

9 Sedimentkontinuität und Massnahmen zur Sedimentanreicherung

Ein beeinträchtigter Sedimenttransport kann sich in vielerlei Hinsicht negativ auf die Ökomorphodynamik des Lebensraums Gewässer auswirken. Mit einer gut konzipierten Sedimentanreicherung lassen sich die negativen Folgen auf verschiedenen Ebenen begrenzen. Das vorliegende Kapitel beschreibt Laborexperimente, mit denen der Einfluss der Sedimentanreicherung auf die bestehende Makrosohlenformen und die Dauerhaftigkeit der neuer Mesosohlenformen untersucht wurden. Zudem umfasst es Informationen über Planungskriterien und Methoden zur Wirkungskontrolle.

Christian Mörtl, Robin Schroff und Giovanni De Cesare

Fliessgewässer transportieren Sedimente über ihren gesamten Verlauf von der Quelle bis zum Delta. Wenn natürliche Sedimentquellen vorhanden sind und der Abfluss ungestört entsprechend Hochwasserereignissen und Jahreszeiten variiert, werden Gerinne- und Sohlenform durch einen kontinuierlichen Erosions- und Ablagerungsprozess ausgebildet. Diese natürliche Dynamik ist eine unentbehrliche Voraussetzung für die Habitatvielfalt in Fliessgewässern (BAFU 2017a).

9.1 Unterbrochene Sedimentkontinuität

In regulierten Fliessgewässern ist der natürliche Sedimenthaushalt häufig durch (i) ein beeinträchtigtes Abflussregime, (ii) vergrösserte Transportkapazität durch Kanalisierung oder (iii) begrenztes Geschiebevorkommen gestört. Das Abflussregime wird hauptsächlich durch die Regulierung zwecks Energieerzeugung (Restwasser und Schwall-Sunk) und den Hochwasserschutz beeinträchtigt. Dadurch wird der Spitzenabfluss, der grössere Geschiebemobilisierungs-Ereignisse auslöst, reduziert. Durch Kanalisierung – als Teil der historischen Gewässerkorrektur – wurde die Transportkapazität vergrössert, die Gewässersohle eingetieft und das Gefälle des Gerinnes schrittweise abgeflacht. Die Verfügbarkeit von Geschiebe wird u. a. durch die Uferverbauung oder die Entnahme von alluvialen Sedimenten reduziert. Die Längsvernetzung des Sedimenttransports wird u. a. durch Geschiebesammler oder Wasserbauwerke wie z. B. Flusskraftwerke und Talsperren mit grossen Stauseen unterbrochen. Dies kann zu massiven Geschiebedefiziten im Unterlauf führen.

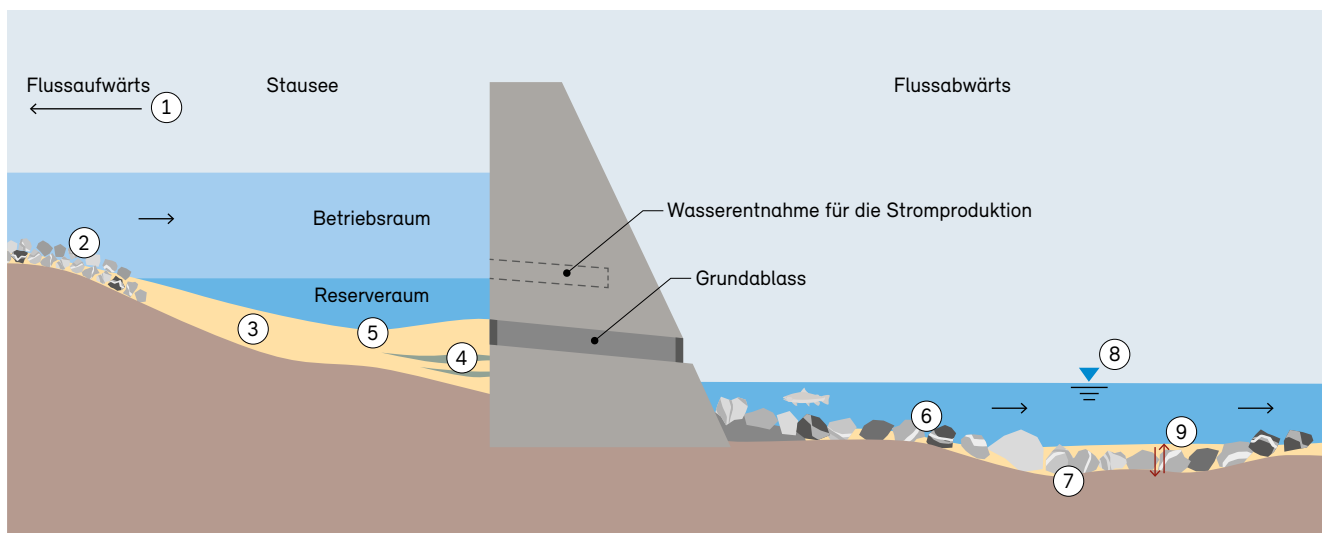
Die Verringerung der negativen Auswirkungen der Wasserkraft auf den Geschiebehalt spielt im revidierten Gewässerschutzgesetz (Art. 43a des Bundesgesetzes vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer, GSchG; SR 814.20) eine Schlüsselrolle. Im ersten Abschnitt geht es daher um den Einfluss von Stauseen auf die Sedimentkontinuität.

9.1.1 Einfluss von Stauseen

Die Unterbrechung der Sedimentkontinuität durch Stauseen kann sich im Oberlauf, im Unterlauf und im Stausee selbst direkt und indirekt auswirken (Abb. 52). An der Stauwurzel grosser Stauseen sammelt sich aufgrund der geringeren Fliessgeschwindigkeiten Geschiebematerial an. Dies kann zur Auflandung der Gewässersohle und eventuell zu einem höheren Hochwasserrisiko führen. In grossen Stauseen wird suspendiertes Feinsediment näher an die Talsperre transportiert, bevor es sich langsam absetzt und den Stausee nach und nach füllt. Die Verlandung von Stauseen gefährdet die nachhaltige Wasserkraftnutzung, weil z. B. das Fassungsvermögen reduziert oder die Ablässe blockiert werden. Im Unterlauf von grossen Stauseen können Geschiebedefizite und das gestörte Abflussregime die Ökomorphodynamik beeinträchtigen. Bei anhaltend niedrigem Abfluss werden die feineren Kornanteile der Gewässersohle ausgewaschen und hinterlassen eine Schicht aus grobem, unbeweglichem Sohls substrat (Deckschicht; Kondolf 1997). Mit der Zeit setzen sich feine Schwebstoffe im Porenraum ab; so entsteht die Kolmation (s. Kap. 7; Dubuis *et al.* 2023; Kap. 8; Takatsu *et al.* 2023). Kolmation und Deckschichtbildung reduzieren das Laichhabitat für kieslaichende Fische, beeinträchtigen den Lebensraum für Makroinvertebraten

Abbildung 52

Sedimentbezogene Thematik in regulierten Fließgewässern: Diskontinuität und morphologische Veränderungen. Unterbrechung der Sedimentkontinuität: (1) Ablagerung von Sedimenten, (2) Rückhalt von Grobsedimenten, (3) Rückhalt von Feinsedimenten, (4) Rückhalt von organischem Material, (6) Geschiebedefizit, (9) Überschuss an suspendierten Feinsedimenten. Morphologische Veränderungen: (1) Auflandung der Gewässer-
sohle, (5) Verlandung des Stausees, (6) Bildung einer statischen Sohlendeckschicht, (7) Eintiefung der Sohle, (8) Verlust an morphologischer Dynamik, (9) Kolmation der Porenräume.



Angepasste Abbildung aus Mörtl et al. (2020)

und stören die hyporheische Strömung (Schälchli 1992). Bei hohem Abfluss kann die Deckschicht aufbrechen und Feingeschiebe aus dem Untergrund freigeben. Bei einem Geschiebedefizit besteht die Gefahr einer dauerhaften Erosion der Gewässersohle (Eintiefung). Die reduzierte hydromorphologische Dynamik führt langfristig zur Verarmung des gesamten Auen-Lebensraums.

9.2 Massnahmen zur Sedimentanreicherung

9.2.1 Beschreibung und Umsetzung

Als Sedimentanreicherung wird die künstliche Zugabe von Sedimenten in ein Fließgewässer beschrieben. Solche Massnahmen zur Sedimentanreicherung umfassen unter anderem den direkten Sedimenteintrag, um Kiesbänke oder andere morphologische Strukturen im Fließgewässer anzulegen. Eine weitere Möglichkeit ist die oberstromige Sedimentzufuhr in Form von leicht erodierbaren Schüttungen innerhalb des Flussbetts oder entlang des Uferbereichs, welche bei Hochwasserereignissen mobilisiert werden. Statt eines einmaligen Eintrags kann das Sediment

auch kontinuierlich während eines Hochwassers zugeführt werden, zum Beispiel mithilfe eines Förderbandes oder einer natürlichen Steilrinne. Die Sedimentanreicherung kann auch indirekt als induzierte Ufererosion durchgeführt werden, z. B. mittels Leitstrukturen oder durch Entfernung der Ufersicherung.

9.2.2 Rechtsrahmen

Im schweizerischen Recht wird Renaturierung unterschieden in Revitalisierung von Fließgewässern, Sicherung des Gewässerraums, Sanierung Wasserkraft und Sanierung Restwasserstrecken. Die Revitalisierung soll die natürlichen Funktionen der Fließgewässer wiederherstellen, indem sie durch direkte bauliche Massnahmen den ehemaligen menschlichen Eingriffen in die Gerinnemorphologie entgegenwirkt. Die Sanierung Wasserkraft umfasst die Wiederherstellung der Längsvernetzung für die Fischgängigkeit, die Sanierung von Schwall-Sunk und die Wiederherstellung des beeinträchtigten Geschiebehaushalts.

Wenn die Wiederherstellung der Sedimentkontinuität einer bestehenden Anlage weder machbar noch verhältnismässig erscheint, können im Unterlauf Massnahmen zur Sedimentanreicherung zwecks Sanierung des Geschiebehaushalts durchgeführt werden (Schälchli und Kirchhofer 2012). Sedimentanreicherungen können auch im Rahmen von Projekten zur Revitalisierung von Fliessgewässern zum Einsatz kommen. Sie können Teil der Revitalisierungsmassnahme selbst sein (z. B. Schaffung von Laichhabitaten, Bereicherung der strukturellen Vielfalt), die Wirksamkeit einer Revitalisierungsmassnahme verstärken (z. B. dynamische Flussaufweitungen) oder die sekundären Auswirkungen einer Revitalisierungsmassnahme abmildern (Geschiebedefizit im Unterlauf wegen Fliessgewässeraufweitungen).

9.2.3 Fallspezifische Planungsempfehlungen

Alle Hauptziele der Sedimentanreicherung betreffen die Verbesserung der Ökomorphodynamik auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Ebenen (Abb. 53; Mörtl und De Cesare 2021). So verfolgt z. B. die Geschiebesanierung das Ziel, den natürlichen Geschiebetransport wiederherzustellen: Dies verbessert bei geeigneten Bedingungen die morphologischen Strukturen und die Dynamik überall im Fliessgewässer. Diese Massnahme bezweckt

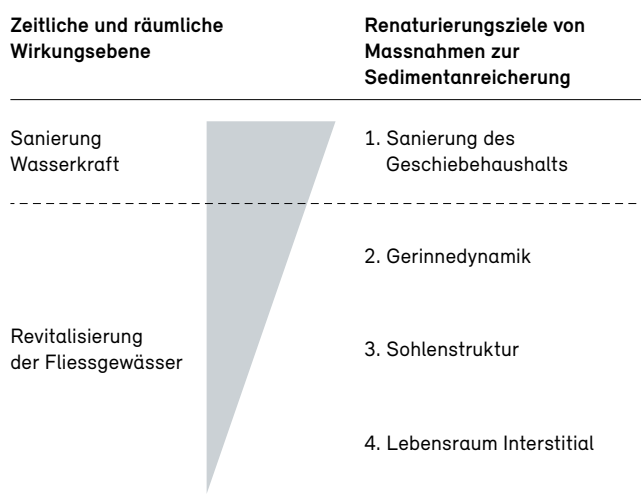
eine weitreichende und langfristige Verbesserung der Ökomorphodynamik. Kombiniert mit anderen Renaturierungsmassnahmen, z. B. einem naturnahen Abflussregime und einem ausreichend grossen Gewässerraum, schafft sie die Voraussetzungen für eine natürliche Entwicklung hin zu einem nachhaltigen Referenzzustand. Massnahmen zur Sedimentanreicherung, bei denen die Revitalisierung von Laichhabitaten im Vordergrund steht, können kurzfristig positive lokale Wirkungen erzielen. Diese Art von Massnahmen kann in Fliessgewässerabschnitten mit hydromorphologischen Einschränkungen, wie z. B. Restwasserstrecken, angewandt werden. Die Wirkungen sind jedoch möglicherweise nur von kürzerer Dauer.

Geschiebesanierung

Die Sedimentanreicherung zwecks Geschiebesanierung wird meistens oberstrom eines langen, durchgängigen Gewässerabschnitts mit bedeutendem ökologischem Potenzial und ausreichenden hydromorphologischen Prozessen durchgeführt, um einen kontinuierlichen Geschiebetransport zu gewährleisten. Die Korngrössenverteilung und das Volumen sollten dem Geschiebematerial und dem Geschiebedefizit des Fliessgewässers entsprechen (Schälchli und Kirchhofer 2012). Das Material kann aus Geschiebesammlern, Stauseen oder Kiesgruben stammen. Um eine starke Trübung und Kolmation zu vermeiden, sollte der Anteil an Sedimenten, die kleiner sind als feiner Kies, oder an organischem Material höchstens 12–14 Prozent betragen (Kondolf 2000). Die Verbindung von Sedimentschüttungen mit natürlichen oder künstlichen Hochwassern hat sich als kosteneffiziente Massnahme zur Sanierung des Geschiebehaushalts bewährt (BAFU 2017a). Ein wichtiges Platzierungskriterium für die effiziente Mobilisierung ist die Gerinnemorphologie: Sie wirkt sich auf hydraulische Parameter wie Transportvermögen, Abflussverhältnisse und Staukurve aus. Kriterien wie Hochwasserschutz, Infrastruktur und Zugänglichkeit stellen eventuell weitere Einschränkungen dar (BAFU 2017a). Der ausgewählte Zeitraum sollte ausserhalb der Laichzeit und idealerweise vor dem saisonalen Spitzenabfluss liegen. Wenn der Sedimenttransport über Jahrzehnte beeinträchtigt war, kann eine jährliche Wiederholung der Sedimentanreicherung – auch je nach dem Verhältnis von zugeführtem Volumen und jährlichem Geschiebedefizit – erforderlich sein. Im Falle von räumlichen Einschränkungen für eine Sedimentanreicherung ist es womöglich billiger, die Massnahme alle zwei bis drei Jahre zu wiederholen.

Abbildung 53

Renaturierungsziele von Massnahmen zur Sedimentanreicherung auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Wirkungsebenen.



Quelle: EPFL

Förderung der Gerinndynamik

Bei ausreichender Auflandung im aktiven Gerinne wird die Geschiebefracht womöglich zum treibenden Faktor für die seitliche Mobilität (Rachelly *et al.* 2018). Die Sedimentanreicherung kann daher zur Förderung der Gerinndynamik, z. B. für dynamische Gerinneaufweitungen, eingesetzt werden. Wenn das Fließgewässer u. a. durch die Entfernung von Ufersicherungen genügend Raum erhält, verstärkt die Sedimentanreicherung die Ufererosion und verbessert damit die laterale Vernetzung. Beim zugeführten Sediment kann es sich um eine natürliche Sedimentmischung handeln. Um die hydromorphologischen Prozesse für eine signifikante Gerinndynamik auszulösen, sind hohe Abflussspitzen erforderlich.

Optimierung der Sohlenstruktur

Die longitudinale Flussbettstruktur in natürlichen kiesführenden Flüssen des Schweizer Mittellandes ist durch eine Abfolge von Kolken, Schnellen und Furten gekennzeichnet. In Fließgewässerabschnitten, in denen der Geschiebetransport und die Gerinndynamik stark beeinträchtigt sind, z. B. in Restwasserstrecken, kann die Sedimentanreicherung in Form von Schüttungen die strukturelle Vielfalt lokal verbessern (Schroff *et al.* 2021). Mit dem direkten Sedimenteintrag lässt sich auch die gewünschte Sohlenform erzielen. Rachelly *et al.* (2021) gehen davon aus, dass bei gewundenen, kiesführenden Flüssen mit Uferbefestigung die morphologische Aktivität hauptsächlich von der Grössenordnung der Sedimentanreicherung und vom Abfluss abhängt. Dagegen beeinflussen kleine Änderungen der Korngrößenverteilung des zugeführten Materials die Reaktion des Gerinnes nur unerheblich. Wie oft Sediment zugeführt wird, sollte deshalb von der morphologischen Entwicklung des Fließgewässersystems abhängen.

Schaffung eines (Laich)-Habitats im Interstitial

Falls das Hauptziel die Schaffung von Laichhabitaten ist, ist die Sedimentanreicherung entsprechend zu planen. Die charakteristische Korngrösse sollte entsprechend den Anforderungen der dominierenden Fischarten bzw. der Zielfischarten an das Laichsubstrat gewählt werden (s. Kap. 7; Dubuis *et al.* 2023; Kap. 8; Takatsu *et al.* 2023). Dabei ist auch das natürlich vorkommende Substrat des Gewässertyps zu berücksichtigen. Bachforellen (*Salmo trutta fario*) bevorzugen z. B. eine Korngrösse von 2–5 cm (Breitenstein und Kirchhofer 2010).

Das notwendige Volumen für die Sedimentanreicherung kann über das Volumen des fehlenden Laichsubstrats geschätzt werden. Die Zugabestelle sollte dabei die Präferenzen der Zielarten betreffend der Fließgeschwindigkeit, Fliesstiefe und Laichtiefe berücksichtigen. Durch den direkten Sedimenteintrag können ideale Sohlformen geschaffen werden, die sich gut als Laichplätze für kieslaichende Fische eignen (Pulg *et al.* 2013). Eine indirekte Zugabe aus Schüttungen lässt sich ebenfalls realisieren. Wegen der generell feinen Korngrösse sind dafür nur kleine Hochwasserereignisse erforderlich. Die erwarteten Transport- und Ablagerungsprozesse müssen sorgfältig geplant werden. Bei richtiger Planung kann ein ausreichender Transport von Laichsubstrat zu den potenziellen Laichplätzen gewährleistet werden. Wie bei jeder Massnahme zur Sedimentanreicherung müssen die Auswirkungen auf den Hochwasserschutz und den Grundwasserhaushalt eingeschätzt und minimiert werden. Um langfristig einen positiven Einfluss auf die Reproduktionsraten zu gewährleisten, kann eine jährliche Wiederholung der Sedimentanreicherung erforderlich sein. Der ideale Zeitpunkt für die Schaffung von Laichhabitaten durch Laichsubstratanreicherung liegt im Spätsommer bis Herbst, d. h. zwischen den Fortpflanzungszeiten von Cypriniden und Salmoniden (Breitenstein und Kirchhofer 2010). Die optimale Häufigkeit hängt von der Erosion der Ablagerung und von der Kolmation ab.

9.3 Prozessgrundlagen

9.3.1 Physikalische Experimente

Im Rahmen des Forschungsprojekts «Geschiebe- und Habitatsdynamik» konnte die Planung von Sedimentanreicherungen optimiert werden: Untersucht wurden typische Erosions-, Transport- und Ablagerungsmuster (Friedl *et al.* 2017). Im folgenden Abschnitt wird die Fortsetzung eines Laborversuchs mit Modellgerinne beschrieben, mit dem der Einfluss der bestehenden Makrosohlenformen und die Dauerhaftigkeit der neuen Mesosohlenformen untersucht wurden.

Beschreibung des Experiments

Im Labor des Forschungsinstituts PL-LCH der EPFL wurde ein gerades Gerinne mit 34 m Länge und variablem Gefälle gebaut (Abb. 54, 55). Das Modellgerinne weist einen trapezförmigen Querschnitt und zwei Abschnitte

mit unterschiedlicher Sohlenbreite auf. Der flussaufwärts gelegene Abschnitt mit festem Sohlenmaterial besitzt eine einheitliche Gerinnebreite von 0,5 m. Im flussabwärts gelegenen Abschnitt verbreitert sich das Gerinne auf maximal 0,75 m und enthält bewegliches Material. Das feste Sohlenmaterial besteht aus einer Grobsedimentmischung (Korngrösse 4–16 mm). Es stellt eine Gewässersohle mit einer Deckschicht dar und ist rot gefärbt. Das Sediment der befestigten Sohle wurde basierend auf Scan-Tests so ausgewählt, dass die Sohle eine hydraulische Rauigkeit von $K_{ST} = 34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ besitzt. Das mobile Sohlenmaterial im breiteren Abschnitt weist eine feinere Korngrößenverteilung auf (4–8 mm). Das angereicherte Sediment besteht aus verschiedenen Mischungen und wird in Form von vier wechselseitigen Schüttungen gemäss Battisacco *et al.* (2016) eingetragen (Abb. 55b): Das angereicherte Volumen ($0,21 \text{ m}^3$) entspricht insgesamt 100 % der Transportkapazität der simulierten bettbildenden Hochwasserereignisse (HQ₂, 8 Std.) für das durchschnittliche Gefälle des Gerinnes.

Das Gefälle des Gerinnes ist in verschiedene Abschnitte aufgeteilt, welche jeweils einer Sohlenstruktur nach Definition aus der Praxisdokumentation des BAFU zur Wirkungskontrolle von Fließgewässerrevitalisierungen (Weber *et al.* 2019) entsprechen (Abb. 55a). Die Sequenz der repräsentierten Sohlenstrukturen wurde an der Restwasserstrecke der Saane im Kanton Freiburg kartiert (Schroff *et al.* 2021), flussabwärts der 2016 durchgeführten Sedimentanreicherung (Stähly *et al.* 2020).

Ziel des Experiments war es, optimale Planungskriterien für die Sedimentanreicherung in Form von Schüttungen zur Verbesserung der Sohlenstruktur zu finden (s. Kap. 9.2.3).

Sohlenstrukturen

Die Änderung von Gefälle und Querschnitt beeinflussen die hydraulischen Bedingungen entlang des Gerinnes. Ein Anstieg des Sohlenniveaus (in Fließrichtung) bewirkt die Ausbildung einer Staukurve. Die für die Sedimentmobilisierung erforderlichen sohlennahen Geschwindigkeiten und Sohlenschubspannungen werden stark reduziert. Mit ansteigender Gewässersohle (Furt) nimmt die Wassertiefe ab, und die Strömung wird aufgrund des reduzierten Strömungsquerschnitts schneller. Bei gleichem Spitzenabfluss werden bei der Furt eingetragene Sedimentschüttungen

deutlich schneller erodiert und aus der Schüttungszone abtransportiert (89 % des angereicherten Volumens; Abb. 55b, Typ 2) als im Gleitrinnenabschnitt flussaufwärts eingetragene Schüttungen (46 %; Abb. 55b, Typ 1).

Mit zunehmendem Gefälle im Unterlauf der Furt (Schnelle, Gefälle 5,5 ‰) nehmen die Geschwindigkeiten und die Sohlenschubspannungen weiter zu. Sedimenttransport und -ablagerung im Abschnitt der Schnelle werden durch Ausmass, Form und Dauer der Hochwasserganglinie bestimmt. Bei einer ansteigenden symmetrischen Hochwasserganglinie finden auf einer Strecke, die 10 Gerinnebreiten entspricht, vermehrte Ablagerungen statt (Abb. 56). Wechselseitige Schüttungen mit einem hohen Blockierverhältnis (Anteil der benetzten Querschnittsfläche, der durch die Schüttung blockiert wird, in diesem Fall 1/3) führen zu einer starken Ablenkung der Strömung und der Ablagerungsfront zu einer Fließgewässerseite.

Abbildung 54

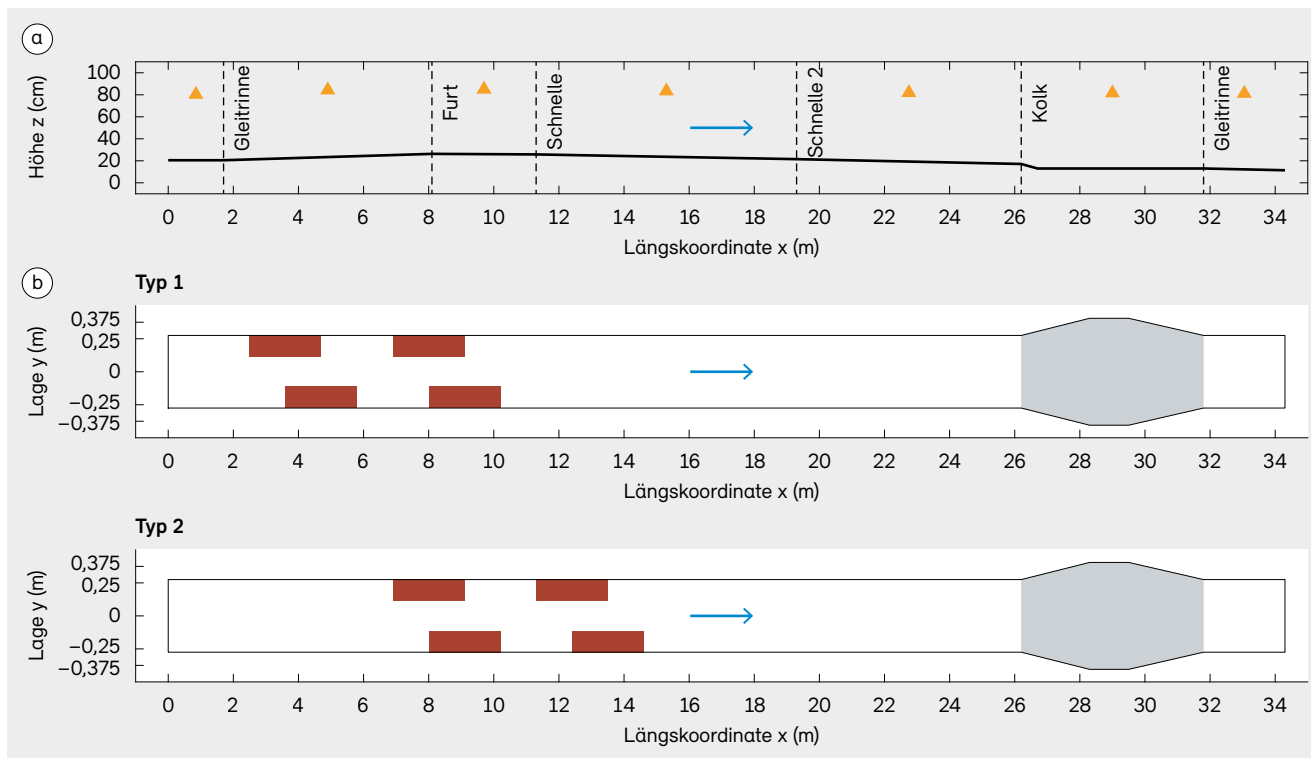
Foto eines morphologischen Modellgerinnes mit Schüttungen zur Sedimentanreicherung im Labor des Forschungsinstituts PL-LCH der EPFL.



Foto: C. Mörtl, © PL-LCH

Abbildung 55

(a) Längsprofil des Modellgerinnes: Darstellung der Abschnitte verschiedener Sohlenstrukturen und Positionen der Wasserstandssensoren (gelbe Dreiecke). (b) Draufsicht der Gerinnesohle: Darstellung der beiden Positionen, an denen Schüttungen eingetragen werden (rote Quadrate), und des erodierbaren Sohlenbereichs (graue Fläche) im aufgeweiteten Querschnitt.



Quelle: EPFL

Beim Absinken der Ganglinie entstehen in einem Abstand von 10 bis 20 Gerinnebreiten zur Schüttungszone im steileren Gefälle (Schnelle 2, 7,0 ‰) neue Sohlenformen.

In kiesführenden Flüssen entstehen Kolke normalerweise flussabwärts von Schnellen. Sie wirken als Sedimentrückhaltebecken, die sporadisch Sedimentwellen speichern und ausstossen, und gelten damit als wesentlicher Bestandteil bei der Freisetzung von Sedimentpulsen (Dhont und Ancey 2018). Im Laborexperiment wurde das meiste mobilisierte Material nach dem ersten und zweiten aufeinanderfolgenden Hochwasserereignis im Kolk abgelagert (63 % und 73 %). Der weiter flussabwärts verlagerte oder ausgespülte Anteil war in beiden Fällen vernachlässigbar. Im Gegensatz dazu zeigten Transponder in den angereicherten Sedimenten im Restwasserabschnitt der Saane einen beträchtlich hohen Transport durch einen grossen Kolk und Ablagerungen in dessen Unterwasser

(Stähly *et al.* 2020). Dies deutet darauf hin, dass mikromorphologische Merkmale, Uferrauheit und hydraulische Heterogenitäten, wie z. B. Sekundärströmungen, bei einem einzigen Hochwasserereignis den Transport über Kolke erheblich verstärken können. Gleichwohl verringern flussabwärts von Sedimentanreicherungen gelegene Kolke (< 20 Gerinnebreiten) die Wirkungsdauer, bis Sediment aus wiederholten Zugaben oder natürlicher Zufuhr den Kolk ausreichend auffüllt, um einen neuen Sedimentpuls auszulösen.

Dauerhaftigkeit der Sohlenformen

Die Dauerhaftigkeit der aus Schüttungen neu geschaffenen Sohlenformen wurde in Versuchen mit aufeinanderfolgenden Hochwasserereignissen mit identischen Hochwasserganglinien evaluiert. Der Deckschichtanteil nahm nach zwei Hochwasserereignissen signifikant ab (8,3 %) (nach nur einem Hochwasserereignis: 22,5 %) (Abb. 57).

Bis auf einen Grossteil der am weitesten flussaufwärts gelegenen Schüttungen wurden alle Schüttungen in den beiden Hochwasserereignissen erodiert und zumindest teilweise mobilisiert. Unmittelbar unterhalb der ursprünglichen Schüttungspositionen (< 5 Gerinnebreiten) wies die Sohlenform die höchste Beständigkeit auf. Längs verlaufende Sohlenformen in Ufernähe waren beständiger als quer verlaufende Sohlenformen in der Mitte des Gerinnes. Die Ergebnisse des Laborexperiments deuten darauf hin, dass nach jedem grösseren bettbildenden Hochwasserereignis (~HQ₂) erneut Sediment zugeführt werden sollte, um die Sohlenstruktur auf einer statischen Deckschicht im nahen Unterlauf aufzuwerten (< 20 Gerinnebreiten). Dabei sollte ein Schüttungsvolumen von bis zu 100 % der entsprechenden Transportkapazität erneut zugeführt werden. Abflussereignisse mit geringerem Spitzenabfluss wirken sich kaum auf neu geschaffene Sohlenformen aus.

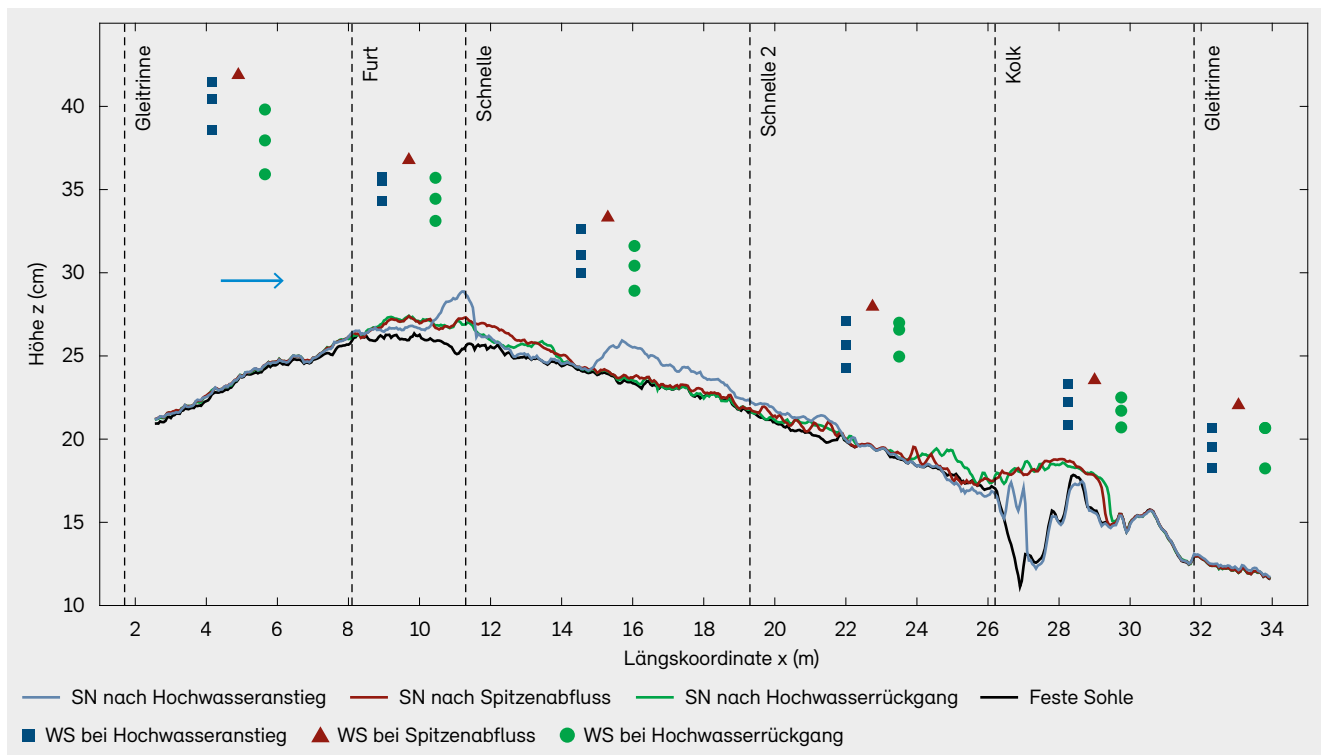
9.4 Wirkungskontrolle

Die Wirkung einer Sedimentanreicherung lässt sich mit mehreren standardisierten Evaluationsmethoden objektiv beurteilen. Leitlinien und standardisierte Methoden gewährleisten die Vergleichbarkeit und erleichtern projektübergreifendes Lernen. Die geeignete Methode hängt vom Kontext der jeweiligen Massnahme und von den Zielen der Renaturierung ab. In der Schweiz werden für Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehauhalts und zur Revitalisierung von Fliessgewässern Wirkungskontrollen verlangt (Art. 42c und 49 der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998, GSchV; SR 814.201).

Eine im Jahr 2019 vom BAFU veröffentlichte Praxisdokumentation beschreibt ein Standardverfahren für die Wirkungskontrolle von Projekten zur Revitalisierung von Fliessgewässern (Weber et al. 2019). Ähnliche Unterlagen

Abbildung 56

Längsprofil des Modellgerinnes mit Messungen des Sohlenniveaus (SN) und der Wasserspiegellinie (WS) in verschiedenen Phasen einer symmetrischen Hochwasserganglinie (Anstieg, Spitzenabfluss, Rückgang). Die SN-Messungen stellen die mittlere Sohlenhöhe eines 18 cm breiten Längsstreifens (Abstand zwischen den Schüttungen) entlang der Mittelachse des Modellgerinnes dar.



Quelle: EPFL

für Projekte zur Sanierung des Geschiebehaushalts werden derzeit ausgearbeitet und liegen bereits als Entwurf vor. In beiden Unterlagen basiert die Wirkungskontrolle auf dem Vorher-Nachher-Vergleich relevanter Merkmale des betroffenen Fließgewässerabschnitts.

Sanierung des Geschiebehaushalts

Hauptziel der Sanierung des Geschiebehaushalts ist die Wiederherstellung typischer, naturnaher morphologischer Strukturen und Dynamiken (Schälchli und Kirchhofer 2012). In der Wirkungskontrolle von Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts beruht die zielorientierte Bewertung auf sechs abiotischen Indikatoren (Gerinneform, Ausdehnung von Geschiebeablagerungen, Substrattypen, innere Kolmation, Veränderung der Höhenlage des Talwegs und Veränderung der mittleren Sohlenlage). Die abiotischen

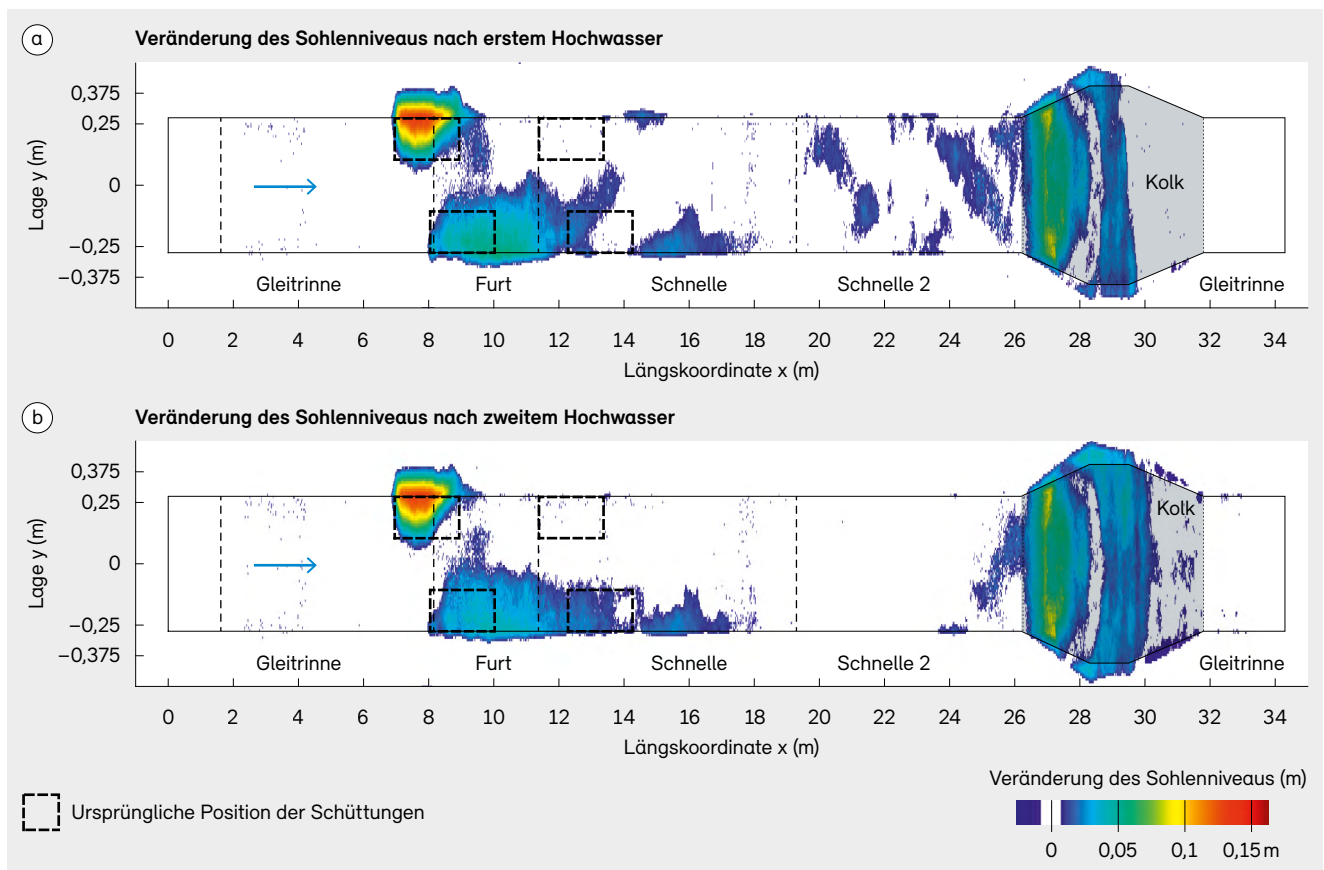
Indikatoren können durch biotische Kennzahlen ergänzt werden, wobei der Schwerpunkt auf der Fischfauna liegt. Daneben sollte der effektive Einfluss der Sanierungsmassnahme auf den mittleren jährlichen Geschiebehaushalt der Fließgewässerstrecke abgeschätzt werden.

Revitalisierung von Fließgewässern

Die Praxisdokumentation für die Wirkungskontrolle der von Fließgewässerrevitalisierungen umfasst 22 Indikatoren, die in 10 Indikator-Sets gruppiert sind (Weber et al. 2019). Jedes Indikator-Set steht für ein typisches Revitalisierungsziel. Indikator-Set 1 (Habitatvielfalt) umfasst sechs ökomorphologische Indikatoren: Sohlenstruktur, Uferstruktur, Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Unterstandsangebot und Substrat. Das Indikator-Set 1 bildet die obligatorische Basis für die Wirkungskontrolle

Abbildung 57

Draufsicht der Veränderung nach (a) dem ersten und (b) dem zweiten aufeinanderfolgenden Hochwasserereignis mit identischer Hochwasserganglinie nach einer einzigen Massnahme zur Sedimentanreicherung. Die gestrichelten Kästchen zeigen die ursprüngliche Position der Schüttungen.



Quelle: EPFL

eines Revitalisierungsprojekts (Weber *et al.* 2019). Neben dem Indikator-Set 1 ist auch Indikator-Set 2 (Dynamik) sehr relevant und als Bewertungsinstrument für Sedimentanreicherungen geeignet. Ein funktionierender Geschiebehauhalt hängt direkt mit dessen drei Indikatoren Dynamik

Sohlenstruktur, Dynamik Uferstruktur und Veränderung Sohlenlage zusammen. Die Eignung der übrigen abiotischen und biotischen Indikator-Sets, z. B. Indikator-Set 7 (Fische), ist im Einzelfall auch unter Berücksichtigung der Revitalisierungsziele zu beurteilen.

Box 12: In der Praxis – Planung: Ziele und Schlüsselfragen

Sandro Rittler, Holinger AG

Bei der Planung von Massnahmen zur Sicherstellung der Sedimentkontinuität und -anreicherung stehen fünf Fragen im Vordergrund: Wo, wie und wann sollte das Sediment eingetragen werden? Welche Qualität und Quantität von Sediment sollte verwendet werden?

Definition der Ziele

Zur Beantwortung dieser Fragen muss der Ist-Zustand punkto Hochwassersicherheit und Ökologie genau untersucht werden. Anschliessend werden Ziele für den Soll-Zustand nach der Durchführung der Massnahmen zur Sedimentanreicherung definiert. Die Ziele betreffen z. B. das Erreichen eines weitgehend ausgeglichenen Geschiebehauhalts, die Verhinderung von Auskolkung und die Schaffung neuer Habitate und Laichplätze. Wie bei den Revitalisierungsprojekten werden Zielfischarten festgelegt. Für diese wird das als Laichsubstrat optimal geeignete Sediment ausgewählt.

Schlüsselfragen

Wo und wie: Während eines Hochwasserereignisses sollten bestehende Verengungen im Gerinne durch Sedimentablagerungen nicht noch verschärft werden. Bei der Planung einer Sedimentschüttung müssen zudem Wasserbauwerke, wie z. B. Kraftwerke, und

Rahmenbedingungen, wie z. B. Rohrleitungen und die Freizeitnutzung, berücksichtigt werden. Ist ein geeigneter Standort gefunden, muss der Zugang zum Fließgewässer gewährleistet sein. Naturschutzobjekte dürfen nicht beeinträchtigt werden. Bei der Schüttung ist auf eine gleichmässige und kontrollierte Sedimentanreicherung zu achten, um das System nicht zu überlasten. Der Ort der Sedimentschüttung muss logistisch bewältigbar sein.

Quantität und Qualität: Die für den Gleichgewichtszustand erforderliche Sedimentmenge hängt von der Transportkapazität und den verfügbaren Sedimenten ab. Die Sedimentquantität und -qualität kann ausserdem die Trübung im Unterlauf beeinflussen. Generell wird eine geringe, aber regelmässige Sedimentanreicherung empfohlen. Mit Blick auf die Nachhaltigkeit sollte das Sediment aus demselben Einzugsgebiet stammen.

Wann und wie: Bei der Bestimmung des Zeitpunkts der Sedimentanreicherung sind Aspekte wie Hochwasserschutz, aquatische Fauna und Vegetation zu berücksichtigen. Anhand von Pilotstudien können Erfahrungen mit Unsicherheitsfaktoren und möglichen Risiken gesammelt werden, um den bestmöglichen Zeitpunkt zu ermitteln. Letztlich muss bei der Planung von Massnahmen zur Sicherstellung der Sedimentkontinuität und -anreicherung ein optimales Gleichgewicht zwischen den Aspekten des Hochwasserschutzes und der Ökologie erzielt werden.