MARS 2017 / EDITION 1/17

MÄRZ 2017 / AUSGABE 1/17

NATURE PAYSAGE

NATUR LANDSCHAFT

IN/SIDE

K B N L
CDPNP
CDPNP
CIPNC

Konferenz der Beauftragten für Natur- und Landschaftsschutz
Conférence des délégués à la protection de la nature et du paysage
Conferenza dei delegati della protezione della natura e del paesaggio
Conferenza dals incumbensats per la protecziun da la natira e da la cuntrada

DER ARTENSCHUTZ AM SCHEIDEWEG

ERIC HARVEY, ISABELLE GOUNAND, COLETTE L. WARD, FLORIAN ALTERMATT

Angesichts des erheblichen aktuellen Biodiversitätsverlusts und des allmählichen Wegbröckelns der Ökosystemleistungen, das damit einhergeht, scheinen die herkömmlichen Erhaltungsansätze teilweise nicht mehr geeignet, um die Ökosysteme – auf die der Mensch nun einmal angewiesen ist – in ihrer Gesamtheit zu bewahren, da sich die Prioritäten bei der Erhaltung in erster Linie an der Seltenheit einer Art orientieren statt an ihrer funktionellen Bedeutung für das Ökosystem. Vor dem allgemeinen Hintergrund knapper Budgets für die Arterhaltung entsteht ein Missverhältnis zwischen den unternommenen Anstrengungen zur Erhaltung einer bestimmten Art in einem bestimmten Ökosystem und der Erfordernis, die Funktions- und Widerstandsfähigkeit des Ökosystems in seiner Gesamtheit zu erhalten. Die Autoren sind der Auffassung, dass es einer umfassenden Neuausrichtung dieser Anstrengungen im Sinne eines Schutzes der ökologischen Netzwerke bedarf, um sowohl die Biodiversität als auch das sie umgebende Ökosystem als Ganzes zu schützen.

Angesichts des weltweiten Bevölkerungswachstums, des Verlusts von Lebensräumen infolge des Klimawandels und des steigenden Bedarfs an der Produktion von Gütern und Lebensmitteln sieht sich der «Käseglocken»-Ansatz, bei dem ganze Gebiete durch die Einrichtung von Nationalparks unter Schutz gestellt werden, mit erheblichen ethischen, finanziellen und politischen Herausforderungen konfrontiert. Die allgemein anerkannte Alternative zu diesem holistischen Ansatz ist die Erhaltung einzelner Arten. Der Schutz seltener oder vom Aussterben bedrohter Arten durch zielgerichtete Massnahmen des Gesetzgebers kann nutzbringend sein; allerdings ist dieser Ansatz vom Typ «Arche Noah», der spezifische Gesetze und Erhaltungsprotokolle für jede einzelne Art erfordert, in der Regel sehr teuer und langfristig nicht realisierbar. Ausserdem handelt es sich um eine passive Vorgehensweise, die auf bereits vorhandene Probleme reagiert, anstatt diese zu verhindern, und den Schutz einer Art davon abhängig macht, wie stark diese aktuell bedroht ist, und nicht davon, wie bedeutend ihre Rolle innerhalb des Ökosystems ist. Diese Art des Schutzes kann einen erheblichen finanziellen und personellen Aufwand erfordern, der einer äusserst beschränkten Wirkung im Hinblick auf den Erhalt des gesamten Ökosystems gegenübersteht. Ein weiterer gewichtiger Mangel dieses artenorientierten Ansatzes besteht darin, dass er die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Arten eines Ökosystems nur selten berücksichtigt. So ist das Aussterben des Quendel-Ameisenbläulings (*Phengaris arion*) in Grossbritannien indirekt auf eine Massnahme zur biologischen Kontrolle des Wildkaninchens (*Oryctolagus cuniculus*) zurückführbar: Die Raupen dieser Schmetterlingsart

LA CONSERVATION À LA CROISÉE DES CHEMINS

ERIC HARVEY, ISABELLE GOUNAND, COLETTE L. WARD, FLORIAN ALTERMATT

Dans le contexte actuel de déclin important de la biodiversité et d'effritement constant des services écosystémiques qu'elle procure, les approches de conservation classiques semblent en partie inadéquates pour maintenir l'intégrité des écosystèmes dont les sociétés humaines ont pourtant besoin, car les priorités de conservation sont d'abord établies en fonction de la rareté de l'espèce et non de son importance fonctionnelle dans l'écosystème. Dans un contexte de restriction budgétaire globale pour la conservation, cela crée un déséquilibre disproportionné entre les efforts mis en œuvre pour maintenir une espèce dans un écosystème donné et la nécessité de protéger le fonctionnement et la résilience de l'ensemble de l'écosystème. Nous suggérons qu'un changement d'objectif vers la protection des réseaux écologiques pourrait permettre, du même souffle, de protéger la biodiversité et l'intégrité écosystémique que celle-ci soutient.

Dans un contexte d'augmentation démographique des populations humaines, de réduction des superficies de terres habitables liée aux changements climatiques et d'augmentation de la demande pour la production de biens et de nourriture, l'approche dite de la «cloche de verre» qui consiste en la protection intégrale de territoires par la création de parcs nationaux pose d'importants défis éthiques, financiers et politiques. L'alternative généralement acceptée à cette approche holistique est la conservation espèce par espèce. La protection d'espèces rares ou en danger d'extinction grâce à la mise en place d'actions législatives sur mesure peut être efficace, cependant cette approche de type «Arche de Noé» à base de lois et de protocoles de conservation spécifiques pour chaque espèce est généralement très coûteuse et non viable à long terme. De plus c'est une approche passive, en mode réaction, plutôt que de prévention des problèmes, avec un ciblage des espèces en fonction de leur statut actuel de rareté plutôt que de leur rôle dans le fonctionnement de l'écosystème. Ce type de protection peut nécessiter des investissements financiers et humains importants pour des bénéfices très limités en termes de maintien de l'intégrité écosystémique. En plus, un important défaut de cette approche focalisée sur les espèces, est qu'elle ne prend généralement pas en compte l'interdépendance entre les espèces d'un écosystème. Par exemple, l'extinction du papillon *Phengaris arion* aux Royaume-Uni a été indirectement causée par une opération de contrôle biologique du lapin Européen (*Oryctolagus cuniculus*): cette espèce de papillon dépendait directement des nids de fourmis (*Myrmica sabuleti)* pour le développement de leurs larves. Mais ces fourmis dépendaient des pâturages

sind für ihre Entwicklung unmittelbar auf die Nester der Säbeldornigen Knotenameise (*Myrmica sabuleti*) angewiesen. Letztere wiederum benötigte jedoch für ihren Nestbau die infolge des Abfressens durch die Kaninchen entstandenen offenen Flächen. Das Verschwinden der Kaninchen führte schliesslich indirekt zum Aussterben der Schmetterlingsart.

Der Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Arten verdanken wir es, dass wir die Bedeutung ökologischer Netzwerke für die Erhaltung der Biodiversität und Widerstandsfähigkeit der Ökosysteme nun viel besser verstehen. So konnte anhand einer Analyse des Aussterbens bei einer Gruppe von 900 Schmetterlingsarten und 2400 Wirtspflanzen in Zentraleuropa gezeigt werden, dass 8 der 59 beobachteten Aussterbefälle von Schmetterlingsarten durch den Verlust ihrer jeweiligen Wirtspflanze bedingt waren. Darüber hinaus wurden diese 8 Aussterbefälle noch vor dem Aussterben der Wirtspflanzen beobachtet. Dies zeigt, dass bereits ein bestimmter Rückgang der betreffenden Pflanzenpopulation schon vor deren komplettem Verschwinden zu einem kaskadenartigen Aussterben der davon abhängigen Arten führen kann. Dementsprechend kann man eine Schmetterlingsart nur erhalten, wenn man auch die Wirtspflanze schützt, von der diese abhängt. Dieses Beispiel von vielen, die wir in unserer Publikation beschreiben, legt ausserdem nahe, dass auch die Interaktionen zwischen Arten verloren gehen können, ohne dass sich dies in einer Veränderung der Biodiversität bemerkbar macht. Eine Überwachung der Artenzahl ist also für sich noch kein Garant für die strukturelle Unversehrtheit der biologischen Gemeinschaft.

Was den Artenerhalt angeht, ist die Struktur des ökologischen Netzwerks und insbesondere die sogenannte «Connectance» (Anzahl der Interaktionen, die eine Art mit anderen Arten unterhält) ebenfalls sehr wichtig für die Vorhersage, welche Arten wahrscheinlich am meisten gefährdet sind: In der oben genannten Studie waren diejenigen Schmetterlingsarten, die auf eine kleine Auswahl an Wirtspflanzen spezialisiert waren, signifikant stärker vom Aussterben bedroht bzw. starben tatsächlich schneller aus als andere Arten. Entsprechend kann die Untersuchung der Struktur solcher Interaktionsnetze wertvolle Informationen zur Empfindlichkeit bestimmter Arten gegenüber künftigen Veränderungen liefern. Wenn eine bessere Kenntnis der Interaktionen hilft, die Biodiversität jetzt und in Zukunft wirksamer zu schützen, kommt dies gleichzeitig auch dem Erhalt der Ökosystemleistungen zugute, auf die wir alle angewiesen sind. So kann beispielsweise ein Auseinanderdriften des Auftretens einer Beuteart und der Fortpflanzung des entsprechenden Jägers den Regelkreis durchbrechen und zu einer explosiven Vermehrung der Beute führen, was katastrophale Folgen für die landwirtschaftliche Produktion haben könnte (Abbildung 1). Die Auswirkungen dieser Verbindung zwischen ökologischen Netzwerken und Ökosystemleistungen zeigen sich nicht nur lokal. Wird beispielsweise ein flussaufwärts liegendes ökologisches Netzwerk gestört, kann dies erhebliche Folgen für die Wasserqualität eines Sees haben, der sich flussabwärts befindet, falls diese Störung zu einer ver-

ouverts crées par le broutage des lapins pour établir leurs nids. La disparition des lapins a donc indirectement causé l'extinction du papillon.

L'étude des interactions interspécifiques a beaucoup amélioré notre compréhension de l'importance des réseaux écologiques pour le maintien de la biodiversité et la résilience des écosystèmes. Par exemple, une analyse des extinctions d'un groupe de 900 espèces de papillons et 2400 plantes hôtes en Europe centrale a démontré que 8 des 59 extinctions observées de papillons étaient causées par la perte de leur plante hôte. De plus, ces 8 extinctions ont été observées avant même l'extinction des plantes hôtes; cela démontre qu'une diminution suffisamment importante des populations de plantes hôtes peut mener à des extinctions en cascade sur les espèces qui en dépendent, avant même qu'elles ne soient complètement disparues. En conséquence, si on ne préserve pas la plante hôte, on ne peut conserver le papillon qui en dépend. Cet exemple, parmi plusieurs autres décrits dans notre publication, suggère aussi que les interactions entre espèces peuvent être perdues sans que l'on observe pour autant un changement de biodiversité, ce qui veut dire qu'un suivi du nombre d'espèces n'est pas à lui seul garant de l'intégrité de la structure de la communauté biologique.

Dans un contexte de conservation, la structure du réseau écologique, et plus spécifiquement la «connectance» (nombre d'interactions qu'une espèce entretient avec d'autres espèces) est aussi très importante pour prédire quelles espèces sont les plus susceptibles d'être en danger: dans l'étude mentionnée ci-dessus, les espèces de papillons spécialisées sur un petit nombre de plantes hôtes étaient significativement plus sensible aux extinctions ou en danger critique de l'être que les autres espèces. Cela indique que l'étude de la structure des réseaux d'interactions peut fournir des informations précieuses sur la vulnérabilité de certaines espèces face aux changements futurs. Si une meilleure connaissance des interactions permet une protection plus efficace de la biodiversité actuelle et future, cela permet aussi, du même souffle, une meilleure préservation des services écosystémiques desquels nous dépendons tous. Par exemple, un changement de synchronie de l'émergence d'une proie et de la reproduction de son prédateur peut mener à une rupture de régulation, causant une explosion démographique de la proie qui pourrait avoir des conséquences désastreuses pour des productions agricoles (fig. 1). Ce lien entre réseaux écologiques et services écosystémiques n'a pas que des implications locales. Par exemple, perturber un réseau écologique en amont d'une rivière peut avoir des conséquences importantes pour la qualité de l'eau d'un lac situé en aval si cette perturbation induit une diminution du contrôle d'algues dans le cours d'eau (fig. 2). En somme, cibler la conservation de la structure des réseaux d'interactions est une manière proactive de protéger la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes.

Conserver la structure des réseaux écologiques est un concept attrayant puisque cela permettrait de préserver en même temps la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes par un plan de

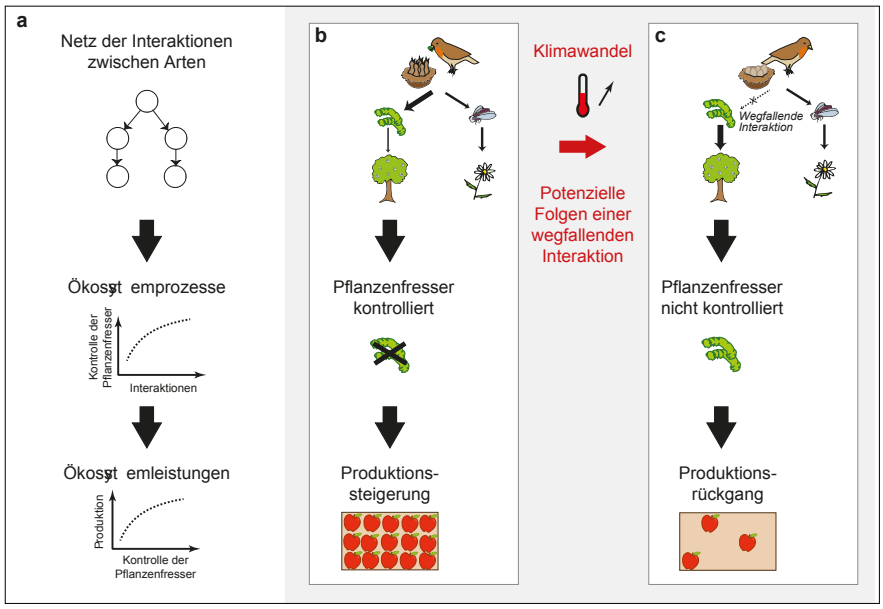

Abb. 1: Interaktionen in Ökosystemleistungen.
(a) Die Struktur der Interaktionsnetze beeinflusst die Prozesse der Ökosysteme, die ihrerseits die Produktivität der Ökosystemleistungen bestimmen. Nehmen wir in Beispiel **(b)** an, dass bestimmte Vögel sich von Insekten und Raupen ernähren, die besonders proteinhaltig und für die Entwicklung der Brut notwendig sind; diese Regulierung des Bestands an Pflanzenfressern durch die Vögel stellt eine hohe Obstproduktion sicher. Jedoch kann wie in Beispiel **(c)** die Klimaerwärmung die Phänologie der Arten so verändern, dass die maximale Abundanz an Raupen erreicht wird, noch bevor die Jungvögel geschlüpft sind. So sind zwar noch alle Arten vorhanden (keine Änderung der Diversität), aber die Vögel regulieren nicht länger die Raupenpopulation. Dieser Interaktionsverlust kann sich auf die Obstproduktion auswirken.

minderten Kontrolle des Algenwachstums im Flusslauf führt (Abbildung 2). Zusammengefasst kann man sagen, dass die Biodiversität und das Funktionieren der Ökosysteme durch eine Bewahrung der Struktur der Interaktionsnetze proaktiv geschützt werden können.

Die Bewahrung der Struktur der ökologischen Netzwerke ist ein attraktives Konzept, da so mit einem einzigen Managementplan gleichzeitig die Biodiversität und das Funktionieren der Ökosysteme erhalten werden können. Allerdings stehen in der Praxis die Informationen, die zur Rekonstruktion der ökologischen Netzwerke erforderlich sind, nur selten zur Verfügung und sind nur mit hohem finanziellem Aufwand zu gewinnen (z. B. Mageninhaltsuntersuchungen für jede Art zur Rekonstruktion des Nahrungsnetzes). Angesichts der dringlichen Lage der derzeitigen Umweltsituation muss die Erforschung der ökologischen Netzwerke schnellstmöglich die reine Theorie hinter sich lassen und eine empirische Forschung hervorbringen, mit deren Hilfe beispielsweise klar erkannt werden kann, welche Struktur der ökologischen Netzwerke

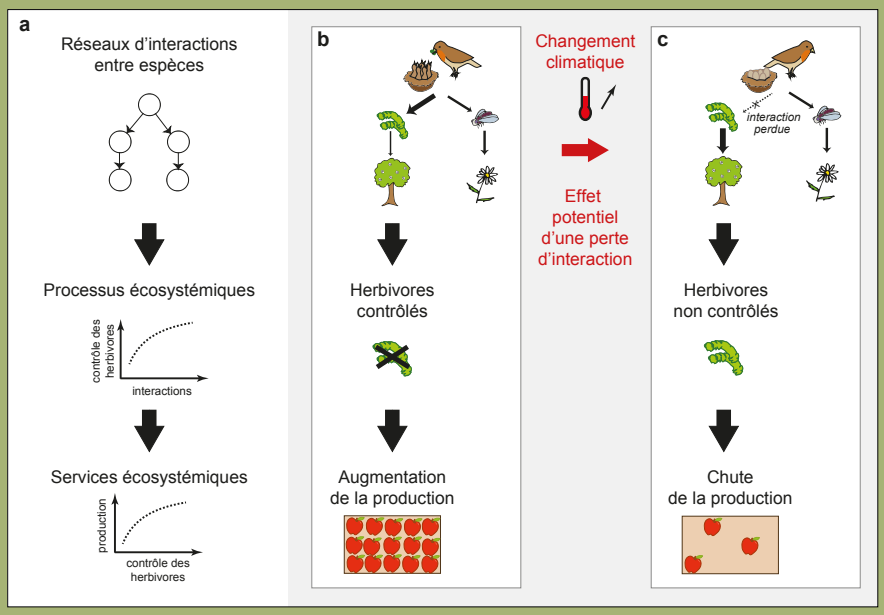

Fig. 1: Des interactions aux services écosystémiques.
(a) La structure des réseaux d'interactions influence les processus écosystémiques, qui en retour déterminent la production de services écosystémiques. Par exemple, **(b)** certains oiseaux se nourrissent d'insectes et de chenilles qui fournissent des aliments particulièrement riches en protéines nécessaires au développement de leur progéniture; cette régulation des herbivores par les oiseaux assure une bonne production de fruits. Toutefois, **(c)** le réchauffement climatique peut modifier la phénologie des espèces et les abondances des chenilles peuvent atteindre leur maximum avant l'éclosion des œufs d'oiseaux. Bien que toutes les espèces demeurent présentes (aucun changement de diversité), les oiseaux ne régulerontplus les chenilles. Cette perte d'interaction peut avoir un impact sur la production de fruits.

gestion unique. Cependant, en pratique, les informations nécessaires à la reconstruction des réseaux écologiques sont rarement disponibles et sont très coûteuses à obtenir (p. ex. contenus stomacaux pour chaque espèce pour reconstruire le réseau trophique). Vu la nature pressante de la situation environnementale actuelle, il nous faut rapidement sortir l'étude des réseaux écologiques de la seule théorie et développer un champ de recherche empirique qui permettra de déterminer clairement, par exemple, quelle structure de réseaux écologiques rend un écosystème plus résilient aux changements climatiques. Malgré ces incertitudes, beaucoup de nouvelles méthodes statistiques sont actuellement développées pour permettre de reconstruire les réseaux écologiques à partir d'un minimum d'informations. Dans notre publication (Harvey et al. 2016) nous décrivons et mettons à disposition une méthode qui permet aux gestionnaires de la conservation d'identifier clairement dans un réseau écologique quelles interactions interspécifiques sont les plus importantes à conserver (interactions

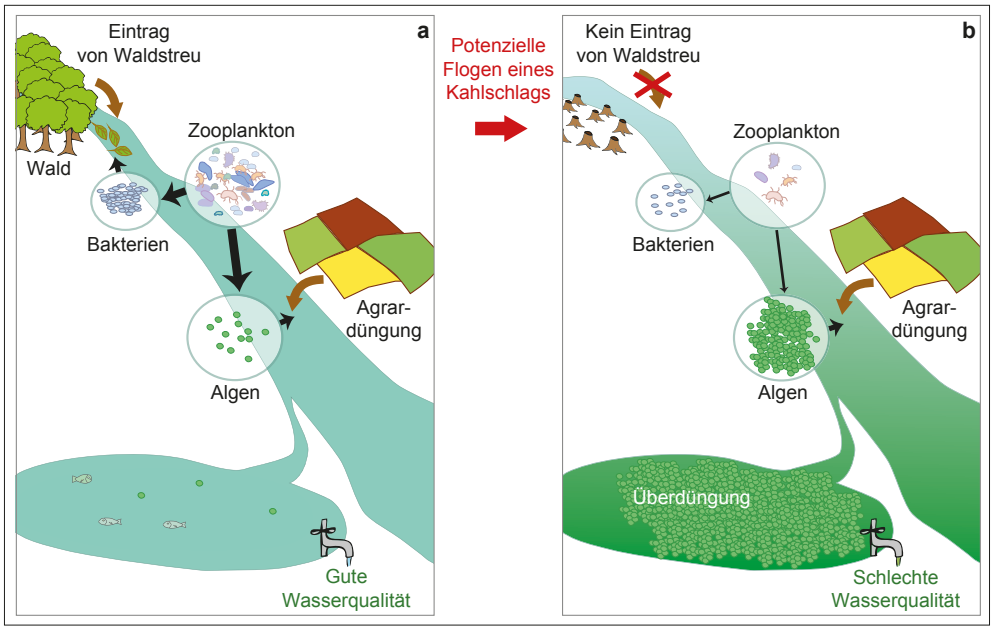

Abb. 2: Regionale Auswirkungen der Störung von Interaktionsnetzen.
Die Interaktionsnetze (Kreise und schwarze Pfeile) werden durch den räumlichen Fluss der aus dem terrestrischen Ökosystem stammenden Ressourcen (braune Pfeile) beeinflusst. In Beispiel **(a)** bietet der Eintrag von Waldstreu aus dem an den Fluss angrenzenden Wald Nahrung für Bakterien und fördert so eine grössere Abundanz ihrer Fressfeinde, des Zooplanktons. Da sich das Zooplankton auch von Algen ernährt, ermöglicht diese grosse Abundanz eine wirksame Regulierung der schnellwachsenden Algenpopulation (grün), deren Abundanz durch die Auswaschung von Düngemitteln aus der Landwirtschaft begünstigt wird. In diesem Szenario wird die gute Qualität des Wassers im flussabwärts liegenden See (Ökosystemleistung) durch den Effekt bewahrt, den der Eintrag von Waldstreu flussaufwärts auf die Interaktionen zwischen Arten hat. Wird jedoch wie in Beispiel **(b)** der Wald abgeholzt, bleibt die Regulierung der Algen durch das Zooplankton aufgrund der geringen Dichte an Bakterien (aufgrund des Verlusts an Eintrag von Waldstreu) aus, was flussabwärts zur Überdüngung und zum Verlust der Ökosystemleistungen führen kann.

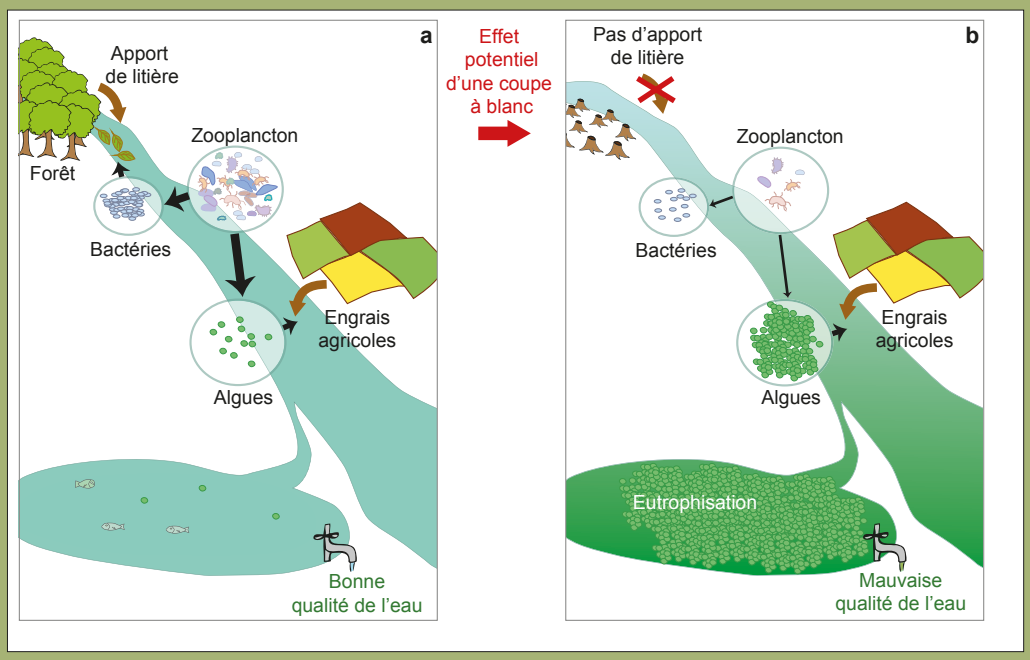

Fig. 2: Impact régional de la perturbation de réseaux d'interactions.
Les réseaux d'interactions (cercles et flèches noires) sont influencés par les flux spatiaux de ressources (flèches brunes) provenant de l'écosystème terrestre. Par exemple, **(a)** les apports de litière provenant de la forêt riveraine fournissent de la nourriture pour les bactéries, favorisant une abondance élevée de leurs prédateurs, le zooplancton. Parce que le zooplancton se nourrit aussi d'algues, cette forte abondance de zooplancton permet une régulation efficace des algues à croissance rapide (en vert), dont l'abondance est stimulée par le lessivage des engrais agricoles. Dans ce scénario, la bonne qualité des eaux du lac situé en aval (service écosystémique) est maintenue par l'effet de l'apport de litière sur les interactions entre espèces situées en amont. Cependant, **(b)** si la forêt est coupée, les algues échappent à la régulation du zooplancton en raison de la faible densité bactérienne (due à la perte des apports de litière), ce qui peut conduire à l'eutrophisation et à la perte de services écosystémiques en aval.

ein Ökosystem widerstandsfähiger gegen Klimaveränderungen macht. Trotz dieser Unsicherheiten werden derzeit zahlreiche neue statistische Methoden entwickelt, mit denen die ökologischen Netzwerke auf Grundlage äusserst weniger Informationen rekonstruiert werden können. In unserer Veröffentlichung (Harvey et al. 2016) beschreiben wir eine Methode, die es dem Naturschutzmanagement ermöglicht, in einem ökologischen Netzwerk genau festzustellen, welche artübergreifenden Interaktionen am dringendsten bewahrt werden müssen («Eckpfeilerinteraktionen»), um die Stabilität des Ökosystems zu erhalten und kaskadenartige Aussterbefälle zu vermeiden.
Diese Verschiebung des Ziels bei der Naturschutzbiologie stellt eine besonders interessante Chance zur Annäherung von ökologischer Grundlagenforschung und angewandter Ökologie dar. Zudem sind diese Veränderungen notwendig, um dem Druck gewachsen zu sein, der auf der Biodiversität und den Umweltdiensten lasten. Die Ökologie versteht sich in erster Linie als die Wissenschaft der Interaktionen von Lebensformen untereinander sowie zwischen Lebensformen und ihrer Umwelt. Der Schutz der Interaktionen stellt also eine Rückkehr zu den Wurzeln der Ökologie dar. Gefördert wird sie durch das digitale Zeitalter und die sich daraus ergebenden Fortschritte in der Wissenschaft komplexer Systeme (Netzwerktheorie), die es uns nun ermöglichen, besser denn je die Bedeutung der ökologischen Wechselwirkungen und das Ausmass der möglichen Folgen unseres Handelns auf die Ökosysteme zu verstehen und so effizienter zu agieren.

Hinweis: Text und Zahlen sind angelehnt an einen wissenschaftlichen Artikel der gleichen Autoren, der 2016 veröffentlicht wurde. Die korrekte Zitierung dieser Veröffentlichung lautet: Harvey et al. 2016. Bridging ecology and conservation: from ecological networks to ecosystem function. Journal of Applied Ecology DOI: 10.1111/1365-2664.12769.

Kontakt
ERIC HARVEY
University of Zürich/Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
Department of Aquatic Ecology
Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf
Email Eric.Harvey@eawag.ch

«clef de voûte») pour maintenir la stabilité de l'écosystème et éviter les extinctions en cascades.
Ce changement de cible en biologie de la conservation constitue une opportunité particulièrement intéressante de rapprochement entre écologie fondamentale et appliquée. Il s'agit aussi d'un changement nécessaire pour faire face aux pressions environnementales actuelles qui pèsent sur la biodiversité et les services environnementaux. L'écologie se définit d'abord et avant tout comme la science des interactions, entre les organismes vivants, et entre les organismes vivants et leur environnement. La protection des interactions constitue donc un retour aux sources de l'écologie, propulsé par l'ère du numérique et les progrès associés en science de la complexité (théorie des réseaux), qui nous permettent maintenant de comprendre plus que jamais l'importance des interdépendances écologiques et l'ampleur des conséquences potentielles de nos actions sur les écosystèmes, donc d'agir plus efficacement.

Note: texte et figures sont adaptés d'un article scientifique des mêmes auteurs, publié en 2016. La manière appropriée de citer cette publication est: Harvey et al. 2016. Bridging ecology and conservation: from ecological networks to ecosystem function. Journal of Applied Ecology DOI: 10.1111/1365-2664.12769.

Interlocuteur
ERIC HARVEY
Université de Zurich/Eawag: Institut de recherche de l'eau, Département d'écologie aquatique
Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf
courriel Eric.Harvey@eawag.ch