

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. Weitbrecht

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).



Foto: Eawag



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

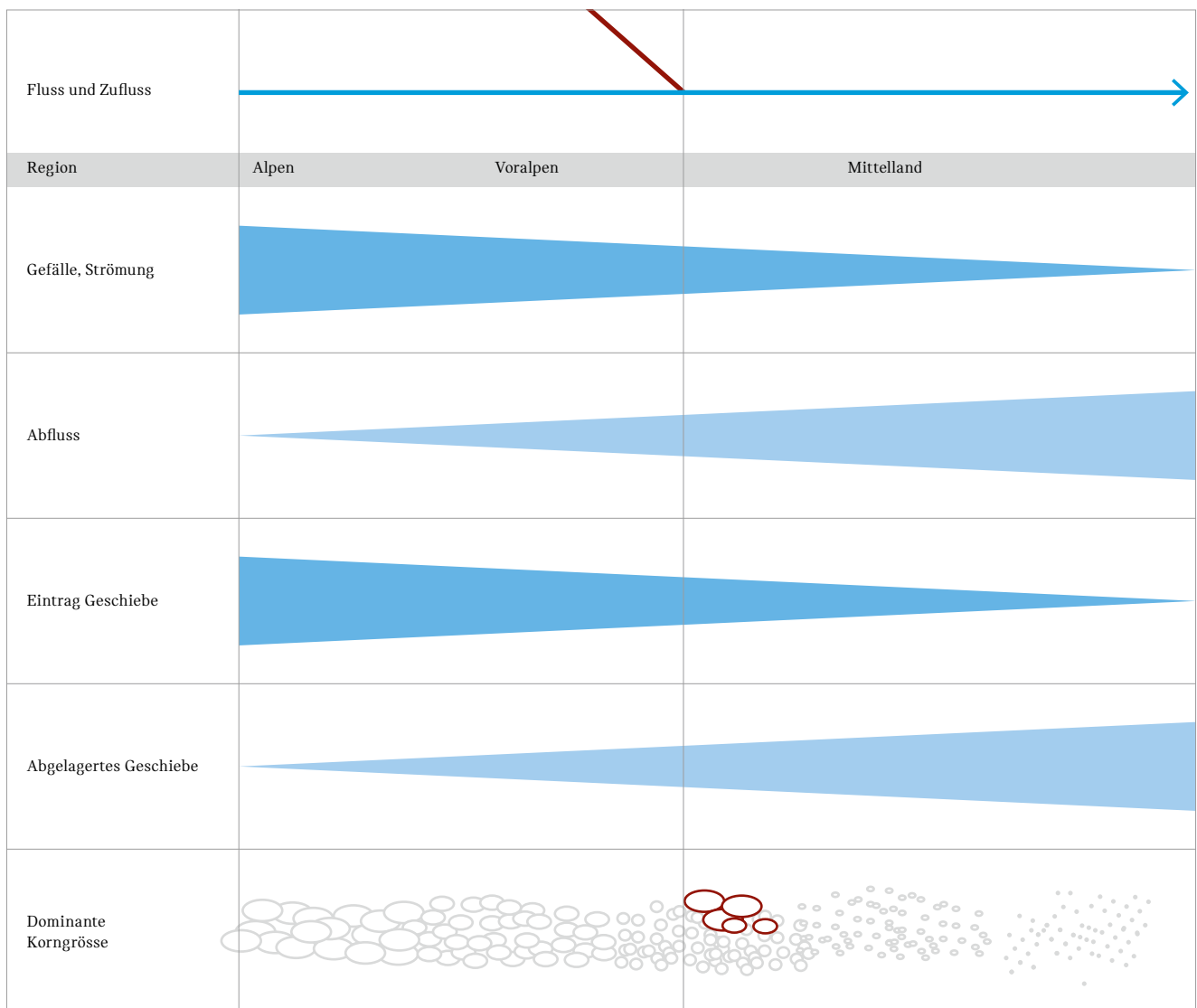
einen Kollaps des Rhonedeltas und verschob 250 Mio. Kubikmeter Sediment tiefer in den See; der daraus resultierende Tsunami führte zu grosser Zerstörung rund um den See.

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 gröbereren 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

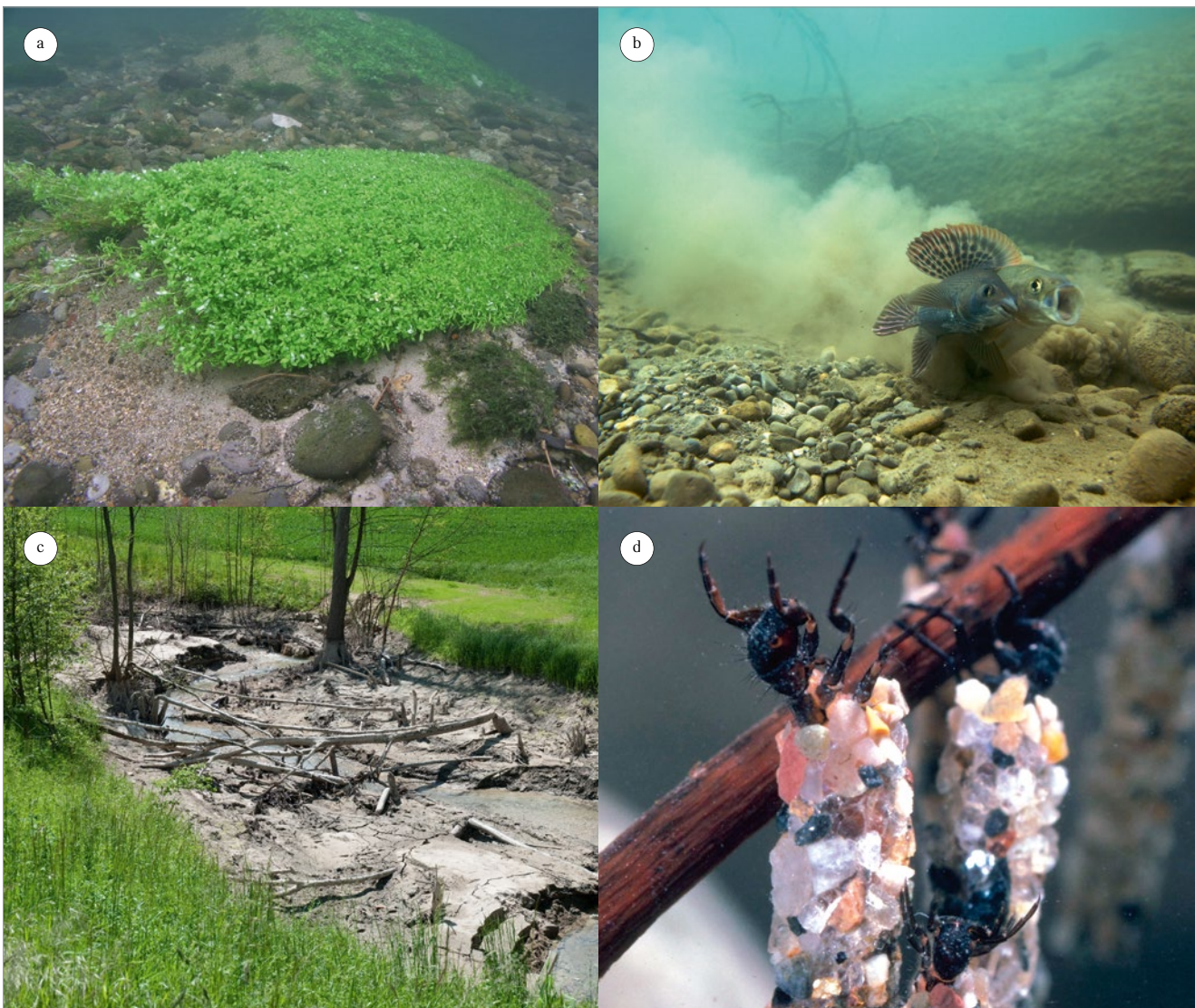
Boden und vermindern dadurch die Erodierbarkeit von Ufern und Flanken. Andererseits führen dichte Bestände von Wasserpflanzen und Ansammlungen von Schwemmholtz dazu, dass Sediment lokal abgelagert wird (Abb. 3a) oder Ufer erodiert werden.

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 Habitatmosaik¹ («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.

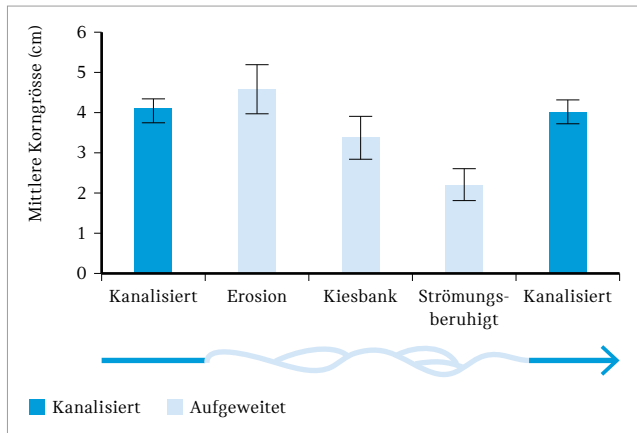
Lebensräume an Land

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

¹ Der Begriff «dynamisches Habitatmosaik» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: www.rivermanagement.ch > Produkte und Publikationen.

Abbildung 4a

Die Korngrössenzusammensetzung in kanalisiertem 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

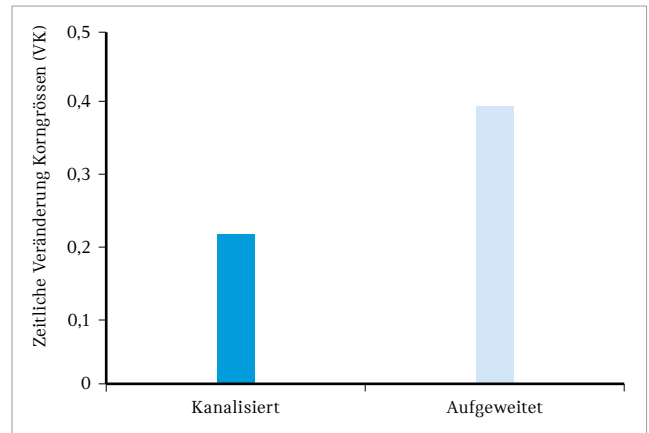
Nährstoffkreislauf

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 größer 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

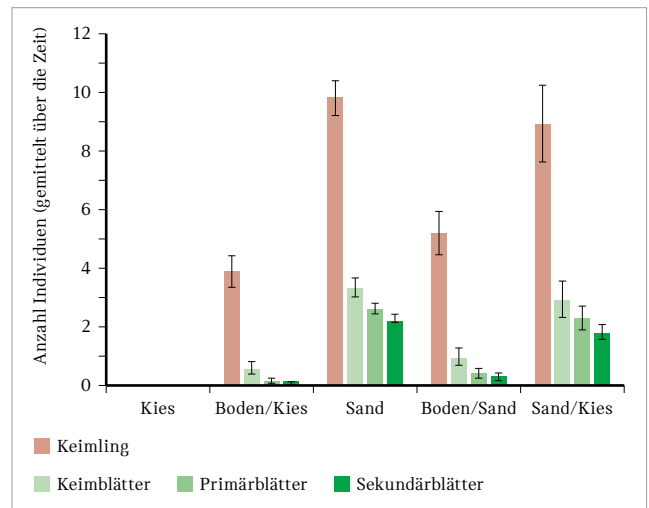
Die zeitliche Veränderung der Korngrössenzusammensetzung in kanalisiertem und aufgeweiteten Abschnitten der Thur. VK = Variationskoeffizient (je grösser, desto stärker die Veränderung).



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

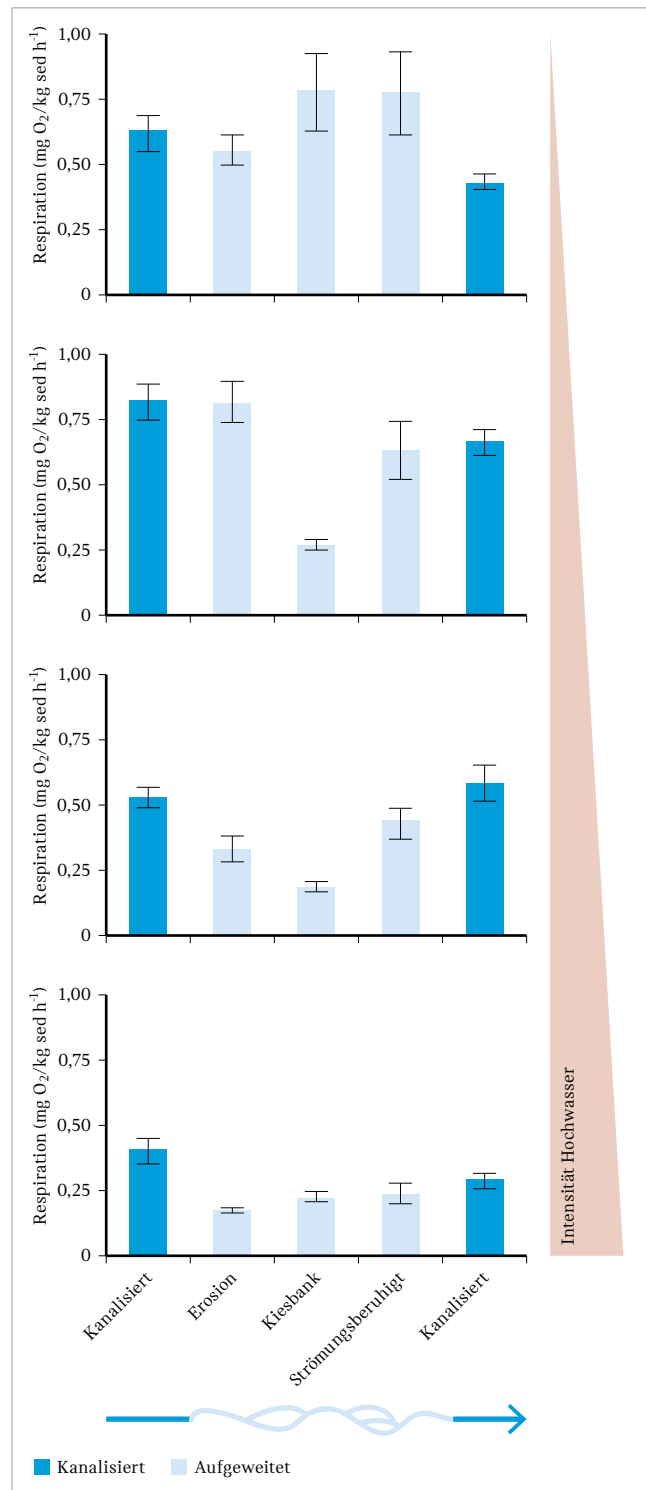
Schwebstoffe können je nach Partikelgrösse und -typ den Lichteintrag in Fließgewässer reduzieren («Trübung») und dadurch die Photosyntheseleistung von Algen oder Wasserpflanzen einschränken. Zudem können abgelagerte Feinsedimente auf der Flusssohle Algen und Wasserpflanzen überdecken und zu einer verminderten 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 (*Omophron 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 kieslaichende 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-

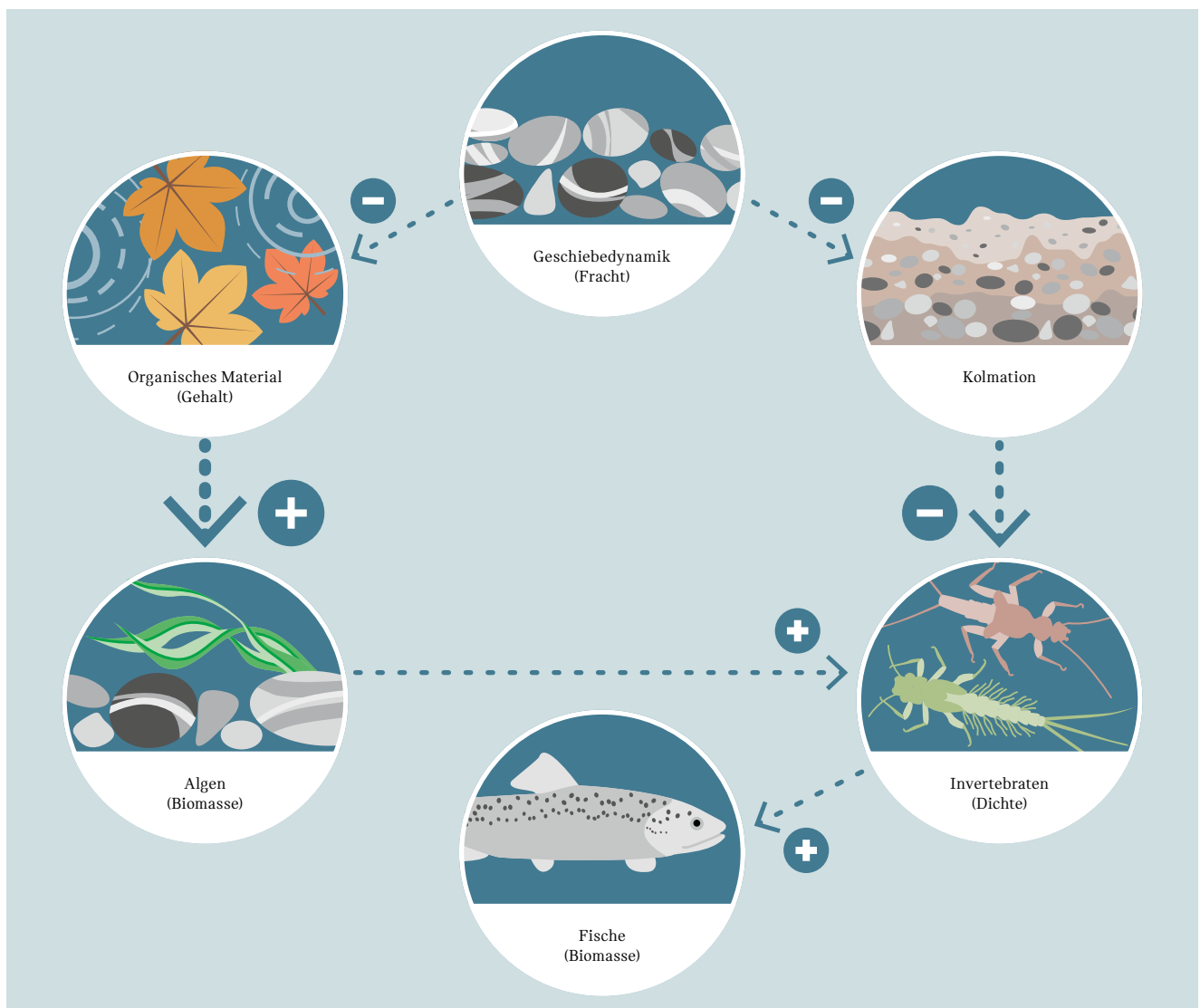
wassers abgelagert werden, wie lange das Hochwasser dauert, zu welcher Jahreszeit es auftritt oder wie häufig bzw. selten es vorkommt.

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.



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 > **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

Art.-Nr.: 810.300.136d www.bafu.admin.ch/uw-1708-d

© BAFU 2017