

Florian Altermatt

Die ökologische Funktion der Gewässerräume

Résumé ———> 66 / Riassunto ———> 66

I.	Einleitung	52
II.	Die Bedeutung des Gewässerraums als Lebensraum	54
III.	Die Bedeutung des Gewässerraums für Land-Wasser Interaktionen (Stoffkreisläufe)	55
IV.	Weitere ökologische Bedeutungen des Gewässerraums	59
V.	Wie breit muss der Gewässerraum aus ökologischer Sicht sein?	60
VI.	Schlussfolgerungen	62
	Literaturverzeichnis	63

Zusammenfassung

Die Festlegung des Gewässerraums erfolgt, um unter anderem die vom Gesetzgeber erforderte «natürliche Funktion» der Gewässer zu gewährleisten. Dies beinhaltet sowohl hydro-geomorphologische als auch ökologische Aspekte, welche entsprechende Ökosystemleistungen für den Menschen ermöglichen. Die ökologische Funktion des Gewässerraums selbst beinhaltet dessen Bedeutung als Lebensraum für Organismen (Schutz und Erhalt Biodiversität), dessen Bedeutung für Stoffflüsse zwischen aquatischen und terrestrischen Lebensräumen (Koppelung aquatischer und terrestrischer Stoffflüsse und Puffer gegenüber Einträgen unerwünschter Stoffe), und dessen Rolle als Korridor für die Ausbreitung von Organismen. All diese Funktionen werden durch grössere und stärker vernetzte Gewässerräume besser wahrgenommen. Bei kleinen und kleinsten Gewässern hat der Gewässerraum eine grosse Bedeutung für die aquatisch-terrestrischen Stoffflüsse, während bei grösseren Gewässern seine Bedeutung vor allem in der Schaffung von Habitaten, der Ermöglichung von geomorphologischen Dynamiken und im Hochwasserschutz liegt. Umfassende Studien zeigen, dass die in der Gesetzgebung durch die Schlüsselkurve geforderte minimal auszuweisende Gewässerraumbreite aus ökologischer Sicht als absolute Minimalgrösse zu betrachten ist, um die geforderte natürliche Funktion zu gewährleisten. Spezifisch für die umfassende Bedeutung des Gewässerraums als Lebensraum, als Puffer gegenüber unerwünschten Stoffeinträgen und als Regulator der Gewässertemperatur wären teilweise sogar deutlich grössere Gewässerräume notwendig. Es werden die wichtigsten ökologischen Erkenntnisse zusammengefasst und entsprechende Empfehlungen für die Umsetzung gemacht.

I. Einleitung

Mit über 65 000 km Länge durchziehen Fliessgewässer die gesamte Fläche der Schweiz. Als einfaches Bildnis ist das Gewässernetz mit dem (Blut-)Gefässsystem eines Organismus vergleichbar, was schon Leonardo da Vinci (1452–1519) erkannte: Es handelt sich um ein essentielles Netzwerk, welches eng mit der terrestrischen Landschaft verzahnt ist, es findet ein Austausch von Stoffen zwischen dem Gewässernetz und der umliegenden Landschaft statt, und die Mehrheit des Gewässernetzwerkes besteht aus feinen bis feinsten Bahnen (ALTERMATT, 2013). Dieses Netzwerk, und die enge Verknüpfung mit den terrestrischen Lebensräumen, garantiert essentielle Ökosystemleistungen und trägt zum Erhalt der Artenvielfalt und Biodiversität bei.

Gewässer gehören zu den artenreichsten Lebensräumen weltweit. Sie bedecken weniger als 1 Prozent der Landfläche, beherbergen aber rund 10 Prozent aller bekannten Arten. In der Schweiz kommen rund 80 Prozent aller bekannten Pflanzen- und Tierarten in Gewässern und den direkt anliegenden Ufer- und Auenlebensräumen vor. Diese Lebensräume, die darin vorkommenden Organismen und die natürlichen ökologischen Funktionen sind jedoch bedroht (IPBES, 2019). Der Hauptgrund ist eine Veränderung der Erde durch den Menschen in einem noch nie dagewesenen Mass. Dies gefährdet die Stabilität der Ökosysteme und die Lebensgrundlage der Menschheit selbst (IPBES, 2019). Aufgrund einer umfangreichen Studie unter der Leitung des *Stockholm Resilience Center* sind verschiede-

ne ökologische Belastungsgrenzen festgelegt worden (ROCKSTRÖM et al., 2009). Ein Überschreiten dieser Belastungsgrenzen kann schon kurz- bis mittelfristig desaströse Konsequenzen für die Menschheit haben. Die grössten Veränderungen und Überschreitungen dieser Belastungsgrenzen betreffen den Biodiversitätsverlust, den Klimawandel und die Veränderung biochemischer Kreisläufe (insbesondere Stickstoff und Phosphor). Diese Veränderungen sind in allen Ökosystemen nachzuweisen, aber die Gewässer gehören zu den am stärksten negativ beeinflussten Ökosystemen. Eine globale Untersuchung zeigt, dass der grösste Biodiversitätsrückgang in Gewässern zu beobachten ist, und dass in Süsswasserhabitaten die Populationen von Tieren seit 1970 um bis zu 70–93 Prozent zurückgegangen sind (*Living Planet Index*; WWF, 2018). Dies betrifft auch die Schweiz, wie eine breit abgestützte Studie des Forum Biodiversität der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften zeigt (FISCHER et al., 2015). Es wird festgehalten, dass kein anderer Lebensraum so stark unter den Aktivitäten des Menschen gelitten hat wie die Gewässer. Beispielsweise sind seit 1850 70 Prozent der Auenhabitate zerstört worden und verloren gegangen. Bei den meisten Seen der Schweiz sind > 50 Prozent der Ufer verbaut, und können ihre ökologische Funktion als Schnittstelle zwischen aquatischen und terrestrischen Lebensräumen nicht wahrnehmen. An einzelnen Seen (z. B. Genfersee) sind nur noch 3 Prozent des Ufers in einem natürlichen Zustand. Zudem sind die Gewässer stark fragmentiert. Rund 101 000 künstliche Hindernisse mit einer Höhe von über 50 cm zerteilen das Gewässernetz in eine Vielzahl kleiner Teilstücke, welche von vielen Organismen nicht überwindbar sind, so dass das Schweizer Gewässernetz zu den weltweit am stärksten fragmentierten gehören dürfte.

Die Verluste der Biodiversität und die Veränderung der Ökosysteme beeinflussen auch Ökosystemleistungen. *Ökosystemleistungen sind Vorteile* («Benefits»), welche der Mensch von Ökosystemen bezieht. Dies beinhaltet unterstützende Dienstleistungen (z. B. Nährstoffkreislauf); bereitstellende Dienstleistungen (z. B. Nahrung und Trinkwasser); regulierende Dienstleistungen (z. B. Schutz vor Überschwemmungen); und kulturelle Dienstleistungen (z. B. Erholung und Tourismus). Der erste umfassende Bericht des Weltbiodiversitätsrats der Vereinten Nationen (IPBES, 2019) hält fest, dass praktisch alle Ökosystemleistungen einen negativen Trend haben, und dass die Nachhaltigkeitsziele gerade im Bereich des Biodiversitätserhalt nicht erreicht werden. Bei Gewässern sind die natürlichen ökologischen Funktionen und auch die Ökosystemleistungen sowohl aus lokaler wie auch aus globaler Perspektive bedroht (VÖRÖSMARTY et al., 2010).

Was bedeutet dies für den Gewässerschutz und die Festlegung des Gewässerraums? Das Gewässerschutzgesetz (GSchG)¹ hält in Art. 36a fest, dass der Gewässerraum so festzulegen ist, dass er «die natürlichen Funktionen der Gewässer» gewährleistet. Dies beinhaltet unter anderem die Ausbildung naturnaher Strukturvielfalt in Lebensräumen, die Entwicklung standorttypischer Lebensgemeinschaften, die dynamische Entwicklung des Gewässers und die Vernetzung von Lebensräumen, sowie den Transport von Wasser und Geschiebe und die Erneuerung des Grundwassers. Diese natürlichen Funktionen umfassen also einerseits hydro-geomorphologische Aspekte, andererseits auch ökologische Aspekte; letztere sind Gegenstand dieses Artikels.

1 SR 814.20.

Der Gewässerraum stellt aus ökologischer Sicht die Schnittstelle aquatischer und terrestrischer Lebensräume dar. Er hat verschiedene essentielle *ökologische* Funktionen. Dazu gehört erstens seine Bedeutung als Lebensraum an sich (Erhalt Biodiversität). Zweitens ist der Gewässerraum entscheidend für Stoffkreisläufe und Land-Wasser Interaktionen, wobei er einerseits erwünschte Stoffkreisläufe ermöglicht, andererseits als Puffer gegenüber unerwünschten Stoffeinträgen ins Gewässer wirkt. Drittens fungiert er als wichtiger Korridor für die räumliche Ausbreitung von Organismen. Viertens beruhen verschiedene Ökosystemleistungen (z. B. Hochwasserschutz, Naherholung, Fischerei) auf einem funktionierenden und ausreichendem Gewässerraum. Im Folgenden werden die ersten beiden Punkte detailliert im Kontext der ökologischen Bedeutung und Funktion des Gewässerraums diskutiert.

II. Die Bedeutung des Gewässerraums als Lebensraum

Der Gewässerraum hat eine grosse Bedeutung für den Erhalt der Biodiversität. Dies betrifft die drei wichtigsten Aspekte der Biodiversität, nämlich die Vielfalt der Arten, die Vielfalt der Lebensräume und die genetische Vielfalt. Diese Vielfalt ist essentiell für das Funktionieren und die Resilienz von Ökosystemen. Es ist wissenschaftlich breit abgestützt, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der Biodiversität und dem Funktionieren eines Ökosystems gibt (CARDINALE et al., 2012; TILMAN et al., 2014). Dies beinhaltet beispielsweise eine höhere Biomasseproduktion oder eine höhere Resilienz gegenüber Störungen («Versicherungseffekt») in Lebensräumen mit einer höheren Biodiversität. Die Prozesse, welche die Biodiversität auf genetischer Ebene und Artebene generieren und erhalten, sind grundsätzlich vergleichbar (VELLEND, 2010), so dass bei der Erhaltung dieser Prozesse mehrere Aspekte der Biodiversität profitieren.

Eine wichtige Erkenntnis ist, dass für viele Organismen der Lebensraum in «Gewässern» nicht nur das Gewässer selbst ist, sondern eng an terrestrische Elemente gekoppelt ist. Aus ökologischer Sicht stellt der Gewässerraum als Ganzes die funktionelle Einheit dar. Dies beinhaltet nebst den wasserführenden Bereichen auch Ufergehölz, Kiesbänke, Totholz, Ufervegetation etc. Ein Gewässerökosystem wird durch ein Mosaik und die Dynamik in Raum und Zeit bezüglich der Ausprägung und Verteilung dieser Elemente charakterisiert. Das Vorhandensein der verschiedenen Elemente ist entscheidend für den Lebenszyklus und das Vorkommen vieler Organismen, welche an mehrere dieser Lebensraumelemente gebunden sind. Beispielsweise entwickeln sich Amphibienlarven im Wasser, aber sind als Adulttiere meist im terrestrischen Bereich anzutreffen. Ebenso entwickeln sich viele Insekten im Gewässer, wo deren Larven eine wichtige Nahrungsgrundlage für Fische sind. Die adulten Insekten sind anschliessend terrestrisch, und ein wichtiger Teil der Nahrungskette, beispielsweise für Vögel. Als Schnittstelle aquatischer und terrestrischer Lebensraumelemente kann die Bedeutung des Gewässerraums als Lebensraum kaum überbewertet werden, was auch durch die sehr hohe Zahl (84 Prozent) aller rund 50 000 in der Schweiz vorkommenden Pflanzen- und Tierarten verdeutlicht wird, welche in diesem (Auen-)Lebensraum vorkommen (RUST-DUBIÉ et al., 2006; FISCHER et al., 2015).

Es stellt sich nun die Frage, wie gross der Gewässerraum aus ökologischer Sicht sein sollte, um seine Funktion als Lebensraum für Pflanzen und Tie-

re wahrzunehmen. Dazu gibt es in der Ökologie Konzepte, welche sowohl durch mathematische Modelle als auch experimentell und empirisch breit abgestützt sind (MAC ARTHUR & WILSON, 1967). In ihrer einfachsten Version beschreiben diese Modelle, wie viele Arten in einem Lebensraumfragment in Abhängigkeit von dessen Grösse und Isolation erwartet werden.

Die räumliche Isolation eines Lebensraumfragmentes, also die Distanz bis zum nächsten gleichartigen Fragment, beeinflusst die Kolonisierungsrate: Je isolierter ein Fragment, desto geringere die Immigration / Besiedelung durch mobile Organismen. Die Grösse eines Lebensraumfragmentes beeinflusst zudem die Aussterberate: Je grösser ein Lebensraumfragment, desto geringer ist die lokale Aussterberate. Die zu erwartende Anzahl Arten in einem Lebensraumfragment ist folgenderweise eine Balance zwischen der grössenspezifischen Immigrationsrate und Extinktionsrate (MACARTHUR & WILSON, 1967). In kleinen, isolierten Lebensraumfragmenten werden also am wenigsten Arten erwartet, respektive können dort vorkommen, während in grossen und räumlich gut verbundenen Lebensraumfragmenten am meisten Arten vorkommen. Was heisst dies für den Gewässerraum? Es bedeutet, dass die Grösse und räumliche Lage des Ausscheidungsbereichs einen grossen Einfluss auf die zu erwartende biologische Vielfalt haben. Aus ökologischer Sicht ist «grösser» im Fall der ökologischen Bedeutung des Gewässerraums als Lebensraum für Arten wirklich immer besser, «vernetzter» in der Regel auch; in beiden Fällen werden im Schnitt jeweils mehr Arten vorkommen können. Das gleiche gilt entsprechend auch für Revitalisierungen von Gewässern: Je grösser und räumlicher verknüpfter diese sind, desto mehr Arten werden dort vorkommen können (SUNDERMANN et al., 2011). Eine genügend grosse Ausscheidung eines extensiv bewirtschafteten Gewässerraums leistet einerseits einen wichtigen Beitrag an einen ökologisch wertvollen Lebensraum, andererseits ist die Ausscheidung auch eine essentielle Grundlage für entsprechende zukünftige Revitalisierungen.

Zusammenfassend kann die Wichtigkeit der gesamten im Gewässerraum enthaltenen Fläche als Lebensraum an sich hervorgehoben werden. Dies berücksichtigt, dass natürliche Gewässer dynamische und vielgestaltige Lebensräume sind. Zentral für eine hohe Biodiversität ist ein Mosaik von unterschiedlichen Lebensraumtypen und eine enge Verzahnung derselben. Grössere und besser vernetzte Habitate sind grundsätzlich artenreicher.

III. Die Bedeutung des Gewässerraums für Land-Wasser Interaktionen (Stoffkreisläufe)

Eine weitere wichtige ökologische Bedeutung hat der Gewässerraum bezüglich Stoffkreisläufen zwischen aquatischen und terrestrischen Ökosystemen (SITTERS et al., 2015; WEBB et al., 2019). Es ist wissenschaftlich gut dokumentiert, dass terrestrische und aquatische Lebensräume über den Austausch von Organismen, Ressourcen und Nährstoffen eng gekoppelt sind. Dies beinhaltet einerseits den Austausch von organischem Material (organischer Kohlenstoff) und Makronährstoffen (Stickstoff und Phosphor), andererseits gibt es auch einen Austausch von Mikronährstoffen oder Schadstoffen (z. B. Pflanzenschutzmittel). Der Austausch kann sowohl uni- wie auch bidirektional sein. Typische und gut dokumentierte Stoffaustausche zwischen aquatischen und terrestrischen Ökosystemen sind Emergenzen von aquatischen Insekten, welche ins terrestrische Nahrungsnetz

einfließen (entspricht einem Stickstoff-Fluss vom aquatischen ins terrestrischen Ökosystem) (MUEHLBAUER et al., 2014; SCHINDLER & SMITS, 2017); der Eintrag von pflanzlicher Biomasse, wie beispielsweise Laubstreu, vom terrestrischen ins aquatischen Ökosystem (entspricht einem Kohlenstoff-Fluss) (GOUNAND et al., 2018a; WEBB et al., 2019); oder der Eintrag von Dünger und Pflanzenschutzmittel aus terrestrischen in aquatische Habitate (SPYCHER et al., 2019). Diese Stoffflüsse können relativ grosse Effekte zwischen benachbarten Ökosystemen bewirken. Beispielsweise besteht in kleinen bis mittelgrossen Fließgewässern die lokal verfügbare Biomasse (organischer Kohlenstoff) mindestens zur Hälfte (und oft deutlich mehr) aus Kohlenstoffzuflüssen aus terrestrischen Ökosystemen, und nur ein kleiner Teil besteht aus lokal sequestriertem Kohlenstoff (GOUNAND et al., 2018a). Das heisst, dass die terrestrische Biomasse in diesen Bächen die Hauptgrundlage der Nahrungskette ist: Die Laubstreu wird von Mikroben und wirbellosen Tieren zersetzt, letztere stellen dann selbst die Nahrungsgrundlage für Fische und andere höhere Organismen dar. Ohne den konstanten und ausgeprägten Zufluss von terrestrischer Biomasse, vor allem Laubstreu aus Wäldern, würden aquatische Nahrungsketten in Bächen und kleinen Flüssen nicht funktionieren. Verschiedene Studien haben solche Stoffflüsse analysiert und zeigen, dass diese im Einzelfall bis zu 700 g C pro m² und Jahr betragen können (CARACO & COLE, 2004), wobei sich dies aus Detritus, Laubstreu und Totholz zusammensetzt. Ein weiterer wichtiger natürlicher Stofffluss ist die Verdriftung von Insekten, welche von einem Ökosystem ins andere gelangen und dort verenden. Dabei wurden Einträge von 450 mg pro m² und Tag vom Land ins Wasser (BAXTER et al. 2005), respektive 130 mg pro m² und Tag vom Wasser ins Land (JACKSON & FISCHER, 1986) gemessen. Die aus dem Wasser schlüpfenden Insekten können relativ weit ins Land hineingetragen werden, und die dortigen Nahrungsnetze positiv beeinflussen. So werden 50 Prozent von diesen Insekten etwa 1–13 m vom Gewässer aus in den Uferbereich verfrachtet, die restlichen 50 Prozent um bis zu mehrere hundert Meter darüber hinaus (MUEHLBAUER et al., 2014; SCHINDLER & SMITS, 2017). Sowohl die eingetragene Laubstreu als auch die eingetragenen Insekten bilden in den fokalen Lebensräumen einen wichtigen Bestandteil der Nahrungskette. Eine globale Analyse (Fig. 1 und 2) solcher Ökosystemkoppelungen zeigt, dass die Kohlenstoffeinträge aus terrestrischen Lebensräumen ins Wasser im Schnitt gleich gross sind wie der Kohlenstoffumsatz innerhalb des aquatischen Ökosystems selbst (z. B. Brutto-Primärproduktion) (GOUNAND et al., 2018a). In der Ökologie werden deshalb die einzelnen Ökosysteme (Gewässer, Wald, Wiese etc.) vermehrt in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit als sogenannte Meta-Ökosysteme betrachtet (GOUNAND et al., 2018b). Das bedeutet, dass die Grösse und Nutzung (oder Nutzungsänderung) in einem Ökosystem grosse Auswirkungen auf das benachbarte Ökosystem haben kann. Im Fall des Gewässerraums bedeutet dies vor allem, dass der Zustand respektive die Nutzung des terrestrischen Teils eine grosse Wirkung auf den Zustand des Gewässers selbst hat. Nur ein genügend grosser Gewässerraum kann diese Rolle wahrnehmen, respektive als Puffer gegenüber weiter vom Gewässer entfernten Landnutzungspraktiken wirken.

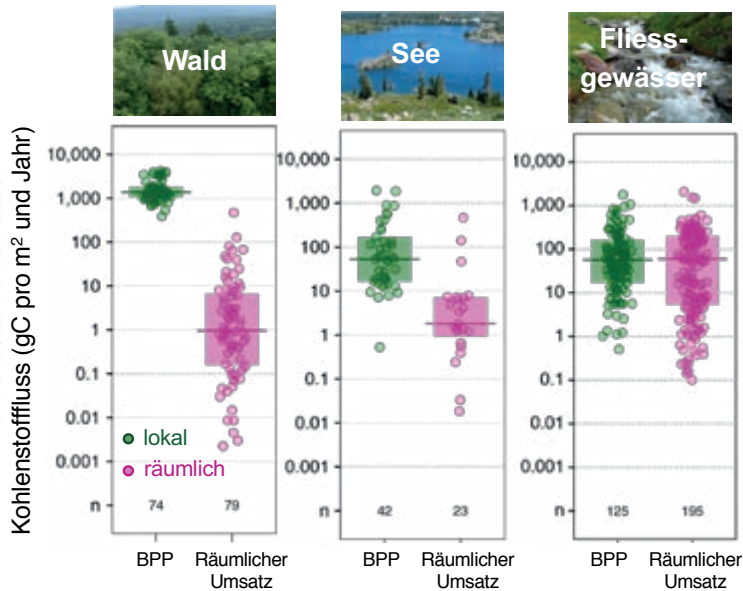


Fig. 1. Quantifizierung von Kohlenstoffflüssen innerhalb (BPP, Brutto-Primär Produktion, grün) und zwischen Ökosystemen (räumlicher Umsatz, pink). In terrestrischen Ökosystemen (z.B. Wald) sind die Kohlenstoffflüsse innerhalb des Systems deutlich höher als die Einträge aus anderen Systemen. In aquatischen Systemen (Seen, aber v.a. Fließgewässer) sind die Kohlenstoffeinträge aus terrestrischen Systemen etwa gleich wichtig wie die lokalen Kohlenstoffflüsse (modifiziert nach GOUNAND et al., 2018a).

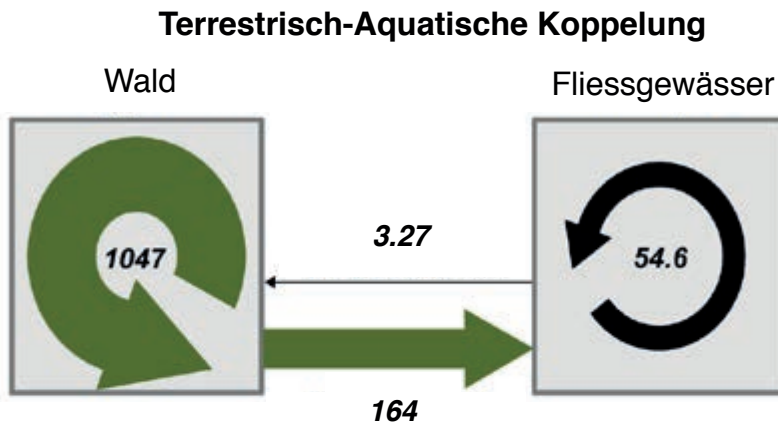


Fig. 2. Gut dokumentierte Meta-Ökosystemdynamiken und entsprechende Median-Kohlenstoffflüsse innerhalb und zwischen Ökosystemen sind in der räumlichen Koppelung von Wald (terrestrisch) und Fließgewässern (aquatisch) zu finden. Runde Pfeile entsprechen der Bruttoprimärproduktion, gerade Pfeile den Kohlenstoffflüssen zwischen den Ökosystemen. Die Dicke der Pfeile ist proportional einer zweifachen Quadratwurzeltransformation. Alle Werte in g C pro m² und Jahr (modifiziert nach GOUNAND et al., 2018a).

Die in der Gewässerschutzverordnung (GSchV)² festgelegte Schlüsselkurve zur Ermittlung des Gewässerraums muss aus Sicht der Stoffkreisläufe als absolute Minimalgrösse betrachtet werden. Die Schlüsselkurve mag einzelne Aspekte des Gewässerraums, wie beispielsweise seine Rolle im Hochwasserschutz und die entsprechende Skalierung der Gewässerraumbreite mit zunehmender Gewässergrösse, abbilden. Sie berücksichtigt jedoch nicht, dass Stoffflüsse zwischen terrestrischen und aquatischen Systemen nicht unbedingt nur mit der Grösse des Gewässers skalieren: Ein Stofffluss vom terrestrischen ins aquatische System wird nicht von der Breite des Gewässers, sondern vor allem von der Distanz zum Gewässer und der lokalen Topographie bestimmt (HAWES & SMITH, 2004; North Carolina Conservation Network, 2016). Gerade für kleine Gewässer ist dies entscheidend: Unerwünschte Stoffflüsse (z. B. Einträge von Pflanzenschutzmitteln) werden durch proportional zur Sohlenbreite zunehmende Gewässerräume nicht reduziert. Die Wirkung des Gewässerraums als Puffer gegenüber solchen Einträgen ist nämlich nicht proportional zur Sohlenbreite, sondern eher invers proportional, da die Einträge in kleinen Gewässern weniger verdünnt werden und dadurch einen prozentual grösseren Effekt auf den Wasserkörper haben. Letzteres ist auch ein wichtiges wissenschaftliches Argument für die ökologische Bedeutung und Notwendigkeit eines Gewässerraums für die kleinen bis kleinsten Gewässer: Entlang derer findet ein Grossteil des Stoffaustauschs mit der terrestrischen Landschaft statt. Genügend breite Gewässerräume auch bei kleinen und kleinsten Gewässern können eine Strategie sein, um die Einträge von Pflanzenschutzmitteln und Nährstoffen aus der Landwirtschaft zu reduzieren. Durch die enge Koppelung an die Gewässerangrenzende Landnutzung und den längenmässig sehr hohen Anteil an Gewässern kleiner bis kleinster Grösse sind diese Einträge quantitativ und qualitativ sehr bedeutend (SPYCHER et al., 2019), und können nachweislich stark negative Effekte auf die aquatischen Lebensgemeinschaften haben (BURDON et al., 2019).

Bezüglich der Breite und Ausgestaltung des Gewässerraums und den entsprechenden Auswirkungen auf die aquatischen Lebensgemeinschaften scheint vor allem die Bestockung durch Gehölz und Bäume eine entscheidende Rolle zu spielen. Verschiedene Studien zeigen, dass der Anteil Bäume und Breite des Gehölzstreifens, und die entsprechenden Stoffflüsse (Laubeintrag ins Gewässer) wichtig sind für die Biodiversität und Nahrungsnetze im Gewässer. Eine Studie von ENGLAND & ROSEMOND (2004) untersuchte, ob und wie Veränderungen in der Bewaldung innerhalb eines beidseitig 30,5 m breiten Pufferstreifens entlang kleiner und mittlerer Gewässer die aquatischen Nahrungsnetze beeinflussen. Sie fanden, dass schon relative geringe Änderung im Bedeckungsgrad (minus 10–15 Prozent) des Waldes das Nahrungsnetz, und spezifisch die Nahrungsnutzung von Fischen und Grosskrebsen, verändern. Diese Studie zeigt, dass der Bedeckungsgrad mit Wald in einem für kleine bis mittlere Gewässer in der Schweiz vergleichbaren, oder sogar deutlich grösseren, Gewässerraum einen direkten Einfluss auf das aquatische Ökosystem hat. In einer weiteren Langzeitstudie (WALLACE et al., 2015) wurde gezeigt, dass die Unterbindung des Laubstreueintrags in kleine bis mittlere Fließgewässer sowohl die Biomasse von wirbellosen Tieren als auch die Sekundärproduktion signifikant und substantiell reduziert (um den Faktor 2 bis 5). Das heisst, für das Nahrungsnetz in kleinen bis mittleren Fließ-

2 SR 814.201.

gewässern ist ein genügen breiter Gehölzstreifen wichtig. Die Studie von WALLACE et al. (2105) wurde über drei Jahrzehnte und auf der Skala des Ökosystems ausgeführt, und zeigt eindeutig die Notwendigkeit, die aquatisch-terrestrischen Stoffflüsse zu erhalten, respektive wiederherzustellen, um die natürlichen Funktionen von Bächen zu gewährleisten.

Nebst dieser Bedeutung für die Nahrungsnetze kann eine Bestockung/Bewaldung des Gewässerraums auch einen wichtigen Effekt auf das Temperaturregime der Gewässer haben: Die Beschattung der Bäume hat einen ausgeprägten kühlenden Effekt auf das Gewässer (DUGDALE et al., 2018). Dies ist gerade im Kontext des Klimawandels als wichtig zu erachten: (Zu) hohe Wassertemperaturen können grossflächig negative Effekte auf die Fischbestände haben. Eine Beschattung kann solche Temperaturspitzen im Wasser vermeiden.

IV. Weitere ökologische Bedeutungen des Gewässerraums

Der Gewässerraum hat auch eine zentrale Bedeutung für die Ausbreitungsmöglichkeiten von Organismen entlang der Gewässernetze (ALTERMATT, 2013). Während mit zunehmender Grösse eines Lebensraumfragments mehr Arten koexistieren können, erlaubt eine zunehmende Vernetzung die Besiedelung dieser Lebensräume. Die Korridorfunktion ist sowohl für aquatische wie terrestrische Organismen wichtig, und viele Organismen (gerade auch terrestrische) nutzen eine natürliche Vegetation und Struktur entlang der Gewässer als Ausbreitungswege. Durch die flächendeckende Struktur des Gewässernetzes findet eine Vernetzung auf der gesamten Landesfläche statt. Diese Vernetzungsfunktion ist gerade im Kontext der ökologischen Infrastruktur sehr wichtig.

Um die Biodiversität langfristig zu erhalten, fordert der vom Bundesrat am 6. September 2017 verabschiedete Aktionsplan zur Strategie Biodiversität Schweiz³ den Aufbau einer ökologischen Infrastruktur, welche sowohl aus Schutzgebieten (und anderen Flächenelementen), als auch aus Vernetzungsgebieten/-strukturen besteht. Gerade für letztere sind die Gewässer und Gewässerräume entscheidend: Es gibt kein anderes Landschaftselement, welches die Vernetzungsfunktion so grossflächig und gleichzeitig fein verästelt wahrnehmen kann. Die Ausscheidung genügend grosser Gewässerräume ist ein wichtiger und wohl essentieller Beitrag zur Schaffung einer funktionellen und biodiversitätserhaltenden ökologischen Infrastruktur, und sollte als prioritäres Element der Umsetzung des Aktionsplans angesehen werden.

Schlussendlich beruhen verschiedene Ökosystemleistungen auf einem funktionierenden und ausreichenden Gewässerraum. Zu diesen gehören Hochwasserschutz, Trinkwasserregeneration (Auffüllen der Grundwasserreservoirs und Pufferfunktion gegen unerwünschte Einträge ins Grundwasser), Fischerei (z. B. Habitatvielfalt, Beschattung von Gewässern) und Nutzung des Gewässerraums für die Naherholung.

3 Aktionsplan des Bundesrates. 2017. Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz. Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hrsg.). Bern. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/massnahmen-zur-erhaltung-und-foerderung-der-biodiversitaet/strategie-biodiversitaet-schweiz-und-aktionsplan.html>.

V. Wie breit muss der Gewässerraum aus ökologischer Sicht sein?

In einer Übersichtsstudie von HAWES & SMITH (2004) werden Daten über die minimal notwendige Breite der Uferzonen («Riparian Buffer» Zone) für Gewässer in Nordamerika zusammengefasst und analysiert. Diese «Riparian Buffer» Zonen sind in ihrer ökologischen Bedeutung mit dem landseitigen Teil des Gewässerraums direkt vergleichbar. Die Erkenntnisse und Werte können als sehr gut auf die Schweiz übertragbar angesehen werden. Die Studie zeigt, dass die notwendige Breite des landseitigen Teils des Gewässerraums je nach gewünschter Funktion variieren kann, wobei öko-geomorphologische Funktionen in der Regel durch geringere Breiten gewährleistet sind als ökologische Funktionen. Zudem kann die Topographie und Bodenbeschaffenheit einen Einfluss haben (z. B. ist bei steilerem Gelände und leicht erodierbaren Böden eine grössere Breite notwendig). Für Topographie und Bodenbeschaffenheit bestehen auch Referenzkurven zur Ermittlung der notwendigen Breite für die Erfüllung der erwünschten Funktion. Bei gewissen Funktionen sollte die Breite der Pufferzone (d. h. des landseitigen Teils des Gewässerraums) mit zunehmender Grösse des Gewässers skaliert werden und zunehmen. Für die meisten Funktionen ist aber eine solche Skalierung nicht unbedingt gegeben, so dass die entsprechenden Pufferzonen unabhängig der Fliessgewässerbreite notwendig sind. Tabelle 1 gibt die durch die Literaturstudie von HAWES & SMITH (2004) breit abgestützten, empfohlenen und zur Erfüllung der natürlichen Funktion von Gewässern notwendigen Breiten (Hinweis: In der Originalstudie wurden diese in der Masseinheit des englischen Fuss angegeben, wobei 1 ft = 30,48 cm entspricht; im Folgenden sind die Werte transformiert und auf ganze Meter gerundet). Aufgrund all dieser Werte und analysierten Studien empfehlen HAWES & SMITH (2004) für den landseitigen Teil des Gewässerraums eine minimale Breite von 30 m auf beiden Seiten des Fliessgewässers, unabhängig der Gewässergrösse, um die natürliche Funktion des Gewässers zu gewährleisten. Eine weitere, ähnlich breit abgestützte Studie empfiehlt eine Breite des landseitigen Teils des Gewässerraums von mindestens 15 m auf beiden Seiten des Fliessgewässers, unabhängig der Gewässergrösse, welche zudem mit Gehölzen bewachsen sein sollte, um die natürliche Funktion als Puffer gegenüber Nährstoffeinträgen zu gewährleisten (North Carolina Conservation Network, 2016). Dabei wird festgehalten, dass bei Breiten unter 40 m der Nitrateintrag im Mittel nur um 55 Prozent reduziert wird. Nur bei Breiten über 40 m wird der Nitrateintrag im Mittel um 90 Prozent reduziert (SWEENEY & NEWBOLD, 2014).

Funktion	Minimale Breite	Kommentar
Erosionsschutz	9–30 m	Muss mit gemischter Vegetation (inkl. Gehölz) bewachsen sein
Schutz Wasserqualität (Nährstoffeintrag)	(5) 15–50 m	Effektivität ab 15 m
Schutz Wasserqualität (Eintrag Pflanzenschutzmittel)	15–100 m	
Schutz Wasserqualität (Biokontamination)	> 9 m	z. B. Schutz vor Fäkalkeimen
Schutz/Erhalt Gewässerorganismen	10–50 m	Schutz von Fischen und aquatischen Invertebraten
Gewährleistung Laubeintrag	15–30 m	In dieser Spannweite ist Laubstreu eintrag gewährleistet
Regulation Wassertemperatur	9–70 m	
Schutz terrestrisches Habitat	46–101 m	Gewährleistung Lebensraum für terrestrische Organismen. Breite abhängig von betrachteter Organismengruppe

Tabelle 1. Minimal notwendige Breite des landseitigen Teils des Gewässerraums («Riparian Buffer Zones») um verschiedene natürliche Funktionen des Gewässers zu gewährleisten (nach HAWES & SMITH, 2004). Die Werte entsprechen dem einseitig an das Gewässer anschliessenden landseitigen Teil. Die angegebenen Breitenspannen beruhen auf unterschiedlichen Studien und Topographien. Grundsätzlich gilt, je steiler das Gelände, desto grösser sollte der Wert sein. Die angegebenen Werte beinhalten alle Gewässergrössen, also umfassen auch die kleinen und kleinsten Gewässer (Strahler-Ordnung 1 und 2). Für die Berechnung des Gewässerraums nach GSchV muss zusätzlich die natürliche Gerinnesohlenbreite (nGSB) zu der Breite der beiden Uferbereiche addiert werden.

Die Literaturstudien von HAWES & SMITH (2005) und des North Carolina Conservation Network (2016) sind breit abgestützt und ziehen die Erkenntnisse von vielen Studien zusammen, welche sich auf Fliessgewässer gemässigter Regionen beziehen, also direkt auf die Schweiz anwendbar sind. Der anhand der Schlüsselkurve ermittelte Gewässerraum muss also als das absolute Minimum für die Erfüllung praktisch aller ökologischen Funktionen angesehen werden. Dies betrifft vor allem kleine und kleinste Gewässer, bei welchen HAWES & SMITH (2004) für den Erhalt der wichtigsten ökologischen Funktionen landseitig des Gewässers je 15 m empfehlen. Um auch die terrestrischen Funktionen (z. B. als Korridor oder Lebensraum für terrestrische Organismen) des Gewässerraums vollständig zu gewährleisten, sind sogar landseitige Breiten von je 50 m notwendig.

Die vom GSchG in Art. 36a geforderte Festlegung des Gewässerraums zur Gewährleistung der «natürlichen Funktionen der Gewässer», welches unter anderem die oben diskutierten ökologischen Funktionen beinhaltet, betrifft Gewässer aller Grössen. Die in der Gewässerschutzverordnung festgelegte Schlüs-

selkurve zur Ermittlung des Gewässerraums muss aus dieser Sicht als absolute Minimalgrösse betrachtet werden. Für den Erhalt aller natürlichen Funktionen, speziell der ökologischen Funktionen, sind sogar deutlich grössere Breiten als die in der Schlüsselkurve empfohlenen Mindestwerte notwendig. Insbesondere die erwünschte Funktion für «genügend Raum für Strukturvielfalt und natürliche Lebensgemeinschaften» sowie «genügend Abstand zur Bodennutzung durch den Menschen [...] (zur Vermeidung von Gewässerverschmutzungen)» (Arbeitshilfe Gewässerraum; BPUK, LDK, BAFU, ARE, BLW, 2019) ist durch die in der GSchV festgelegten Mindestbreiten nicht vollständig gewährleistet, und es wäre aus ökologischer Sicht notwendig, von Art. 41a Abs. 3 GSchV Gebrauch zu machen, welcher eine Erhöhung des Gewässerraums ermöglicht, wenn dies für überwiegende Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes erforderlich ist.

VI. Schlussfolgerungen

Um die natürlichen ökologischen Funktionen von Gewässerökosystemen zu gewährleisten, sind genügend grosse Gewässerräume notwendig. Dabei ist die Bedeutung des Gewässerraums nicht nur im Siedlungsgebiet, sondern gerade auch im landwirtschaftlich genutzten Gebiet hoch. Während im Siedlungsgebiet vor allem die bauliche Nutzung den Gewässerraum beeinflusst, sind im landwirtschaftlich genutzten Gebiet vor allem stoffliche Einträge relevant. Bei solchen ist festzuhalten, dass der Einfluss der Einträge nicht unbedingt mit der Schlüsselkurve zur Festlegung des Gewässerraums skaliert werden kann, da die Einträge, respektive die Eintragsdistanz, nicht abhängig von der Gewässergrösse sind, und die negativen Effekte von unerwünschten stofflichen Einträgen (Pflanzenschutzmittel, Nährstoffe) gerade bei kleinen Gewässern überproportional hoch ist. Dies unterstreicht die Bedeutung des Gewässerraums bei kleinen Gewässern. Dies wird zudem verstärkt, als dass die Mehrheit aller Fliessgewässer klein oder sehr klein ist: Etwa 43 Prozent aller Fliessgewässer sind weniger als 1 m breit; 67 Prozent sind weniger als 2 m breit. Der Gewässerraum ist aus ökologischer Sicht für all diese Gewässer überproportional wichtig (HAWES & SMITH, 2004), einerseits durch ihren grossen Anteil an der Gesamtlänge im Gewässernetz, andererseits, weil jegliche Stoffeinträge durch die geringen Wassermengen in diesen Gewässern hohe Konzentrationseffekte haben.

Bei kleinen Gewässern ist der Gewässerraum vor allem aus dem Blickwinkel der stofflichen Einträge zu betrachten. Mehr Wald, oder eine Mischung aus Bäumen, Sträuchern und krautiger Vegetation, entlang der kleinen Gewässer hat grundsätzlich einen positiven Effekt auf dessen ökologische Funktion, da diese Waldstreifen einerseits die natürlichen und essentiellen Einträge von organischer Biomasse (Laubstreu) gewährleisten, andererseits aber auch die Pufferwirkung gegenüber unerwünschten Einträgen (v. a. Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel aus der Landwirtschaft) erhöhen. Alle Fliessgewässer, also auch die kleinsten, benötigen einen entsprechenden Gewässerraum um ihre ökologische Funktion wahrzunehmen. Bei kleinen und kleinsten Fliessgewässern ist der mit der Schlüsselkurve ermittelte Gewässerraum für die ökologische Funktion als Puffer gegen unerwünschte Einträge respektive für die Koppelung der aquatischen und terrestrischen Ökosysteme als absolute Minimalgrösse zu betrachten. Für einzelne ökologische Funktionen sind die vom Gesetzgeber in Art. 41a GSchV festgelegten Mindestbreiten um etwa den Faktor 2–3 kleiner, als die für die Gewährleistung dieser Funktionen notwendigen Breiten.

Bei grossen Gewässern ist vor allem die Bedeutung des Gewässerraums für den Erhalt (oder Schaffung) natürlicher Dynamik notwendig. Diese Dynamik beinhaltet hydro-geomorphologische Prozesse, welche einen relativ hohen Raumbedarf haben, jedoch für den Nutzen des Gewässerraums als Hochwasserschutz essentiell sind. Der dafür notwendige Raum ist für grosse Fließgewässer mit der Schlüsselkurve nicht klar definiert, er liegt aber sicher über der natürlichen Gerinnesohlenbreite plus 30m, und dürfte nebst der natürlichen Gerinnesohlenbreite landseitig auf beiden Seiten noch jeweils weitere 30–50 m umfassen.

Zusammenfassend können aus naturwissenschaftlicher Sicht folgende Punkte festgehalten werden:

- Gewässer gehören zu den artenreichsten Lebensräumen.
- Gewässer enden nicht an der benetzten Fläche. Die Koppelung aquatischer und terrestrischer Ökosysteme ist zentral für deren Funktion.
- Um die natürliche Funktion von Gewässern zu gewährleisten, braucht es genügend Raum, das heisst, auch einen genügend grossen Gewässerraum.
- Die natürliche Funktion der Gewässer beinhaltet Dynamik, sowohl im Abflussregime, wie auch in der räumlichen Ausprägung des Gewässer- verlaufs.
- Es gibt aus ökologischer Sicht keine Gewässer, welche zu klein wären, um einen Gewässerraum festzulegen
- Der Gewässerraumbedarf grosser Flüsse ist gross.
- Breit abgestützte Studien zeigen, dass die in der Gewässerschutzverordnung festgelegte Schlüsselkurve zur Ermittlung des Gewässerraums als absolute Minimalgrösse zu betrachten ist und für die Erfüllung einzelner natürlichen ökologischen Funktionen noch deutlich grösser sein müssten.

Um die vom Gesetzgeber geforderte «natürliche Funktion von Gewässern» zu gewährleisten, ist ein genügend grosser Gewässerraum essentiell. Dabei muss der Gewässerraum nicht nur nach hydrologischen Kriterien festgelegt werden, sondern auch nach ökologischen. Für eine langfristige und nachhaltige Erhaltung aller ökologischen Funktion der Gewässer muss der durch die Schlüsselkurve minimal definierte Gewässerraum vollumfänglich ausgewiesen und geschützt werden. Weiter ist auch eine Überprüfung der mit der Schlüsselkurve berechneten Minimalbreite notwendig, da diese für die Erfüllung einzelner wichtiger ökologischen Funktionen nicht ausreichend ist und eine Erhöhung erforderlich wäre.

Literaturverzeichnis

- ALTERMATT F. (2013), Diversity in riverine metacommunities: a network perspective, *Aquatic Ecology* 47: 365–377.
- BAXTER C. V. / FAUSCH K. D. / SAUNDERS W. C. (2005), Tangled webs: reciprocal flows of invertebrate prey link streams and riparian zones, *Freshwater Biology* 50: 201–220.
- BPUK / LDK / BAFU / ARE / BLW (Hrsg.) (2019), Gewässerraum. Modulare Arbeitshilfe zur Festlegung und Nutzung des Gewässerraums in der Schweiz, Modul 1.
- BURDON F. J. / MUNZ N. A. / REYES M. / FOCKS A. / JOSS A. / RÄSÄNEN K. / ALTERMATT F. / EGGEN R. I. L. / STAMM C. (2019), Agriculture versus wastewater

- pollution as drivers of macroinvertebrate community structure in streams, *Science of the Total Environment* 659: 1256–1265.
- CARACO N. / COLE J. (2004), When terrestrial organic matter is sent down the River: the importance of allochthonous carbon inputs to the metabolism of lakes and rivers, in: *Food Webs at the Landscape Level* (eds POLIS G.A. / POWER M.E. / HUXEL G.R.), The University of Chicago Press, Chicago, pp. 301–316.
- CARDINALE B. J. / DUFFY J. E. / GONZALEZ A. / HOOPER D. U. / PERRINGS C. / VENAIL P. / NARWANI A. / MACE G. M. / TILMAN D. / WARDLE D. A. A. P. / DAILY C. / LOREAU M. / GRACE J. B. / LARIGAUDERIE A. / SRIVASTAVA D. S. / NAEEM S. (2012), Biodiversity loss and its impact on humanity, *Nature* 486: 59–67.
- DOPPLER T. / MANGOLD S. / WITTMER I. / SPYCHER S. / CORNTE R. / STAMM C. / SINGER H. / JUNGANS M. / KUNZ M. (2017), Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen: NAWA-Spez-Kampagne untersucht Bäche in Gebieten intensiver landwirtschaftlicher Nutzung, *Aqua & Gas* 4: 47–56.
- DUGDALE S. J. / MALCOLM I. A. / KANTOLA K. / HANNAH D. M. (2018), Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes, *Science of The Total Environment* 610: 1375–1389.
- ENGLAND L. E. / ROSEMOND A. D. (2004), Small reductions in forest cover weaken terrestrial-aquatic linkages in headwater streams, *Freshwater Biology* 49: 721–734.
- FISCHER M. / ALTERMATT F. / ARLETTAZ R. / BARTHA B. / BAUR B. / BERGAMINI A. / BERSIER L.-F. / BIRRER S. / BRAUNISCH V. / DOLLINGER P. / EGGENBERG S. / GUISAN A. / GUNTERN J. / GUTSCHER H. / HERZOG F. / HUMBERT J.-Y. / JENNY M. / KLAUS G. / KÖRNER C. / KRÄTTLI H. / KÜCHLER M. / LACHAT T. / LAMBELET C. / LEUZINGER Y. / LINDER P. / MITCHELL E. A. D. / PASINELLI G. / PAULI D. / PFIFFNER L. / PRAZ C. / RIXEN C. / RÜBEL A. / SCHAFFNER U. / SCHEIDEGGER C. / SCHMID H. / SCHNYDER N. / STÖCKLIN J. / WALTER T. / ZUMBACH S. (2015), Zustand der Biodiversität in der Schweiz 2014, *Forum Biodiversität Schweiz et al.* (Hrsg.), 96 pp.
- GOUNAND I. / LITTLE C. J. / HARVEY E. / ALTERMATT F. (2018a), Cross-ecosystem carbon flows connecting ecosystems worldwide, *Nature Communications* 9: 4825.
- GOUNAND I. / LITTLE C. J. / HARVEY E. / ALTERMATT F. (2018b), Meta-ecosystems 2.0: rooting the theory into the field, *Trends in Ecology & Evolution* 33: 36–46.
- HAWES E. / SMITH M. (2005), *Riparian Buffer Zones: Functions and Recommended Widths*, Yale School of Forestry and Environmental Studies, Report to the Eightmile River Wild and Scenic Study Committee, 15 pp.
- IPBES. 2019, Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, in: IPBES secretariat (ed.).
- JACKSON J. K. / FISHER S. G. (1986), Secondary production, emergence, and export of aquatic insects of a Sonoran Desert stream, *Ecology* 67: 629–638.
- MACARTHUR R. H. / WILSON E. O., 1967, *The theory of island biogeography*, Princeton University Press.
- MUEHLBAUER J. D. / COLLINS S. F. / DOYLE M. W. / TOCKNER K. (2014), How wide is a stream? Spatial extent of the potential «stream signature» in terrestrial food webs using meta-analysis, *Ecology* 95: 44–55.
- North Carolina Conservation Network, 2016, *North Carolina’s Riparian Buffers: A Scientific Review*, Report, 20 pp.

- ROCKSTRÖM J. / STEFFEN W. / NOONE K. / PERSSON A. / CHAPIN F. S. / LAMBIN E. F. / LENTON T. M. / SCHEFFER M. / FOLKE C. / SCHELLNHUBER H. J. / NYKVIST B. / DE WIT C. A. / HUGHES T. / VAN DER LEEUW S. / RODHE H. / SORLIN S. / SNYDER P. K. / COSTANZA R. / SVEDIN U. / FALKENMARK M. / KARLBERG L. / CORELL R. W. / FABRY V. J. / HANSEN J. / WALKER B. / LIVERMAN D. / RICHARDSON K. / CRUTZEN P. / FOLEY J. A. (2009), A safe operating space for humanity, *Nature* 461: 472–475.
- RUST-DUBIÉ C. / SCHNEIDER K. / WALTER, T. (2006), Fauna der Schweizer Auen, Eine Datenbank für Praxis und Wissenschaft, Bristol-Schriftenreihe 16., Haupt-Verlag, Bern, 214 pp.
- SCHINDLER D. E. / SMITS A. P. (2017), Subsidies of Aquatic Resources in Terrestrial Ecosystems, *Ecosystems* 20: 78–93.
- SITTERS J. / ATKINSON C. L. / GUELZOW N. / KELLY P. / SULLIVAN L. L. (2015), Spatial stoichiometry: cross-ecosystem material flows and their impact on recipient ecosystems and organisms, *Oikos* 124: 920–930.
- SPYCHER S. / TEICHLER R. / VONWYL E. / LONGRÉE P. / STAMM C. / SINGER H. / DAOUK S. / DOPPLER T. / JUNGHANS M. / KUNZ M. (2019), Anhaltend hohe PSM-Belastung in Bächen, *Aqua & Gas* 4: 14–25.
- SUNDERMANN A. / STOLL S. / HAASE P. (2011), River restoration success depends on the species pool of the immediate surroundings, *Ecological Applications* 21: 1962–1971.
- SWEENEY B. / NEWBOLD D. (2014), Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: a literature review, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 50: 560–584.
- TILMAN D. / ISBELL F. / COWLES J. M. (2014), Biodiversity and Ecosystem Functioning, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 45: 471–493.
- VELLEND M. (2010), Conceptual synthesis in community ecology, *The Quarterly Review of Biology* 85: 183–207.
- VÖRÖSMARTY C. J. / MCINTYRE P. B. / GESSNER M. O. / DUDGEON D. / PRUSEVICH A. / GREEN P. / GLIDDEN S. / BUNN S. E. / SULLIVAN C. A. / LIERMANN C. R. / DAVIES P. M. (2010), Global threats to human water security and river biodiversity, *Nature* 467: 555–561.
- WALLACE J. B. / EGGERT S. L. / MEYER J. L. / WEBSTER J. R. (2015), Stream invertebrate productivity linked to forest subsidies: 37 stream-years of reference and experimental data, *Ecology* 96: 1213–1228.
- WEBB J. R. / SANTOS I. R. / MAHER D. T. / FINLAY K. (2019), The Importance of Aquatic Carbon Fluxes in Net Ecosystem Carbon Budgets: A Catchment-Scale Review, *Ecosystems* 22: 508–527.
- WWF, 2018, Living Planet Report – 2018: Aiming Higher, WWF, Gland, Switzerland.

Résumé

La détermination de l'espace réservé aux eaux a notamment pour but de garantir les «fonctions naturelles» des cours d'eau, un impératif requis par le législateur. Cela englobe aussi bien des aspects hydro-géomorphologiques que des facteurs écologiques et permet la mise en œuvre de prestations écosystémiques pour l'homme. L'espace réservé aux eaux revêt une fonction écologique essentielle, qui comprend les trois volets suivants: il constitue un habitat pour les organismes (protection et maintien de la biodiversité), exerce une influence sur les flux de substances entre les habitats aquatiques et terrestres (couplage de flux de matières aquatiques et terrestres et effet de tampon par rapport aux apports de substances indésirables) et joue un rôle en tant que corridor pour la propagation des organismes. Toutes ces fonctions peuvent être mieux remplies lorsqu'il est possible de mettre en place des espaces réservés aux eaux plus grands et mieux interconnectés. En ce qui concerne les cours d'eau petits et très petits, l'espace réservé aux eaux revêt une grande signification pour les flux de matières aquatiques et terrestres. Pour les cours d'eau plus grands, l'espace réservé aux eaux joue surtout un rôle dans la création d'habitats, l'instauration de dynamiques géomorphologiques et la protection contre les crues. Des études détaillées montrent que la largeur minimale requise dans la législation pour l'espace réservé aux eaux, déterminée en fonction de l'abaque (courbe de référence), doit être considérée comme une valeur absolument minimale d'un point de vue écologique, lorsqu'il s'agit d'assurer les fonctions naturelles requises par le législateur. Concernant plus spécifiquement l'importance fondamentale de l'espace réservé aux eaux en tant qu'habitat, zone tampon vis-à-vis des apports de substances indésirables et régulateur de la température de l'eau, il s'avérerait même nécessaire, dans certains cas, de fixer des espaces réservés aux eaux nettement plus grands. L'auteur résume les principales connaissances en matière d'écologie et formule des recommandations pour la mise en œuvre.

Riassunto

La determinazione dello spazio riservato alle acque viene fatta per garantire, tra l'altro, la «funzione naturale» dei corsi d'acqua esatta dalla legge. Ciò include sia gli aspetti idro-geomorfologici sia quelli ecologici, che permettono all'essere umano di usufruire dei relativi servizi ecosistemici. La funzione ecologica dello spazio riservato alle acque stesso è costituita dalla sua importanza come biocenosi (protezione e conservazione della biodiversità) e come fascia per lo scambio di sostanze tra sistemi acquatici e terrestri (connessione di flussi di sostanze acquatiche e terrestri e fascia tampone per gli apporti di sostanze indesiderate), come pure dal suo ruolo di corridoio per la diffusione degli organismi. Tutte queste funzioni sono svolte meglio da corsi d'acqua più grandi e interconnessi. Per i corsi d'acqua piccoli e molto piccoli, lo spazio riservato alle acque è molto importante per quanto attiene allo scambio di sostanze fra sistemi acquatici e terrestri. Per i corsi d'acqua più grandi, invece, l'importanza dello spazio riservato alle acque consiste principalmente nella creazio-

ne di habitat, nel consentire dinamiche a livello geomorfologico e nella protezione contro le piene. Studi approfonditi dimostrano che la larghezza minima dello spazio riservato alle acque prevista dalla curva chiave della legislazione deve essere considerata come il minimo assoluto per garantire la funzione naturale richiesta dal punto di vista ecologico. Nello specifico, se si considera l'importanza elevata dello spazio riservato alle acque in quanto habitat, fascia tampone contro gli apporti di sostanze indesiderate e regolatore della temperatura del corpo idrico, in alcuni casi sarebbero necessari degli spazi riservati anche decisamente più ampi. Sono qui riassunti i risultati ecologici più importanti e sono formulate le relative raccomandazioni per l'applicazione.