter Sohle. Bei zu grossen Auslassöffnungen hingegen besteht die Gefahr einer selbsttätigen Entleerung des Geschiebesammlers während eines Hochwassers.

Im Fall von unzureichend bemessenen und gestalteten Auslassöffnungen besteht zusätzlich die Gefahr, dass bei Auftreten des Bemessungshochwassers<sup>1</sup>, der Rückhalteraum aus den oben genannten Gründen nur teilweise zur Verfügung steht, weil vorangegangene kleinere Abflüsse zu unerwünschten Ablagerungen führten. Daher sind oft regelmässige, kostspielige Räumungsarbeiten des Rückhalteraus notwendig. Zudem fehlt im Unterlauf das zurückgehaltene Geschiebe, wodurch Sohl- und Stabilisierungsmassnahmen der Ufer erforderlich werden. Ein Mangel an Geschiebe aus Wildbächen beeinträchtigt das gesamte Fliessgewässersystem und die flussbegleitenden Lebensräume (vgl. Merkblatt 1). Abbildung 3 zeigt einen Geschiebesammler an der Tinière bei Villeneuve (VD) mit einem Rechen, dessen sehr enger Stababstand zu einem permanentem Geschieberückhalt führt.

### **Durchgängige Geschiebesammler**

Wenn Geschiebesammler den Geschiebetransport bereits bei kleineren, kiesbankbildenden Hochwasser (<HQ<sub>10</sub>) unterbrechen, kann der ökologische Zustand des Gewässers unterhalb des Geschiebesammlers beeinträchtigt werden. Zur Erhaltung der Geschiebedurchgängigkeit und der ökologischen Vernetzung (vgl. Merkblatt 5) sollten Geschiebesammler aus gewässermor-

1 Der Begriff «Bemessungshochwasser» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch).

**Abbildung 2**

Beispiel eines Geschiebesammlers bei Riddes (VS) am Wildbach La Fare mit Rückhalteraum und Sperrbauwerk mit Auslassöffnung.

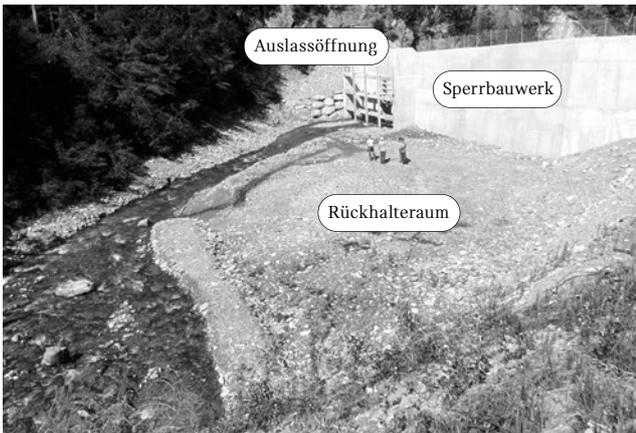


Foto: Sebastian Schwindt

phologischer Sicht keinen Rückhalt verursachen, solange der Gesamtabfluss eines Wildbaches flussabwärts sicher abgeführt werden kann.

Kleinere Hochwasser sind für kiesbankbewohnende Arten der Pionierfauna und -flora überlebenswichtig. So benötigt etwa die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*) Hochwasser von  $HQ_7$  bis  $HQ_{10}$ , um sich gegen konkurrenzstärkere Arten durchzusetzen und Kiesbänke langfristig zu besiedeln. Viele Pflanzenarten sind an

**Abbildung 3**

Beispiel eines Geschiebesammlers mit Stabrechen, der zu übermäßigem, mechanisch bedingtem Geschieberückhalt führt (La Tinière bei Villeneuve, VD).



Foto: Sebastian Schwindt

kleine Hochwasser angepasst, beispielsweise verfügen sie über Wurzeln, mit denen sie sich im Untergrund verankern (z. B. *M. germanica*). Oder aber sie haben sehr biegsame Stämme und Äste, die sie vor groben Verletzungen durch Geschiebeumlagerungen schützen (z. B. Weidenarten).

Zudem ist aus ökologischer Sicht der Sedimentrückhalt in Geschiebesammlern bei kleineren Hochwasserereignissen nicht erwünscht, weil dadurch Feinsedimente und die daran gebundenen Nährstoffe zurückgehalten werden (vgl. Merkblatt 3). Geschiebesammler sollten deshalb erst bei grösseren Hochwassern, solchen, die Siedlungen und Infrastrukturanlagen stromabwärts gefährden, in Funktion treten. Ihre Auslassöffnung ist im Zusammenspiel mit dem Ablagerungsraum so auszulegen, dass sie erst dann eingestaut wird, wenn der Hochwasserabfluss das Geschiebe im Unterlauf des Hauptgerinnes nicht mehr abführen kann. Im folgenden Text ist der Abfluss, bei dem der Geschiebesammler aktiviert werden muss, als maximaler Durchgängigkeitsabfluss bezeichnet.

**Auslegung und räumliche Anordnung**

Rückhalteräume von Geschiebesammlern mit birnenförmigen Ablagerungsplätzen sind am besten geeignet, um Geschiebe zurückzuhalten. Das Verhältnis zwischen der Länge und der maximalen Breite sollte dabei 1,5 : 1 betragen (Zollinger 1983).

**Abbildung 4**

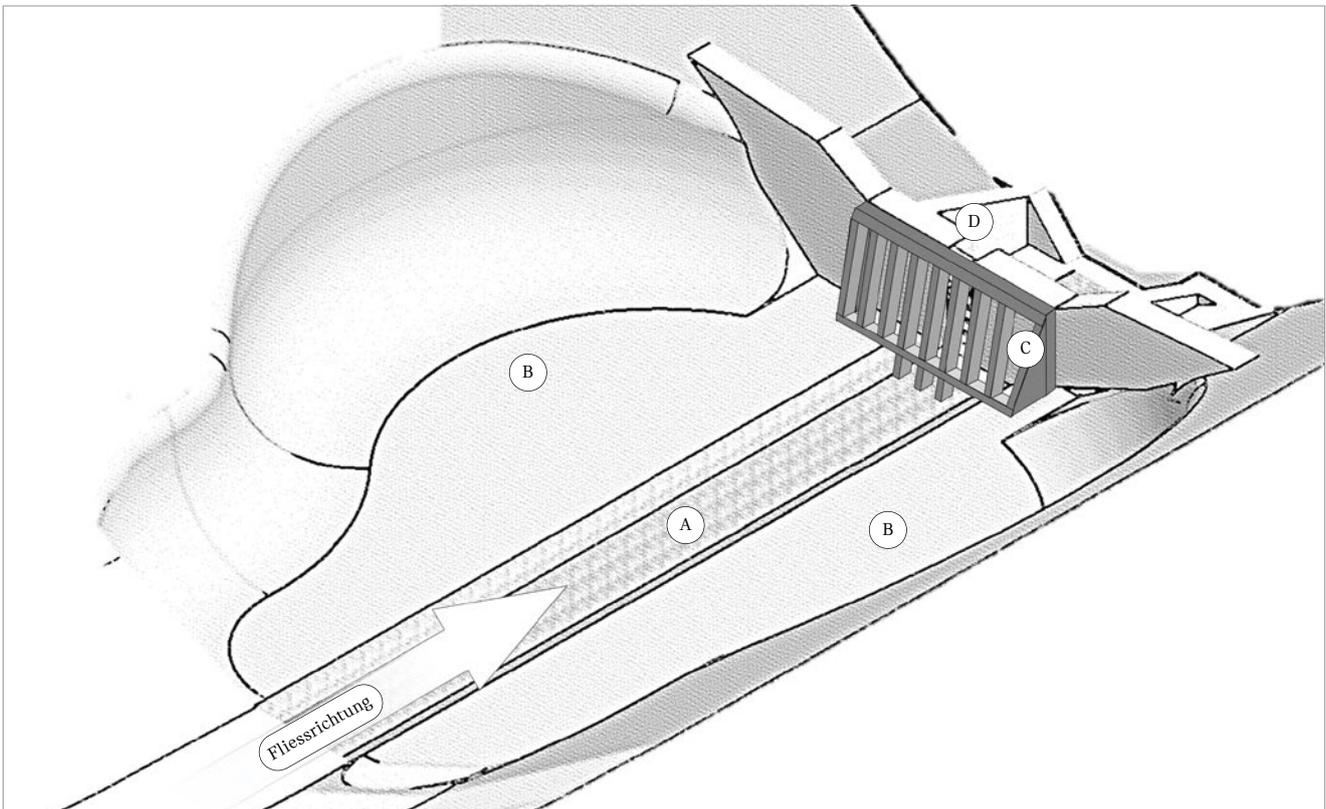
Beispiel eines punktuellen Geschiebeeintrags durch Murgang mit Kies, der deutlich feiner ist als die Blöcke des Bachbetts (Ruisseau des Vaunaises, bei Caux, VD).



Foto: Sebastian Schwindt

**Abbildung 5**

Schematische Darstellung eines Geschiebesammlers mit Leitgerinne (A), Rückhalteraum (B) sowie Sperrbauwerk mit doppelter Auslassöffnung für mechanisch (C) und hydraulisch (D) kontrollierten Geschieberückhalt.



Quelle: Illustration nach Zollinger 1983

Wildbachsperrren beeinflussen das Gefälle und reduzieren somit den Geschiebetransport. Letzterer kann auch durch einzelne grosse Bergsturzböcke in der Sohle (sog. Residualblöcke) beeinflusst werden. Die Abschätzung des Geschiebetransports ist deshalb meist mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet, jedoch ausschlaggebend für die bauliche Gestaltung eines Geschiebesammlers. Die Geschiebetransportkapazität wird bei Hochwasser oft unterschätzt, wenn die Kornzusammensetzung entsprechend dem sichtbaren Sohlenmaterial angenommen wird. Bei Hochwasser können nämlich grosse Geschiebeansammlungen im Einzugsgebiet wieder mobilisiert und/oder durch Murgänge seitlich ins Gerinne zugeführt werden. Diese werden dann auf einer natürlichen Sohlplästerung als sogenanntes Laufgeschiebe («travelling bedload») transportiert (Abb. 4).

Empfehlenswert ist deshalb, den Geschiebetransport bei Hochwasser mit der Korngrösse des feineren Laufgeschiebes zu berechnen. Dadurch werden höhere Geschiebetransportraten erhalten. Die Korngrösse des Laufgeschiebes kann durch die Untersuchung von Ablagerungsbänken an den Ufern oder im Rückstau existierender Sperrbauwerke bestimmt werden (Piton 2016).

Die treppenförmige Anordnung von mehreren geschlossenen Sperrbauwerken (Wildbachsperrren) verzögert und verringert die Geschiebetransportspitzen, wie Piton und Recking (2016b) gezeigt haben.

Die Auslegung der Auslassöffnung von Geschiebesammlern wurde in verschiedenen Studien untersucht, beispielsweise die Ablagerungshöhe vor engen Schlitzsperrren (z. B. Armanini und Larcher 2001; Armanini et al. 2006). Praxisrelevante Aspekte sind:

- die Bedeutung und Möglichkeiten der Kontrolle der Abflussverhältnisse im Rückhalteraum oberhalb des Sperrbauwerks,
- die Abflusskapazität der Auslassöffnung,
- der Rückgang der Geschiebetransportkapazität bei Einstau der Auslassöffnung, sowie
- das Vermeiden der selbsttätigen Entleerung von Geschiebesammlern.

Im Vordergrund steht der sichere Geschieberückhalt ab dem Erreichen des maximalen Durchgängigkeitsabflusses, basierend auf einer Kombination von hydraulischem und mechanischem Verschluss der Auslassöffnungen. Die Aktivierung eines Geschiebesammlers entweder durch ausschliesslich hydraulischen oder mechanischen Verschluss birgt Risiken, da beide Prinzipien für sich alleine jeweils grosse Unsicherheiten bezüglich des Verschlusszeitpunktes aufweisen. Die besser kontrollierbare geschiebebezogene Kombination beider Verschlussprinzipien wurde an der Drance bei Martigny mit Erfolg angewandt (Schwindt et al. 2016).

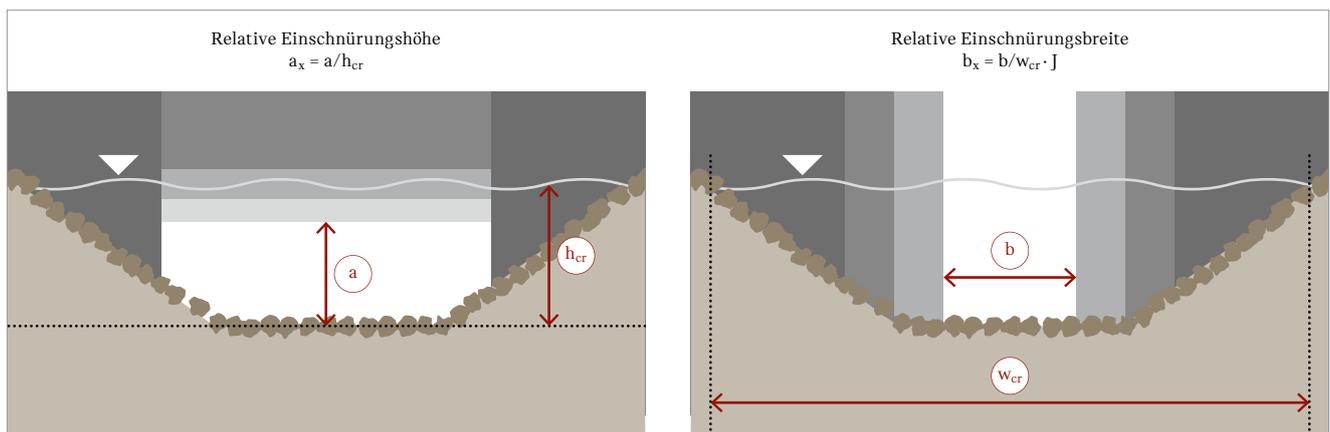
Für einen mechanischen Verschluss der Auslassöffnung, der vor allem durch grobes Geschiebe und Schwemmholz ausgelöst wird, ist das wichtigste Kriterium die relative Breite- bzw. Höhe der Öffnung. Dabei sollte die Höhe bzw. die Breite jeweils nicht mehr als das 1,5-fache des Durchmessers des Bemessungsobjektes betragen (Piton

und Recking 2016a). Die Grösse des Bemessungsobjektes ist entweder durch den charakteristischen Durchmesser  $d_{90}$  des Laufgeschiebes oder durch den Schwemmholzdurchmesser definiert. Da diese stark ereignisabhängig sind, ist deren Bestimmung jedoch problematisch. Beispielsweise hängt der Durchmesser  $d_{90}$  des Geschiebes von den erodierten Sedimentablagerungen ab, und auch das Auftreten von Schwemmholz kann stark schwanken. Grundsätzlich sind die Schwemmholzmen-gen bei kleineren Hochwassern ( $< HQ_{10}$ ) gering, und mechanischer Verschluss ist bis zum Erreichen des maximalen Durchgängigkeitsabflusses eher unwahrscheinlich. Es ist jedoch empfehlenswert, zusätzliche Massnahmen zum Rückhalt des Schwemmholzes im Oberlauf des Geschieberückhalterumes zu treffen.

Zahlreiche Studien belegen, dass der mechanische Verschluss der Auslassöffnung mit Sicherheit auftritt, wenn die Öffnungshöhe geringer oder gleich dem Geschiebedurchmesser  $d_{90}$  ist, bzw. wenn die Öffnungsweite geringer oder gleich  $1,5 \cdot d_{90}$  ist. Die Auswirkungen des hydraulischen Verschlusses auf den Geschiebetransport wurden experimentell untersucht und werden im folgenden Kapitel erläutert.

**Abbildung 6**

Experimentell untersuchte Auslassöffnungen mit vertikalen Einschnürungen (links) und seitlichen Einschnürungen (rechts). Dargestellt sind folgende Grössen: Öffnungshöhe  $a$ , Fliesstiefe  $h_{cr}$ , Öffnungsweite  $b$ , die mittlere Breite des kritischen Abflusses  $w_{cr}$ . Zur Berechnung der relativen Einschnürungsweite  $b_x$  ist das Längsgefälle des Leitgerinnes  $J$  wichtig.



### Erweitertes Konzept für die Gestaltung von Geschiebesammlern

Die Auslassöffnungen von Sperrbauwerken sollten so gestaltet sein, dass sie bis zum Erreichen des maximalen Durchgängigkeitsabflusses weder hydraulisch noch mechanisch verschlossen werden. Dazu ist die Kontrolle der Abflussverhältnisse im Rückhalteraum notwendig, was durch die Anordnung eines rauen Leitgerinnes im Rückhalteraum erreicht werden kann. Der randvolle Abfluss des Leitgerinnes sollte dabei dem maximalen Durchgängigkeitsabfluss entsprechen. Abbildung 5 zeigt die Ergänzung eines klassisch konzipierten Geschiebesammlers, erweitert mit einem derartigen Leitgerinne.

Eine Analyse von rund 60 Wildbächen in den Schweizer Alpen hat ergeben, dass der natürliche Flussquerschnitt eines Wildbachs mit einem trapezförmigen Leitgerinne angenähert werden kann, das eine Uferneigung zwischen 20° und 35° aufweist. Die Rauigkeit des Leitgerinnes wird durch den für die Deckschicht massgebenden Korndurchmesser (typischerweise dem  $d_{90}$  der Flusssohle des Oberlaufs) bestimmt. Um die Stabilität des Leitgerinnes sicherzustellen, sollte die Sohle mit groben Blöcken ausgelegt werden. Die Grösse dieser Blöcke sollte etwa dem maximalen Korndurchmesser entsprechen, der durch den Spitzenabfluss des Bemessungshochwassers noch mobilisiert werden kann. In der Nähe des Sperrbauwerks sollten die Blöcke im Leitgerinne in Magerbeton verlegt werden, damit der Geschiebesammler nach grösseren Ereignissen geräumt werden kann, ohne das Leitgerinne zu zerstören. Ab dem maximalen Durchgängigkeitsabfluss wird der Geschiebesammler oberhalb der Auslassöffnung zunehmend eingestaut, wodurch sich das Transportvermögen im Leitgerinne verringert.

### Hydraulischer Verschluss

In Modellversuchen sind der Einfluss der Abmessungen von Auslassöffnungen auf den Abfluss und den Geschiebetransport systematisch untersucht worden (Schwindt et al. 2017). Es wurden Auslassöffnungen in Form von vertikalen und seitlichen Einschnürungen (= Verengungen) des Leitgerinnes getestet. Eine vertikale Einschnürungen des Leitgerinnes (Abb. 6a) führt zu einem Rückstau und in der Auslassöffnung zu Druckabfluss. Seitliche Einschnürungen (Abb. 6b) beschränken den Abfluss von den Ufern aus und verursachen einen kritischen

Freispiegelabfluss in der Auslassöffnung. Durch den Rückstau entsteht oberstrom des Sperrbauwerks ein Fließwechsel, d.h. schiessender Abfluss geht in strömenden Abfluss über. Dadurch wird die Auslassöffnung zu einem Kontrollquerschnitt (Freispiegelabfluss mit kritischer Abflusstiefe).

Für die allgemeine Anwendbarkeit der Versuchsergebnisse werden Auslasshöhe und -breite mittels der Abflusshöhe und -breite des kritischen Abflusses (ohne Sperrbauwerk) normiert (Abb. 7). Dabei ist die relative Einschnürungshöhe ( $a_x$ ) durch den Quotienten der Öffnungshöhe ( $a$ ) und der Fliesstiefe ( $h_{cr}$ ) des kritischen Abflusses im Leitgerinne definiert. Die relative Einschnürungsbreite ( $b_x$ ), bedingt durch das Sohlgefälle, entspricht dem Quotienten der Öffnungsbreite ( $b$ ) und der mittleren Breite des kritischen Abflusses ( $w_{cr}$ ), multipliziert mit dem Längsgefälle des Leitgerinnes ( $J$ ). Die Modellversuche zeigen, dass das Längsgefälle nur bei seitlichen Einschnürungen zu berücksichtigen ist (Schwindt 2017).

Die Abflusskapazität  $Q_c$  der Auslassöffnung in  $m^3/s$  für rechteckige Fließquerschnitte mit vertikaler Einschnürung kann mit der untenstehenden Gleichung (1) berechnet werden (Bergmeister et al. 2009). Dabei ist  $\mu$  ein Abflusskoeffizient,  $g$  die Gravitationskonstante ( $9,81 m/s^2$ ) und  $H_0$  die Energiehöhe unmittelbar oberstrom der Öffnung. Bei geringem Einstau kann für den Abflusskoeffizient  $\mu$  ein Wert zwischen 0,65 und 0,75 angenommen werden. Bei trapezförmigen Auslassöffnungen sollte die mittlere Breite des Trapezes verwendet werden (Schwindt 2017, Schwindt et al. 2017).

$$Q_c = \mu b \frac{2}{3} \sqrt{2g} [H_0^{3/2} - (H_0 - a)^{3/2}] \quad (1)$$

Ein wichtiger Parameter ist die Geschiebetransportkapazität, welche dem grössten Geschiebetransport entspricht, der keine Ablagerungen im Leitgerinne verursacht.

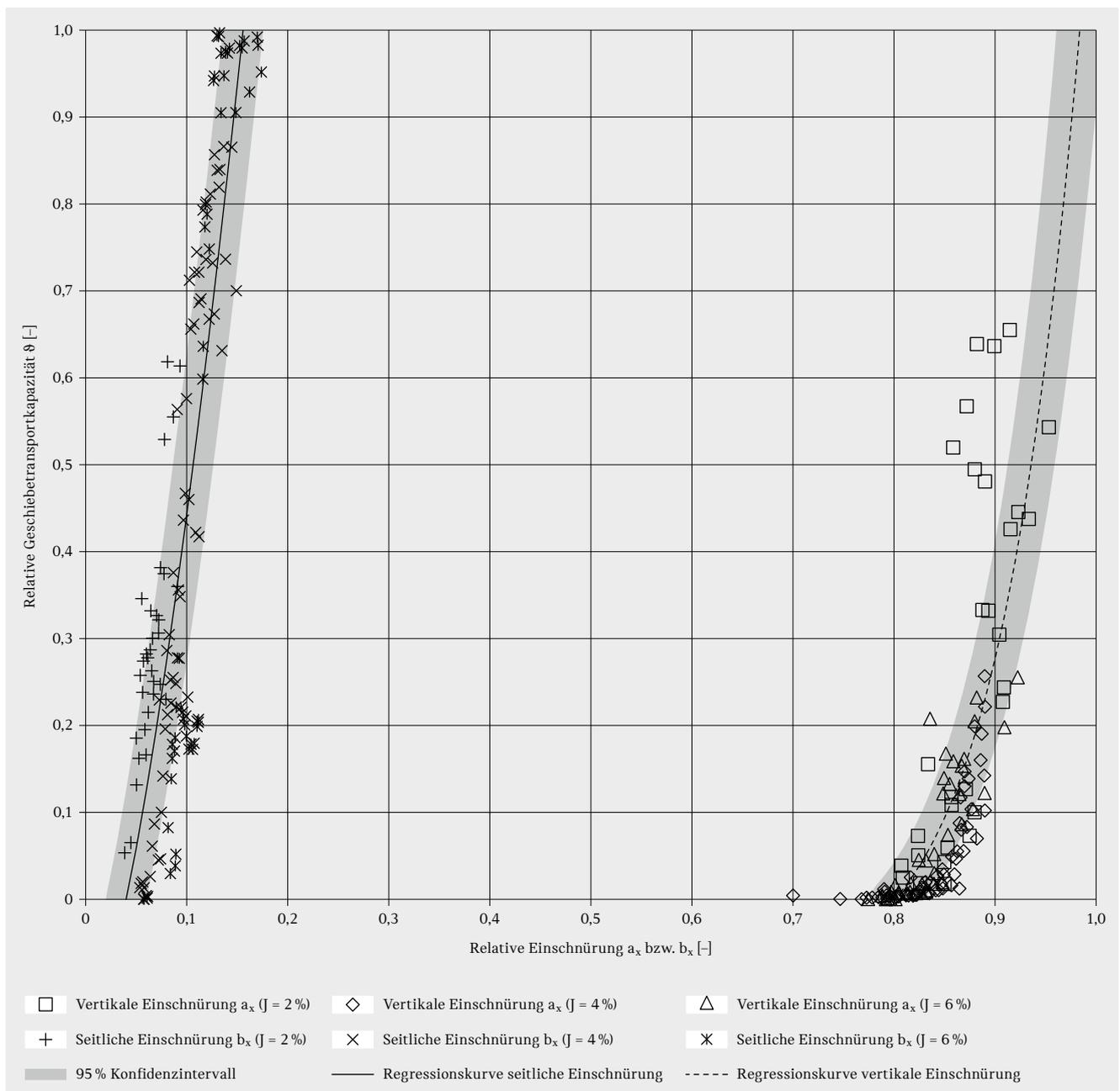
Die Geschiebetransportkapazität  $Q_b$  wird durch vertikale bzw. seitliche Einschnürungen verringert. Dieser Rückgang wurde durch den Vergleich von Messwerten der Geschiebetransportkapazität des Leitgerinnes mit und ohne Einschnürungen ermittelt. Die Geschiebetransportkapazität

zität des nicht eingeschnürten Leitgerinnes entspricht in etwa der mit der VAW-Formel (Smart und Jaeggi 1983) berechneten Menge. Bei grösseren Abflüssen kann die Geschiebetransportkapazität aufgrund des fixierten Leitgerinnes grösser sein als mit der VAW-Formel berechnet.

Der durch Einschnürung bedingte Rückgang der Geschiebetransportkapazität lässt sich durch das Normieren mit der Geschiebetransportkapazität des Normalabflusses im Leitgerinne beschreiben. Die resultierende relative Geschiebetransportkapazität  $\vartheta$  (2) entspricht dem prozentualen Rückgang der Geschiebetransportka-

Abbildung 7

Relative Geschiebetransportkapazität  $\vartheta = Q_{b, \text{Einschnürung}} / Q_{b, \text{Leitgerinne}}$  als Funktion der relativen Einschnürungshöhe  $a_x$ , bzw. -breite  $b_x$  mit qualitativen Regressionskurven und 68 % Konfidenzintervall.



pazität des Leitgerinnes, welche durch vertikale oder seitliche Einschnürungen bedingt ist:

$$\vartheta = \frac{Q_{b, \text{Einschnürung}}}{Q_{b, \text{Leitgerinne}} \text{ (Smart und Jaeggi 1983)}} \quad (2)$$

Für den Fall  $\vartheta = 1$  wird die Geschiebetransportkapazität durch die Einschnürung nicht verringert. Je enger die Einschnürung ist, desto mehr reduziert sich die Geschiebetransportkapazität und  $\vartheta$  geht gegen Null. Abbildung 5 zeigt diesen Zusammenhang für Leitgerinne mit verschiedenen Längsgefällen (2 %, 3,5 % und 5,5 %) und in Abhängigkeit der relativen Einschnürungshöhe  $\alpha_x$  bzw. der durch das Gefälle bedingten relativen Einschnürungsbreite  $b_x$  (geometrische Definitionen siehe Abb. 6).

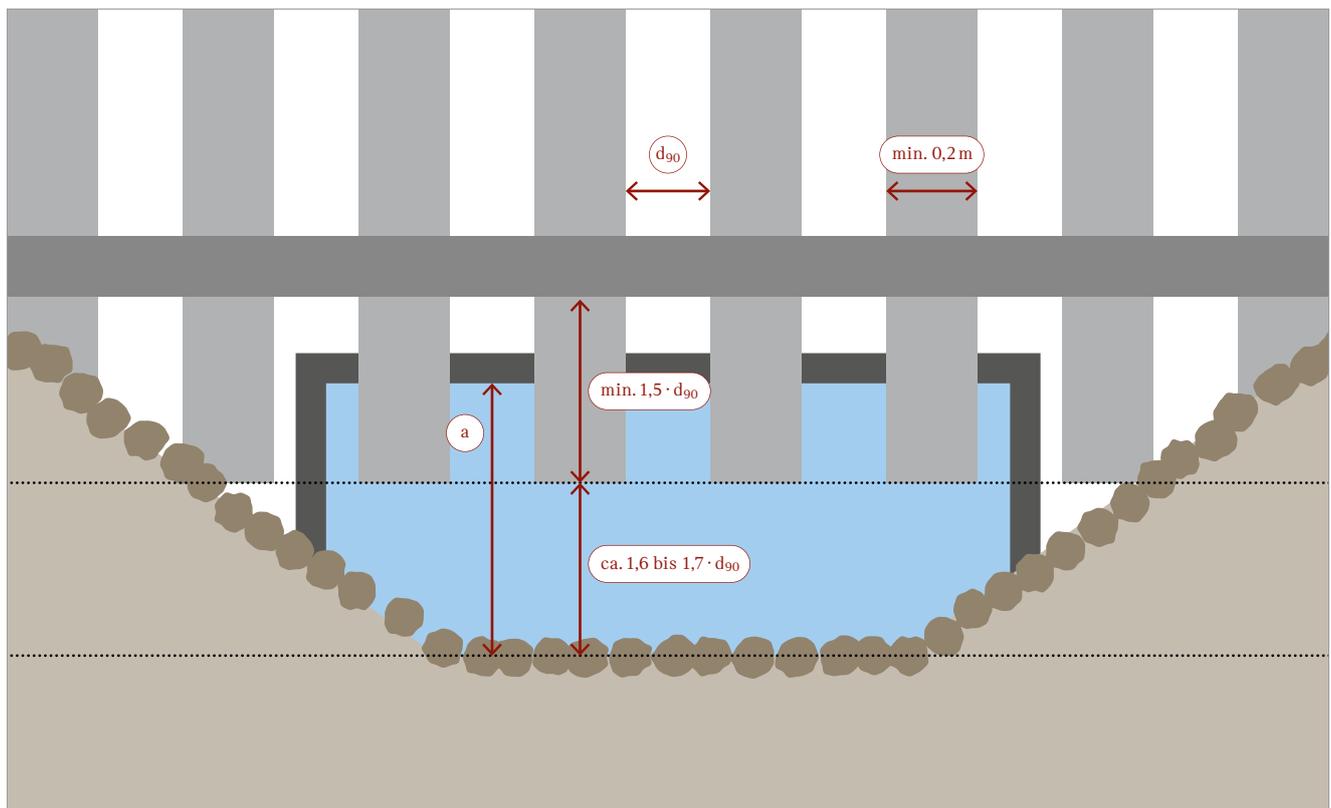
Abbildung 7 zeigt, dass eine vertikale Einschnürung den Geschiebetransport ab einer relativen Einschnürungshöhe von etwa  $\alpha_x = 0,98$  beeinflusst. Die Geschiebetransportkapazität reagiert stark auf weitere vertikale Ein-

gnungen und ist bei Werten von etwa  $\alpha_x = 0,75$  nahezu null. Um auch nach dem Bau die empfindliche Öffnungshöhe anpassen zu können, ist es in der Praxis empfehlenswert, die Öffnungshöhe variabel zu gestalten, z. B. mittels eines mobilen Balkensystems (dies entspricht nicht dem Einbau eines steuerbaren Wehres). Die Elemente sind im Gegensatz zu beweglichen Wehren jedoch nur bei geringen Abflüssen anpassbar und während Hochwassern nicht zu steuern.

Ab einer relativen Einschnürungsbreite von etwa  $b_x = 0,18$  wird die Geschiebetransportkapazität durch seitliche Einschnürungen vermindert. Der Geschiebetransport kommt bei einer relativen Einschnürungsbreite von etwa  $b_x = 0,03$  zum Erliegen. Dieser Wert entspricht rund 30 % der Breite des maximalen Durchgängigkeitsabflusses im Leitgerinne. Grundsätzlich sollte die Durchlassöffnung keine seitliche Einschnürung des Leitkanals erzeugen, da dessen Geschiebetransportkapazität gemäss Abbil-

**Abbildung 8**

Querprofil mit Abmessungen des Rechens für mechanischen Verschluss. Im Hintergrund ist die Auslassöffnung für hydraulischen Verschluss dargestellt.



dung 7 schon bei sehr kleinen Einschnürungen stark abnimmt.

Ein wichtiges Kriterium für die Auslegung der Auslassöffnung ist die maximal mögliche Stautiefe, die durch die Höhe des Sperrbauwerks gegeben ist. Grundsätzlich gilt, dass durch höhere Sperrbauwerke sowohl das Rückhaltvolumen als auch die Zuverlässigkeit des hydraulisch bedingten Geschieberückhalts steigt.

Die Berechnung der Rückstauhöhe mehrfacher Auslassöffnungen in einem Sperrbauwerk ist komplex und nur geringfügig erforscht. Daher ist eine Anordnung mehrerer Öffnungen nicht zu empfehlen.

#### **Funktionsweise eines erweiterten Geschiebesammlers**

Das in Abbildung 5 dargestellte Konzept eines Geschiebesammlers zeigt die praktische Umsetzung eines kombinierten Rückhaltesystems. Dieses besteht aus einem Stabrechen für den mechanisch kontrollierten Rückhalt und verfügt über eine anschliessende freie Auslassöffnung für den hydraulischen Rückhalt. Der Abstand der vertikalen Stäbe sollte dem Korndurchmesser  $d_{90}$  entsprechen. Die Stäbe sollten so weit in das Leitgerinne hineinragen, dass sie den Geschiebetransport bis zum Durchgängigkeitsabfluss hydraulisch nicht oder nur geringfügig beeinflussen (Abb. 8). Der Stabrechen hat eine Neigung von 2 : 1, damit bei ansteigendem Wasserspiegel Schwemmholz über das Sperrbauwerk geleitet werden kann. Die freie Höhe unter dem Rechen sollte etwa 1,6 bis  $1,7 \cdot d_{90}$  entsprechen, damit der untere Teil des Rechens bereits vor Erreichen des maximalen Durchgängigkeitsabflusses eingetaucht wird und das Verkeilen des Grobkorns ermöglicht.

Die Höhe bzw. Breite der hydraulischen Auslassöffnung sollte gemäss Abbildung 5 so ausgelegt werden, dass sich der Geschiebetransport bei Erreichen des Durchgängigkeitsabflusses auf einen Wert von etwa  $\vartheta \leq 0,5$  beschränkt. Durch den Rückstau, der damit erzeugt wird, lagert sich bei Überschreiten des Durchgängigkeitsabflusses das Geschiebe direkt vor dem Stabrechen ab. Mit steigendem Abfluss «springt» das Grobkorn in die Stäbe, die in das Leitgerinne ragen. Hier verkeilt es sich und erzeugt den mechanischen Verschluss des Stabrechens. Ein solcher Verschluss verhindert selbsttätiges Entleeren

des Geschiebesammlers, weil er sich auch bei schwankendem bzw. rückschreitendem Abfluss nicht löst. Ausschlaggebend für das sichere Funktionieren ist, dass einzelne Stäbe des Rechens frei und ausreichend tief (vertikal min.  $1,5 \cdot d_{90}$ ) in das Leitgerinne ragen.

Die hydraulischen Modellversuche haben gezeigt, dass bei einer Auslassöffnung in der Sperre ohne vorgeschalteten Grobrechen die Gefahr von selbsttätigen Entleerungen besteht.

#### **Bau, Unterhalt und Bewirtschaftung von Geschiebesammlern**

Ein optimaler Standort für Geschiebesammler in einem Wildbach ist nach einer Abflachung des Längsgefälles im Oberlauf, in der Nähe der zu schützenden Objekte. Der Rückhalteraum sollte so gross wie möglich gestaltet sein, damit bei Hochwasser und bei Überströmen der Gesamfläche die Sedimente auf natürliche Weise abgelagert werden. Dadurch lassen sich die notwendigen Ausmasse des offenen Sperrbauwerks sowie die Häufigkeit von Unterhaltmassnahmen in manchen Fällen reduzieren.

Das Einzugsgebiet eines Wildbachs sowie der Standort für Geschiebesammler sollten geologisch und hydrologisch analysiert werden. Die lokale Geologie ist wichtig für die Fundation und Verankerung des offenen Sperrbauwerks und den erforderlichen Kolkenschutz. Die hydrologischen Prozesse sind relevant für das Bestimmen der Hochwasserabflüsse, des Geschiebetransports und das Auftreten von Schwemmholz. Massnahmen für den Schwemmholzurückhalt sollten separat vom Sperrbauwerk getroffen werden, entweder im Oberlauf oder im Rückhalteraum. Entsprechende Massnahmen sind in der Fachliteratur beschrieben, z. B. Lange und Bezzola (2006) oder Bergmeister et al. (2009). So können etwa für den Schwemmholzurückhalt so genannte V-Rechen in den in Abbildung 5 dargestellten Geschiebesammler eingebaut werden, und zwar im Einlaufbereich des Rückhalteraus. Eine weitere Lösung für einen kombinierten Geschiebe- und Schwemmholzurückhalt besteht in Tauchwänden, die in der Nähe der Auslassöffnung errichtet werden können. Beispiele dafür gibt es in Österreich und in der Schweiz, wo sich Tauchwände bei grossen Hoch-

wassern bereits bewährt haben (Lange und Bezzola 2006).

Die Gestaltung des Geschiebesammlers, insbesondere das Volumen des Rückhalteraums, sollte an den Bemessungsabfluss angepasst werden, bei dem das Geschiebe zurückgehalten werden sollte. In der Schweiz entspricht der Bemessungsabfluss je nach Schutzziele meist einem  $HQ_{50}$  bis  $HQ_{100}$ . Die Beherrschung der Abflussenergie mittels Kolkenschutz im Unterlauf ist im Rahmen der hydraulischen Bemessung zu berücksichtigen.

Die Durchgängigkeit bestehender Geschiebesammler kann durch die Errichtung eines Leitgerinnes im Rückhalteraum verbessert werden. Die Resultate der Modellversuche zeigen, dass die Auslegung des Leitgerinnes auf dem maximalen Durchgängigkeitsabfluss der Auslassöffnung basieren sollte, damit der Geschiebetransport bis zu dessen Erreichen aufrechterhalten wird. Durch die Konzentrierung des Abflusses im Leitgerinne wird bis zum maximalen Durchgängigkeitsabfluss kein Geschiebe abgelagert.

Bestehende Sperrbauwerke, die entweder nur aus einem Rechen oder aus nur einer Auslassöffnung für die hydraulische Kontrolle bestehen, sollten komplementär ergänzt werden. Das bedeutet, dass ein Rechen durch ein Sperrbauwerk im Unterlauf ergänzt werden sollte und ein Sperrbauwerk durch einen Rechen im Oberlauf.

Der Einsatz ingenieurbioologischer Massnahmen und lokal verfügbarer Baustoffe ist wenn möglich zu bevorzugen. Betonteile, die in Kontakt mit dem transportierten Geschiebe stehen, sind mit erosionsresistenten Blöcken zu verkleiden.

Die konstruktiven Kriterien bezüglich der Bauwerksstabilität, der mechanischen Eigenschaften des Baumaterials und der Gründung sind in der Fachliteratur ausführlich beschrieben, wobei vor allem das Überströmen der Seitenflügel des Sperrbauwerks vermieden werden sollte (Bergmeister et al. 2009).

Für die Räumungs- und Unterhaltsarbeiten sind eine Zufahrt zum Rückhalteraum sowie eine gute Anbindung an das Strassennetz zwingend notwendig. Die Häufigkeit

von Räumungs- und Unterhaltsarbeiten ist abhängig vom Füllungsgrad des Rückhalteraums, den ortsspezifischen Sicherheitsvorgaben und der Klassifizierung des Bauwerks. In günstigen Fällen besteht der Abraum aus Kies, der im Baugewerbe als Betonzuschlag verwendet werden kann. Eine solche Verwendung ist jedoch nur möglich, wenn es im Unterlauf nicht an Geschiebe mangelt. Andernfalls ist das Geschiebe dem Gewässer an geeigneter Stelle zurückzugeben (vgl. Merkblatt 7). In ungünstigen Fällen ist der Unterhalt mit beträchtlichen Kosten verbunden, z. B. wenn die Ablagerungen mit organischem Material (= Holz, Ästen) sowie Feinsediment durchmischt ist, abgeführt sowie deponiert werden müssen. Bei den Räumungsarbeiten ist darauf zu achten, das Leitgerinne nicht zu beschädigen. Dafür sind Markierungen des Leitgerinnes, sowie eine Fixierung der Blöcke hilfreich.

Geringe Geschieberückstände im Leitgerinne können durch den Wildbach selbsttätig und gefahrlos ausgespült werden. Die selbsttätige Freilegung des Leitgerinnes kann durch Räumungsarbeiten bei Abflüssen gefördert werden, die höher sind als der mittlere jährliche Abfluss, z. B. noch während des Rückgangs eines Hochwassers (vgl. Merkblatt 3).

Kleinere Schwemmh Holzablagerungen und Pflanzen sind ökologisch wertvoll, zum Beispiel, weil sie Insektenlarven als Unterschlupf dienen. Totholzablagerungen sollten aber entfernt werden, wenn durch sie die Funktionsweise des Geschiebesammlers beeinträchtigt ist.

Bei den Unterhaltsarbeiten wird zwischen Standardbauwerken und Schlüsselbauwerken unterschieden. Allerdings sind diese Begriffe in der Literatur nur vage beschrieben. Standardbauwerke sind demnach definiert als Bauwerke, bei denen technisches Versagen geringen bis mittleren Einfluss auf Siedlungen hat. Sie sollten mindestens alle fünf Jahre überwacht und kontrolliert werden. Bei Schlüsselbauwerken hat technisches Versagen grossen Einfluss auf Siedlungen, sie sollten deshalb jährlich überwacht und kontrolliert werden. Überprüfungen sollten in beiden Fällen nach Bedarf durchgeführt werden. Die Kontrollen sollten von interdisziplinären Experten durchgeführt werden (Bergmeister et al. 2009).

---

## Fazit

Geschiebesammler mit trapezförmigem, rauem Leitgerinne im Rückhalteraum (Abb. 5) leiten Geschiebe bis zu einem maximalen Durchgängigkeitsabfluss weiter. Die Auslassöffnung eines Sperrbauwerks sollte im Einklang mit der Geometrie des Leitgerinnes sein und sollte demnach den Geschiebetransport bis zum maximalen Durchgängigkeitsabfluss nicht oder nur geringfügig beeinflussen. Mit der Kombination einer Auslassöffnung und einem vorgeschalteten Rechen lässt sich die Sicherheit des Geschieberückhalts vor der selbsttätigen Entleerung eines Geschiebesammlers erhöhen.

Sicherer Geschieberückhalt mittels hydraulischer Kontrolle ab dem maximalen Durchgängigkeitsabfluss kann nur durch vertikale Einschnürungen der Auslassöffnung erreicht werden. Dabei sollte das Sperrbauwerk nicht überströmt werden. Seitliche Einschnürungen können als konstruktives Hilfsmittel in Erwägung gezogen werden, z. B. um den Querschnitt der Auslassöffnung in eine rechteckige Form zu bringen. Der Abfluss reagiert empfindlich auf vertikale Einschnürungen. Diese sollten deshalb möglichst flexibel gestaltet werden. Um eine grössere Planungssicherheit für die Einleitung des Geschieberückhaltes zu erreichen, sollten ergänzend Modellversuche projektbezogen durchgeführt werden.

## Literatur

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **Produkte und Publikationen.**

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Beteiligte Forschungsinstitutionen:** Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

**Projektleitung:** Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario J. Franca, LCH-EPFL

**Fachliche Begleitung:** BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapoza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redaktion:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Lektorat:** Regina Gerber

**Zitierung:** Schwindt, S., Franca, M. J., Fink, S., Scheidegger, Ch., Schleiss, A., 2017: Durchgängige Geschiebesammler in Wildbächen. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 4.

**Gestaltung und Illustrationen:** Anamorph, Marcel Schneeberger

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d [www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

© BAFU 2017

01.17 1500 86039243

## 5 Dynamik und Biodiversität in Auen

*Auen mit einer grossen Vielfalt an Lebensräumen sind ökologisch widerstandsfähiger als solche mit geringer Lebensraumvielfalt. In Auen wird die Lebensraum- und Artenvielfalt hauptsächlich durch den Gewässerraum, die Abfluss- und Sedimentdynamik sowie die Lebensraumvernetzung bestimmt. Mit spezifischen Massnahmen zur Förderung von auentypischen Arten kann die Artenvielfalt erhöht werden. Das vorliegende Merkblatt erläutert die wichtigsten Einflussfaktoren, führt Beispiele auf und gibt einen Einblick in die aktuelle Forschung zu Auen.*

**S. Fink, M. Döring, M. J. Franca, E. Martín Sanz, O. Nadyeina, Ch. Robinson, A. Schleiss, Ch. Scheidegger**

In Auen entsteht dank wiederholtem Einfluss von kleineren sowie mittleren und grossen Hochwassern und anschliessenden Niedrigwassern ein dynamisches Habitatmosaik<sup>1</sup> (vgl. Merkblatt 1). Sowohl unterschiedliche Sedimentzusammensetzungen als auch verschiedene Strömungs- und Temperatureinflüsse führen zu unterschiedlichen Kleinsthabitaten (Abb. 1). Die räumliche Lage der einzelnen Habitate (z. B. Weichholz- und Hartholzaunenwald, Tümpel, Kiesbänke, etc.) wandelt sich lau-

<sup>1</sup> Der Begriff «dynamisches Habitatmosaik» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > Produkte und Publikationen.

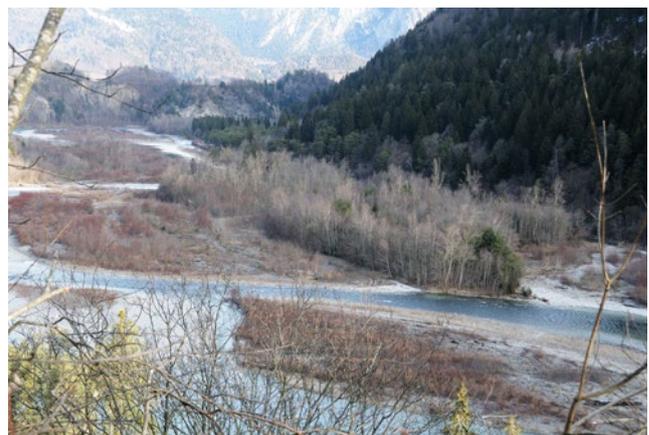
### Abbildung 1

*Schematische Darstellung einer Aue (links). Aue bei Rhäzüns (GR) im Februar 2015 (rechts). Offene Kiesflächen und Kiesbänke mit Pioniervegetation sowie Weichholzaunen bilden gemeinsam mit Flussstellen unterschiedlicher Strömungsdynamiken einen dynamischen Lebensraumverbund.*



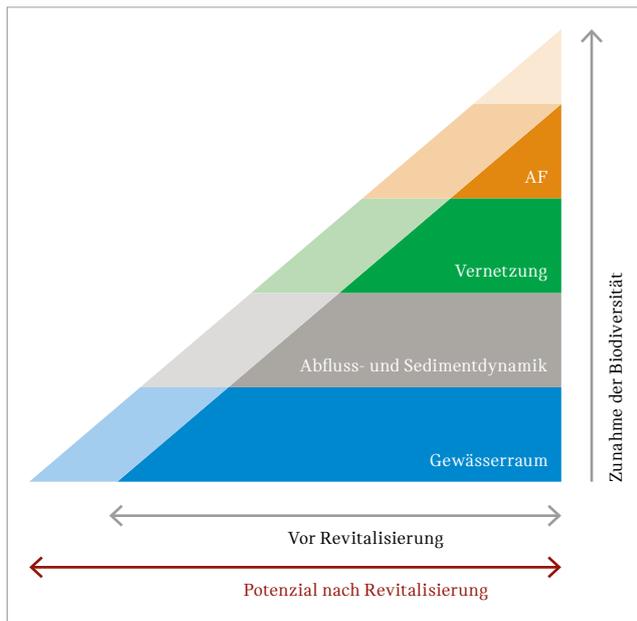
fend. Nach extremen Ereignissen wie hundertjährigen Hochwassern verändert sich sogar die Anordnung von einzelnen Lebensräumen stark (vgl. Kap. Grosse Sedimentumlagerungen). Eine natürliche Auenlandschaft ist deshalb ein dynamischer Lebensraumverbund, der ökologisch sehr widerstandsfähig (resilient) ist und eine hohe strukturelle Vielfalt aufweist. Auentypische Charakter- und Zielarten sind an die Abfluss- und Sedimentdynamik angepasst (vgl. Merkblatt 1). Gemessen wird die hohe Biodiversität natürlicher Auen über das Vorkommen von Arten wie auch über die Vielfalt der ökologischen Prozesse (vgl. Merkblatt 2).

Die Lebensraum- und Artenvielfalt in Auen wird massgebend vom Gewässerraum beeinflusst, also von der Fläche, die dem Gewässer zur Verfügung steht. Eine erhöhte Abfluss- und Sedimentdynamik, eine Vernetzung von Lebensräumen sowie spezifische Artenförderung können die Biodiversität im Auenperimeter fördern. Diese ökologischen Einflussfaktoren hängen mit der Grösse des Gewässerraums zusammen und beeinflussen sich gegenseitig. Abbildung 2 zeigt schematisch, wie die einzelnen Einflussfaktoren dazu beitragen, das Potenzial der Biodiversität in Auen auszuschöpfen (vgl. Naiman et al. 2005). In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Einflussfaktoren erläutert.



**Abbildung 2**

Pyramide zu den ökologischen Einflussfaktoren auf die Biodiversität in Auen. Die Pfeile zeigen den Spielraum der einzelnen Einflussfaktoren und ihre Wirkung nach einer Gewässerrevitalisierung. AF: spezifische Artenförderung.



Quelle: WSL

**Gewässerraum**

Die Fläche von Auenlandschaften in der Schweiz ist seit 1900 stark zurückgegangen (Lachat et al. 2010). Auen-schutz und Revitalisierungen haben das anspruchsvolle Ziel, auf einem Minimum an Lebensraumfläche ein Optimum an Biodiversität zu erreichen. Die minimale Grösse eines Lebensraumtyps erschliesst sich aus dem ökologischen Raumbedarf (vgl. Tab.2 in Scheidegger et al. 2012). Mit der Fläche, die dem Gewässer durch eine Revitalisierung zukommt, werden auch die Ökosystemleistungen der Auen gefördert, z.B. Hochwasserschutz, Nährstoffrückhalt, Filterfunktion und Kohlenstoffspeicher. So wurde etwa an der Thur bei Niederneunforn (TG) eine Aufweitung vorgenommen und Steinbuhnen anstelle von Dämmen eingesetzt. Die Variabilität der Fliessgeschwindigkeit wurde erhöht und der Hochwasserschutz deutlich verbessert. Gleichzeitig entstanden neue ökologisch wertvolle Lebensräume wie Kiesinseln.

Historische Karten und Luftbilder zeigen auf, wo Auen natürlicherweise vorgekommen sind, welchen Raum das Fliessgewässer früher eingenommen hat und welche Habitate vorhanden gewesen sind (Abb. 3). In natürlichen Auensystemen ändert sich die räumliche Lage der Habitate ständig; dabei entsteht ein dynamisches Habitatmosaik. Die relativen Habitatanteile jedoch variieren über längere Zeiträume nur geringfügig («shifting habitat mosaic», vgl. Stanford et al. 2005). In durch den Menschen beeinträchtigten Auenlandschaften hingegen können sich die Flächen der verschiedenen Auenhabitate sowie ihre relativen Anteile deutlich ändern, insbesondere bei auentypischen und von der hydromorphologischen Dynamik abhängigen Habitaten wie Kiesbänken mit Pioniervegetation oder Inseln (Döring et al. 2013).

Das Beispiel der Sandey Aue (BE) zeigt, wie die Errichtung eines Stausees im Jahr 1950 sowie der Bau von Hochwasserschutzdämmen die Sediment- und Abflussdynamik des Flusses (Urbachwasser) sowie die Auenhabitate veränderten (Abb. 4). Der Gewässerraum wurde durch die Bauten stark eingeschränkt, so dass im Vergleich zum naturnahen Zustand im Jahr 1940 heute nur noch 70 % der natürlichen Abflussmenge in der Aue besteht. Als Folge davon änderten sich die relativen Anteile der Habitate: Die Häufigkeit von auentypischen Habitaten und solchen, die von der hydromorphologischen Dynamik abhängig sind, war im Jahr 2007 um bis zu 78 % niedriger als im Jahr 1940, der Anteil an Grasland hingegen nahm um 28 % zu.

**Abfluss- und Sedimentdynamik**

Abfluss- und Sedimentdynamik beeinflussen das dynamische Habitatmosaik und die strukturelle Vielfalt von aquatischen, amphibischen und terrestrischen Lebensräumen der Auen. Ihr Ausmass variiert erheblich und hängt vom Hochwassergeschehen ab. Drei Hochwassertypen werden unterschieden: 1. Sedimentumlagerungen aufgrund von saisonalen, jährlich wiederkehrenden Hochwassern mit geringem Geschiebetrieb. 2. Mittlere Hochwasser mit erheblichen Sedimentumlagerungen (10- bis 50-jährliche Hochwasser). 3. Grosse Hochwasser mit ausserordentlichen Sedimentumlagerungen (100-jährliche und seltener). Die drei Hochwassertypen wirken sich – abhängig

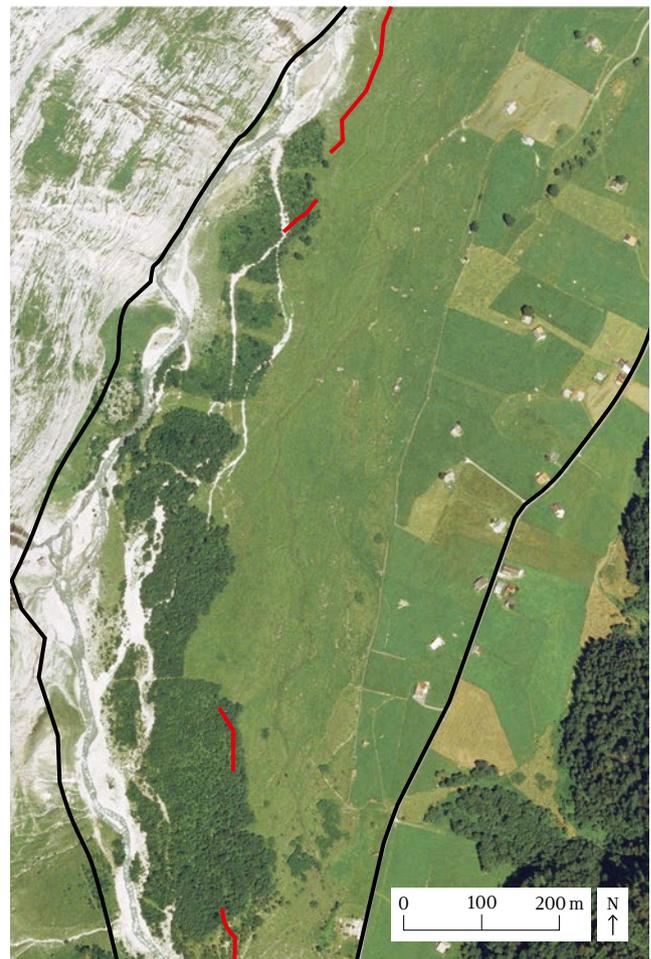
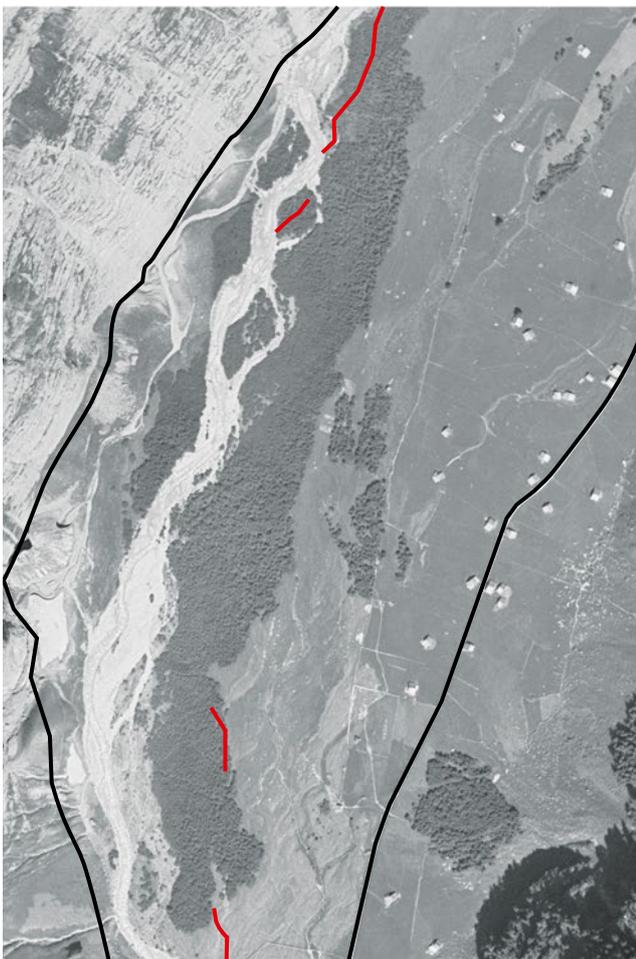
von der Höhenstufe – auf unterschiedliche Lebensräume aus, weil nicht alle auentypischen Lebensräume auf allen Höhenstufen vorkommen. Kiesbänke bilden sich auf jeder Höhenstufe und sind von allen drei Hochwassertypen betroffen. Weichholzaunenwald ist in der alpinen Stufe nicht vorhanden und wird vor allem von Hochwassern mit höheren Wiederkehrzeiten überspült. Die Vorkommen von Hartholzaunenwald sind auf die montane und kolline Stufe beschränkt und werden nur von Hochwassern mit hohen Wiederkehrzeiten überschwemmt, nicht jedoch von saisonalen und jährlichen Hochwassern. Die Auswirkung innerhalb des Lebensraumes hängt von der Höhe, der Frequenz, der Dauer und dem Zeitpunkt der Sedimentumlagerung im Jahresverlauf ab.

### Kleine und mittlere Sedimentumlagerungen

Saisonale und jährliche Hochwasser und die damit verbundenen Sedimentumlagerungen beeinflussen vor allem aquatische, amphibische und gewässernahe terrestrische Bereiche einer Aue. Durch Hochwasser kleinerer und mittlerer Intensität werden vorwiegend kleinere Korngrößen und geringe Mengen an Geschiebe im Gerinne und in Gerinnenähe verschoben. Diese kleineren Umlagerungen sind für das dynamische Habitatmosaik wie auch für die Anpassungen der Lebenszyklen der Auenarten von Bedeutung, da beispielsweise Feinsedimente und hohe Anteile an Humus die Keimfähigkeit der kiesbankbewohnenden Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica*) behindern. In regelmässig überfluteten Auen ist

### Abbildung 3

Vergleich eines historischen Bildes (links) aus dem Jahr 1940 und eines Luftbildes aus dem Jahr 2007 (rechts) der Sandey Aue. Der Bau eines Stausees flussaufwärts sowie von Hochwasserschutzdämmen (rot) veränderte die Aue stark. Der Auenperimeter wurde als die gesamte Fläche innerhalb der schwarzen Linien definiert.

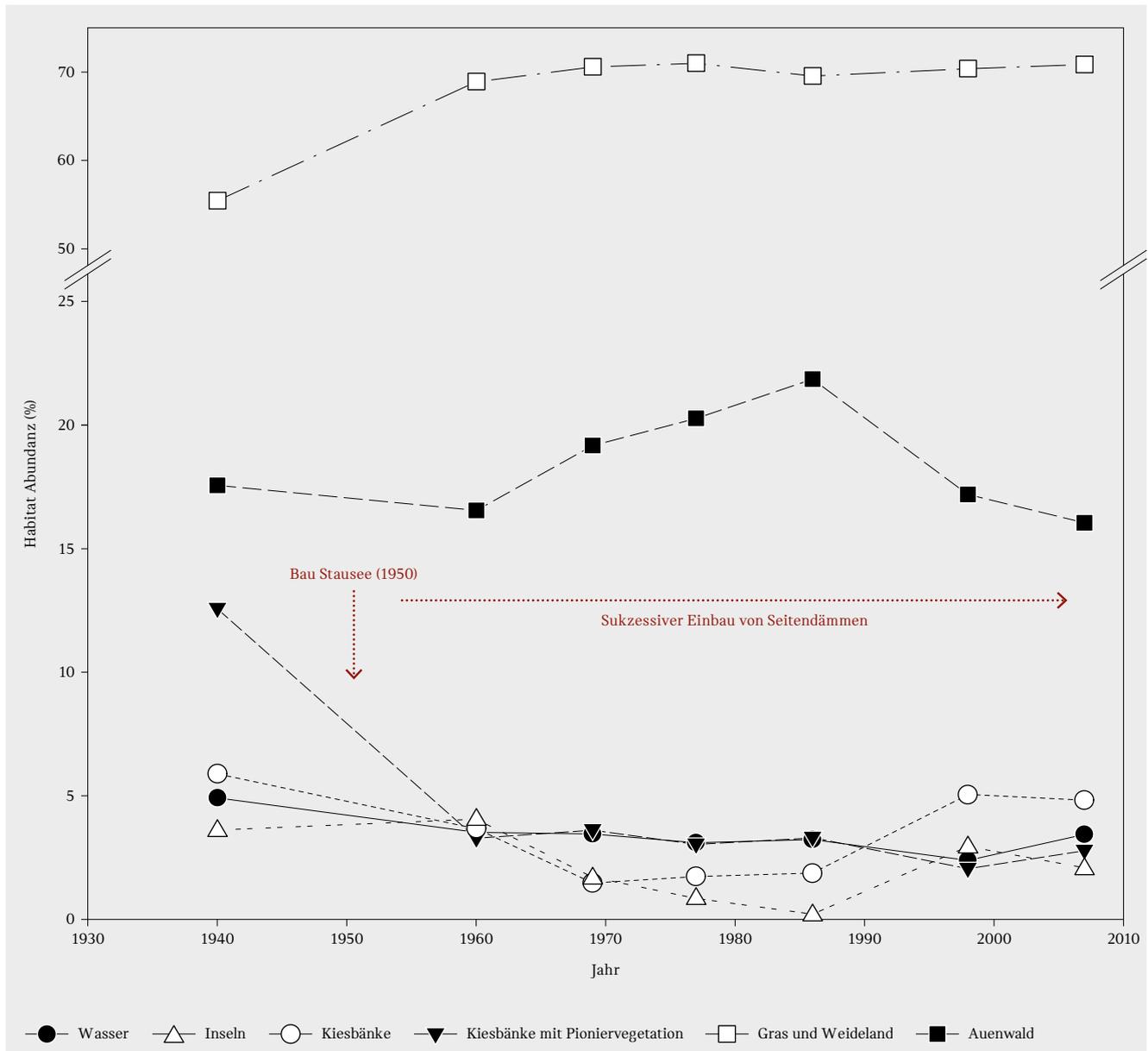


die Gefahr der Kolmation geringer (vgl. Merkblatt 3). Durch wiederkehrende Überschüttungen wird neuer Lebensraum für Habitatspezialisten geschaffen, beispielsweise für den Narbenkäfer (*Blethisa multipunctata*, siehe in Rust-Dubié et al. 2006). Bleibt die Sedimentdynamik aus, nimmt die Dominanz von störungsempfindlichen Arten (Generalisten) gegenüber störungsresistenten (Spezialisten) zu. So nimmt in alpinen Auen beispielsweise die Abundanz der spezialisierten Deutschen Tamariske ab,

während Flohkrebse der Gattung *Gammarus* zunehmen. Auch in tieferen Lagen besetzen invasive Neobioten (gebietsfremde invasive Arten) bei fehlender Sedimentdynamik weniger dynamische Habitats, z. B. die Kanadische Goldrute (*Solidago canadensis*), die Spätblühende Goldrute (*Solidago gigantea*) oder der Goldfisch (*Carassius auratus auratus*; BUWAL 2002).

**Abbildung 4**

Die relative Häufigkeit einzelner Habitatflächen zwischen 1940 und 2007 in der Sandey Aue.



Quelle: Döring et al. 2013

### Grosse Sedimentumlagerungen

100-jährliche oder seltenere Hochwasser und die damit verbundenen grossen Geschiebeumlagerungen sind wegen des grossen Schadenpotentials oft nicht erwünscht und werden mit Verbauungen eingedämmt. Schäden, die durch grosse Wasser- und Geschiebemengen bei Hochwassern entstehen, können mit einem ausreichend grossen Gewässerraum verringert werden. So fangen z. B. Neben- oder Altarme Geschiebe und Wasser auf und entlasten den Hauptfluss. Im Auenperimeter können grosse Umlagerungen v. a. im Mittellauf eines Fließgewässers Habitate umgestalten und neue Lebensräume schaffen, falls genügend Raum für Sedimentumlagerungen vorhanden ist. Zudem werden bei solchen Ereignissen alle Korngrößen neu verteilt, so dass ein dynamisches Habitatmosaik entsteht.

### Einfluss von Revitalisierungen auf die Dynamik

Nach der Aufweitung an den Thurauen bei Niederneunforn (TG) haben sich neue Auenhabitate gebildet. Diese Habitate sind aufgrund der Abflussvariation einer ständigen Dynamik ausgesetzt. Die Aufweitung ermöglichte so eine grössere Habitatvielfalt als die kanalisierten Strecken. Diese Aufweitung wurde mit kanalisierten Strecken oberhalb und unterhalb der Aufweitung verglichen (Martín Sanz 2017). In der Aufweitung war die zeitliche und räumliche Variabilität der Sedimentrespiration (d. h. die Verarbeitung von organischem Material in der Flusssohle; vgl. Merkblatt 1) sowie der Dichte an Algen und Makroinvertebraten höher, dies aufgrund der grösseren Abfluss- und Geschiebedynamik. Der Vergleich zeigte weiter, dass die Sedimentrespiration und die Artenzahl der Makroinvertebraten wesentlich durch die Abflussdynamik sowie durch die Flussmorphologie beeinflusst sind. Der Algenaufwuchs und die Dichte der Makroinvertebraten hingegen werden hauptsächlich durch die Abflussdynamik gesteuert und weniger durch die Flussmorphologie (Martín Sanz 2017).

### Vernetzung

Die Vernetzung von Lebensräumen hält den Genfluss zwischen Populationen von Charakter- und Zielarten aufrecht. Damit steigt die Überlebenswahrscheinlichkeit von Arten mit Metapopulationsstrukturen, auch wenn ihre

Lebensräume selten und/oder klein sind. Bei guter Vernetzung ist die Resilienz von Auen grösser, auch nach extremen Geschiebeumlagerungen. Bei Revitalisierungen führt eine gute biologische Vernetzung zu einer stärkeren Zunahme der Biodiversität, auch bei kleiner Fläche (Abb. 5).

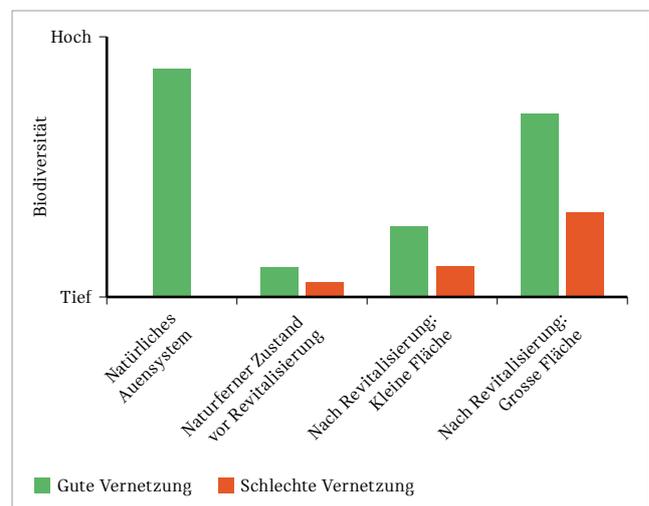
Wichtig ist, dass die Vernetzung auf allen drei Achsen – vertikal, lateral und longitudinal – stattfindet (Stevenson und Sabater 2011). Die drei Typen der Vernetzung werden in den folgenden Abschnitten kurz erläutert.

### Vertikale Vernetzung

Eine vertikale Vernetzung zwischen Flussbett und Sohlenbereich (vgl. Merkblatt 1) beeinflusst Ökosystem und Biodiversität weit in den Auenperimeter hinein, z. B. durch den Nährstoffkreislauf, das Temperaturmuster und das Algenwachstum. Sie hängt vor allem von der Sedimentdurchlässigkeit ab. Bei Auenrevitalisierungen lässt sich die vertikale Vernetzung beispielsweise durch eine Flussaufweitung fördern oder durch den Einsatz von Makrorauheiten an den Ufern wie Steinblöcken oder Bühnenfeldern. So wird der Eintrag von Feinsedimenten verlangsamt und Kolmation verhindert (vgl. Merkblatt 3).

Abbildung 5

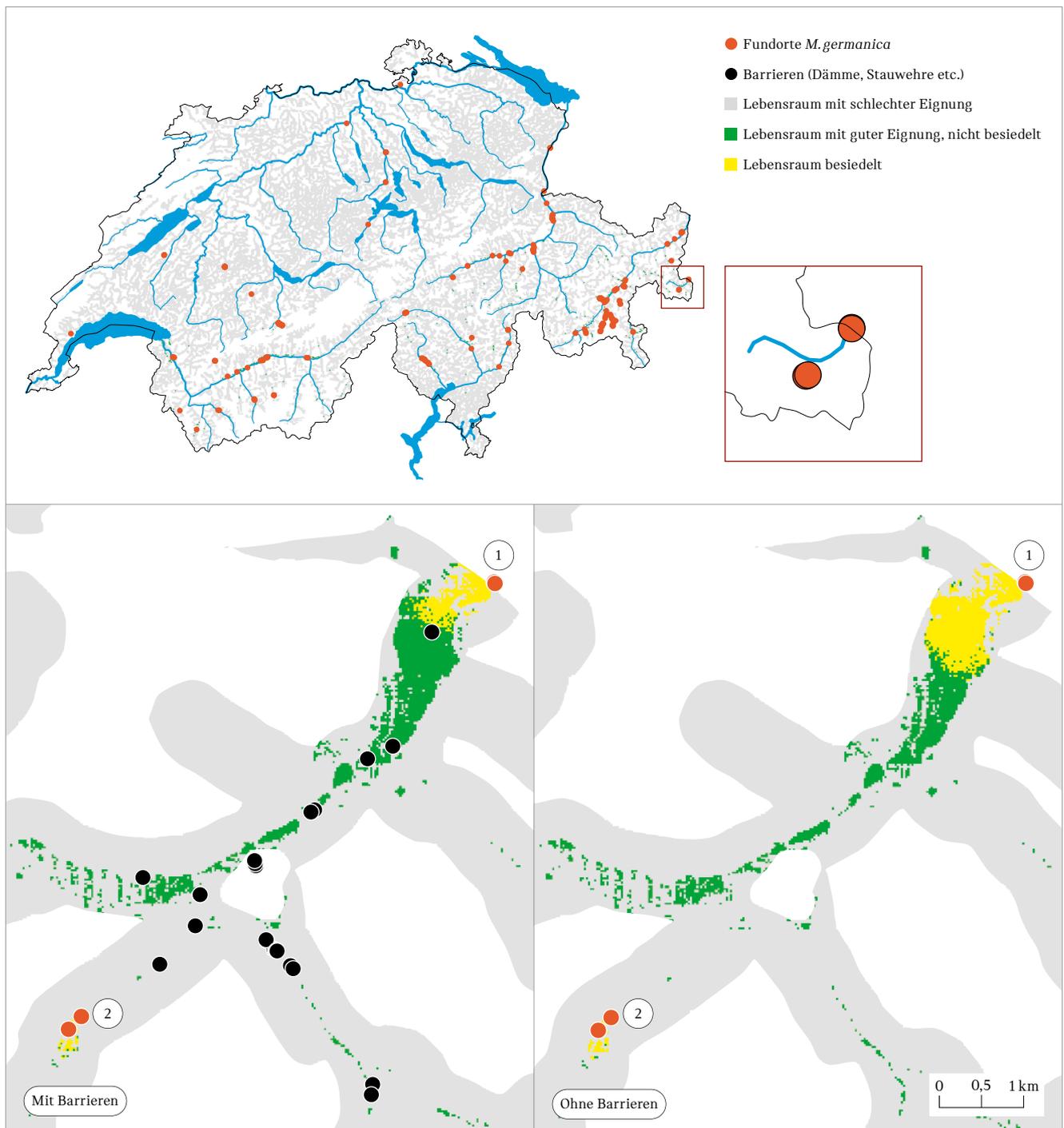
Schematische Darstellung der Veränderung der Biodiversität in Abhängigkeit der biologischen Vernetzung. Gute biologische Vernetzung ist der Schlüssel zu einer starken Biodiversitätszunahme nach einer Revitalisierung, auch bei kleiner Fläche.



Quelle: WSL

**Abbildung 6**

Oben: Nachweise der Deutschen Tamariske in der Schweiz (Quelle: Info Flora). Unten: Modellierung der Wahrscheinlichkeit eines Vorkommens der Deutschen Tamariske entlang des Flusses Rom bei Münster (GR). Ausgehend von den Fundorten der Art wird die Verbreitung (gelb) in geeignete Habitate (grün) simuliert (50 Jahre in die Zukunft). Vom Standort 1 aus kann sich die Deutsche Tamariske ohne Barrieren (rechte Bildhälfte) frei ausbreiten, mit Barrieren (linke Bildhälfte) ist ihre Verbreitung hingegen verzögert. Das Modell zeigt zudem, dass die Ausbreitung von einem zweiten Standort (2) aus nicht durch Barrieren unterbrochen wird, sondern durch ungeeignetes Habitat (grau).



### Laterale Vernetzung

Eine laterale Vernetzung zwischen Fließgewässer und Uferbereich ist wichtig, weil sie die Ablagerung von Feinsedimenten und Nährstoffen in Auen sowie die Verbreitung von Samen und Organismen fördert (Stevenson und Sabater 2011). Bei einer Überflutung der Auen werden aquatische Organismen wie Zuckmücken oder Käfer auf Schotterbänke gespült. Dort überdauern sie aktiv als Larve – sofern der Feuchtigkeitsgehalt hoch genug ist – oder in verschiedenen Ruhestadien (z. B. Kokons, Zysten, Dauereier). Bei einer guten lateralen Vernetzung tragen diese Organismen bei einer späteren Überflutung der Schotterbänke (z. B. nach grösseren Störungen) zur Wiederbesiedlung des Gewässers bei. Ist die laterale Vernetzung jedoch stark eingeschränkt, etwa in Restwasserstrecken, sinkt die Anzahl dieser Individuen auf den Schotterbänken deutlich (Martín Sanz 2017). Eine gute laterale Vernetzung ermöglicht ausserdem, dass sich aquatische und amphibische Arten bei Hochwasser und grossen Geschiebeumlagerungen in geschützte Habitate zurückziehen. Bei Revitalisierungen kann die Seitenerosion induziert (vgl. Merkblatt 7), Altarme aufgewertet oder Tümpel ausgehoben werden.

### Longitudinale Vernetzung

Eine longitudinale Vernetzung zwischen Auensystemen in verschiedenen Flussabschnitten entlang des Hauptflusses erhöht die Widerstandsfähigkeit der Auen nach einer Störung, und zwar über weite Distanzen. Auch werden Populationen am Oberlauf mit solchen flussabwärts vernetzt. Die Ausbreitungsmöglichkeiten auentypischer Pflanzen und Tieren sind für die Besiedlung von revitalisierten Auen entscheidend und hängen meist von der longitudinalen Vernetzung ab. Diese trägt z. B. zum Samentransport bei und zur vegetativen Verbreitung von Pflanzen oder zur Einwanderung von aquatischen Organismen (Naiman et al. 2005). Erreicht werden kann sie durch eine verbesserte Geschiebedurchgängigkeit oder eine Geschiebesanierung (vgl. Merkblatt 3 und 6). Neue Studien zeigen, dass Geschiebeschüttungen die Vernetzung fördern, und zwar über eine lange Distanz flussabwärts (vgl. Merkblatt 7). Auch Seitenflüsse tragen Sedimente ein und erhöhen dadurch die Vernetzung. Vertikale Hindernisse wie Geschiebesammler und Wildbachsperrn schränken die longitudinale Vernetzung und das Sedimentkontinuum in der Regel ein. Es sei denn, sie werden

betrieblich und/oder baulich geschiebedurchgängig gestaltet (vgl. Merkblatt 4). Mithilfe von künstlichen Hochwassern und beispielsweise mit Sedimentumleitstollen (vgl. Merkblatt 6) werden diese Barrieren überwunden und die Sedimentdynamik verbessert.

Für auenbewohnende Organismen gehört die longitudinale Vernetzung von Lebensräumen zum wichtigsten Faktor für das langfristige Überleben ihrer Populationen. So auch bei der kiesbankbewohnenden Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica*), die in vielen Landesteilen der Schweiz gefährdet und im Jura sogar ausgestorben ist (Info Flora 2016). Modelle mit topographischen, geologischen und klimatischen Parametern zeigen Regionen mit potentiellen Vorkommen der Deutschen Tamariske (Abb. 6, Fink et al. 2017). Unter Berücksichtigung der Ausbreitungsdistanzen und der vorhandenen Barrieren zeigen Artverbreitungsmodelle auf, wo sich die Deutsche Tamariske in Zukunft trotz Barrieren etablieren könnte. Auf diese Weise ist es möglich, allfällige Standorte für Auenrevitalisierungen mit der Zielart Deutsche Tamariske zu planen. Zudem können Standorte von Auen von nationaler Bedeutung sowie Smaragd-Gebiete flussabwärts oder -aufwärts von aktuellen Zielartvorkommen mit in die Planung einbezogen werden.

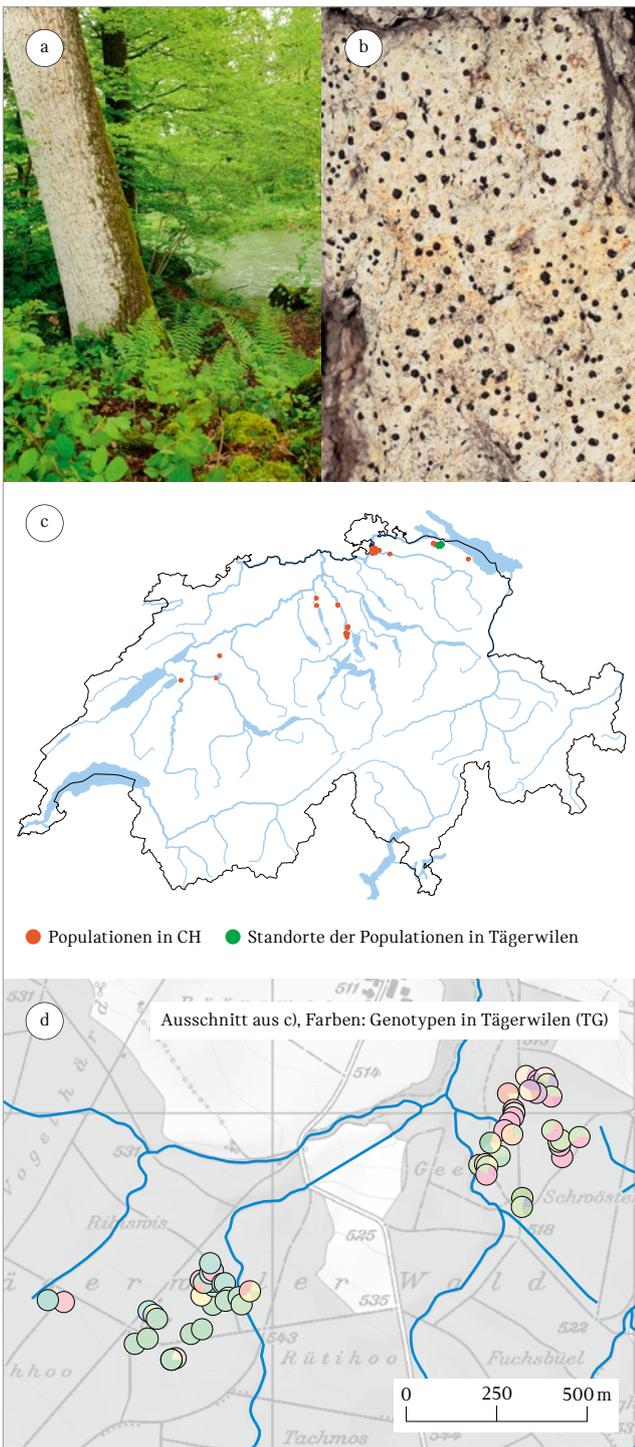
### Spezifische Artenförderung

Wird die Gewässer- und Sedimentdynamik in Auen durch Geschiebesanierungen oder Revitalisierungen erhöht, sind dabei die Ansprüche auentypischer (Charakterarten) und bedrohter Arten zu beachten. Je nach Auentyp und Höhenstufe sind andere Zielarten, und damit andere Anforderungen an die Sedimentzusammensetzung und -dynamik sowie an die Abflussdynamik, wichtig (Tab. 1).

Der Hartholzauenwald, ein selten gewordener artenreicher Lebensraum, ist ein Hotspot für Zielarten. Die Eichenstabflechte (*Bactrospora dryina*) beispielsweise wächst auf alten, in der Regel über hundertjährigen Eichen. Die Verbreitung über weite Distanzen ist bei dieser Art sehr selten, so dass die Besiedlung neuer Lebensräume mit einer starken zeitlichen Verzögerung erfolgt. Die Bestände der Eichenstabflechte weisen eine hohe genetische Vielfalt auf, sowohl innerhalb eines Standorts

**Abbildung 7**

Die Eichenstabflechte ist eine national prioritäre Art von Hartholzauenwäldern. a) Eiche als Lebensraum der Eichenstabflechten in einem periodisch überfluteten Hartholzauenwald. b) Die Eichenstabflechte und c) ihre Populationen in der Schweiz. d) Zusammensetzung des Genpools von Eichenstabflechten bei Tägerwilen (TG).



Quelle: Nadyeina et al. 2017

als auch auf jedem einzelnen Baum (Abb. 7, Nadyeina et al. 2017). Die Erhaltung bestehender Hartholzauen sowie deren Vernetzung mit revitalisierten Lebensräumen kann die Besiedelung durch die Eichenstabflechte unterstützen. Zu den Arten, die in einem Hartholzauenwald gefördert werden können, zählen Eichenvorkommen und lichte Waldstrukturen.

**Fazit**

Voraussetzung für Auen mit einer hoher Arten- und Lebensraumvielfalt ist ein ausreichend grosser Gewässerraum. Eine naturnahe Abfluss- und Sedimentdynamik ist ein wichtiger Einflussfaktor und erhöht die Lebensraumvielfalt. Für seltene und gefährdete Zielarten der Auen sollten spezifische Massnahmen zur Förderung der Arten getroffen werden. Die Auswahl der Zielarten hängt vom Auenhabitat und der Höhenstufe ab, und diese wiederum bestimmen die Anforderungen an die Sedimentzusammensetzung und -dynamik sowie an die Abflussdynamik. Saisonale und jährlich wiederkehrende Hochwasser und Sedimentumlagerungen tragen zum Erhalt der typischen Flora und Fauna von Auen bei und beeinflussen aquatische, amphibische und terrestrische Lebensräume. Mittlere bis sehr seltene und grosse Sedimentumlagerungen durch Hochwasser mit 20- bis 1000-jährlichen Wiederkehrperioden schaffen neue Lebensräume und fördern die Ausbreitung von Zielarten über weite Distanzen. Die Vernetzung fördert die Resilienz von Auen, auch nach grossen Umlagerungen von Geschiebe, und ist ein wichtiger Faktor für das Überleben auentypischer (Ziel)arten.

**Literatur**

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **Produkte und Publikationen**

**Tabelle 1**

Beispiele von Zielarten für Revitalisierungen in Auen und ihre Ansprüche an die Zusammensetzung des Sediments. Alle Arten sind auf der Liste der National Prioritären Arten (BAFU 2011) vermerkt und werden in Delarze et al. (2015) als Charakterarten der Auenhabitats aufgeführt.

\*Priorität: Verantwortung der Schweiz für Arterhaltung: 4: sehr hohe Verantwortung, 3: hohe Verantwortung, 2: mittlere Verantwortung, 1: geringe Verantwortung (BAFU 2011).

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	Prio.*	Lebensraum Lebensraumeinheiten nach Delarze und Gonseth (2015) mit Nr.	Anforderungen an Sediment	
<b>Alpine Stufe (&gt; 1700 m.ü.M.)</b>					
	Stereocaulon-Arten, z. B. Kies-Korallenflechte	<i>Stereocaulon ssp.</i> , z. B. <i>S. glareosum</i>	2	Gebirgs- und Gletscheralluvionen Alluvion mit krautiger Pionierv egetation <i>Epilobion fleischeri</i> (3.2.1.1)	Erdbewohnende Flechte zwischen Schotter entlang von Gebirgsflüssen
	Viersporiger Kalyptratintling	<i>Coprinus martinii</i>	1	Sandige Schwemmufer von Gebirgs- und Gletscherbächen Schwemmufervegetation alpiner Wildbäche <i>Caricion bicolori-atrofuscae</i> (2.2.5)	Humus- und torfhaltiger Boden
<b>Montane Stufe (&lt; 1700 m.ü.M.)</b>					
	Bach-Quellkraut	<i>Montia fontana</i>	3	Kalkarme Quellfluren Kalkarme Quellflur <i>Cardamino-Montion</i> (1.3.3)	Feuchte Böden mit Sedimentgemisch (Grobkies, Geröll, Sand)
	Pyrenäen-Löffelkraut	<i>Cochlearia pyrenaica</i>	3	Kalkreiche Quellfluren Kalkreiche Quellflur <i>Cratoneurion</i> (1.3.2)	Feuchte Böden mit Sedimentgemisch (Grobkies, Geröll, Sand)
	Erlen-Scheidenstreifling	<i>Amanita friabilis</i>	2	Ufer entlang Ober- und Mittelläufen von Flüssen Grauerlen-Auenwald <i>Alnion incanae</i> (6.1.3)	Kiesige bis tonige Schwemmböden
	Flussuferläufer	<i>Actitis hypoleucos</i>	1	Kiesbänke und Schwemmfluren der Flüsse Auen-Weidengebüsch <i>Salicion elaeagni</i> (5.3.6)	Locker bewachsene Kiesbänke als Brutplätze
	Grüngestreifter Grundkäfer	<i>Omophron limbatum</i>	3	Kiesbänke und Schwemmfluren von Wildbächen und Flüssen, stark von deren Wasserdynamik abhängig Alluvion mit krautiger Pionierv egetation <i>Epilobion fleischeri</i> (3.2.1.1)	Verstecken sich tagsüber in Sandröhren zwischen den Kiesbänken
<b>Kolline Stufe (&lt; 900 m.ü.M.)</b>					
	Hakiger Wasserstern	<i>Callitriche hamulata</i>	4	Mittel- oder Unterlauf, tiefe und weite Flüsse Brachsmen- und Barbenregion (Epipotamon) <i>Ranunculion fluitantis</i> (1.2.1) Äschenregion (Hyporhitron) <i>Fontinalidion antipyreticae</i> (1.2.2)	Pflanzen verhaken sich in Fluss, Feinsedimente sind nötig
	Kleine Teichrose	<i>Nuphar pumila</i>	1	Altarme, an Uferbänken von langsam fließenden Gewässern Schwimmblattgesellschaft <i>Nymphaeion</i> (1.1.4)	Grund mit Torfschlick; Wasserstand darf nicht stark schwanken

	Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	Prio.*	Lebensraum	Anforderungen an Sediment
				Lebensraumeinheiten nach Delarze und Gonseth (2015) mit Nr.	
	Riesen-Ampfer	<i>Rumex hydrolapathum</i>	3	Lebensraum entlang der Uferlinie bzw. dem Verlandungsbereich; in häufig überschwemmtem Bereich Flussufer- und Landröhricht <i>Phalaridion (2.1.2.2)</i>	Kiesige, sandige Böden
	Spätblühende Knotenblume	<i>Leucojum aestivum</i>	2	Ufer entlang Mittel- und Unterläufen von Flüssen Weichholz-Auenwald <i>Salicion albae 6.1.2</i>	Feinkörnige Sandbänke und -ufer mit bis zu drei Monaten Überflutung
	Spitzblättriges Laichkraut	<i>Potamogeton acutifolius</i>	2	Altarme Laichkrautgesellschaft <i>Potamion (1.1.2)</i>	Empfindlich auf Gewässerverschmutzung und hohen Feinsedimenteintrag
	Straussfarn	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	4	Periodisch (nicht jährlich) überflutete Uferregionen von Fließgewässern Hartholz-Auenwald <i>Fraxinion 6.1.4</i>	Böden mit Feinsedimenten
	Taubenkropf	<i>Cucubalus baccifer</i>	4	Entlang von Fließgewässern, wo Ufergehölz weggeschwemmt wurde; in Randzonen vom Auenwald mit Flusssdynamik und gelegentlichen mechanischen Umwälzungen Feuchtwarmer Krautsaum (Tieflagen) <i>Convolvulion (5.1.3)</i>	Lehmige Schwemmböden
	Wasserkresse	<i>Rorippa amphibia</i>	4	Periodisch trockenfallende (bei mittlerem Sommer-Wasserstand) Uferregionen von Fließgewässern Flussufer- und Landröhricht <i>Phalaridion (2.1.2.2)</i>	Untergrund des Gewässers reich an Nährstoffen und Feinsedimenten
	Ausgebreitetes Kleinblasenmützenmoos	<i>Physcomitrium patens</i>	4	Im Sommer trockenengefallene Ufer von Fließgewässern Einjährige Schlammflur (Zwergbinsenflur) <i>Nanocyperion (2.5.1)</i>	Schlammige Lehm Böden
	Stereocaulon- Arten, bspw. Gletscherbach-Korallenflechte	<i>Stereocaulon ssp.</i> bspw. <i>Stereocaulon rivulorum</i>	4	Flussalluvionen in tiefen Lagen Alluvion mit krautiger Pioniervegetation <i>Epilobion fleischeri (3.2.1.1)</i>	Schotterbänke/Kiesbänke entlang von Flüssen
	Gelbe Keiljungfer	<i>Gomphus similimus</i>	2	Mittel- oder Unterlauf, tiefe und weite Flüsse Brachsmen- und Barbenregion (Epipotamon) <i>Ranunculion fluitantis (1.2.1)</i>	Feinsedimente nötig für Schutz und Nahrung; bei zu grosser Eutrophierung verschwindet die Art
	Zweifleck	<i>Epitheca bimaculata</i>	1	Stillwasserbereiche und Uferbereiche Stillwasser-Röhricht <i>Phragmition (2.1.2.1)</i>	2- bis 3-jährige Larvenentwicklung, wechselweise zwischen Feinsediment und Tauchblattvegetation
	Groppe	<i>Cottus gobio</i>	4	Forellenbäche und grössere Flüsse, Bodenbewohner Untere Forellenregion (Metarhitron) <i>Scapanion undulatae (1.2.3)</i>	Lebensraumverlust durch Kolmation, Wanderung durch Querbauwerke behindert

---

**Icons (nach Delarze und Gonseth 2015)**

Gefässpflanzen		Libellen	
Moose		Käfer	
Flechten		Fische	
Grosspilze		Vögel	

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Beteiligte Forschungsinstitutionen:** Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

**Projektleitung:** Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario J. Franca, LCH-EPFL

**Fachliche Begleitung:** BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapoza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redaktion:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Lektorat:** Regina Gerber

**Zitierung:** Fink, S., Döring, M., Franca, M. J., Martín Sanz, E., Nadyeina, O., Robinson, Ch., Schleiss, A., Scheidegger, Ch., 2017: Dynamik und Biodiversität in Auen. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 5.

**Gestaltung und Illustrationen:** Anamorph, Marcel Schneeberger

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d [www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

© BAFU 2017

## 6 Sedimentumleitstollen und künstliche Hochwasser

*Die Geschiebedurchgängigkeit wird durch Stauseen unterbrochen. Im Unterlauf führt dies zu einem Geschiebedefizit, mit negativen Folgen für die Ökologie und Morphologie der Fliessgewässer. Sedimentumleitstollen und künstliche Hochwasser sind Massnahmen, mit denen sich die Sedimentverfügbarkeit erhöhen und Geschiebedefizite mildern lassen. Das vorliegende Merkblatt beschreibt die beiden Massnahmen und erläutert sie anhand von Fallbeispielen. Zudem zeigt es auf, wie sie sich auf die Ökologie und Morphologie von Gewässern auswirken.*

**M. Facchini, E. Martín Sanz, S. Fink, D. Vetsch, Ch. Robinson, M. Döring, A. Siviglia, Ch. Scheidegger, R. Boes**

Stauseen unterbrechen die Durchgängigkeit eines Fliessgewässers. Sie beeinflussen den Sedimenttransport und vermindern die Längsvernetzung von Pflanzen- und Tierbeständen sowie ihrer Lebensräume. Ein beeinträchtigter Sedimenttransport trägt zudem zu einem Geschiebedefizit im Unterlauf bei, mit negativen ökologischen Folgen. Der Stauraum wirkt wie ein Geschiebesammler und verlandet mit der Zeit, falls keine Gegenmassnahmen getroffen werden. Dies kann negative Auswirkungen auf

den Betrieb haben wie Ertragseinbussen einer Nutzanlage (z. B. Wasserkraft), verringerter Hochwasserrückhalt, Reduktion der Flexibilität oder ein erhöhter Verschleiss an maschinellen Anlagen wie Turbinen infolge höherer Schwebstoffkonzentrationen.

Mögliche Massnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit sind das Durchleiten von Wasser und Sediment mittels Sedimentumleitstollen oder künstlicher Hochwasser (Abb. 1). Beide Massnahmen werden im vorliegenden Merkblatt erläutert. Eine weitere recht häufig umgesetzte Massnahme sind Stauraumpülungen. Stauraumpülungen und künstliche Hochwasser werden manchmal verwechselt. Der Unterschied liegt bei den Zielen: Stauraumpülungen haben zum Ziel, eine Verlandung des Stauraums zu verhindern und die Funktionalität der Ablassorgane sicherzustellen. Mit künstlichen Hochwassern wird eine ökologische Aufwertung der Restwasserstrecke unterhalb der Sperre angestrebt. Bei beiden Massnahmen sind wirtschaftliche Aspekte seitens des Stauanlagenbetreibers zu berücksichtigen. Bei vergleichbarer Wasserabgabe bestehen Synergien zwischen den beiden Massnahmen. Allerdings ist bei den Stau-

### Abbildung 1

*Schematische Darstellung eines Umleitstollens (links). Auslassbauwerk des Sedimentumleitstollens bei der Stauanlage Solis an der Albula (GR; rechts); die Aufnahme entstand beim zweiten Hochwasserbetrieb des Stollens am 23.5.2014.*



raumspülungen die Schwebstoffkonzentration ein kritischer Faktor (vgl. Merkblatt 3).

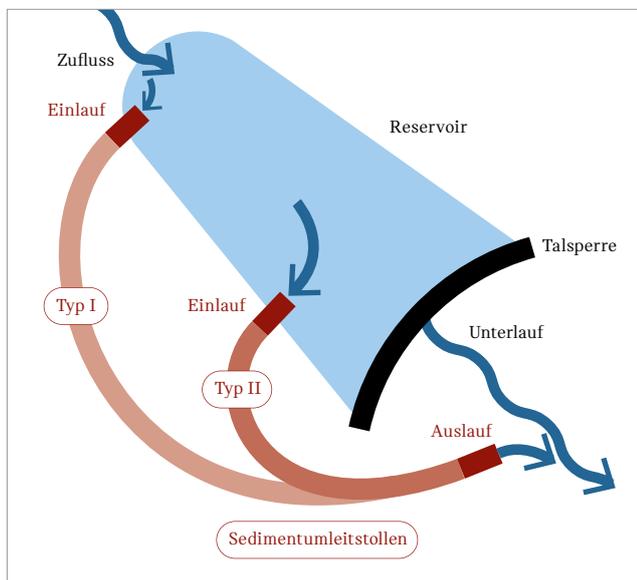
Da die Stauraumspülungen im Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» nicht untersucht worden sind, wird diese Massnahme im folgenden Text nicht weiter ausgeführt. Das vorliegende Merkblatt behandelt zuerst technische sowie betriebliche Aspekte von Sedimentumleitstollen und künstlichen Hochwassern, danach erläutert es ökologische Aspekte und zeigt Fallbeispiele auf.

## Sedimentumleitstollen

Sedimentumleitstollen werden gebaut, um die Verlandung von Speichern zu verringern und die Durchgängigkeit der Fliessgewässer, insbesondere für den Sedimenttransport, aufrechtzuerhalten bzw. wiederherzustellen. In der Schweiz gibt es heute 10 betriebsfähige Sedimentumleitstollen an Stauanlagen mit relativ kurzen Staueisen (Tab. 1), weitere Anlagen sind in Planung.

### Abbildung 2

Schematische Darstellung der Funktion eines Sedimentumleitstollens. Dem Reservoir zugeführtes Wasser und Sediment werden durch den Stollen umgeleitet und unterhalb der Talsperre dem Fluss wieder zugeführt.



Quelle: VAW

Ein Sedimentumleitstollen besteht aus einem Einlaufbauwerk im Bereich des Reservoirs, dem Stollen selbst und einem Auslaufbauwerk unterhalb der Talsperre (Abb. 2). Zwei Typen von Sedimentumleitstollen werden unterschieden. Beim Typ I ist das Einlaufbauwerk am oberen Ende des Staubereichs angeordnet, bei der Stauwurzel. Bei der Planung sind die Länge des Stollens und die erforderliche Beschleunigungsstrecke beim Einlauf zu beachten. Im gesamten Stollen herrscht Freispiegelabfluss<sup>1</sup> (Auel und Boes 2011). Ein Beispiel für Typ I ist der Sedimentumleitstollen «Pfaffensprung» an der Reuss bei Wassen (UR). Beim Typ II liegt das Einlaufbauwerk meistens näher bei der Sperre, womit sich die Stollenlänge reduzieren lässt. Das Einlaufbauwerk befindet sich dabei unter Wasser, und aus hydraulischer Sicht herrscht dort Druckabfluss (Auel und Boes 2011). Liegt das Kontrollorgan (Betriebsschütz) zur Steuerung des Durchflusses am Stolleneinlauf, tritt dort der Übergang von Druck- zu Freispiegelabfluss auf. Ist das Kontrollorgan jedoch am unterstromigen Ende des Stollens angeordnet, kann im Stollen auch Druckabfluss auftreten. In jedem Fall sollte der Eintrag von Schwimmstoffen wie Geschwemmsel in den Sedimentumleitstollen verhindert werden, z. B. mittels Tauchwand, um Verkläuerungen im Stollen zu vermeiden. Ein Sedimentumleitstollen vom Typ II findet sich z. B. an der Albula bei Solis (GR; vgl. Kap. Fallbeispiele).

### Betrieb von Sedimentumleitstollen

Der Betrieb von Sedimentumleitstollen erfolgt vorwiegend während natürlich auftretenden Hochwasserereignissen. Dabei wird das Wasser als Transportmittel zur Beförderung des Sediments durch den Stollen genutzt. In der Schweiz sind die Sedimentumleitstollen üblicherweise an mehreren Tagen pro Jahr in Betrieb (Auel 2014; Kondolf et al. 2014). Das Kontrollorgan ermöglicht die Regulierung der umgeleiteten Wassermenge. Wasser, das weder umgeleitet noch im Reservoir gespeichert werden kann, wird über die Regelorgane der Stauanlage (z. B. Turbinen, Hochwasserentlastung oder Grundablass) abgeführt.

Bei einem Sedimentumleitstollen vom Typ I ist ein Betrieb bei normalem Aufstau möglich, wodurch der grösste Teil

<sup>1</sup> Der Begriff «Freispiegelabfluss» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > Produkte und Publikationen.

### Offene Forschungsfragen

- Ausbreitung des neu zugeführten Sediments und Wirksamkeit des reaktivierten Sedimenttransports hinsichtlich ökologischer Aspekte.
- Optimaler Zeitpunkt, Häufigkeit und Dauer des Betriebs von Sedimentumleitstollen oder künstlichen Hochwassern sowie optimale Grösse der Abflussspitze hinsichtlich ökologischer Aspekte.

der Sedimentfracht bei Freispiegelabfluss durch den Stollen geleitet werden kann. Der Betrieb bei Typ II hingegen erfordert eine teilweise Absenkung des Reservoirs. Damit werden im Verlandungsbereich Strömungsverhältnisse geschaffen, welche die Sedimente mobilisieren (Auel 2014).

Der Betrieb von Sedimentumleitstollen während Hochwasserereignissen ist vergleichbar mit den Auswirkungen von künstlichen Hochwassern unterhalb von Stauanlagen. Er ermöglicht die gesteuerte Abgabe von Wasser. Durch einen angepassten Betrieb werden der Spitzenabfluss und die Dauer eines Ereignisses so gesteuert, dass im Unterlauf verbesserte ökologische Verhältnisse entstehen (Martín Sanz et al. 2015) und ökologische Schäden vermieden werden. Während künstliche Hochwasser ohne Geschiebeabgabe direkt unterhalb von Stauanlagen

nur Wasser weiterleiten, führt ein Umleitstollen auch das Sediment ins Unterwasser, das vom Gewässer oberhalb des Reservoirs transportiert wird. Ein Sedimentumleitstollen wird vorzugsweise während eines natürlichen Hochwassers betrieben, um im Unterwasser bzgl. Zeitpunkt und Sedimentverfügbarkeit ähnliche Verhältnisse wie vor dem Bau der Stauanlage zu schaffen.

Auel et al. (2016) untersuchten ober- und unterstrom die Entwicklung von vier Stauanlagen mit Sedimentumleitstollen, und zwar nach ökologischen und morphologischen Kenngrössen. Die Anlagen waren zum Zeitpunkt der Erfassung zwischen 0 und 92 Jahren in Betrieb. Mit zunehmender Betriebsdauer eines Umleitstollens stellen sich im Unterwasser ähnliche Verhältnisse ein wie im Zustand vor dem Bau der Stauanlagen bzw. wie im Oberstrom der Stauräume. Empfehlenswert ist, den Betrieb laufend und basierend auf den gemachten anlagenspezifischen Erfahrungen anzupassen. So lassen sich negative Auswirkungen vermeiden und gleichzeitig Sedimentumlagerungen mit ökologisch positivem Effekt fördern. Optimierungen sind mit weiteren Fallstudien zu untersuchen.

### Räumliche und zeitliche Auswirkungen

Die dem Sedimentumleitstollen zugeführte Sedimentfracht hängt massgeblich von der Lage des Einlaufbauwerks, der Gestalt des Reservoirs sowie des Verland-

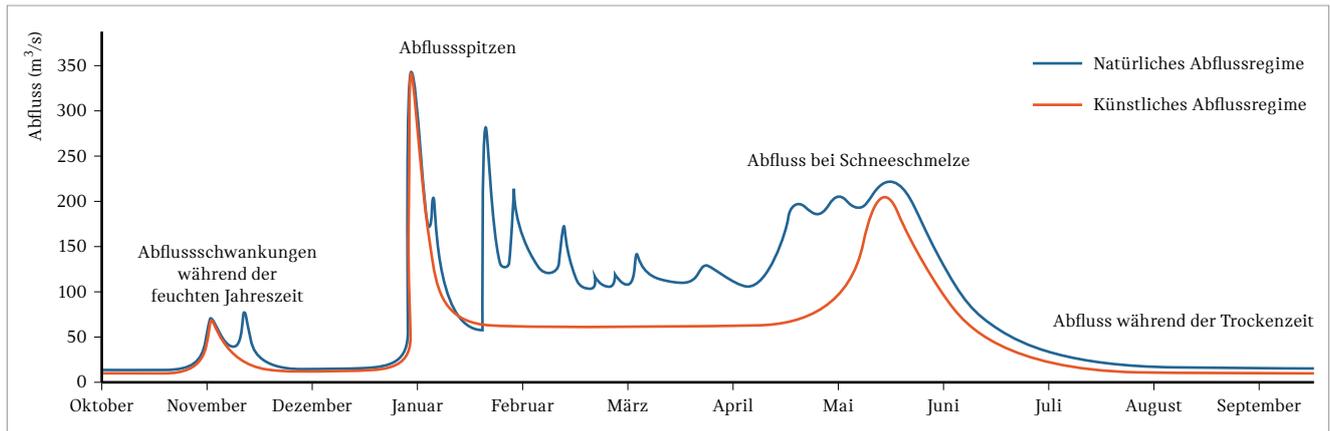
**Tabelle 1**

*Sedimentumleitstollen in der Schweiz; der Stollentyp ist in Abb. 2 ersichtlich. \*Je nach Reservoirspegel.*

Name	Kraftwerksanlage	Stollentyp	Gewässer	Betreiber
Egschi	Rabiusa-Realta	II	Rein da Sumvitg	Kraftwerke Zervreila AG
Ausgleichsbecken Hintersand	Linth-Limmern	I	Sandbach	Kraftwerke Linth-Limmern AG Axp Hydroenergie
Palagnedra	Verbano	I/II*	Melezza	OFIMA
Pfaffensprung	Amsteg	I	Reuss	SBB AG – Infrastruktur Energie
Rempen	Siebnen	I	Wägitaler Aa	Axp/ewz – AG Kraftwerk Wägital
Runcahez	Tavanasa	I	Rein da Sumvitg	Axp – Hydro Surselva AG
Sera	Gondo	I	Grosses Wasser	Alpiq HYDRO Exploitation SA
Solis	Rothenbrunnen/Sils	II	Albula	ewz
Val d’Ambra	Nuova Biaschina	I	Rierna	Azienda Elettrica Ticinese
Ual da Mulin	Bargaus	I	Ual Draus	Flims Electric AG

**Abbildung 3**

Beispiel eines Hydrographen, welcher einen typischen natürlichen und funktionalen Abflussverlauf aufweist. Die unterschiedlichen Abflussspitzen sind auf flussmorphologische, ökologische und biogeochemische Funktionalitäten abgestimmt, um die Lebensräume für verschiedene Arten zu erhalten.



Quelle: UC Davis Center for Watershed Sciences (angepasst)

ungskörpers und der Zusammensetzung des abgelagerten Materials ab. Eine Studie im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» hat gezeigt, dass es beim Betrieb im Unterlauf zu Sohlenveränderungen kommen kann; je nach Situation entweder zu Auflandung oder Erosion. Das Ausmass der morphologischen Veränderungen wird durch die Dauer des Betriebs, die Abflussspitze sowie die Abfluss- und Sedimentfracht bestimmt (Facchini 2017). Bei typisch alpinen Flussabschnitten erstrecken sich die Sohlenveränderungen über die ersten hundert Meter bis mehrere Kilometer flussabwärts. Die Studie stellte zudem fest, dass sich die Sohlenveränderungen kurz nach der erstmaligen Inbetriebnahme in Strömungsrichtung verlagern. Allerdings nehmen die Veränderungen mit der Zeit bzw. der Häufigkeit des Betriebs wieder ab aufgrund des Gleichgewichts, das sich einstellt. Über einen langen Zeitraum nähern sich die morphologischen Verhältnisse im Fließgewässer wieder dem ursprünglichen Zustand vor dem Bau der Stauanlage an. Dieser Vorgang kann je nach Situation mehrere Jahrzehnte umfassen.

### Künstliche Hochwasser

Künstliche Hochwasser werden weltweit eingesetzt, um die Lebensräume in Flussläufen unterhalb von grossen

Stauanlagen aufzuwerten. Als gross werden diejenigen Stauanlagen definiert, die einen beträchtlichen Teil des mittleren jährlichen Zuflusses speichern können. Aufgrund dieses Speichervolumens führen selbst kleine und mittlere Hochwasserzuflüsse nicht zum Anspringen der Hochwasserentlastung, und im Unterwasser herrscht daher keine nennenswerte Abflussdynamik. Durch die kontrollierte Abgabe von Wasser aus dem Stauraum in den Unterlauf wird ein künstliches Hochwasser erzeugt, um Abflussvariabilität und Sedimentumlagerungen zu fördern. Die ökologischen Ziele von künstlichen Hochwassern hängen von der jeweiligen Situation ab. Häufig sollen damit die Lebensräume aufgewertet und die Laichmöglichkeiten für kieslaichende Fischarten wie die Forelle verbessert werden.

Die Anwendung von künstlichen Hochwassern nimmt weltweit und auch in der Schweiz zu. Häufigkeit und Ausmass unterscheiden sich dabei je nach lokaler Situation und Zielsetzung. Die Auslösung von künstlichen Hochwassern benötigt eine angepasste Bewirtschaftung von Fließgewässern unterhalb der Stauanlagen. Dazu gilt es, die Auswirkungen auf den Unterlauf regelmässig und insbesondere vor und nach einem Hochwasser aufzuzeichnen und zu bewerten. So lassen sich künstliche Hochwasser hinsichtlich einer ökologischen Aufwertung

von Fließgewässern und der Hochwassersicherheit optimieren.

### Durchführung

Das Ausmass, die Häufigkeit und die Dauer von künstlichen Hochwassern sollten sich am natürlichen Abflussregime orientieren, um die Hydrologie und das Sedimentregime beeinträchtigter Flussläufe zu verbessern (Abb. 3). Durch einen angepassten Betrieb der Stauanlage werden der Spitzenabfluss und die Dauer eines Ereignisses so gesteuert, dass im Unterlauf optimale hydrologische und ökologische Verhältnisse entstehen (Martín Sanz et al. 2015), ein sogenannt funktionales Abflussregime. Hingegen sind Hochwasser oder Schwebstofffrachten, die über das natürliche Regime hinausgehen, möglichst zu vermeiden. In Gewässern mit Restwasser und Geschiebedefizit sollten künstliche Hochwasser mit einer Geschiebezugabe direkt unterhalb der Stauanlage kombiniert werden. Ansonsten können die künstlichen Hochwasser zu einer Eintiefung des Gerinnes sowie dem Abkoppeln und Trockenfallen von Auen führen.

### Ökologische Aspekte

Flüsse werden durch Abfluss, Sediment und Temperatur geprägt (vgl. Merkblatt 1). Für eine optimale Bewirtschaftung von durch Stauanlagen beeinflussten Flüssen gilt es, alle drei Aspekte zu berücksichtigen.

#### Sedimentumlagerungen

Mit einer kontrollierten Abgabe von Wasser und Sediment durch den Betrieb von Sedimentumleitstollen oder aufgrund der Erzeugung von künstlichen Hochwassern können die Sedimentverhältnisse im Unterlauf verbessert werden. Dafür sind die Massnahmen ökologisch möglichst optimal umzusetzen. Eine Umlagerung von Sediment und organischem Material fördert die Entstehung neuer Lebensräume und damit auch die Lebensraumvielfalt. Insbesondere Umlagerungen bei Kiesbänken sind wichtig für die Entstehung von Mikrohabitaten für aquatische, amphibische und terrestrische Arten sowie für das Vorkommen von Pionierarten (vgl. Merkblatt 1 und 5). Zudem wirken sich gelegentliche Überflutungen und Sedimentumlagerungen positiv auf die Entwicklung von

Hart- und Weichholzaunen aus, weil sie zu einer Ablagerung von Nährstoffen beitragen.

Grössere Abfluss- und Sedimentereignisse wirken sich generell stärker aus als kleine, wie in der Albula unterhalb des Sedimentumleitstollens Solis gezeigt worden ist (vgl. Kap. Fallbeispiele). Grosse Ereignisse mit Sedimentabgaben können die Flusssohle tief erodieren sowie umlagern und dabei die Dichte und Artenzahl der Makroinvertebraten sowie den Algenbewuchs vermindern. Eine ausgeprägte Erosion kann die Respiration im Sediment reduzieren, und diese ist eine wichtige Funktion für den Stoffumsatz (vgl. Merkblatt 1). Je nach Häufigkeit der kontrollierten Abgaben von Wasser und Sediment kann sich der Zustand vor den Ereignissen allerdings relativ schnell wieder einstellen. Beim Betrieb eines Sedimentumleitstollens wie auch bei künstlichen Hochwassern sollte deshalb berücksichtigt werden, dass grosse Abflussereignisse die Struktur und Funktion von Fließgewässern stark beeinflussen können. Davon betroffen sind auch die primäre und sekundäre Produktion sowie der Abbau von Biomasse. Aus diesem Grund sollten solche Ereignisse entsprechend dimensioniert werden, um die gewünschten ökologischen Veränderungen zu erzielen. Zudem bedarf es einer gewissen Wiederholung der Ereignisse zur Erhaltung dieser Veränderungen (Martín Sanz et al. 2017).

#### Längsvernetzung

Sedimentumleitstollen fördern nicht nur das Geschiebekontinuum, sondern auch den Transport von Samen und Pflanzenteilen (vgl. Merkblatt 3). Sie gewährleisten deren Verbreitung im Unterlauf sowie die Längsvernetzung von terrestrischen und aquatischen Lebensräumen (Auel et al. 2016). Da die Sedimentumleitstollen nur während eines Hochwassers in Betrieb sind, beschränkt sich eine Vernetzung auf diese Zeit. In der übrigen Zeit sinken die Samen im Stauraum ab und verlieren ihre Keimfähigkeit, weil sie zu lange unter Wasser bleiben (vgl. Merkblatt 4).

Die Samen gewisser Pflanzenarten (z. B. *Myricaria germanica*, *Salix* ssp) werden bloss während einer bestimmten Jahreszeit schwimmend verfrachtet. Künstliche Hochwasser sollten während der Sommermonate terminiert werden, also wenn die schwimmfähigen Samen auf dem Wasser transportiert werden, um die Ausbrei-

**Abbildung 4**

Der Spöl bei Restwasser- (links, Abfluss ca.  $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ ) und bei Hochwasserabfluss (rechts, Abfluss  $43\text{ m}^3/\text{s}$ ).



Fotos: Urs Uehlinger, Eawag

tion dieser Arten zu fördern. Ausserdem kann die Terminierung und Intensität der Wasserabgabe für das Überleben von juvenilen Pflanzen entscheidend sein, da diese einfacher weggespült werden (vgl. Merkblatt 5).

Sowohl der Betrieb von Sedimentumleitstollen als auch künstliche Hochwasser fördern die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen, weil sie den Nährstofftransport gewährleisten (vgl. Merkblatt 3).

## Fallbeispiele

### Sedimentumleitstollen Solis

Der Sedimentumleitstollen an der Stauanlage Solis an der Albula (GR) in Mittelbünden wurde im Jahr 2012 fertiggestellt. Der Stollen mit einem 4,4 m breiten Torbogenprofil ist 973 m lang und weist ein mittleres Gefälle von 1,9% auf. Die maximale Abflusskapazität beträgt  $170\text{ m}^3/\text{s}$ , was in etwa einer fünfjährigen Hochwasserspitze entspricht. Der Sedimentumleitstollen vom Typ II mündet 300 m unterhalb der Staumauer in die Albula (Abb. 1) und war seit Inbetriebnahme bisher acht Mal während Hochwasser in Betrieb (Stand Herbst 2016).

Das bislang grösste Ereignis fand am 13. August 2014 statt. Dabei war der Stollen für ungefähr 14 Stunden mit einem mittleren Abfluss von  $153\text{ m}^3/\text{s}$  in Betrieb und leitete rund  $20\,000\text{ m}^3$  Sediment um (Müller-Hagmann 2017).

Die Sedimentumleitung führte im Bereich unterhalb des Auslassbauwerks zu Erosion und einer Verfeinerung der Flusssohle. Vor der Mündung in den Hinterrhein hatte sie Auflandungen und eine Vergröberung des Sohlsubstrats zur Folge (Facchini et al. 2015).

### Künstliche Hochwasser am Spöl

Der Spöl (Abb. 4) entspringt im Val Ursera, fliesst durch die zwei Stauseen Lago di Livigno sowie Lai da Ova Spin und mündet in Zernez in den Inn. Im Jahr 1973 wurde im Livignotal die Staumauer Punt dal Gall fertiggestellt. Seither fehlt eine natürliche, saisonabhängige Abflussvariabilität im Unterlauf, und der Abfluss wurde auf die Restwassermenge beschränkt ( $1,5\text{ m}^3/\text{s}$  nachts und  $2,5\text{ m}^3/\text{s}$  tagsüber).

Im Jahr 1999 wurde mit einem Programm begonnen, durch künstliche Hochwasser die Abflussvariabilität zu erhöhen. Seitdem werden die Hochwasser jedes Jahr neu angepasst, und zwar basierend auf den Erkenntnissen des Monitorings vom Vorjahr. Das Ziel ist, Erfahrungen mit künstlichen Hochwassern sowie Kenntnisse zu deren ökologischen Auswirkungen zu gewinnen. Die künstlichen Hochwasser sollen unter anderem Sedimentumlagerungen auslösen sowie seitliche Murgangkegel erodieren und damit die Habitatsdynamik fördern. Sofern genügend Wasser im Speicher vorhanden ist, werden im Rahmen des Programms jährlich 2 bis 3 Spitzenabflüsse erzeugt, was etwa der Häufigkeit von Hochwassern vor dem Bau

der Staumauer entspricht. Im Unterlauf der Stauanlage besteht aufgrund der Geschiebeeinträge der Seitenzubringer kein Geschiebedefizit, deshalb ist eine zusätzliche Geschiebezugabe nicht notwendig.

Auch andere wissenschaftliche Studien zeigen, dass die künstlichen Hochwasser die Lebensraumbedingungen und dadurch die Struktur der Lebensgemeinschaften verändern (Mürle et al. 2005). Zum Beispiel haben in Flüssen mit einer erhöhten Abflussvariabilität die Lebensgemeinschaften von Makroinvertebraten eine natürlichere Zusammensetzung als in Flüssen mit einer geringeren Abflussvariabilität. Ausserdem haben sich wieder Arten angesiedelt, die an ein variables Abflussregime angepasst sind, während die Häufigkeit von nicht strömungsresistenten Arten reduziert worden ist. Zudem verändert sich der Stoffumsatz (Respiration) in der Gewässersohle durch Hochwasser, da organisches Material aus dem Sediment ausgewaschen und die Gemeinschaft der stoffabbauenden Mikroorganismen verändert wird.

Das Programm am Spöl hat des Weiteren gezeigt, dass künstliche Hochwasser die Widerstandsfähigkeit von Lebensräumen im Unterlauf gegenüber katastrophalen Ereignissen erhöhen können, wie das der Störfall am Spöl mit hoher Schwebstofffracht anfangs 2013 gezeigt hat.

## Fazit

Eine kontrollierte und ökologisch optimierte Abgabe von Wasser und Sediment beim Betrieb von Sedimentumleitstellen und das Auslösen eines künstlichen Hochwassers können die Sedimentverhältnisse im Unterlauf verbessern. Die optimierte Abgabe trägt zur Umlagerung von Sediment und organischem Material bei und fördert die Entstehung neuer Habitate. Die hydrologischen Charakteristika der beiden Ansätze sollen sich hinsichtlich Zeitpunkt (Saisonalität), Spitze, Dauer, Häufigkeit etc. an den ursprünglichen Verhältnissen des Abflussregimes orientieren.

Jede Situation erfordert ein individuelles Bewirtschaftungskonzept. Dieses sollte durch ein Monitoring begleitet werden, um verschiedene Flüsse zu vergleichen und einen Lernprozess zu ermöglichen. Es ist relativ neu,

dass das Sedimentregime beim ökologischen Unterhalt von Flüssen berücksichtigt wird. Die Verantwortlichen für die Planung und Durchführung der Wasser- und Sedimentabgabe sollten deshalb einem angepassten Vorgehen (adaptives Management) folgen, welches kontinuierlich dokumentiert wird und damit eine fortlaufende Optimierung unterstützt.

## Literatur

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **Produkte und Publikationen**.

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Beteiligte Forschungsinstitutionen:** Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

**Projektleitung:** Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario J. Franca, LCH-EPFL

**Fachliche Begleitung:** BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapoza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redaktion:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Lektorat:** Regina Gerber

**Zitierung:** Facchini, M., Martín Sanz, E., Fink, S., Vetsch, D., Robinson, Ch., Döring, M., Siviglia, A., Scheidegger, Ch., Boes, R., 2017: Sedimentumleitstollen und künstliche Hochwasser. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 6.

**Gestaltung und Illustrationen:** Anamorph, Marcel Schneeberger

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d [www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

© BAFU 2017

# 7 Geschiebeschüttungen und Ufererosion

*Zahlreiche Schweizer Fliessgewässer sind ökologisch beeinträchtigt, weil sie zu wenig Geschiebe führen. Mit Kiesschüttungen und einer induzierten Ufererosion kann die Geschiebeverfügbarkeit verbessert werden. Dadurch lassen sich unter anderem Lebensräume aufwerten und die Sohlenerosion vermindern. Das vorliegende Merkblatt erläutert die beiden Massnahmen anhand von Fallbeispielen und beschreibt ihre ökologischen Auswirkungen. Des Weiteren zeigt es, wie beide Massnahmen geplant und umgesetzt werden.*

**F. Friedl, E. Battisacco, L. Vonwiller, S. Fink, D. Vetsch, V. Weitbrecht, M. J. Franca, Ch. Scheidegger, R. Boes, A. Schleiss**

Fliessgewässer mit einem Geschiebedefizit, z. B. aufgrund fehlender Geschiebedurchgängigkeit oberstrom liegender Stauhaltungen, sind oft ökologisch stark beeinträchtigt. Eine mögliche Aufwertungsmassnahme ist die Erhöhung der Geschiebeverfügbarkeit, beispielsweise durch Geschiebeschüttungen oder Förderung der Ufererosion (Abb. 1). Bei erhöhtem Abfluss oder Hochwasser erodiert die Schüttung (Abb. 2) bzw. das Ufer, und dem Unterlauf wird dadurch mehr Geschiebe zugeführt. Die-

ses kann sich an der Flusssohle umlagern und dynamische morphologische Strukturen bilden. Die Hauptziele von Schüttungen und Ufererosion sind: (i) Verringerung des Geschiebedefizits; (ii) Aufwertung aquatischer und terrestrischer Lebensräume für Fische, Makroinvertebraten und Pflanzen; (iii) Verhinderung einer fortschreitenden Sohlenerosion und Schutz von Brücken oder Uferverbauungen (z. B. Kondolf und Minear 2004). Im Folgenden werden technische und ökologische Aspekte von Geschiebeschüttungen und induzierter Ufererosion erläutert und anhand von Fallbeispielen veranschaulicht. Im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» wurden Gebirgsflüsse (steiles Gefälle) mit mehrheitlich grosser Strömungsbelastung und Flachlandflüsse (flaches Gefälle) mit tendenziell geringerer Strömungsbelastung untersucht.

## Geschiebeschüttungen

### Planung und Ausführung

#### Arten, Lage und Form der Schüttungen

Bei Geschiebeschüttungen wird zwischen direkter und indirekter Anreicherung unterschieden. Bei einer direkten

#### Abbildung 1

*Schematische Darstellung von Geschiebeschüttungen und Ufererosion (links). Ausführung einer Geschiebeschüttung an der Reuss unterhalb von Bremgarten (AG; rechts).*



**Abbildung 2**

*Geschiebeschüttung an der Töss bei Sennhof, Winterthur (ZH). Situation direkt nach der Schüttung (links) und einen Monat später, nach einer Abflussspitze leicht unter einem HQ<sub>1</sub> (rechts).*



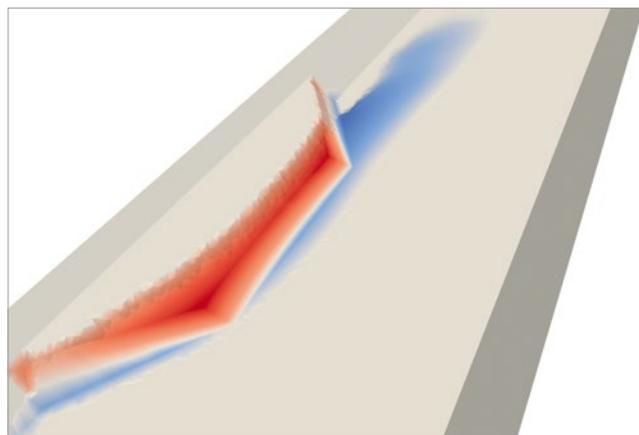
Fotos: AWEL

Anreicherung werden Geschiebeschüttungen so angelegt, dass an ökologisch geeigneten Standorten morphologische Strukturen wie Geschiebebänke oder Furten entstehen. Dieser Typ von Schüttung ist nur umsetzbar, wenn es einen direkten Zugang zum Fließgewässer gibt. Bei der indirekten Anreicherung wird das Material an logistisch und hydraulisch geeigneten Standorten bzw. an strömungsreicheren Orten geschüttet. Wenn der Abfluss genügend gross ist, wird das Schüttmaterial mobilisiert und hydraulisch flussabwärts verfrachtet, wo sich –

je nach Gegebenheiten – bestehende morphologische Strukturen stärker ausprägen oder neue Strukturen bilden. Das Geschiebe kann entweder bei Niedrigwasser in den Fluss (Abb. 1) oder bei grösseren Abflüssen auf die Vorländer geschüttet werden. Aus verschiedenen Gründen wird die indirekte Anreicherung häufiger angewendet als die direkte: die Kosten sind tiefer, die Durchführbarkeit einfacher, der Eingriff in den aquatischen Lebensraum geringer, und oft ist der Zugang zu Fließgewässern eingeschränkt.

**Abbildung 3**

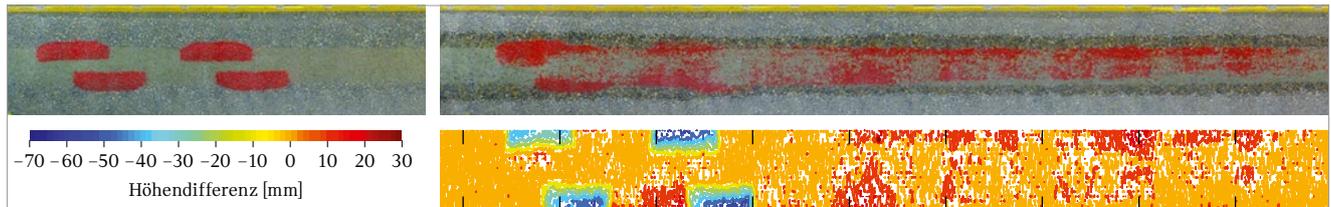
*Erosionsversuche von Geschiebeschüttungen im physikalischen (links) und numerischen Modell (rechts) zum gleichen Zeitpunkt. Rechts: Die Ausbreitung des erodierten Geschiebes ist anhand der sich stromabwärts ausbildenden Sedimentzunge (blau) erkennbar. Zudem ist das erodierte Volumen (rot) der Schüttung ersichtlich.*



Quelle: VAW

**Abbildung 4**

*Geschiebeanreicherung durch alternierende Schüttungen im Laborversuch. Links: anfängliche Anordnung. Rechts: Ablagerungen nach 9 Stunden konstantem Abfluss. Die Abbildung zeigt ein Foto (oben) und den Differenzplot aus der Laservermessung (unten). Im Differenzplot kennzeichnen die Farben die Erosion (negative Werte in der Legende) oder die Ablagerungen (positive Werte).*



Quelle: LCH-EPFL

Geschiebeschüttungen sollten möglichst nahe der Stelle erfolgen, wo das Schüttungsmaterial gewonnen worden ist. Somit lassen sich der Transportweg und die durch den Transport verursachten Emissionen minimieren. Die Schüttungsplätze sind mit Bedacht zu wählen, um allfällige Eingriffe im Uferbereich zu minimieren, z.B. die Erstellung von Zufahrtstrassen. Damit lassen sich auch Kosten sparen.

Laboruntersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» haben gezeigt, dass mehrere parallel oder alternierend angeordnete Schüttungen zu einer länger andauernden Geschiebeanreicherung in Gebirgsflüssen führen (Battisacco 2016). Des Weiteren haben physikalische Modellversuche für Flachlandflüsse (Friedl et al. 2016) ergeben, dass eine Geschiebeschüttung in Form einer Insel deutlich schnell-

er erodiert wird als eine Schüttung unmittelbar am Ufer. Dies liegt daran, dass im Fall der Insel zwei Böschungen von der Strömung angegriffen werden. Zudem ist gezeigt worden, dass Geschiebeschüttungen die weniger als 30 % der Flussbreite einnehmen (Verbauungsgrad < 30 %) nur zu einem geringfügigen Aufstau oberstrom führen (< 20 % der Ausgangsabflusstiefe). Der Aufstau kann mit der Gleichung von Oak und Smith (1994), die für einzelne Bühnen entwickelt worden ist, abgeschätzt werden.

Die im Labor beobachteten Erosionsprozesse können mit numerischen Simulationen gut nachgebildet werden (Abb. 3). Vonwiller et al. (2016) haben gezeigt, dass in diesen Modellen drei Komponenten (Modellansätze) enthalten sein müssen: (i) der laterale Geschiebetransport, der die Ablenkung des Transports aufgrund einer seitlich geneigten Flusssohle berücksichtigt, (ii) der gravitationsinduzierte Böschungskollaps, der das Abrutschen der Böschung bei Überschreiten der kritischen Böschungeneigung abbildet, und (iii) eine Reduktion der kritischen Sohlschubspannung aufgrund des lokalen Sohlgefälles in Strömungsrichtung.

**Abbildung 5**

*Geschiebeschüttung an der Aare bei Aarwangen (BE).*



Foto: Flussbau AG

**Abschätzung der Transportrate und Schüttvolumen**  
Die Transportrate in einem Flussabschnitt für verschiedene Abflüsse und Ganglinien lässt sich mithilfe einfacher Berechnungsansätze abschätzen, anhand physikalischer Modellversuche oder mit numerischen Modellen (z. B. BASEMENT; Vetsch et al. 2016). Die Kornverteilung des Schüttmaterials spielt dabei eine massgebende Rolle. Beim Festlegen des Schüttvolumens können sich die Verantwortlichen an der naturnahen mittleren jährlichen Geschiebefracht orientieren oder an einer Fracht,

die naturnahe morphologische Strukturen ermöglicht. Ausserdem sind die Anforderungen an den Hochwasserschutz zu berücksichtigen. Ein Monitoring ist unabdingbar, um die Unsicherheiten bei den Transportberechnungen zu minimieren, allfällige unerwünscht hohe Sohlanlandungen zu entdecken und die Schüttungen zu optimieren.

#### Herkunft Schüttmaterial

Das Schüttmaterial wird aus Geschiebesammlern, aus Stauräumen oder aus Kiesgruben gewonnen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Verteilung der Korngrößen den lokalen ökologischen Anforderungen entspricht. Grundsätzlich sollte flusstypisches Geschiebe, das aus dem Fluss selbst stammt, verwendet werden. Im voralpinen Raum und im Schweizer Mittelland sind es in der Regel Gemische der Kornfraktionen Sand und Kies; diese können eine Aussiebung oder Mischung des Materials erfordern. Material mit einem hohen Feinsedimentanteil oder organischen Anteil ist aus ökologischen Gründen je nach Situation ungeeignet. Ausserdem kann Material mit viel Feinsediment Trinkwasserfassungen entlang des unterstromigen Gewässers beeinträchtigen.

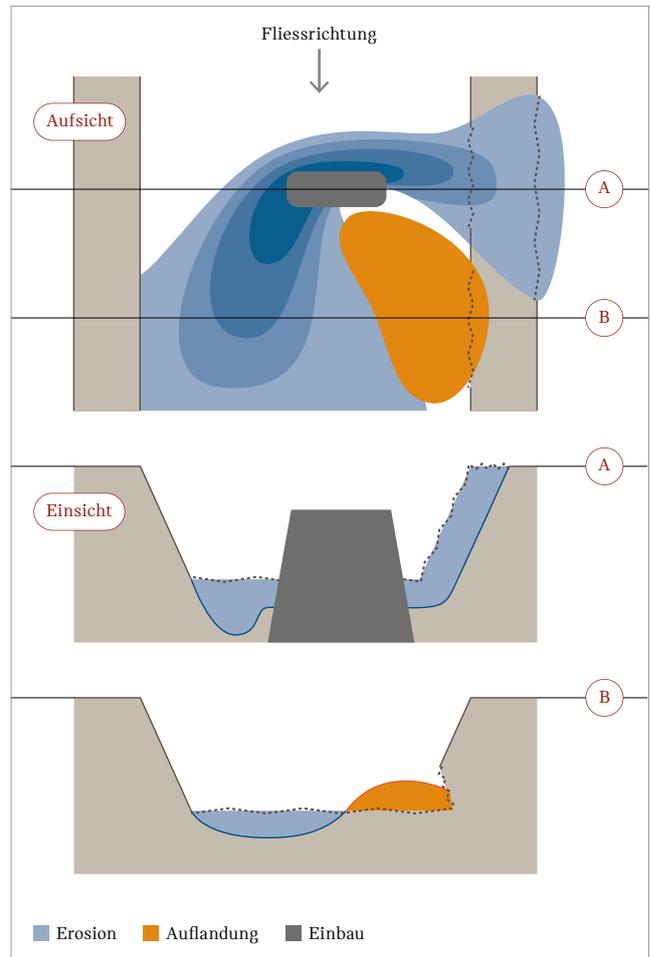
#### Räumliche und zeitliche Wirkung

Friedl et al. (2016) haben auf Grundlage von Modellversuchen gezeigt, dass bei Geschiebeschüttungen neben den Abflussverhältnissen die Kornverteilung, der Verbauungsgrad und die Lage im Gewässer den grössten Einfluss auf den zeitlichen Verlauf des Erosionsprozesses haben, während Schüttdichte, -höhe und -länge eine untergeordnete Rolle spielen.

Gemäss Laboruntersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» von Battisacco (2016) ist die Ausbreitung und Beständigkeit der Ablagerungen im Unterlauf der Schüttungen optimal, wenn der anfängliche Abfluss die Schüttungen gerade überdeckt. Des Weiteren wurde beobachtet, dass eine parallele Anordnung der Schüttungen zu einer gleichmässigen Verteilung des Geschiebes im Unterlauf führt. Hingegen kommt es bei alternierenden Schüttungen zur ansatzweisen Bildung von Bänken (Abb.4). Dies zeigt, dass die Geschiebezugabe zur Bildung neuer morphologischer Strukturen und zur vermehrten Umlagerung von Sedimenten führen kann, z. B. bei bestehenden Kiesbän-

**Abbildung 6**

*Induzierte Ufererosion bei einem nicht überströmten Bauwerk.*



Quelle: VAW

ken. Je nach Zusammensetzung des zugegebenen Materials wirkt sich dies auf das Substrat aus, wie etwa Verfeinerung, De- oder Kolmation oder Mobilisierung der Deckschicht.

Für die Mobilisierung der Geschiebeschüttungen in steileren Gerinnen (> 1 %) sollte der Abfluss so gewählt werden, dass es nicht zu einer Mobilisierung der Deckschicht kommt und das zugegebene Material über die bestehende stabile Flusssohle transportiert wird. Dies ist wichtig, um die Hochwassersicherheit zu gewährleisten und in Situationen, in denen Schüttungen und künstliche Hochwasser kombiniert werden wie etwa unterhalb von Talsperren (vgl. Merkblatt 6).

### Fallbeispiele

In der Schweiz werden seit einigen Jahren vermehrt Geschiebeschüttungen durchgeführt. An der Aare (BE) unterhalb des Bielersees beispielsweise wurden an zwei Standorten und bei Niedrigwasser indirekte Anreicherungen vorgenommen. Diese hatten die Form einer langen Kiesbank und von seitlichen Inseln in Ufernähe. Das Volumen war so bemessen, dass die Schüttungen bereits bei einem kleinen Hochwasserereignis vollständig überströmt wurden und das Material dabei erodierte und sich verteilte. Am Standort Deitingen (SO) unterhalb des Flusskraftwerks Flumenthal wurde im Jahre 2005 ein Volumen von 12 000 m<sup>3</sup> geschüttet. Das Material stammte aus dem Geschiebesammler an der Emme-Mündung, einem stromaufwärts gelegenen Seitenzubringer. Am Standort Aarwangen (BE) wurde in den Jahren 2005 und 2010 unterhalb des Flusskraftwerks Bannwil ein Volumen von 11 000 m<sup>3</sup> bzw. 10 000 m<sup>3</sup> geschüttet (Abb. 5). Das Material stammte aus der Kiesgrube «Risi». Das Feinmaterial wurde ausgesiebt, um eine Trübung des Wassers zu verhindern. Der maximale Korndurchmesser der Geschiebeschüttungen in Aarwangen und in Deitingen betrug 50 mm bzw. 60 mm. Die Geschiebeschüttung in Deitingen wurde aufgrund des geringeren Sohlgefälles und der gröberen Kornverteilung langsamer erodiert als die Geschiebeschüttung in Aarwangen.

Am Hochrhein wurde im Jahr 2004 bei Zurzach (AG) sowie bei der Insel Riethem eine Geschiebeschüttung ausgeführt. Bei Zurzach hatte die indirekte Anreicherung die Form einer Kiesbank und ein Volumen von 1000 m<sup>3</sup>. Bei der Insel Riethem erfolgte an potenziellen Laichstellen von kieslaichenden Fischarten eine direkte Anreicherung mit einem Volumen von rund 100 m<sup>3</sup>. Ein Monitoring dokumentierte die Veränderungen der Schüttkörper und die Ausbreitung des Schüttmaterials durch grössere Abflüsse (Abegg et al. 2013).

Beim Schwellenmätteli in Bern bleibt viel Geschiebe in der Aare liegen. Das Material wird regelmässig ausgebaggert und unterhalb des Stauwehrs Engehalde an zwei Standorten als Geschiebeschüttungen wieder der Aare zugeführt.

Oberhalb des Flusskraftwerkes Bremgarten-Zufikon tendiert die Reuss zu Auflandungen, während unterhalb des

**Abbildung 7**

*Durch künstliche Insel induzierte Ufererosion an der Töss (ZH) im Jahr 2013.*



Foto: VAW

Kraftwerks ein Geschiebedefizit vorliegt. Im Rahmen des Gewässerunterhaltes und Hochwasserschutzes wird oberstrom des Kraftwerks in der Regel alle zwei Jahre Geschiebe entnommen und unterstrom wieder zugegeben (Hackl 2013). Im Winter wird das Material von Kiesbänken gewonnen, per Lastwagen transportiert und an einer geeigneten Stelle unterhalb von Bremgarten geschüttet (Abb. 1). Die Strömung ist auch bei Niedrigwasser ausreichend stark, um die Schüttung teilweise zu erodieren und das Material in der Nähe auf der Flusssohle zu verteilen. Weitere Beispiele für Geschiebezugeben gibt es an der Limmat und an der Töss (Abb. 2) im Kanton Zürich.

## Ufererosion

### Planung und Ausführung

Die Ufer eines begradigten und nicht revitalisierten Flussabschnitts sind üblicherweise durch Verbau geschützt. Dieser hat den Zweck, die Stabilität des Ufers zu gewährleisten, insbesondere bei Hochwasser. An Stellen, wo eine natürliche Aufweitung des Flussbetts möglich ist, ohne den Schutz vor Hochwasser zu verschlechtern, kann die Erosion des Ufers zugelassen oder sogar gefördert werden. Abzuklären ist, in welchem Bereich eine freie Entwicklung des Flusses stattfinden darf, um eine Inter-

ventionslinie<sup>1</sup> festzulegen. Ebenfalls ist zu prüfen, ob ein rückversetzter Uferschutz, z. B. in «schlafender» Bauweise, notwendig ist. Mögliche Massnahmen zur Förderung der Ufererosion sind nachfolgend aufgeführt.

#### Entfernung des Uferverbau

Die Entfernung des Uferverbau fördert die Erosion des Ufers durch die Strömung, ohne dass weitere Eingriffe notwendig sind. Sie ist die kostengünstigste Variante und wird von einer dynamischen Eigenentwicklung gesteuert. Dies ist abhängig vom Abfluss, aber auch von den lokalen Verhältnissen des Strömungsangriffs und somit von der Hydrologie, der geometrischen Situation und der hydraulischen Verhältnisse. Der Prozess kann mehrere Jahre dauern.

#### Weitere Massnahmen zur Destabilisierung des Ufers

Die Vegetation hat eine stabilisierende Wirkung und kann daher die Ufererosion weitgehend verhindern oder stark verzögern. Ausserdem können bei zu geringem Abfluss die groben Anteile des Ufersediments am Böschungsfuss verbleiben und das Ufer vor einer weiteren Erosion schützen (Requena 2008). Es gibt zahlreiche Massnahmen, die solchen Prozessen entgegenwirken und die Ufererosion begünstigen, z. B. die Reduktion der Böschungstabilität durch Entfernung von Wurzeln, lokale maschinelle Anrisse oder Uferabsenkungen.

#### Seitenerosion durch Einbauten

Einbauten im Fluss wie etwa Buhnen oder künstliche Inseln können die Strömung ablenken und die Seitenerosion erhöhen. Durch die Einbauten wird der Fliessquerschnitt verringert, was zu einem Aufstau im Oberwasser und zu erhöhten Fliessgeschwindigkeiten sowie Belastungen des Ufers führt. Geeignet sind feste, nicht-erodierbare Einbauten oder solche, die mit der Zeit erodiert werden, beispielsweise inselförmige Geschiebeschüttungen.

#### Räumliche und zeitliche Wirkung

Laboruntersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» zeigen, dass bei Einbauten das Ausmass der Seitenerosion von der

Lage des Einbaus abhängig ist (Friedl et al. 2016). Ein Einbau in der Nähe des zu erodierenden Ufers, z. B. eine kleine Insel mit seitlichem Kanal, führt zu einer schnellen und in die Breite gehenden Erosion, die aber lokal beschränkt bleibt. Ein Einbau mit grosser Distanz zum Ufer, z. B. eine Buhne am gegenüberliegenden Ufer, führt zu einer langsameren und weniger ausgeprägten Erosion über eine längere Flussstrecke. Je nach Abfluss lagert sich das erodierte Material in der Nähe oder weiter entfernt von der Angriffsstelle ab. Im ungünstigen Fall kann es zu einer Ablagerung direkt nach der Angriffsstelle kommen, dadurch wird das stromabwärts liegende Ufer geschützt und eine weitere Erosion vermindert (Abb. 6).

In einem Fliessgewässer beeinflussen Einbauten zur Ablenkung der Strömung stets beide Ufer, eine Ausnahme bilden sehr breite Flüsse. Dabei muss mit einer Kolkbildung direkt bei der Einbaute gerechnet werden, die eine Absenkung der Sohle stromaufwärts zur Folge haben kann. Das Einplanen eines geeigneten Kolkschutzes am gegenüberliegenden Ufer sowie bei den Einbauten selbst ist deshalb zu empfehlen.

Da die Auswirkungen solcher Einbauten abhängig sind von der Vegetation und vom Erosionswiderstand der Ufer, können sich die gewünschten ökologischen und morphologischen Wirkungen erst mit der Zeit einstellen oder sogar ganz ausbleiben.

#### Fallbeispiel

An der Töss (Mittlere Aue) oberhalb Winterthur (ZH) wurde 2001 die Ufersicherung teilweise entfernt und der Flusslauf mit einer künstlich angelegten Insel aus Wasserbausteinen geteilt. Obwohl in den nachfolgenden 10 Jahren drei Hochwasserereignisse (zwei 2-jährliche und ein 5-jährliches Ereignis) stattfanden, gab es keine nennenswerte Erosion der Ufer. Im Jahr 2009 wurden daher die Uferböschungen gerodet und die Wurzelstöcke entfernt. Drei Hochwasserereignisse im Jahr 2011 mit einer Jährlichkeit von bis zu 1,5 Jahren führten schliesslich zu einer Seitenerosion von 3 m. Die groben Anteile des erodierten Materials wurden nicht weiter transportiert, verblieben in Ufernähe und bildeten eine Deckschicht. Diese Deckschicht verhinderte die weitere Ufererosion durch kleinere Hochwasserereignisse. Im Jahr 2013 führte ein 10-jährliches Hochwasser zu einer seit-

<sup>1</sup> Der Begriff «Interventionslinie» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > Produkte und Publikationen.

lichen Ufererosion von bis zu 8 m (Abb. 7). Dieses Beispiel zeigt anschaulich, dass der Rückbau des Uferschutzes alleine nicht zwingend zur gewünschten Erosion führt. Ob eine angestrebte Ufererosion möglich ist, ist abhängig vom lokalen Bewuchs des Ufers und der Vegetation in der Nähe des Ufers sowie von der Zusammensetzung des Ufermaterials.

## Ökologische Aspekte

### Geschiebeschüttungen

Geschiebeschüttungen fördern die Versorgung aquatischer und terrestrischer Habitate mit neuem Geschiebe. Dabei können unerwünschte Stoffe wie etwa Schadstoffe, verrottetes organisches Material oder Samen invasiver Pflanzenarten eingebracht werden. Diese Aspekte sind bei der Herkunft und der Qualität des Schüttmaterials zu berücksichtigen. Durch das Einbringen von Samen invasiver Arten können lokale Bestände von Pionierarten verdrängt werden. Und eine Anreicherung von Nährstoffen kann zur Verdrängung von Pflanzenarten führen, die an ein beschränktes Nährstoffangebot angepasst sind.

Der Zeitpunkt der Geschiebezugaben und der Geschiebeentnahmen ist entscheidend, um negative Auswirkungen auf terrestrische und aquatische Organismen zu minimieren. Bei einer direkten Anreicherung sollte das neue Habitat entweder im Frühling, kurz vor der Hauptkeimphase, oder nach der Blütezeit, zum Zeitpunkt der Versamung zur Verfügung stehen. Die Wahl des Zeitpunkts muss zudem auf die Laichzeiten der heimischen Fischarten abgestimmt sein.

Besonders der Eintrag von Feinsedimenten muss beschränkt werden, um die Qualität bestehender aquatischer Habitate nicht zu beeinträchtigen oder gar zu zerstören. Feinsedimentablagerungen können beispielsweise die Wasser- und Sauerstoffzufuhr zu Laichgruben von kieslaichenden Fischarten verhindern und zum Absterben der Eier führen (vgl. Merkblatt 3).

Zielarten von Uferlebensräumen haben unterschiedliche Ansprüche bezüglich Korngrößen, Sedimentmenge und -heterogenität (vgl. Merkblatt 1 und 5). Ebenfalls ist der

Feuchtigkeitsgehalt von der Zusammensetzung des Sediments abhängig. Entsprechend sollte die Wahl des Schüttmaterials auf die zu fördernden Zielarten abgestimmt werden. In natürlichen Auenlebensräumen liegen Trockenstandorte auf durchlässigen groben Sedimenten und Feuchtstandorte auf lehmigen Sedimenten oft nah beieinander. Daher sollte vor allem bei direkten Geschiebeschüttungen eine hohe Standortvielfalt angestrebt werden.

### Ufererosion

Die Erosion des Ufers bietet einerseits Chancen für neue Lebensräume wie etwa strömungsberuhigte Zonen für Jungfische oder Brutwände für Eisvögel und Uferschwalben. Andererseits wird der Uferlebensraum lokal und vorübergehend durch Erosion gestört. Allerdings sind Flora und Fauna der Fließgewässer an solche Störungen angepasst und brauchen diese teilweise sogar. Hingegen ist die Erosion von Lebensräumen, deren Organismen eine grosse Verweilzeit bevorzugen, zu vermeiden (vgl. Merkblatt 5; Scheidegger et al. 2012).

### Fazit

Geschiebeschüttungen vermindern das Geschiebedefizit in Fließgewässern und ermöglichen eine kontrollierte Anreicherung von Geschiebe. Verschiedene Aspekte sind dabei zu beachten, z. B. die Zugänglichkeit zum Gewässer oder die Herkunft und Zusammensetzung des Schüttmaterials. Wichtig ist auch der Zeitpunkt der Ausführung, damit Fische und andere Organismen nicht beeinträchtigt werden.

Eine Alternative zu den Schüttungen ist die Geschiebeanreicherung durch Förderung der Ufererosion. Dabei sind üblicherweise zuerst Uferschutz und -bewuchs zu entfernen. Die Anreicherung erfolgt dann mit dem anstehenden Ufermaterial. Schutzmassnahmen wie die Festlegung von Interventionslinien oder Schutzbauten in schlafender Bauweise müssen in Erwägung gezogen werden, um eine unerwünschte Ausdehnung der Erosion zu vermeiden. Bei der Wahl des Abschnitts, in dem die Ufererosion gefördert werden soll, ist darauf zu achten, bestehende Habitate nicht zu zerstören oder zu isolieren, sondern bestmöglich einzubinden.

Beide Massnahmen eignen sich zur Bildung von natürlichen Strukturen und tragen zur dynamischen Lebensraumvielfalt der Gewässer bei. Das Ziel ist, aquatische und terrestrische Habitate durch die Wiederherstellung der Geschiebedynamik zu fördern und die Funktionsfähigkeit des Gewässers wiederherzustellen.

## Literatur

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **Produkte und Publikationen.**

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Beteiligte Forschungsinstitutionen:** Eawag; Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

**Projektleitung:** Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario J. Franca, LCH-EPFL

**Fachliche Begleitung:** BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redaktion:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Lektorat:** Regina Gerber

**Zitierung:** Friedl, F., Battisacco, E., Vonwiller, L., Fink, S., Vetsch, D., Weitbrecht, V., Franca, M.J., Scheidegger, Ch., Boes, R., Schleiss, A., 2017: Geschiebeschüttungen und Ufererosion. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 7.

**Gestaltung und Illustrationen:** Anamorph, Marcel Schneeberger

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d [www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

© BAFU 2017

01.17 1500 86039243

# Impressum

**Herausgeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Titelbild:** Sense bei Zumholz (FR). Foto: Markus Zeh

**Zitierung:** BAFU (Hrsg.) 2017: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 84 S.

**Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:**

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)

Art.-Nr.: 810.300.136d

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-d)

Klimaneutral und VOC-arm gedruckt auf Recyclingpapier

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2017

01.17 1500 86039243