

## 5 Aquatische Refugien bei Hochwasser

Refugien sind Habitate, in die sich Lebewesen während einer Störung (z. B. Hochwasser, Trockenheit) zurückziehen können. Die Intensität einer Störung ist in Refugien gedämpft; dies ermöglicht den Lebewesen, eine Störung zu überstehen. Refugien sind trotz ihrer wichtigen ökologischen Rolle aber nur unzureichend erforscht und werden im praktischen Management (z. B. bei der Revitalisierung von Fließgewässern) häufig vernachlässigt. Dieses Kapitel veranschaulicht die Struktur und Funktion von Hochwasserrefugien anhand von Feld- und Laborexperimenten und betont die Rolle des Geschiebehaushalts für die Verfügbarkeit von Refugien.

Cristina Rachelly, Kate Mathers, Volker Weitbrecht, David Vetsch und Christine Weber

Natürliche Fließgewässersysteme sind Hotspots der Biodiversität und bieten Lebensraum für eine Vielzahl von Pflanzen, Tieren, Pilzen und Mikroorganismen. Ein Lebensraum oder Habitat ist definiert als Ort, an dem Lebewesen akzeptable Lebensbedingungen vorfinden. Viele Arten benötigen während ihres Lebenszyklus und je nach Jahreszeit unterschiedliche Habitate für die Nahrungsaufnahme, die Fortpflanzung und für Ruhephasen. Natürliche Fließgewässersysteme bieten ein vielfältiges Mosaik von Habitaten, das sich räumlich und zeitlich ständig verändert. In einem bestimmten Fließgewässer hängt das Habitat-Mosaik stark von der jeweiligen Flussmorphologie ab, die wiederum durch fluviale Prozesse, Interaktionen mit Pflanzen und Tieren sowie die Geologie des Einzugsgebiets geprägt wird (Castro und Thorne 2019).

### 5.1 Was ist ein Refugium?

Refugien sind ein besonderer Typ von Habitat. Sie bieten Lebewesen einen Raum, wo diese bei widrigen Bedingungen (Störungen) wie Hochwasser und Trockenheit überleben können. Während Störungen können biotische und abiotische Prozesse in Wohnhabitaten eine aussergewöhnliche Intensität erreichen, der bestimmte Arten nicht gewachsen sind; sie können verdrängt, verletzt oder getötet werden. Um diese Risiken zu umgehen, haben Lebewesen vielfältige Strategien entwickelt. Mobile Lebewesen können ihren Standort wechseln und ein Refugium aufsuchen, um die Störung zu überleben. Danach können sie in ihre angestammten Wohnhabitats zurückkehren oder neu entstandene Habitate besiedeln, wodurch der Artenpool erhalten bleibt (Van Looy *et al.* 2019). Refugien haben zwei Hauptfunktionen: (i) Sie ermöglichen den Lebewesen, einer Störung zu widerstehen (Resistenz) und (ii) sich von einer Störung zu erholen (Resilienz).

Abbildung 27 illustriert die Dynamik eines Hochwassers in drei Habitaten. Habitat a stellt das Hauptgerinne dar, in dem die Störungsintensität (Fließgeschwindigkeit, Fliesstiefe, Sohlschubspannung oder Geschiebetransport) hoch ist und der Hochwasserganglinie eng folgt. Verschiedene

#### Abbildung 27

Intensität einer pulsartigen Störung wie z. B. eines Hochwassers. Die Linien (a), (b) und (c) zeigen die Intensität der Störung in verschiedenen Habitaten eines Fließgewässerabschnitts. Solche Störungen treten plötzlich auf, erreichen ihre maximale Intensität innerhalb kurzer Zeit und dauern in der Regel Stunden oder Tage. Ihre Intensität variiert je nach Habitat. Habitate mit einer geringeren Störungsintensität (b und c) bieten Refugien für Arten, deren Wohnhabitat eine höhere Störungsintensität aufweist (a). Refugien sind störungsspezifisch, wobei sich einige nur während der Störung bilden (c).

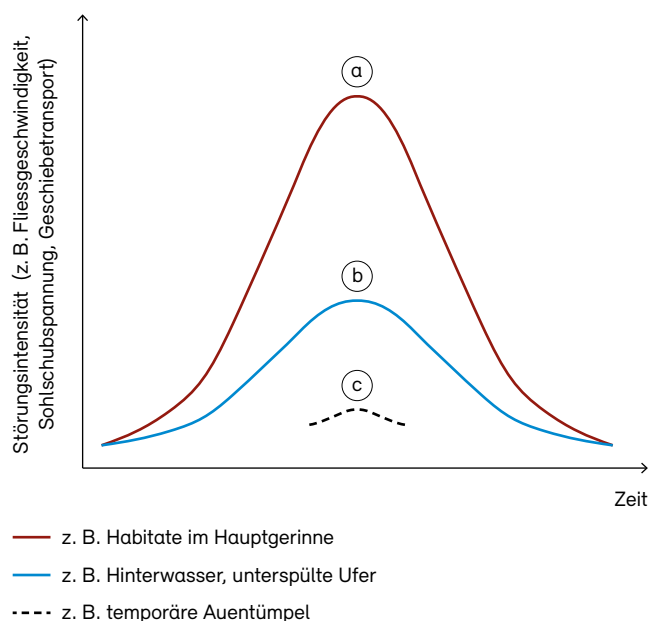


Abbildung angepasst aus Weber *et al.* (2013)

Arten, die Habitat *a* bei Niedrigwasser als Wohnhabitat nutzen, müssen bei einem Hochwasserereignis Bereiche mit deutlich geringerer Störungsintensität (Habitat *b*) aufsuchen, wie etwa Hinterwasser und unterspülte Ufer (Abb. 28f, j). Empfindlichere Arten finden Zuflucht in Habitat *c*, das noch geringere Störungsintensitäten aufweist. In unserem Beispiel ist Habitat *c* ein Auentümpel (Abb. 28c), der sich nur bei Hochwasser bildet.

## 5.2 Funktionsweise von Refugien

Verschiedene Faktoren bestimmen, wie ein Refugium funktioniert und von welchen Arten es wann und wie lange genutzt wird:

*Eigenschaften der Lebewesen:* Fischotter, Forellen, Spinnen – gewässergebundene Tiere unterscheiden sich grundlegend in ihrer Mobilität und damit in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Hochwasser. Zudem kann sich die Mobilität eines Individuums im Laufe seines Lebens ändern. Bei Eintagsfliegen der Gattung *Baetis* beispielsweise folgt auf eine immobile Phase, in der die Eier auf der Unterseite von Steinen kleben, eine mobilere Larvenphase, danach eine zweite immobile Phase als Puppe im Wasser und schliesslich eine letzte mobile Phase als fliegendes adultes Insekt. Ob ein Individuum eine Störung in einem Refugium überleben kann, hängt auch von seinem Gesundheitszustand ab. Krankheiten, Parasiten oder eine geschwächte Körperverfassung, z. B. aufgrund knapper Nahrungsressourcen, können das Überleben stark beeinträchtigen.

*Eigenschaften des Hochwassers:* Hochwasser treten in verschiedenen Formen auf, von typischen Überflutungen nach Sommergewittern bis hin zu seltenen Hochwassern mitten im Winter nach plötzlichem Wärmeeinbruch und Schneeschmelze. Der Zeitpunkt eines Hochwassers ist von Bedeutung, etwa, weil das Aktivitätsniveau eines Lebewesens jahreszeitlichen Mustern folgt (z. B. Winterruhe) oder weil verschiedene Lebensstadien zu verschiedenen Jahreszeiten auftreten (z. B. Forellenlaichzeit im Herbst). Je vorhersehbarer ein Hochwasser ist – je typischer es also für eine bestimmte Jahreszeit ist –, desto eher können sich Lebewesen an ihre Umwelt anpassen. Genauso wichtig ist die Intensität des Hochwassers, wobei die Substratmobilisierung eine wesentliche Eigenschaft der Störung ist. Verschiedene

Eigenschaften einer Störung wie Vibrationen, Geräusche und hydraulische Veränderungen können von Lebewesen wahrgenommen werden und so als Frühwarnsystem dienen, das eine rechtzeitiges Aufsuchen der Refugien auslöst.

*Eigenschaften des Fliessgewässerabschnitts:* Unterschiedliche Fliessgewässermorphologien führen zu unterschiedlichen Arten von Refugien (Abb. 28) wie etwa Kolken hinter Steinblöcken und Schwemmholz im steilen Oberlauf oder temporären Tümpeln in gut vernetzten Auen im flacheren Unterlauf. Generell ist die Habitatvielfalt positiv mit der Verfügbarkeit von Refugien verknüpft, und zwar sowohl grossräumig (z. B. Mündungsbereich von Zuflüssen) wie auch im Kleinen (z. B. heterogenes Substrat). Damit ein Lebewesen mit einer bestimmten Mobilität ein Refugium rechtzeitig erreichen kann, ist die Distanz zwischen Wohnhabitat und Refugium entscheidend. So können beispielsweise flussaufwärts gelegene Refugien für Lebewesen mit reduzierter Schwimmfähigkeit unzugänglich sein. Zudem muss ein Refugium beständig sein und über die gesamte Dauer der Störung Schutz bieten, d. h., bis eine sichere Rückkehr ins Wohnhabitat möglich ist.

Anthropogene Veränderungen der Flusslandschaften haben die Funktionsfähigkeit der Refugien wie auch die Eigenschaften der Störungen erheblich beeinflusst. Durch die weitgehende Kanalisierung der Fliessgewässer wurden komplexe Habitate, die in Flusslandschaften natürlicherweise vorhanden wären, verkleinert und monotonisiert. Der eingeschränkte Geschiebetransport und die damit verbundene Eintiefung des Gerinnes haben zu einer Entkopplung der Auen von den Lebensräumen des Hauptgerinnes geführt. Zudem haben Änderungen der Landnutzung und die Wasserkraftproduktion das hydrologische Störungsregime tiefgreifend verändert. Beispiele hierfür sind die Beschleunigung des Oberflächenabflusses als Folge der fortschreitenden Versiegelung der Böden wie auch die Verringerung der Hochwasserhäufigkeit durch den Betrieb grosser Stauanlagen. Zudem wirken sich menschliche Eingriffe negativ auf die Gesundheit von Fliessgewässerlebewesen aus, was deren Resistenz gegenüber Störungen verringert.

**Abbildung 28**

Morphologische Strukturen, die als Refugien in Fließgewässersystemen dienen können. Quelle: VAW, ETH Zürich

Bildnachweis: (a) Bundesamt für Landestopografie 2014, (b) Bundesamt für Landestopografie 2013, (c) K. Mathers, (d) Bundesamt für Landestopografie 2014, (e) V. Weitbrecht, (f) M. Roggo, (g) I. Schalko, (h) M. Roggo, (i) M. Roggo, (j) M. Mende, (k) K. Mathers



### 5.3 Verfügbarkeit und Bewertung von Refugien – drei Studien

Eine direkte Einschätzung der Verfügbarkeit und Nutzung von Refugien während eines Hochwassers ist aufgrund der Zugänglichkeit und Sicherheit, aber auch wegen der Unvorhersehbarkeit des Zeitpunkts und der Intensität von Hochwassern schwierig. Nachfolgend beschreiben wir verschiedene methodische Ansätze, um Refugien trotz dieser Schwierigkeiten zu untersuchen: direkte Beobachtung zugänglicher Refugien nach einem künstlichen und somit vorhersehbaren Hochwasser (s. Kap. 5.3.1), Erhebungen von Makroinvertebraten, anhand derer die Verfügbarkeit von Hochwasserrefugien abgeleitet werden kann (s. Kap. 5.3.2), und eine Kombination aus Modellversuchen und numerischen Simulationen zur Untersuchung unterschiedlicher Hochwasserintensitäten (s. Kap. 5.3.3).

#### 5.3.1 Nutzung von Refugien während eines künstlichen Hochwassers im Spöl

Wir untersuchten die Nutzung von Refugien durch aquatische Makroinvertebraten wie Insekten und Schnecken während

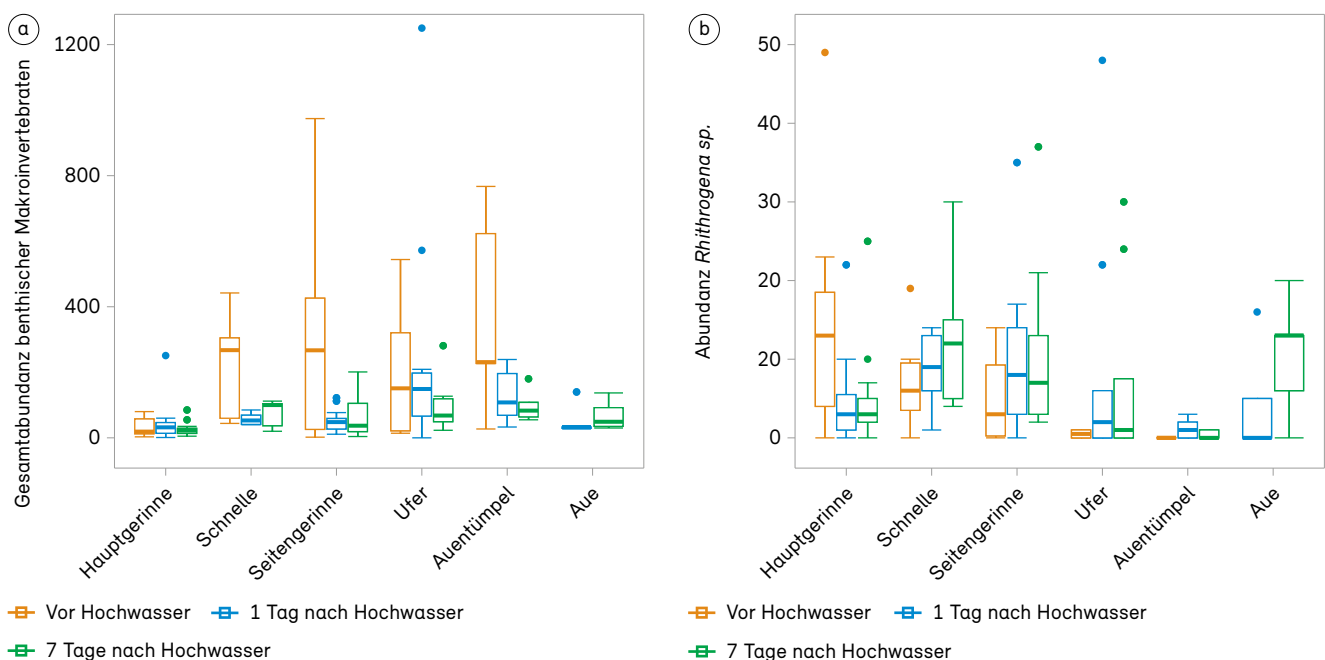
eines künstlichen Hochwassers im Spöl im Schweizerischen Nationalpark (Mathers *et al.* 2021a; Mathers *et al.* 2021b). Unsere Studie wurde in der untersten Restwasserstrecke vor der Einmündung in den Inn durchgeführt. Untersucht wurden vier Abschnitte auf einer Länge von 1,5 km. Dabei beprobten wir (i) die Lebensräume im Fluss (z. B. Abb. 28a, f), am Ufer (Abb. 28e) und in der Aue (Abb. 28c), die als Hochwasserrefugien dienen können, und untersuchten (ii) die Nutzung der hyporheischen Zone, dem dynamischen Lebensraum zwischen Oberflächen- und Grundwassersedimenten (Abb. 28l).

#### Benthische Hochwasserrefugien

Vor dem künstlichen Hochwasser bildeten die benthischen Makroinvertebraten in jedem Abschnitt eine unterschiedliche Gemeinschaft, welche die jeweilig vorhandene Habitatvielfalt widerspiegeln dürfte. Nach dem Hochwasser wurden die Gemeinschaften untereinander ähnlicher, d. h. es bestanden nunmehr geringere Unterschiede zwischen den einzelnen Abschnitten. Die Anzahl der Insekten-Taxa (Vielfalt) blieb jedoch insgesamt stabil, was auf das Vorhandensein von Refugien für empfindlichere Taxa hinweist, die zum Gesamtreichtum beitragen (Abb. 29a). Die Ufer und

Abbildung 29

Boxplot (a) der Gesamtabundanz benthischer Makroinvertebraten und (b) der benthischen Abundanz von *Rhithrogena* sp. während eines künstlichen Hochwassers im Spöl. Die Abundanz entspricht der Anzahl Individuen pro 30-Sekunden-«Kick-Sampling» (nach Murray-Bligh 1999).



Quelle: Mathers *et al.* (2022)

die überschwemmte Aue wiesen nach dem Hochwasser weiterhin hohe Abundanzen an Makroinvertebraten auf (Abb. 29a), was ihre Funktion als Refugium verdeutlicht. Im Gegensatz dazu verringerte sich das Angebot an Refugien in Schnellen und Seitengerinnen aufgrund der durch den Sedimenttransport reduzierten Substratstabilität, was sich in geringeren Abundanzen an benthischen Makroinvertebraten zeigte (Abb. 29a). Die Nutzung von Refugien war insbesondere für die mobile Eintagsfliege *Rhithrogena* sp. augenfällig, wenn auch räumlich uneinheitlich, und einige Proben wiesen nach dem Hochwasser eine beträchtliche Anzahl an Individuen auf (s. Ausreisser in Abb. 29b).

#### Hyporheische Refugien

Der Porenraum (Abb. 28k, 30) im Kiesbett (Kieslückensystem) bietet bekanntermassen vielen Lebewesen Unterschlupf. Entgegen unseren Erwartungen, die auf den Ergebnissen von Dole-Olivier *et al.* (1997) basierten, nutzten in unserer Studie nur wenige Arten die hyporheische Zone (Abb. 28l) als Refugium; zudem gingen die Abundanzen direkt nach dem Hochwasser in der Regel zurück oder blieben konstant, was wahrscheinlich mit der geringen Substratstabilität im Spöl zusammenhängt. Eine Ausnahme bildete die Steinfliege *Leuctra* sp., die teilweise

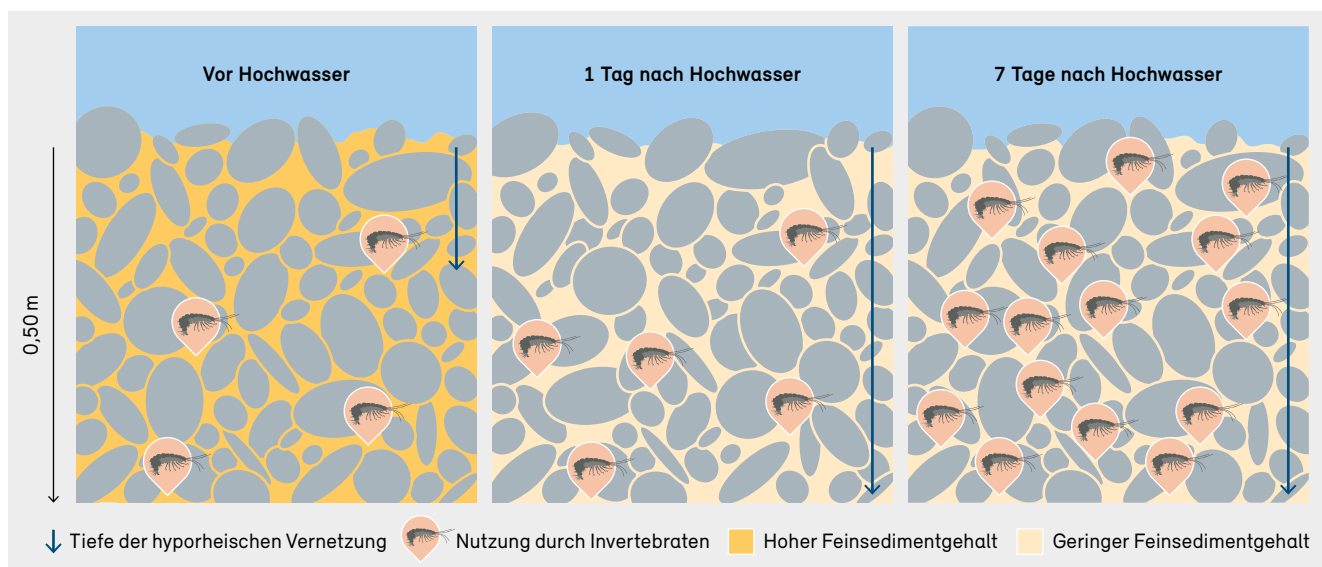
in der hyporheischen Zone Zuflucht suchte. Das künstliche Hochwasser spülte jedoch feines Sediment (Partikel < 2 mm) vom Oberflächen- und Untergrundsubstrat (0,25 und 0,50 m Tiefe) ab, wodurch zuvor blockierte Vernetzungen im Kieslückensystem wieder durchgängig wurden. In der Folge wurden 7 Tage nach dem Hochwasser in Substrattiefen von 0,25 m und 0,50 m eine erhöhte Abundanz und eine grössere Vielfalt an Taxa festgestellt (Abb. 30). Die verstärkte Nutzung von zuvor unzugänglichen hyporheischen Substratbereichen sowie die verbesserte Versorgung mit gelöstem Sauerstoff bedeuten, dass die Substrate nach dem Hochwasser als potenzielle Refugien vor Räubern und bei niedrigem Wasserstand oder Trockenheit zur Verfügung stehen dürften. Allerdings bräuchte es regelmässige künstliche Hochwasser (1 bis 2 pro Jahr), um diese Vorteile durchweg zu erhalten (Robinson 2018).

#### 5.3.2 Der Einfluss von Geschiebesammlern auf die Verfügbarkeit von Refugien

Wir untersuchten die Auswirkungen von Geschiebesammlern auf die Verfügbarkeit von Refugien in Fliessgewässern und die zugehörigen Gemeinschaften von Makroinvertebraten. Dazu verglichen wir vier Bäche mit Geschiebesammler mit drei Bächen ohne Geschiebesammler in der Zentralschweiz

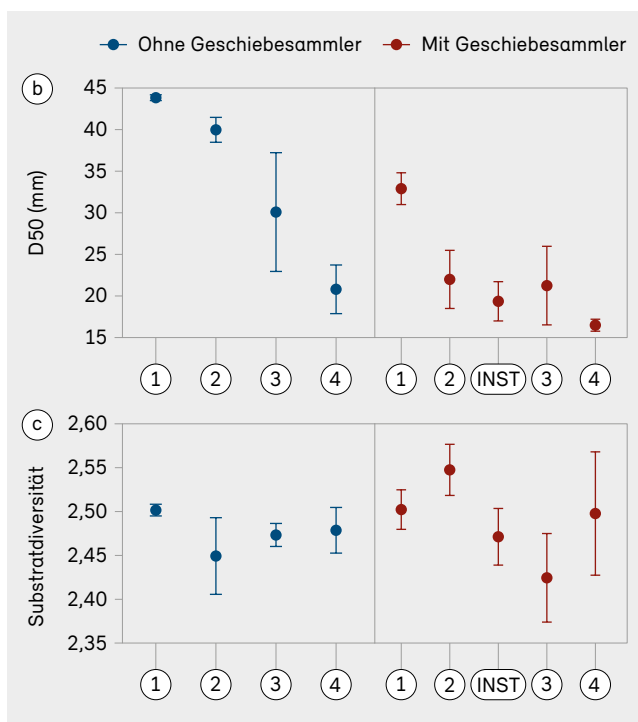
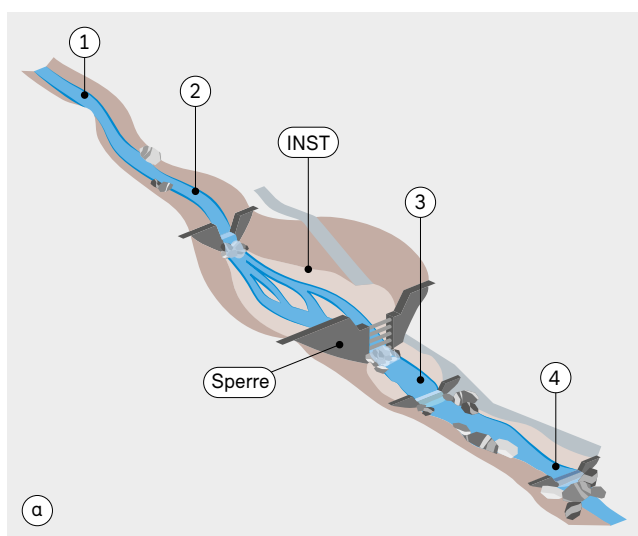
#### Abbildung 30

Darstellung des Kieslückensystems und der Vernetzung mit der hyporheischen Zone bis in eine Tiefe von 0,50 m unter der Flusssohle, vor und nach dem untersuchten künstlichen Hochwasser im Spöl.



**Abbildung 31**

(a) Schematische Darstellung der Elemente eines Geschiebesammlers und der Probenahmestellen. 1 bis 4 stehen für die Probenahmestellen, INST für das Geschieberückhaltebecken und Sperre für die offene Wildbachsperre, die den Geschiebetransport flussabwärts verhindert.  
 (b) Mittlere D50-Werte (Median der Korngrösse) und (c) mittlere Werte der Substratdiversität ( $\pm 1$  Standardfehler), die an jeder Probenahmestelle in Bächen mit und ohne Geschiebesammler ermittelt wurden.



Mathers et al. (2021b)

(Mathers et al. 2021b). Alle Bäche wurden so ausgewählt, dass sie vergleichbare Merkmale aufwiesen (z. B. Grösse des Gerinnes, Geologie). Die Bäche mit Geschiebesammler wurden an je zwei Punkten oberhalb und unterhalb des Sammlers untersucht (Abb. 31a). Bei Bächen ohne Sammler wurden die Erhebungen am Knickpunkt zwischen einer steilen Schlucht und einem Schwemmkegel mit geringerem Gefälle durchgeführt, wo Geschiebesammler üblicherweise gebaut werden. Die am weitesten flussaufwärts und flussabwärts gelegenen Punkte waren rund 50 m vom Geschiebesammler entfernt (ca. acht Wasserspiegelbreiten).

In den Geschiebesammlern und unmittelbar flussabwärts stellten wir eine Abnahme der mittleren Korngrösse (Abb. 31b) und der Substratvielfalt (Abb. 31c) und damit der Verfügbarkeit an Refugien fest, was mit einem Rückgang des Transports von grösseren Sedimentpartikeln zusammenhängen dürfte. In drei der vier Bächen mit Geschiebesammler erreichte die Substratvielfalt rund acht Wasserspiegelbreiten unterhalb des Sammlers wieder Werte, die mit denen in Bächen ohne Geschiebesammler vergleichbar waren. Im vierten Bach beeinträchtigte der umfangreiche künstliche Uferschutz die Regeneration, und die Substratvielfalt blieb flussabwärts des Geschiebesammlers vermindert.

Die Unterbrechung des Sedimenttransports führte auch zu Abweichungen in der longitudinalen Zusammensetzung der Makroinvertebraten-Gemeinschaft und ihrer Störungsresistenz. So beobachteten wir unmittelbar flussabwärts des Geschiebesammlers beispielsweise einen Anstieg des Anteils der Makroinvertebraten-Taxa, die keine Resistenzstrategien besitzen, was wiederum auf weniger Rückzugsmöglichkeiten hinweist. Im Gegensatz dazu verfügten Gemeinschaften innerhalb des Geschiebesammlers mit grösserer Wahrscheinlichkeit über eine Resistenzstrategie (z. B. Dormanz, Austrocknungsresistenz), was möglicherweise die verzweigte Gerinnestruktur im Geschiebesammlerbecken widerspiegelt, die zu häufigen Abflussschwankungen auf Habitatebene führt.

Insgesamt zeigt unsere Studie, dass Geschiebesammler den Geschiebehaushalt erheblich beeinflussen können, was grosse Auswirkungen auf die Ökologie der Fließgewässer und die Umweltbedingungen hat. Diese Auswirkungen können aber auf einen lokalen Gewässerabschnitt

begrenzt sein, und ihr Ausmass hängt wahrscheinlich von der Bewirtschaftung des jeweiligen Geschiebesammlers ab.

### 5.3.3 Die Bedeutung der Geschiebezufuhr für eigendynamische Flussaufweitungen

Eigendynamische Gerinneaufweitungen sind Revitalisierungsmassnahmen auf Abschnittsebene, die in kanalisierten Fliessgewässern zur Wiederherstellung der morphodynamischen Aktivität und der seitlichen Anbindung des Gerinnes an die Aue durchgeführt werden. Wir untersuchten, wie sich die Morphologie in eigendynamischen Flussaufweitungen in Abhängigkeit der Geschiebezufuhr entwickelt und wie dies die Verfügbarkeit aquatischer Hochwasserrefugien beeinflussen kann (Rachelly *et al.* 2021).

Zur Untersuchung der eigendynamischen Aufweitung wurde ein Labormodell eines zunächst kanalisierten Kiesflusses mit einem Gefälle von 1 % und einem angrenzenden erodierbaren Vorland oder Aue auf der rechten Seite erstellt. Die Geschiebezufuhr entsprach 100, 80, 60 oder 20 % der Transportkapazität (TK) des kanalisierten Gerinnes und es wurde ein stationärer Abfluss angewendet, der einem 1,5-jährlichen Hochwasser ( $HQ_{1,5}$ ) entspricht. Die Laborexperimente wurden mit einem hydronumerischen 2D-BASEMENT-Modell (Version 3.0; Vanzo *et al.* 2021) kombiniert, um die Strömungsfelder jeder resultierenden Morphologie für Abflüsse von einem mittleren jährlichen Abfluss bis zu einem Jahrhunderthochwasser in hoher räumlicher Auflösung zu simulieren. Die Verfügbarkeit potenzieller Refugien während eines Hochwassers untersuchten wir anhand (i) der Beständigkeit von Zonen mit niedriger Sohlschubspannung als Mass für die Störungsintensität (Abb. 28d); (ii) der Uferlänge als Mass für die Refugienverfügbarkeit am Ufer (Abb. 28e) und (iii) der Überflutungsdynamik als Mass für die Zugänglichkeit der Aue (Abb. 28c).

Eine Verringerung der Geschiebezufuhr unter 80 % TK führte zu leichter Rotationserosion im kanalisierten Gerinne. Während der nachfolgenden Aufweitungphase entwickelten sich bei einer Geschiebezufuhr von 100 und 80 % TK deutlich andere Aufweitungsmorphologien als bei 60 und 20 % TK. Eine Zufuhr von 100 oder 80 % TK führte zu einer dynamischen, heterogenen Aufweitung mit räumlich variabler Sohlschubspannung (Abb. 32a, b) und einer grösseren Uferlänge im Vergleich zu einem kanalisierten Abschnitt. Die seitliche Anbindung des

Gerinnes an die Aue war bei Hochwasser intakt, so dass die Aue potenziell als Refugium dienen konnte, während das Hauptgerinne einer hohen hydraulischen Belastung und einer hohen Geschiebetransportintensität ausgesetzt war. Im Gegensatz dazu führte eine geringere Geschiebezufuhr (60 bzw. 20 % TK) zu stabilen, homogenen Gerinnen mit gleichmässig hoher Störungsintensität, kürzeren Uferlinien und einer dauerhaften seitlichen Abkopplung des Gerinnes von der Aue (Abb. 32c, d). Insgesamt wurde festgestellt, dass eine Geschiebezufuhr nahe der Transportkapazität des kanalisierten Gerinnes einer der Hauptfaktoren für eine fortschreitende Gerinneverbreiterung und aktive morphodynamische Prozesse ist.

## 5.4 Erhaltung und Wiederherstellung von Refugien

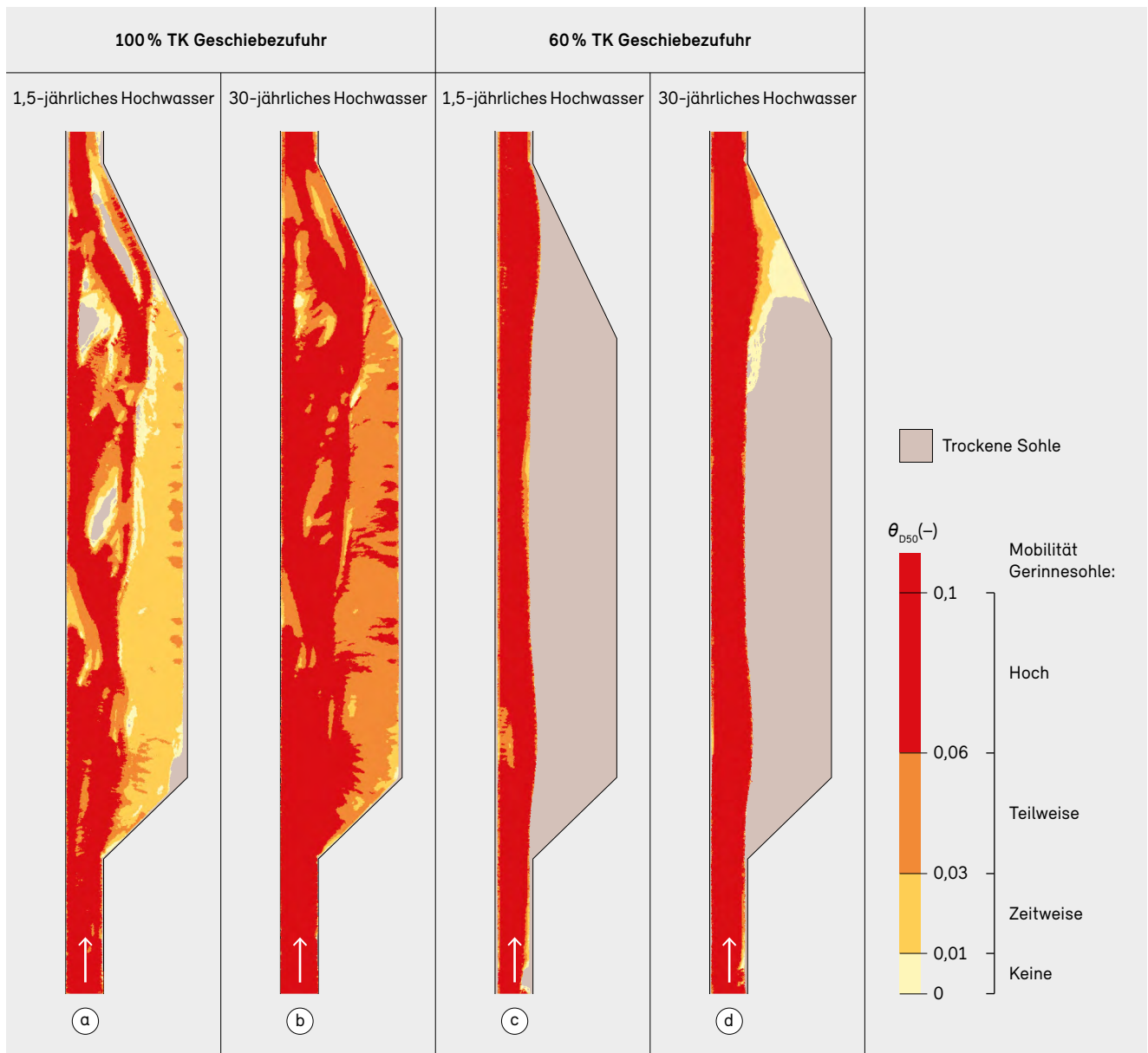
Wie der Hochwasserschutz für Menschen sind auch Refugien für die Resistenz und Resilienz von Fliessgewässerlebewesen unerlässlich. Die Bewahrung bestehender und die Schaffung neuer Refugien sollten bei der Planung, beim Bau und beim Unterhalt von Wasserbauprojekten explizit berücksichtigt werden.

Bei der Planung können die üblicherweise durchgeführten morphologischen und biologischen Erhebungen, die den Ist-Zustand beschreiben, um refugiumsspezifische Aspekte erweitert werden, wie etwa die Habitatverfügbarkeit bei Hochwasser (s. Kap. 5.3.3) und die Resistenz- oder Mobilitätseigenschaften von Lebewesen (s. Kap. 5.3.1 und 5.3.2). Die Ergebnisse können als Grundlage für Vorher-Nachher-Vergleiche dienen, aber auch Möglichkeiten oder Grenzen der Planung im Hinblick auf die Bewahrung und Verbesserung der Refugienverfügbarkeit aufzeigen. Wenn Lage und Art der verfügbaren Refugien bekannt sind, können potenzielle negative Auswirkungen von geplanten Arbeiten, beispielsweise während der Bauphase, verhindert werden.

Bei der Projektplanung können mehrere Aspekte berücksichtigt werden, die das Angebot und den Fortbestand von Refugien beeinflussen. Eine ausreichende Sedimentverfügbarkeit kann Gerinneverlagerungen und Seitenerosion während Hochwassern fördern und damit die Verfügbarkeit an Refugien erhöhen (s. Kap. 5.3.3). Sowohl natürliche Instream-Strukturen (z. B. Schwemmholz) als auch

**Abbildung 32**

Räumliche Verteilung der Sohlschubspannung in eigendynamischen Flussaufweitungen, die mit einer Geschiebezufuhr von (a, b) 100 % der Transportkapazität (TK) des kanalisiert Gerinnes und (c, d) 60 % TK ausgebildet wurden. Beide Morphologien wurden bei einem stationären Abfluss gebildet, der einem 1,5-jährlichen Hochwasser entspricht. Die Sohlschubspannungsverteilung wird jedoch sowohl für ein 1,5-jährliches Hochwasser (a, c) als auch ein 30-jährliches Hochwasser (b, d) dargestellt. Dunklere Farben zeigen höhere Sohlschubspannungen, dargestellt als dimensionslose Sohlschubspannung für den Median der Korndurchmesser und eingeteilt in unterschiedliche Mobilitätsintensitäten der Gerinnesohle. Die Ergebnisse für eine Geschiebezufuhr von 80 und 20 % TK werden hier nicht dargestellt; sie sind jedoch sehr ähnlich wie für 100 bzw. 60 % TK (Rachelly et al. 2021).



Quelle: VAW, ETH Zürich



künstliche (z. B. «engineered log jams») können die Bildung von Refugien unterstützen. Es hat sich gezeigt, dass die Gewährleistung der Vernetzung zwischen Wohnhabitaten und Refugien von Bedeutung ist (s. Kap. 5.3.1). Das Management der Refugien erfordert zudem Verständnis dafür, dass (i) sich Merkmale von Hochwassern unter anderem im Zuge des Klimawandels ändern können (z. B. Häufigkeit, Intensität) und (ii) andere Arten von Störungen (z. B. Trockenheit) anderer Refugien bedürfen (s. Kap. 5.2).

Nach Abschluss von Wasserbauprojekten kann adaptives Fließgewässermanagement durch Monitoring bereits vorhandener und neuer Refugien, die beabsichtigt oder unerwartet gebildet wurden, unterstützt werden (s. Kap. 5.3.3). Die hier vorgestellten Fallstudien veranschaulichen Monitoring-Methoden, die bei Niedrigwasser (s. Kap. 5.3.2) oder vorhersehbaren Hochwasserereignissen (s. Kap. 5.3.1) anwendbar sind.

Dieses Kapitel zeigt auf, dass hydro-morphologische Variabilität und Komplexität Voraussetzungen für die Verfügbarkeit von Habitaten und funktionsfähigen Refugien in Fließgewässern sind. Diese Bedingungen hängen stark mit dem Abfluss- und Geschieberegime zusammen, d. h. mit der Verfügbarkeit, dem Transport und der Umlagerung von Geschiebe (Wohl *et al.* 2015). Der Geschiebetransport wirkt zwar als Störung auf individuelle Fließgewässerlebewesen, ist aber gleichzeitig ein wichtiger Faktor für die langfristige morphodynamische Variabilität und Komplexität sowie die Lebensfähigkeit von Gemeinschaften (Lepori und Hjerdt 2006). Viele Fließgewässerlebewesen haben Resistenz- und Resilienzstrategien entwickelt, die ein Überleben bei Störungen ermöglichen, einschliesslich der Nutzung von Refugien. Ein natürliches Geschieberegime trägt entscheidend zur Verfügbarkeit von Refugien bei.

### Box 8: In der Praxis – Bird Track Springs Fish Habitat Improvement Project

*Phil Roni und Meghan Camp, Cramer Fish Sciences*

Das «Bird Track Springs Fish Habitat Improvement Project» ([www.grmw.org/data/project/478/](http://www.grmw.org/data/project/478/)) ist ein Projekt im Grand Ronde River (Oregon, USA). Das Projektgebiet wurde durch menschliche Nutzungen beeinträchtigt (z. B. Biberjagd, Holzschlag, Kanalisierung, Beweidung), was zum Verlust von 70 % der Kolke führte wie auch zu einem Mangel an komplexen Lebensräumen (z. B. Schwemmholz), zu Kolmation, einer Zunahme der Wassertemperaturen, erhöhter Geschiebezufuhr und verminderter Wasserqualität.

Das Hauptziel des Projekts war eine Verbesserung des Lebensraums für gefährdete einheimische Fischarten (z. B. Chinook-Lachs). Die spezifischen Ziele waren die Wiederherstellung eines verzweigten Gerinnes mit Kiesinseln und vollständiger Anbindung an die Aue, eine stärkere Überflutung der Aue, eine verbesserte Grundwasseranbindung und thermische Vielfalt, die Schaffung von Refugien ausserhalb des Gerinnes und die Aufwertung des Auen-Lebensraums.

Teile des Gerinnes wurden verlegt, um die Anbindung an die Aue wiederherzustellen und Rückzugsorte für Fische zu schaffen, z. B. in Form von Senken und Tümpeln. In der gesamten Aue wurden Seitengerinne und Ausbuchtungen an den historischen Mäandernarben des Gerinnes und in Absenkungen erweitert, um den Zugang und die Verfügbarkeit von Refugien bei Hochwasser zu verbessern. Zudem wurden Gerinne neu angelegt, um die Vernetzung mit seitlichen Quellgewässern zu ermöglichen und geeignete Refugien für Jungfische und adulte Fische zu schaffen, die flussaufwärts wandern. Neu hinzugefügte grosse Holzstrukturen wie Bäume und Wurzelstöcke leiten den Abfluss in die Aue, erhöhen die Komplexität des Gerinnes, bilden Kolke, halten Sedimente zurück und schaffen zusätzliche Rückzugsorte für Fische bei Hochwasserereignissen.

Im Rahmen des Projekts wurden eine 55 Hektar grosse Auenfläche neu vernetzt, 2896 m neues Gerinne geschaffen, die Zahl der Kolke in Haupt- und Nebengerinnen erhöht und über 550 Holzstrukturen ausgebracht. Der Erfolg des Projekts wird anhand der Veränderungen der Gerinnemorphologie, der Auen-Lebensräume und der Refugien sowie durch Fischerhebungen und das Monitoring von Abfluss und Temperatur bewertet.