

### 3 Seitliche Vernetzung – Nährstoffaustausch zwischen Ökosystemen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der engen Kopplung zwischen Fließgewässern und den angrenzenden Uferbereichen sowie mit der Bedeutung von Energie- und Stoffaustausch zwischen Wasser und Land für die Erhaltung der aquatischen und terrestrischen Artenvielfalt. Im Vordergrund steht eine grundlegende Ökosystemdienstleistung naturnaher Fließgewässer – der Export von Biomasse und spezifischen Nährstoffen, den sogenannten Omega-3-Fettsäuren (Polyunsaturated Fatty Acids, kurz PUFAs). Management- und Revitalisierungsprojekte in Fließgewässern sollten diese laterale Vernetzung berücksichtigen, um den Erfolg von Revitalisierungsmassnahmen zu verbessern.

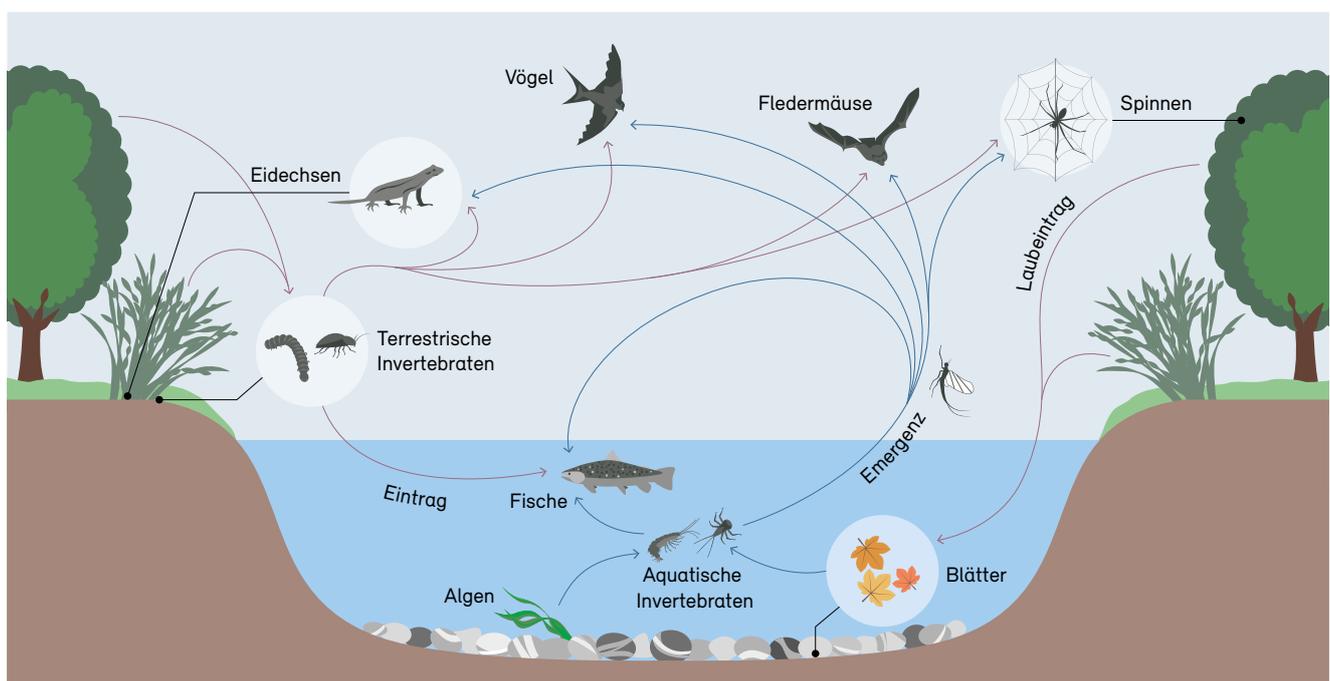
Carmen Kowarik und Christopher T. Robinson

Fließgewässer und die angrenzenden Uferbereiche und Auengebiete sind interaktive, offene Einheiten, die über vielfältige Pfade miteinander verbunden sind (Baxter *et al.* 2005). In diesem Kapitel betrachten wir Energie- und Stoffaustausch, der über Systemgrenzen

hinweg stattfindet, konkret den Austausch organischer Ressourcen (Biomasse und Nährstoffe) zwischen aquatischen und terrestrischen Ökosystemen (Abb. 12). Energie- und Stoffaustausch findet in beide Richtungen statt, z. B. über das Laub von Bäumen und Sträuchern, das in

Abbildung 12

Schematische Darstellung des Energie- und Stoffaustauschs zwischen Fließgewässer und angrenzender Landschaft.



Fließgewässer eingetragen wird, oder durch aquatische Insekten, die mit dem Schlupf vom Wasser an Land wechseln. Dadurch entsteht, was Baxter *et al.* (2005) als eng verwobenes Netz (*tangled web*) bezeichnen. Energie- und Stoffaustausch über Systemgrenzen hinweg kann für den Fortbestand der Empfängersysteme entscheidend sein.

### 3.1 Bedeutung von Energie- und Stoffaustausch zwischen Wasser und Land

Das vorliegende Kapitel konzentriert sich auf den Transfer von aquatischen Ressourcen in angrenzende terrestrische Ökosysteme. Ressourcen, die aus dem Wasser stammen, sind eine wertvolle zusätzliche Nahrungsquelle für terrestrische Räuber wie Spinnen. Ein Beispiel sind schlüpfende Insekten, die das Larvenstadium im Wasser und das Fortpflanzungsstadium an Land verbringen. Der Zeitpunkt des aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfers widerspiegelt die Lebenszyklen der lokalen Artengemeinschaften und führt zu saisonalen Pulsen an Ressourcen. Schlüpfende aquatische Insekten stellen eine wichtige Ergänzung in der Nahrung der terrestrischen Räuber dar, vor allem im Frühling, wenn terrestrische Nahrung nur in geringem Umfang vorhanden ist. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass terrestrische Räuber wie Spinnen und Vögel saisonal von aquatischer Nahrung abhängig sind (Iwata *et al.* 2003; Paetzold *et al.* 2005; Burdon und Harding 2008).

Ressourcen aquatischen Ursprungs bieten nicht nur eine zusätzliche Nahrungsquelle, sondern enthalten auch einen wichtigen Nährstoff, der in terrestrischen Ökosystemen

kaum vorhanden ist: die bekannte Omega-3-Fettsäure EPA (Tab. 2). Hohe EPA-Konzentrationen findet man in Fischen, was sie auch für den Menschen zu einer wertvollen Nahrungsquelle macht, aber auch in anderen Wasserorganismen wie Insekten. Aquatische Ökosysteme gelten als eine der Hauptquellen von EPA (Hixson *et al.* 2015). EPA gehört zur Gruppe der mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs; Tab. 2), die mehrere Doppelbindungen aufweisen und nur von bestimmten Organismengruppen gebildet werden können. Verschiedene Algengruppen wie etwa Kieselalgen produzieren grosse Mengen an EPA, was zu einer Anreicherung entlang der aquatischen Nahrungsketten führt. Terrestrischen Pflanzen dagegen fehlt es an dieser Fähigkeit, mit Ausnahme einiger Moose (Harwood 1996; Uttaro 2006; Hixson *et al.* 2015). Das macht EPA-reiche Organismen wie Wasserinsekten zu einer gefragten Ressource in terrestrischen Ökosystemen. Vorläufige Schätzungen deuten darauf hin, dass die Menge an PUFAs, die aus aquatischen Systemen exportiert wird, erheblich sein kann (Abb. 13) und eine wichtige Ökosystemdienstleistung von aquatischen Systemen für die Umgebung darstellt (Gladyshev *et al.* 2013).

Aber warum sind PUFAs so wichtig? Bei Tieren und damit auch dem Menschen sind PUFAs an vielen physiologischen Prozessen beteiligt. So bilden sie z. B. wesentliche Bestandteile unserer Zellmembranen, nehmen wichtige Funktionen in unserem Immunsystem wahr und spielen eine Rolle bei der Signalübertragung im Körper (Stillwell und Wassall 2003; Stanley 2014; Schlotz *et al.* 2016). Kurz gesagt sind PUFAs lebensnotwendig und müssen über die Nahrung zugeführt werden. Zwar können einige Organismen andere

Tabelle 2

Wichtige mehrfach ungesättigte Omega-3-Fettsäuren (Engl. Polyunsaturated Fatty Acids, kurz PUFAs)

Abkürzung	Chemische Formel	Name	Wichtigste Produzenten
ALA	C18:3n3	Alpha-Linolensäure	Wird von den meisten Algen sowie einigen terrestrische Pflanzen produziert, mit besonders hohen Konzentrationen in gewissen Samen und Nüssen (z. B. Rapssamen, Leinsamen, Walnüsse)
SDA	C18:4n3	Stearidonsäure	Wird von vielen Algen produziert (z. B. Kryptophyten und einige Grünalgen), aber nur von wenigen höheren Pflanzen (z. B. schwarze Johannisbeeren und Natterkopf)
EPA	C20:5n3	Eicosapentaensäure	Wird von vielen Algen produziert (z. B. Kieselalgen und Kryptophyten), aber nicht von höhere Pflanzen (mit Ausnahme einiger Moose); aquatische Systeme sind die Hauptquelle
DHA	C22:6n3	Docosahexaensäure	Wird mehrheitlich durch marine Algen produziert (z. B. marine Kryptophyten)

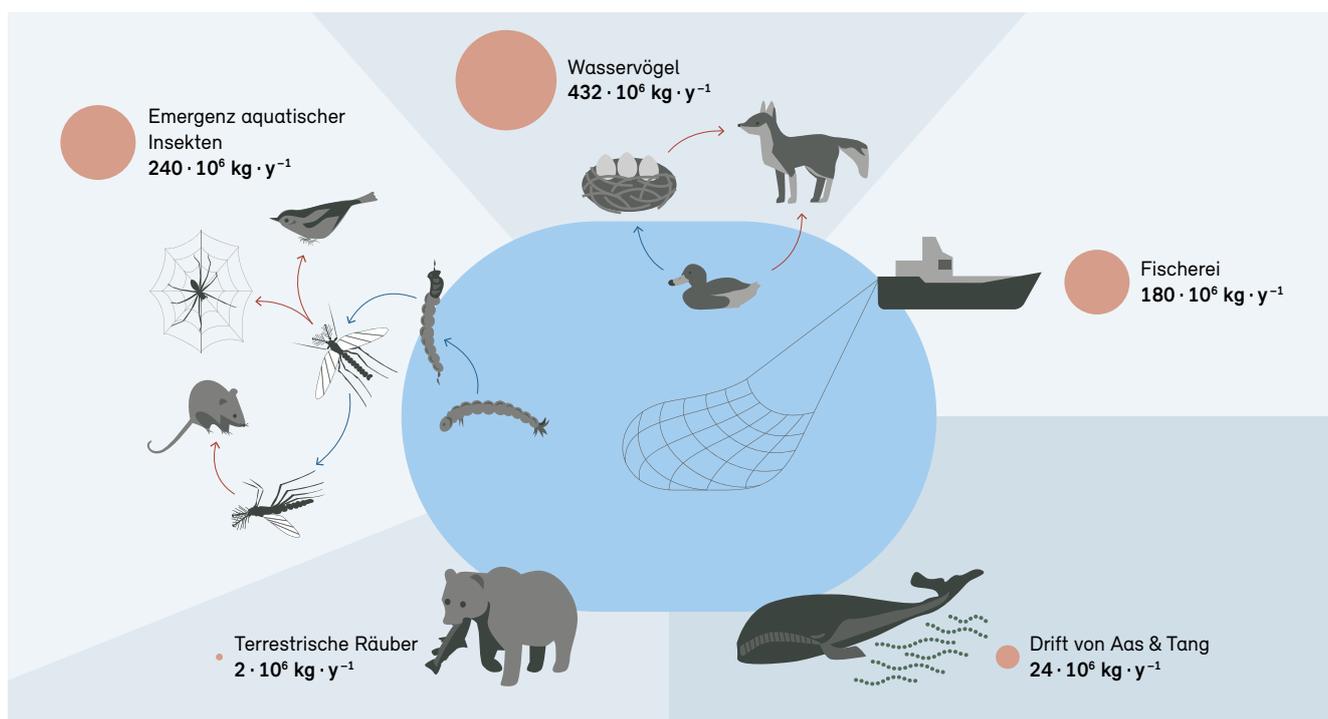
mehrfach ungesättigte Fettsäuren in EPA umwandeln, aber dieser Prozess ist in der Regel nicht effizient, weshalb die Aufnahme von EPA über die Nahrung sehr wichtig ist. Bestätigt wird dies durch Studien über terrestrische Räuber, die unter anderem gezeigt haben, dass sich EPA aquatischen Ursprungs positiv auf die Entwicklung und den Bruterfolg von Vögeln wie z. B. Baumschwalben in Auen und auf das Immunsystem von Uferspinnen auswirkt (Twining *et al.* 2016, 2018; Fritz *et al.* 2017).

Der Mensch hat die Mehrheit der aquatischen Ökosysteme, und insbesondere die Fließgewässer, sowohl in ihrer Morphologie als auch hinsichtlich ihrer Wasserchemie verändert. Damit löste er die «dunkle Seite des aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfers» aus, nämlich den Austausch von Mikroverunreinigungen und Schwermetallen über die Systemgrenzen hinweg (Kraus 2019). Naturnahe Fließgewässer und Seen gewährleisten entsprechend die positive Seite der Energie- und Stoffflüsse zwischen Wasser und Land als Ökosystemdienstleistung. Wie stark der

Mensch den aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfer sowohl quantitativ als auch qualitativ beeinflusst, ist nicht bekannt. Rund 25 Prozent der Schweizer Fließgewässer befinden sich in einem schlechten ökomorphologischen Zustand. So gibt es in den Schweizer Fließgewässern über 100 000 künstliche Barrieren, die den Geschiebetransport beeinflussen und die Lebensbedingungen im Flussbett erheblich verschlechtern (BAFU 2018). Zudem wurde die Länge der Flussufer durch Begradigungen und Uferbefestigungen massiv verringert. Die Abundanz von schlüpfenden Wasserinsekten und insektenfressenden Vögeln ist positiv mit der Uferlänge korreliert (Iwata *et al.* 2003), was bedeutet, dass in beeinträchtigten Fließgewässersystemen mit einer kürzeren Uferlänge ein geringerer PUFA-Transfer zu erwarten ist. Menschliche Aktivitäten und Infrastrukturen verändern sowohl Fließgewässer als auch die daran angrenzenden Auengebiete; damit haben sie einen klaren Einfluss auf die Verteilung und das Ausmass von Energie- und Stoffaustausch zwischen Wasser und Land (Laeser *et al.* 2005; Paetzold *et al.* 2011).

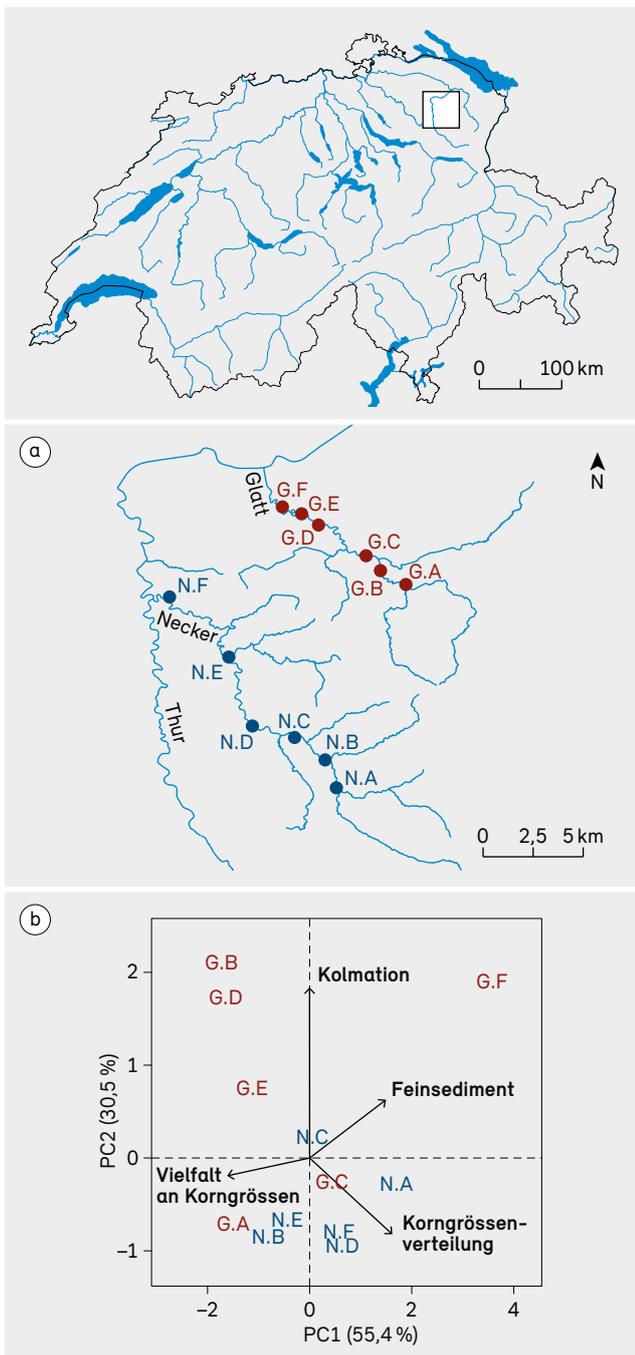
### Abbildung 13

Geschätzter jährlicher ( $y$ ) Export von EPA + DHA (s. Tab. 2) über verschiedene Verbindungswege zwecks Illustration von Umfang und Bedeutung dieser von aquatischen Systemen erbrachten Ökosystemdienstleistung.



**Abbildung 14**

(a) Karte der Standorte entlang der Glatt (G) und des Neckers (N).  
 (b) Darstellung der Hauptkomponentenanalyse (PCA), die den Unterschied zwischen den Habitateigenschaften der beiden Fließgewässer zeigt. Die Achsen stellen die Dimensionen 1 und 2 der PCA dar; der Anteil der Varianz, der durch jede Dimension erklärt wird, ist angegeben. Die Sedimentvariablen Kolmation, Vielfalt an Korngrößen, Feinsediment (Menge) und Korngrößenverteilung sind als Pfeile dargestellt.



Quelle: Eawag

Der Transfer von aquatischen Ressourcen in terrestrische Systeme spielt in den vielfältig vernetzten Flusslandschaften eine wichtige ökologische Rolle. Dennoch wurde er im praktischen Fließgewässermanagement bis heute weitgehend vernachlässigt. Zukünftige Revitalisierungsprojekte sollten aber die seitliche Vernetzung der Fließgewässer berücksichtigen und den Energie- und Stoffaustausch zwischen Wasser und Land einbeziehen.

### 3.2 Daten zum aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfer in der Schweiz

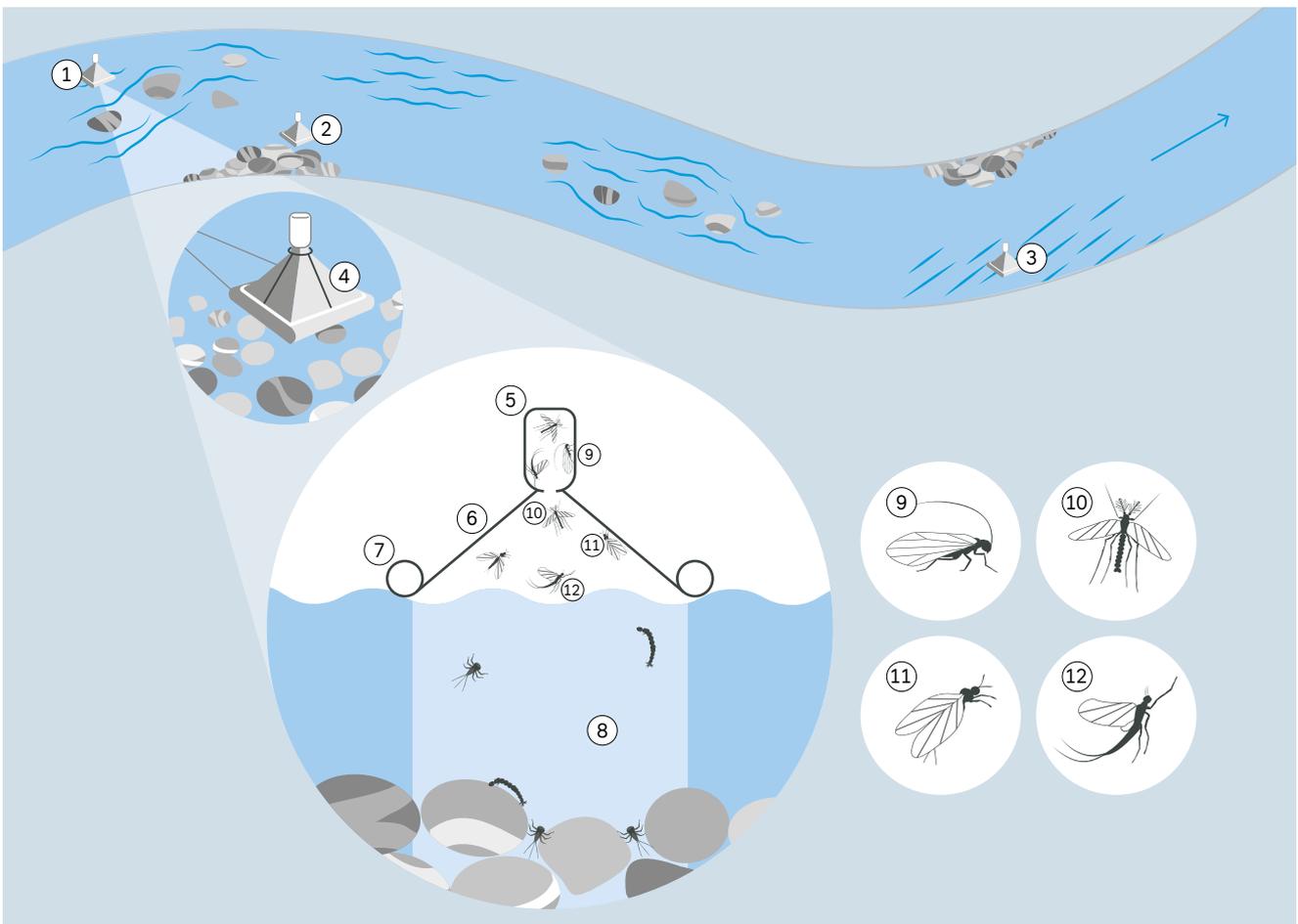
Wir stellen hier Ergebnisse zum aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfer entlang zweier gegensätzlicher Fließgewässer im Kanton St. Gallen vor (Abb. 14a). Der Necker (N) ist ein weitgehend unreguliertes Fließgewässer mit einem natürlichen Abfluss- und Geschieberegime. Die angrenzende Glatt (G) ist hingegen stark reguliert und weist mehrere Querbauwerke auf, die das Abfluss- und Geschieberegime verändern. Zudem unterscheidet sich die Landnutzung in den beiden Einzugsgebieten; so weist die Glatt eine schlechtere Wasserqualität (höhere Stickstoff- und Phosphorwerte) auf als der Necker. Wir wählten sechs Standorte entlang jedes Flusses aus, um den Transfer aquatischer Ressourcen in die angrenzenden terrestrischen Ökosysteme zu untersuchen. Dabei konzentrierten wir uns auf die schlüpfenden Wasserinsekten und den Export von PUFAs aquatischen Ursprungs an zwei Gruppen terrestrischer Räuber (bodenbewohnende und netzbildende Spinnen). Bodenbewohnende Spinnen in Auengebieten sind umherstreifende aktive Jäger, während netzbildende Spinnen stationär leben und ihre Beute in ihren Netzen fangen. Nachfolgend werden verschiedene Aspekte des aquatisch-terrestrischen Nahrungstrfers entlang der beiden Fließgewässer erörtert.

#### 3.2.1 Welchen Einfluss hat die Regulierung auf Umweltgradienten entlang von Fließgewässersystemen?

Wir untersuchten verschiedene Sedimentmerkmale wie die Verteilung der Korngrößen und die innere Kolmation (s. Kap. 7; Dubuis *et al.* 2023). Dabei beobachteten wir eine Zunahme der Feinsedimente und der Kolmation an Standorten unterhalb von Strukturen (Querbauwerken), die die Bewegung des Sohlenmaterials blockierten. Entlang der Glatt wies der oberste Standort (G.A) noch eine natürliche Sedimentsignatur auf, wobei sich dies flussabwärts nach dem

**Abbildung 15**

Methode zur Schätzung des Biomasse-Exports in Form von schlüpfenden Wasserinsekten. Pro Flussabschnitt wurden drei schwimmende Emergenzfallen verwendet (Fläche 0,25 m<sup>2</sup>), um verschiedene Habitattypen zu beproben: (1) Schnelle, (2) Flachwasser und (3) Kolk. (4) Emergenzfallen, bestehend aus (5) Fangflasche, (6) Netz (Maschenweite 100 µm) und (7) Styropor-Schwimmkörper. (8) Bereich, in dem schlüpfende Insekten gesammelt werden. Gesammelte Insekten: (9) Trichoptera (Köcherfliegen), (10) Diptera (Mücken), (11) Plecoptera (Steinfliegen), (12) Ephemeroptera ( Eintagsfliegen).



Quelle: Eawag

ersten Querbauwerk (G.B) rasch änderte. Diese Veränderung der Habitateigenschaften wird in einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) dargestellt (Abb. 14b). Darin weisen Standorte, die nahe beieinander abgebildet sind, ähnliche Sohleigenschaften auf, und Pfeile stellen verschiedene Ursachen für die Unterschiede dar. Standort G.A wird in die Nähe der natürlichen Standorte des Neckers projiziert, da er weniger Feinmaterial aufweist, während G.B und die anderen Standorte der Glatt aufgrund ihres höheren Kolmationsgrads weiter davon entfernt sind.

### 3.2.2 Wie beeinflusst die Beeinträchtigung der Fliessgewässer den aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfer?

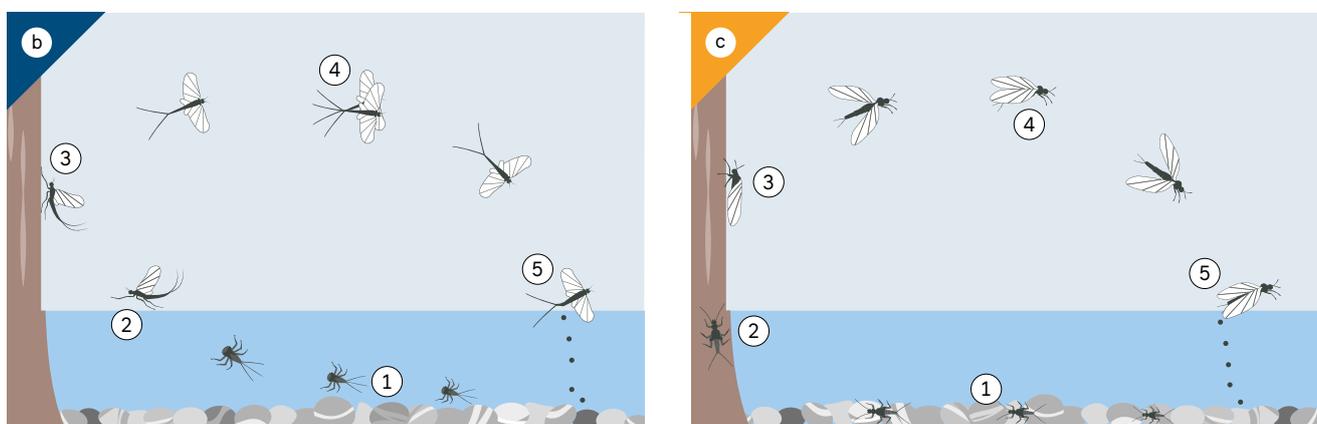
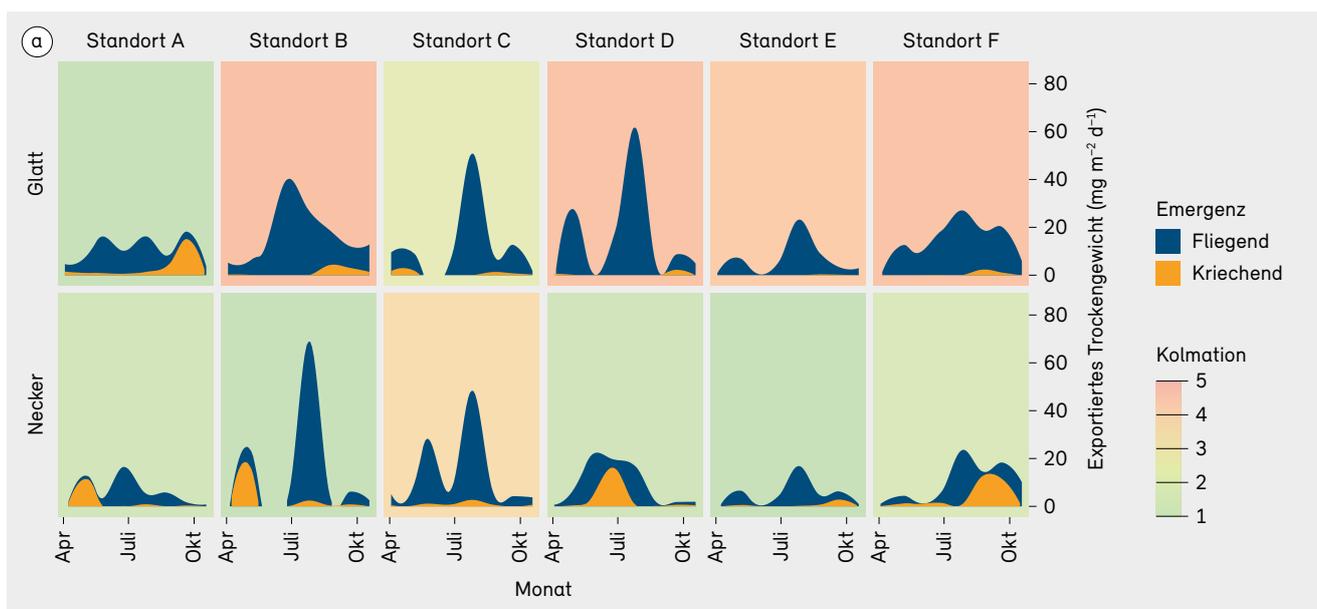
Eine Regulierung des Abflusses führt häufig zu einer Beeinträchtigung des Lebensraums in Fliessgewässern, was in der Regel zu Veränderungen der Lebensgemeinschaften und der Abundanz von Makroinvertebraten in regulierten Gewässern im Vergleich zu frei fliessenden Wasserläufen führt. Folglich unterscheiden sich auch die Qualität und Quantität des Transfers aquatischer Ressourcen in die angrenzenden Auengebiete. Wir verglichen den Biomasse-Export von Insekten entlang eines Gradienten

der Sohlenbeeinträchtigung in der Glatt und im Necker, wobei wir die Kolmation stellvertretend für die Beeinträchtigung verwendet haben (s. Abb. 15 für die Methoden und Abb. 16 für die Ergebnisse). Mit zunehmender Kolmation wurde kein allgemeiner Rückgang des Biomasse-Exports beobachtet, jedoch veränderte sich die Zusammensetzung der Gemeinschaft – an der Glatt schlüpften weniger

Steinfliegen als am Necker. Während an den meisten Standorten entlang der Glatt eine gewisse Emergenz von relativ häufigen Steinfliegenarten (*Leuctra* spp.) im Herbst zu beobachten war, fehlte im Frühjahr eine solche wichtige Emergenzspitze weitgehend; nur an den Standorten G.A und G.C wurde eine geringe Emergenz verzeichnet (Abb. 16a). Das Ausbleiben der Emergenzspitze im Frühjahr

**Abbildung 16**

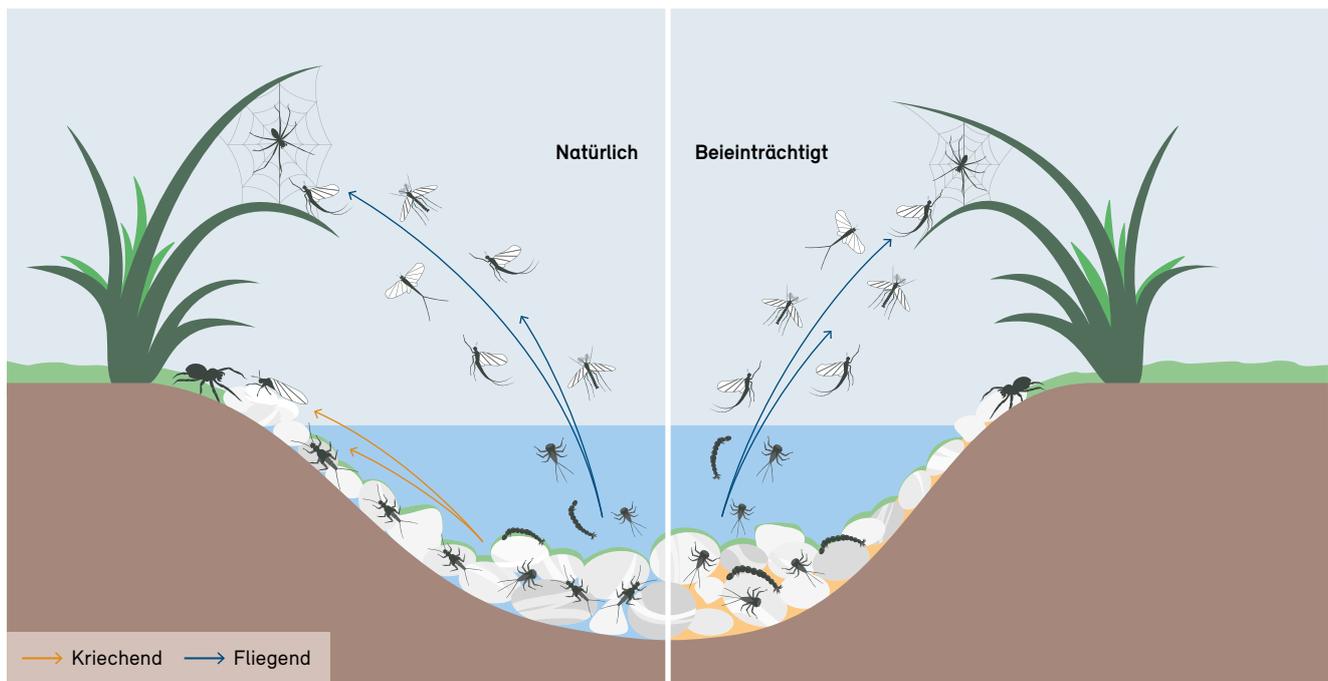
(a) Schätzung des Biomasse-Exports in Form von schlüpfenden kriechenden (z. B. Steinfliege) und fliegenden Wasserinsekten (z. B. Köcherfliege, Eintagsfliege) entlang der Glatt (obere Reihe) und des Neckers (untere Reihe). Die Standorte (A–F) entsprechen denjenigen auf der Karte in Abbildung 14. (b und c) Illustration der verschiedenen Schlupfformen: (b) fliegend versus (c) kriechend.



Quelle: (b) angepasst aus [www.delawariverguide.net/insects/mayflycyc.html](http://www.delawariverguide.net/insects/mayflycyc.html); (c) angepasst aus [www.delawariverguide.net/insects/stoneflycyc.html](http://www.delawariverguide.net/insects/stoneflycyc.html)

**Abbildung 17**

Eine mögliche Auswirkung der Beeinträchtigung von Fließgewässern auf den aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfer. Der Verlust von Steinfliegen in beeinträchtigten Fließgewässern führt zum Verlust einer spezifischen Kopplung (gelbe Pfeile) zwischen Wasser und angrenzendem Uferbereich.



Quelle: Eawag

betrifft Steinfliegenfamilien, die empfindlicher auf Beeinträchtigungen wie etwa eine erhöhte Feinsedimentfracht reagieren (Extence *et al.* 2013). Der daraus folgende Mangel an Steinfliegen kann erhebliche Auswirkungen haben, da diese Insekten ein anderes Schlupfverhalten zeigen als andere Wasserinsekten wie Eintagsfliegen und Köcherfliegen, die als flugfähige Tiere direkt aus dem Wasser schlüpfen (s. Abb. 16b). Im Gegensatz dazu kriechen Steinfliegen vor dem Schlüpfen ans Ufer (Abb. 16c) und stellen somit eine wichtige aquatisch-terrestrische Kopplung zu bodenbewohnenden Räubern her, die in Fließgewässern ohne Steinfliegen verloren geht (Abb. 17).

### 3.2.3 Übertragen schlüpfende Insekten PUFAs und gibt es einen Unterschied zwischen den Fließgewässern?

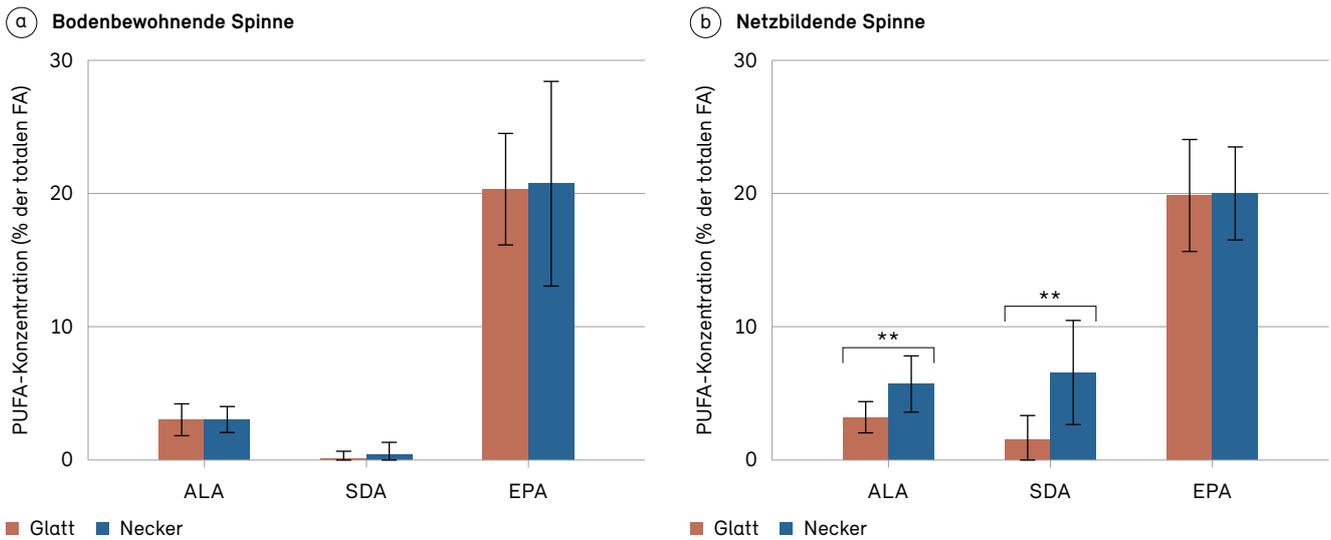
EPA und andere PUFAs (d. h. ALA + SDA), die vorwiegend in aquatischen Lebensräumen vorkommen, waren in schlüpfenden Insekten (EPA: 15–25 % der Gesamtfettsäuren) und in Uferspinnen sowohl an der Glatt als auch am Necker in beträchtlichen Konzentrationen vorhanden (Abb. 18).

Netzbildende und bodenbewohnende Spinnen wiesen eine ähnliche ALA-Konzentration (~4 % der Gesamtfettsäuren) und eine sehr hohe EPA-Konzentration (~15 %) im Vergleich zu anderen terrestrischen Organismen auf. Die SDA-Konzentration war bei netzbildenden Spinnen höher (1,4 %) als bei bodenbewohnenden (0,3 %), was darauf hindeutet, dass das Jagdverhalten im Transfer der Ressourcen eine Rolle spielt.

Wir verglichen die PUFA-Konzentrationen in Uferspinnen der beiden Fließgewässersysteme im Frühling. Für die bodenbewohnenden Spinnen konnten wir keine signifikanten Unterschiede feststellen. Demgegenüber wiesen netzbildende Spinnen entlang des Neckers mehr SDA und ALA auf als entlang der Glatt, während bei der EPA-Konzentration kein signifikanter Unterschied beobachtet wurde (Abb. 18). Wir untersuchten zudem die PUFA-Konzentrationen in schlüpfenden Insekten und Algenaufwuchs auf Steinblöcken und fanden vergleichbare Muster, vor allem für SDA. Offenbar manifestiert sich der Unterschied zwischen den Systemen bereits an der Basis der Nahrungskette, möglicherweise aufgrund unterschiedlicher Umweltbedingungen.

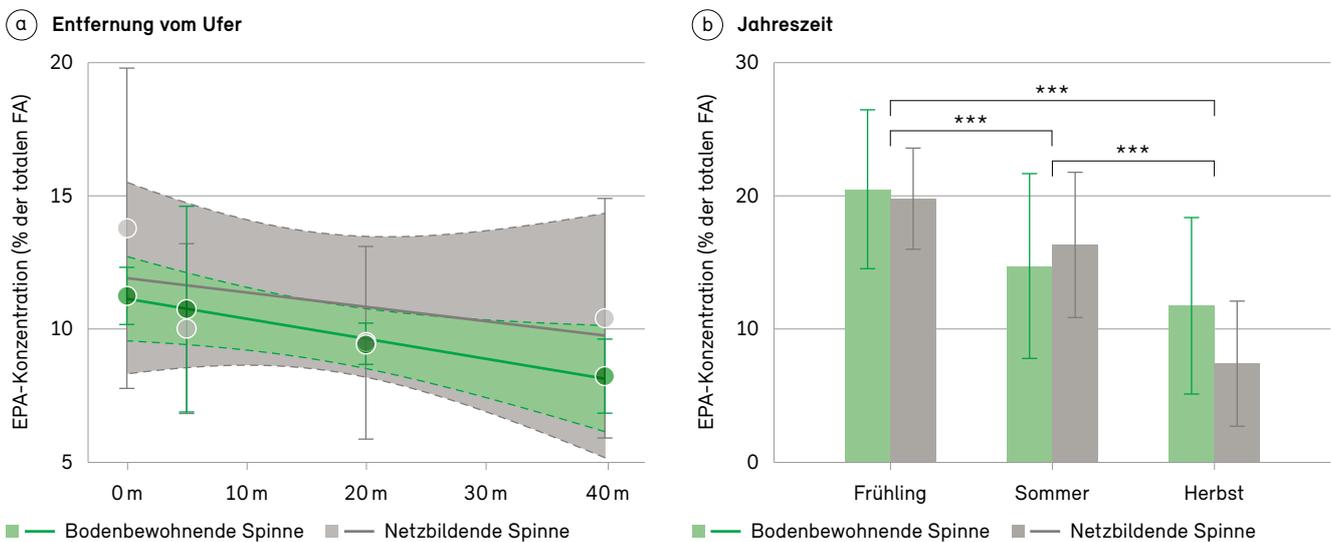
**Abbildung 18**

Mittlere Konzentration ( $\pm$  Standardfehler) an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs: ALA, SDA und EPA; s. Tab. 2), ausgedrückt als Prozentsatz der Gesamtfettsäurekonzentration (FA) in (a) bodenbewohnenden und (b) netzbildenden Spinnen an der Glatt und am Necker. Sternchen bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Fließgewässersystemen bei  $p < 0,01$ .



**Abbildung 19**

(a) Mittlere EPA-Konzentration ( $\pm$  Standardfehler) der bodenbewohnenden und netzbildenden Spinnen (Standort N.F) in unterschiedlicher Entfernung vom Flussufer. Die schattierten Flächen stellen das 95 %-Vertrauensintervall dar. (b) Saisonale Unterschiede in der mittleren EPA-Konzentration ( $\pm$  Standardfehler) der beiden Spinnentypen, die die Bedeutung der Emergenz im Frühling deutlich machen. Sternchen bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahreszeiten ( $*** p < 0,001$ ).



Daraus schlossen wir, dass vor allem die Produktion und der Transfer von SDA entlang der Glatt sehr begrenzt waren, während das ernährungsphysiologisch wichtige EPA in vergleichbaren Mengen weitergegeben wurde.

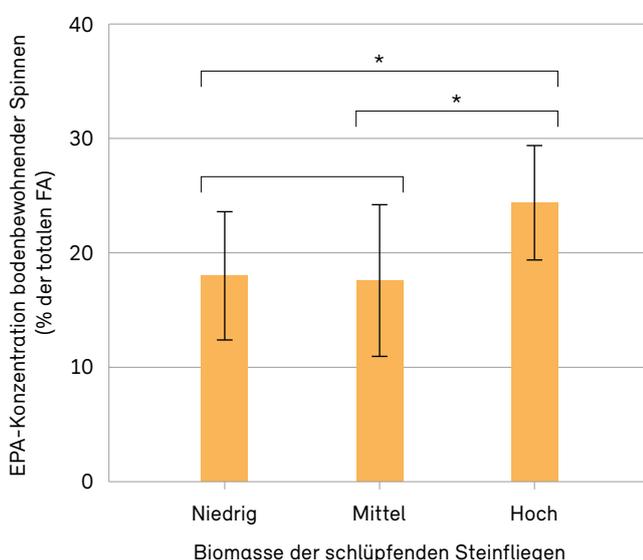
Ein genauerer Blick auf die EPA-Konzentration der Uferspinnen lässt einige interessante Muster erkennen. Zum einen war die Konzentration von der Entfernung zum Ufer abhängig. Am Standort N.F, wo die Spinnen in unterschiedlicher Entfernung vom Ufer beprobt wurden, nahm die EPA-Konzentration mit zunehmender Distanz ab, wobei die Werte bereits 40 bis 50 m vom Gerinne entfernt tiefer waren, vor allem bei bodenbewohnenden Spinnen (Abb. 19a). Zwar waren die Unterschiede aufgrund der relativ kleinen Stichprobengröße nicht signifikant, aber dieses Muster stimmt mit früheren Ergebnissen überein (Chari *et al.* 2020) und zeigt, dass der Zugang zu Wasserinsekten für den Transfer und die Anreicherung von EPA von Bedeutung ist. Zum anderen war, mit Blick auf die jahreszeitlichen Unterschiede, die EPA-Konzentration bei beiden Spinnentypen im Frühling am höchsten (Abb. 19b). Dies deutet darauf hin, dass

schlüpfende Wasserinsekten für den Transfer von PUFAs in Uferbereiche und Auen im Frühling besonders wichtig sind.

Bezüglich des gesamten EPA-Exports/-Transfers fanden wir keinen signifikanten Unterschied zwischen dem natürlichen Necker und der stärker beeinträchtigten Glatt. Die unterschiedliche Zusammensetzung der Makroinvertebraten in den beiden Fließgewässern und die geringere Emergenz von Steinfliegen in der Glatt (s. Kap. 3.2.2) veränderten jedoch die Verfügbarkeit von EPA für die unterschiedlichen terrestrischen Räuber. Während netzbildende Spinnen weitgehend unbeeinflusst blieben, war die EPA-Konzentration der bodenbewohnenden Spinnen an beeinträchtigten Standorten, an denen im Frühling weniger Steinfliegen schlüpfen, geringer (Abb. 20). Wie bereits erwähnt, folgen Steinfliegen einer spezifischen «Schlüpfform», bei der sie ans Ufer kriechen. Dieses Verhalten macht sie zu einer leichten Beute für bodenbewohnende Räuber, während andere Insekten, die fliegend schlüpfen, viel schwieriger zu fangen sind. Da die EPA-Konzentration in bodenbewohnenden Spinnen mit der Immunfunktion verbunden ist (Fritz *et al.* 2017), kann ein geringerer Zugang zu EPA, der sich im vorliegenden Fall aus einer geringeren Emergenz von Steinfliegen ergibt, negative Auswirkungen auf das Überleben der Räuber haben. Wichtig ist der Hinweis darauf, dass der Rückgang der Steinfliegen ein allgemeines Problem in beeinträchtigten Fließgewässern ist; er schwächt die aquatisch-terrestrische Kopplung nicht nur für Uferspinnen, sondern möglicherweise auch für andere bodenbewohnende terrestrische Räuber wie Eidechsen und Käfer.

#### Abbildung 20

EPA-Konzentration in bodenbewohnenden Spinnen im Frühling in Abhängigkeit der Biomasse der schlüpfenden Steinfliegen. Kategorien der Steinfliegen-Biomasse: niedrig = Trockenmasse  $< 0,25 \text{ mg m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ , mittel  $\leq 1 \text{ mg m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ , hoch  $> 1 \text{ mg m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ . Sternchen bezeichnen signifikante Unterschiede bei  $p < 0,05$ .



Quelle: Eawag

### 3.3 Bedeutung für das Fließgewässermanagement

Unsere Untersuchungen zeigen, dass sowohl schlüpfende Wasserinsekten als auch Uferspinnen beträchtliche Konzentrationen von EPA enthalten und somit zentrale Bindeglieder sind, die den Transfer von EPA in die terrestrischen Systeme fördern. Gewässer, die einen aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfer ermöglichen, sowie Uferbereiche und Auengebiete, die den Hauptlebensraum von Uferspinnen bilden, müssen in einem guten ökologischen Zustand sein, um gesunde Populationen zu erhalten. Vor allem in Uferbereichen hängt die Dichte der netzbildenden Spinnen von der Vegetation wie Sträuchern

und Bäumen ab (Laeser *et al.* 2005), und die PUFA-Konzentration in Spinnen ist höher, wenn ein Pufferstreifen am Ufer vorhanden ist (Ramberg *et al.* 2020). Die Erhaltung der Uferbereiche, einschliesslich eines naturnahen Gewässerlaufs ist deshalb von entscheidender Bedeutung für die Erhaltung der Energie- und Stoffflüsse zwischen Wasser und Land.

Forschungsarbeiten zur aquatisch-terrestrischen Kopplung bieten eine Chance, verschiedene Interessengruppen über das Management von Uferbereichen und Auen zu informieren und sie einzubinden, wie von Muehlbauer *et al.* (2019) vorgeschlagen. Revitalisierungsprojekte sollten eine ganzheitlichere Perspektive verfolgen, d. h. terrestrische und aquatische Ökosysteme sollten gekoppelt betrachtet

werden. Zum Beispiel kann ein Vogelschutzprojekt von geringem Wert sein, wenn die nahegelegenen Gewässer in schlechtem Zustand sind und den benötigten aquatisch-terrestrischen Nahrungstransfer, z. B. von PUFAs, nicht liefern können. In solchen Fällen sollte der PUFA-Export als wichtige Ökosystemdienstleistung betrachtet werden. Ebenso ist es hier besonders wichtig, den allgemeinen Rückgang der Steinfliegen zu stoppen, die einen besonderen Exportweg bilden, der für bodenbewohnende terrestrische Räuber leicht zugänglich ist. Steinfliegen können in Fliessgewässern, die in einem schlechten ökologischen Zustand sind, nicht leben. Das bedeutet auch, dass diese Kopplung und der damit verbundene Energie- und Stofffluss über Ökosystemgrenzen hinweg in beeinträchtigten Fliessgewässerlebensräumen verloren geht.

### Box 6: In der Praxis – Der Gewässerraum als nutzbringende Verbindung zwischen Gewässer und Umland

Vinzenz Maurer, Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Gewässerökologie

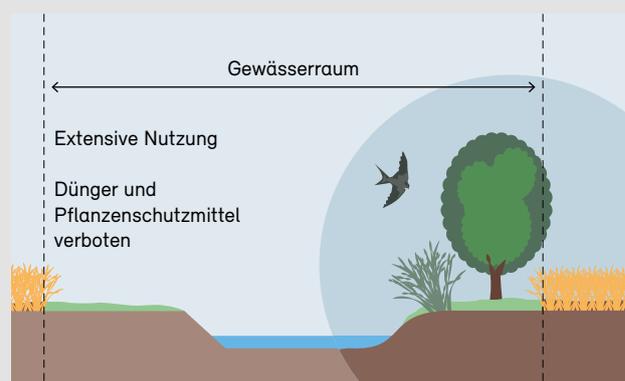
Kantone und Gemeinden sind aktuell daran, den Gewässerraum festzulegen (Abb. 21). Dabei sind vor allem der Raum für den Hochwasserschutz und der Schutz der Gewässer und der Gewässerorganismen vor Belastungen aus der Landwirtschaft wichtige Themen. Die meisten Diskussionen drehen sich aber um den Verlust an landwirtschaftlicher Nutzfläche. Kaum je Thema ist dagegen der Nutzen, den ein naturnaher Uferbereich für die angrenzende Landwirtschaftsfläche bieten kann.

Naturnahe und vielfältig strukturierte Ufer weisen eine vielfältige Lebensgemeinschaft an Algen, Wasserpflanzen und Tieren auf, die, wie die vorliegenden Untersuchungen schön zeigen, wichtige Substanzen produzieren, die über die schlüpfenden Insekten weit über die Gewässer hinaus verteilt werden. Und davon profitieren neben den untersuchten Spinnen auch viele andere Lebewesen, die dann auch in der Landwirtschaftsfläche auf die Jagd nach «Schädlingen» gehen.

Wir sollten die Chance nutzen, die der Gewässerraum uns bietet! Lassen wir die Gewässer selber vielfältige Uferstrukturen bilden, lassen wir Übergänge für die schlüpfenden Insekten entstehen und eine reich strukturierte Ufervegetation wachsen mit vielen Habitaten für Spinnen, Vögel und Igel, die vom Nahrungsangebot an Wasserinsekten profitieren können. Und schätzen wir den Nutzen, den diese natürlichen Schädlingsbekämpfer auch für die Kulturen bringen.

#### Abbildung 21

Ein Beispiel für den Gewässerraum, eine im praktischen Fliessgewässermanagement häufig verwendete Definition des Raumbedarfs für Fliessgewässer.



Quelle: AWA (2020)