

Das Vorkommen von Lebewesen vorhersagen

Wirbellose Kleinlebewesen haben sehr verschiedene Ansprüche an ihren Lebensraum. Die Eawag entwickelt ein Computermodell, um die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften am Flussgrund vorherzusagen. Das Modell soll in Zukunft integratives Flussmanagement unterstützen und mögliche Konsequenzen verschiedener Managementmassnahmen oder des Klimawandels vorhersagen.

Die Klimaerwärmung und die Art unserer Landnutzung werden in den kommenden Jahrzehnten den Zustand unserer Fließgewässer stark beeinflussen. Durch die Klimaerwärmung werden die Temperaturen in den Flüssen ansteigen und die Wasserführung wird sich verändern; durch den gesellschaftlichen und demografischen Wandel werden sich auch die Schadstoffeinträge aus Landwirtschaft, Siedlungen, Industrie und Verkehr ändern. Diese Veränderungen wirken sich auf die Gewässerökosysteme und ihre Lebewesen aus. Allerdings ist das Verständnis darüber lückenhaft. Computermodelle können das vorhandene Wissen über die in den Fließgewässern ablaufenden Prozesse integrieren und quantitativ beschreiben. Dadurch können sie dazu beitragen, Auswirkungen von Umweltveränderungen auf die Ökosysteme zu prognostizieren. Wir zeigen am Beispiel eines Modells zur Zusammensetzung der Gemeinschaft wirbelloser Kleinlebewesen, wie solche Prognosemodelle aufgebaut sind, welche Schwierigkeiten

Welche wirbellosten Kleinlebewesen in einem Fließgewässer vorkommen, hängt von dessen Beschaffenheit und Zustand ab.



Mark Honti

bei deren Entwicklung auftreten und wie man mit den vorhandenen Unsicherheiten umgehen kann.

Zentrale Rolle der Makroinvertebraten in Gewässern. Makroinvertebraten nennt man die wirbellosen Kleinlebewesen, die man mit blossen Auge sehen kann. Dazu gehören ganz unterschiedliche Organismen wie Insektenlarven, Bachflohkrebse, Muscheln, Schnecken, Egel und viele mehr. Sie leben meistens auf dem Flussgrund oder im Sediment und erfüllen wichtige Funktionen im Ökosystem: Sie zerkleinern eingetragenes Laub und machen es so für andere Organismen einfacher verwertbar, filtern organische Partikel aus dem Wasser und weiden Algen ab. Sie stellen auch ein wichtiges Glied in der Nahrungskette dar und dienen zum Beispiel Bachforellen als Nahrung.

Daneben sind sie faszinierende Organismen, die zur Biodiversität der Gewässer beitragen. Die verschiedenen Arten haben sich an sehr unterschiedliche Umweltbedingungen angepasst. Manche Arten kommen nur in besonders sauberem Wasser vor, andere tolerieren hohe Belastungen an organischem Material oder haben spezielle Eigenschaften, um besser mit Pestiziden klarzukommen. Manche lieben eine starke Strömung oder sehr langsam fließende Gewässer, andere sind Generalisten, die ein breites Spektrum an Umweltbedingungen tolerieren. Auch ihre Ernährungsweisen unterscheiden sich. Die Weidegänger grasen Algen am Flussgrund ab, die Filtrierer, Sedimentfresser und Zerkleinerer, filtern organische Partikel aus dem Wasser, sammeln diese im Sediment oder zerkleinern Laub. Aber es kommen auch Räuber vor, die sich von anderen Invertebraten ernähren, und Allesfresser, die verwerten, was gerade vorhanden ist.

Für das Management eines Gewässers sind die Makroinvertebraten besonders wichtig, weil sie einerseits eine entscheidende Funktion bei der Aufrechterhaltung von dessen Ökosystemdienstleistungen (Wasserreinigung, Erholungsraum, Fischerei) innehaben. Andererseits eignen sie sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Ansprüche als Indikatoren für die Wasserqualität und für natürliche oder vom Menschen beeinträchtigte Umweltbedingungen. Daher spielen sie für die Bewertung des ökologischen Zustands von Gewässern eine bedeutende Rolle, beispielsweise im Schweizer Modul-Stufen-Konzept (www.modul-stufen-konzept.ch).



Nele Schuwirth, Hydrogeologin, entwickelt ökologische Modelle und erforscht Methoden zur Entscheidungsunterstützung im Umweltmanagement.

Koautor: Peter Reichert

Auswirkungen auf Arten prognostizieren. Um die ökologischen Veränderungen eines Gewässers zum Beispiel infolge einer Revitalisierung oder eines Kläranlagenausbaus von vornherein abschätzen zu können, wäre es hilfreich, die Auswirkungen auf die Makroinvertebraten liessen sich vorhersagen. Im Rahmen des Projekts iWaQa des nationalen Forschungsprogramms Nachhaltige Wassernutzung (www.nfp61.ch) entwickeln und verfeinern wir deshalb Methoden, um in Zukunft solche Prognosen machen zu können.

In der Vergangenheit entwickelten wir das Computermodell Ecological river model (Erimo), das die verschiedenen Arten basierend auf ihrem Ernährungstyp in funktionelle Gruppen zusammenfasst und die Häufigkeit beziehungsweise Biomasse dieser funktionellen Gruppen im Lauf der Zeit abhängig von Abfluss und Temperatur beschreibt [1, 2]. Dieses Modell eignet sich sehr gut, um die zeitliche Entwicklung der Wirbellosengemeinschaft und ihrer Funktionen im Ökosystem (zum Beispiel die Abweidung von Algen oder den Abbau von Laub) zu beschreiben. Andere Faktoren, die für die Bewertung des ökologischen Zustands eines Gewässers wichtig sind, wie die Biodiversität oder das Vorkommen besonders empfindlicher Arten, lassen sich darin nicht abbilden. Mit dem Modell Streambugs 1.0 gehen wir nun einen Schritt weiter und versuchen, einzelne Taxa (Arten, Gattungen oder Familien, je nach Verfügbarkeit der Daten) zu beschreiben [3]. Dafür müssen wir Abstriche bei der zeitlichen Dynamik machen. Wir konzentrierten uns bisher auf das Vorkommen oder Nicht-Vorkommen von Arten an einem Standort; Prognosen des zeitlichen Verlaufs der Häufigkeiten oder Biomassen der verschiedenen Taxa wie bei Erimo sind damit prinzipiell auch möglich, benötigen aber noch ausführliche Tests und allenfalls eine Weiterentwicklung des Modells.

Ob bestimmte Arten an einem Standort vorkommen oder nicht, hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab, etwa von den Umweltbedingungen (Abb. 1). Unter Einbezug dieser Einflussgrößen simuliert unser Computermodell die wichtigsten Prozesse,

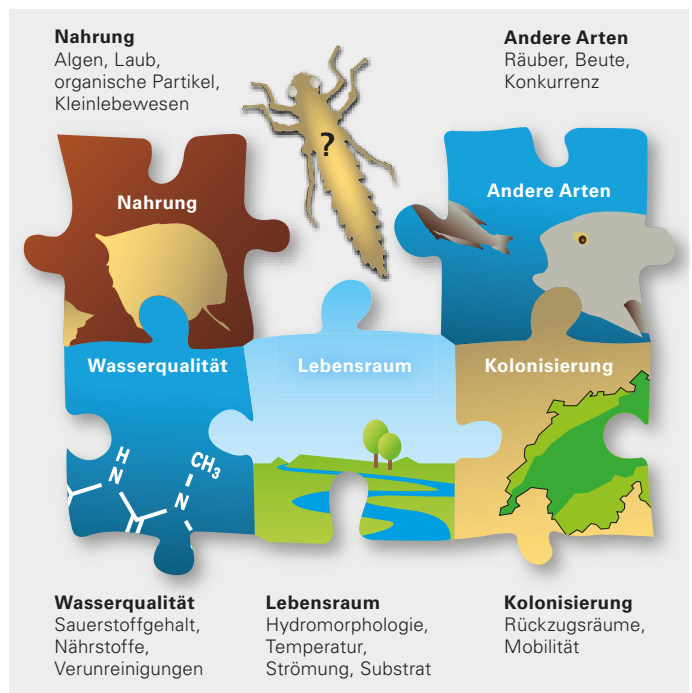


Abb. 1: Verschiedenste Faktoren bestimmen, ob eine Art in einem bestimmten Lebensraum vorkommt oder nicht.

die über das Vorhandensein der Taxa beziehungsweise über eine Zu- oder Abnahme deren Biomasse entscheidet: Wachstum durch Nahrungsaufnahme und Fortpflanzung auf der einen Seite, Atmung (Umwandlung der eigenen Biomasse in Energie) und Sterben auf der anderen Seite. Diese Prozesse hängen vom basalen Stoffwechsel ab, der den Energieumsatz im Ruhezustand charakterisiert. Zusätzlich werden sie von den spezifischen Ansprüchen der verschiedenen Taxa und den Umweltbedingungen beeinflusst (Abb. 2).

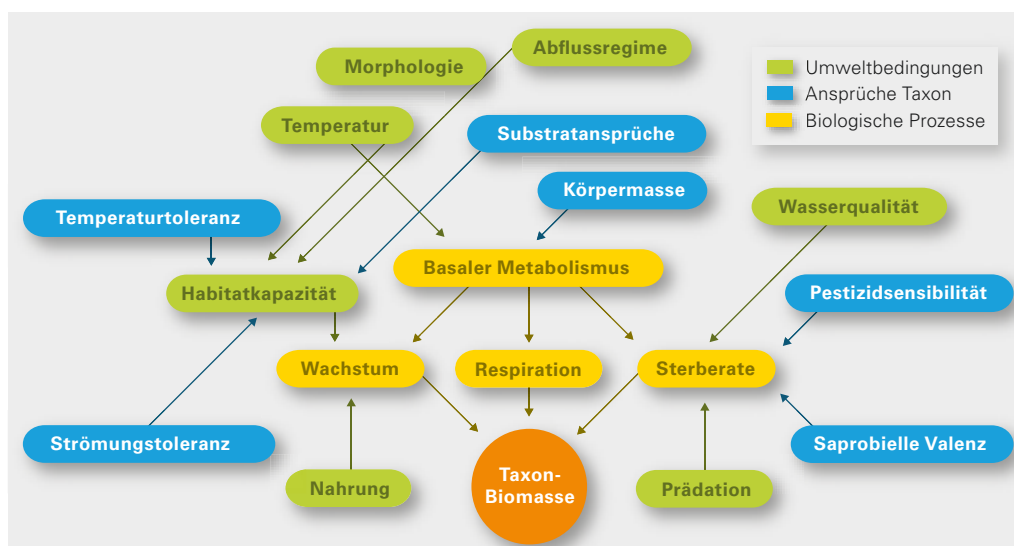


Abb. 2: Das Computermodell Streambugs 1.0 umfasst die grundlegenden Prozesse und Einflussfaktoren, um daraus das Vorkommen eines Taxons beziehungsweise die Zu- oder Abnahme von dessen Biomasse für einen bestimmten Standort zu simulieren. Die Habitatkapazität beschreibt, wie viele Lebewesen ein bestimmtes Habitat maximal aufnehmen kann. Unter saprobieller Valenz versteht man die Toleranz gegenüber der Belastung mit abbaubarem organischem Material.

So komplex wie nötig, so einfach wie möglich. Solche Modelle sind immer eine grobe Vereinfachung der viel komplexeren Natur. Die Kunst muss deshalb darin bestehen, einen guten Kompromiss zwischen Einfachheit und Komplexität (sprich Realitätsnähe) zu finden. Einfachheit ist wünschenswert, da sich das Modell dann auch leichter anwenden lässt. So ist es ein Vorteil, auf möglichst wenige Eingabedaten zurückgreifen zu müssen – am besten auf solche, die bereits erhoben wurden oder die man aus vorhandenen Informationen abschätzen kann. Wenn das Modell einfacher ist, verkürzt sich auch die Rechenzeit. Das ist ein wichtiger Faktor für die Anwendung von Methoden zur Quantifizierung von Unsicherheiten oder zur Sensitivitätsanalyse. Letztere zeigt, wie sich kleine Änderungen der Einflussgrößen auf die Modellresultate auswirken und dient der Einschätzung der Robustheit.

Die Komplexität und damit die Realitätsnähe eines Modells zu erhöhen, ist nur möglich, wenn die Wirkungszusammenhänge und Einflussgrößen auch quantitativ erfasst werden können. Das ist aber nur dann sinnvoll, wenn das Modell dadurch genauere Prognosen machen kann oder universeller wird, das heisst, auf verschiedene Situationen oder Orte übertragbar ist. Wir können beispielsweise ein Modell entwickeln, das das Vorkommen von Makroinvertebraten in der Mönchaltorfer Aa gut beschreibt. Wenn dieses Modell auch für die Gürbe und die Thur gute Prognosen liefert, ist es einerseits nützlicher für die Praxis. Andererseits gibt das aber auch mehr Gewissheit, dass die einzelnen Prozesse im Modell korrekt abgebildet sind. In diesem Fall kann man es auch eher wagen, das Modell zur Vorhersage sich ändernder Umweltbedingungen zu verwenden. Eine universelle Verwendbarkeit hat aber immer ihre Grenzen. Es wäre vermessen zu verlangen, dass ein Modell für jegliche Flusstypen funktioniert, also gleichzeitig für den Rhein bei Basel und für einen Bergbach in den Hochalpen.

Online-Datenbanken liefern die Informationen. Die spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Makroinvertebraten-Taxa entnehmen wir Datenbanken, die im Internet zur Verfügung stehen. Diese wurden aus Beiträgen vieler Forscherinnen und Forscher zusammengestellt. Die Daten zu Habitatsprüchen und Ernährungstypen beziehen wir zum Beispiel von der Website www.freshwaterecology.info [4]. Für die Empfindlichkeit der verschiedenen Taxa gegenüber Pestiziden benutzen wir eine Datenbank zum so genannten Spear-Index [5].

Der Spear-Index berechnet aus Monitoring-Daten von Makroinvertebraten, wie sie Gewässerschutzämter typischerweise erheben, den prozentualen Anteil von Arten, die empfindlich auf Pestizide reagieren. Wenn es viele davon gibt, kann man davon ausgehen, dass an diesem Standort keine Beeinträchtigung durch Pestizide existiert. Kommen hauptsächlich Arten vor, die tolerant gegenüber Pestiziden sind, ist das ein Hinweis darauf, dass Pestizide hier ein Problem darstellen. Wir benutzen diese Informationen über die Empfindlichkeit der Arten in unserem Modell, indem wir an Standorten, an denen wir eine Pestizidbelastung erwarten, die Sterberate der empfindlichen Arten erhöhen. Das ist eine stark vereinfachte Beschreibung des Einflusses von Pestiziden auf die Lebensgemeinschaften. Ähnlich gehen wir bei Belastungen durch organisches Material vor, das zu Sauerstoffarmut im

Gewässer führen kann. Dafür benutzen wir das so genannte Saprobiensystem, das in Mitteleuropa schon lange zur Einschätzung der Wasserqualität verwendet wird [6].

Wir haben das Modell bisher an vier Standorten im Einzugsgebiet der Mönchaltorfer Aa getestet, einem Zufluss des Greifensees im Kanton Zürich. Für diese Standorte können wir Monitoring-Daten mehrerer Jahre des Amts für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons nutzen [7]. Diese enthalten die vorkommenden Makroinvertebraten-Arten und deren Häufigkeit, aufgenommen nach der Methode des Modul-Stufen-Konzepts (Stufe F). Zusätzlich sind für diese Gebiete auch Daten über Nährstoffe, Pestizide, Abflussbedingungen und Temperaturen vorhanden. Damit sind wir in der Lage, die Umweltbedingungen an den vier Standorten abzuschätzen, die als Eingabegrößen in das Modell eingehen (Tabelle).

Erfolgreiche Praxistests. Viele Einflussgrößen, die in das Modell eingehen, zum Beispiel die spezifischen Wachstums- oder Sterberaten der Taxa, sind unsicher. Wir arbeiten in solchen Fällen deshalb nicht mit festen Werten, sondern definieren für jeden eine entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung, die das Wissen und die Unsicherheit über den Wert widerspiegelt. Um die Auswirkung dieser Unsicherheiten auf die gesamte Unsicherheit der Modellvorhersage zu quantifizieren, benutzen wir ein spezielles mathematisches Verfahren (Monte-Carlo-Simulation). Damit erhalten wir eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Modellresultate. Anhand derer können wir für jedes Makroinvertebraten-Taxon die vom Modell prognostizierte Wahrscheinlichkeit berechnen, dass es an dem Standort überlebt oder dort aussterben würde, weil beispielsweise die Umweltbedingungen unpassend sind.

Um abzuschätzen, wie gut das Streambugs-Modell die Wirklichkeit abbildet, haben wir die Modellvorhersagen mit den

Umweltbedingungen an vier Standorten der Mönchaltorfer Aa.

	Standort 1 oberhalb ARA	Standort 2 unterhalb ARA	Standort 3 oberhalb ARA	Standort 4 unterhalb ARA
mittlere Wassertemperatur (°C)	10,3	12,4	9,6	11,4
Temperaturregime	moderat	warm	moderat	warm
mittlerer Laubeintrag (g/m ² /Jahr)	170	260	500	420
Beschattungsgrad (%)	15	26	90	95
Strömungsregime	stark strömend	stark strömend	stark strömend	mittel
Pestizidbelastung	?	ja	nein	ja
Gewässergüteklasse gemäss Saprobiensystem	I: oligo-saprobe Zone	II: β -meso-saprobe Zone	I: oligo-saprobe Zone	II: β -meso-saprobe Zone
mittlere Phosphatkonzentration (mg/l)	0,01	0,03	0,05	0,04
mittlere Stickstoffkonzentration (mg/l)	3,3	8,0	2,1	7,6

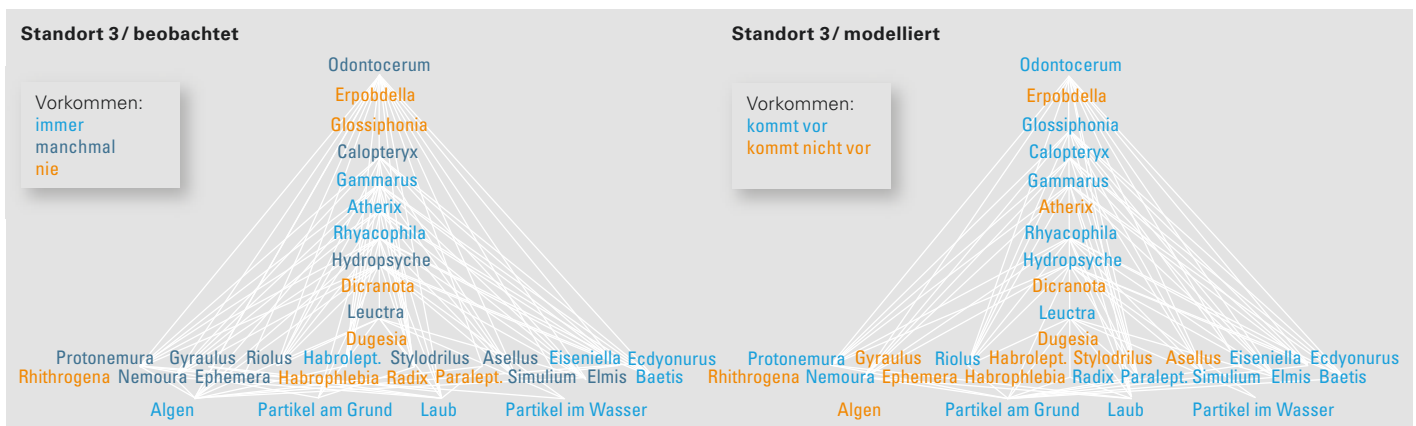


Abb. 3: Vorkommen von Makroinvertebraten an einem Standort an der Mönchaltorfer Aa, dargestellt als Nahrungsnetz auf Gattungsniveau. Rechts sind die Modellprognosen abgebildet, links die realen Verhältnisse anhand von Felddaten.

beobachteten Vorkommen von Makroinvertebraten an den vier Standorten an der Mönchaltorfer Aa verglichen (Abb. 3). Bereits die ersten Tests waren sehr erfolgreich, ohne dass wir die Eingabegrößen im Rahmen einer Kalibrierung angepasst hatten. Die Computersimulation konnte zwar nicht alle Taxa genau vorhersagen – das hatten wir aber auch nicht erwartet. Dennoch attestierte das Modell den meisten Taxa, die an einem Standort gemäss Felderhebungen zu allen Probenahmezeitpunkten vorgekommen sind, dort auch eine hohe Überlebenswahrscheinlichkeit. Taxa, die nie in den Monitoring-Daten aufgetaucht sind, haben auch nach dem Modell zumeist eine geringe Überlebenswahrscheinlichkeit.

Managementalternativen bewerten. Unser Beispiel zeigt, dass Computermodelle hilfreich sind, um auch lückenhaftes Wissen zu bündeln. Durch bestmögliche Vorhersagen können sie damit Entscheidungsfindungsprozesse unterstützen. Für eine realistische und glaubwürdige Einschätzung ist es aber wichtig, die Unsicherheiten zu quantifizieren. Damit ein solches Computermodell in der Praxis eingesetzt werden kann, sind grundsätzlich folgende Entwicklungsschritte nötig: Testen des Modellkonzepts, Anwendung in einem möglichst breiten Spektrum von Umweltbedingungen inklusive Modellverbesserungen, Implementierung einer benutzerfreundlichen Software.

Das Modell Streambugs 1.0 befindet sich derzeit im ersten Entwicklungsstadium. Die Ausnahmen, bei denen die Modellvorhersagen nicht mit den Feldbeobachtungen übereinstimmen, sind besonders interessant für uns, denn sie können helfen, das Modell zu verbessern. Wir werden dieses daher als Nächstes an weiteren Standorten testen, um zu schauen, ob sich die Ergebnisse bestätigen, und um den Gründen für die Unstimmigkeiten auf die Spur zu kommen. So können wir auch die Universalität und die Vorhersagekraft zuverlässiger einschätzen und verbessern.

Zusätzlich wollen wir in Zukunft auch die Wiederbesiedlung nach Störungsereignissen in das Modell aufnehmen. Das ist ein wichtiger Prozess, der über den biologischen Erfolg oder Misserfolg von Renaturierungsmassnahmen mitentscheiden kann.

Unser Ziel ist es, dass das Modell neben dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn dereinst vorhersagen kann, welche möglichen Konsequenzen verschiedene Managementmassnahmen oder der Klimawandel auf das Vorkommen von Lebewesen in Fließgewässern haben können. ○ ○ ○

- [1] Schuwirth N., Kühni M., Schweizer S., Uehlinger U., Reichert P. (2008): A mechanistic model of benthos community dynamics in the River Sihl, Switzerland. *Freshwater Biology* 53, 1372–1392.
- [2] Schuwirth N., Reichert P. (2009): Modell für Lebensgemeinschaften in Fließgewässern. *Eawag News* 66, 19–21.
- [3] Schuwirth N., Reichert P. (eingereicht): Bridging the gap between theoretical ecology and real ecosystems – Modeling invertebrate community composition in streams.
- [4] Schmidt-Kloiber A., Hering D. (2012): www.freshwaterecology.info – the taxa and autecology database for freshwater organisms, version 5.0 (accessed on 02/2011: version 4.0/2009).
- [5] Liess M., Schäfer R.B., Schriever C.A. (2008): The footprint of pesticide stress in communities – Species traits reveal community effects of toxicants. *Science of the Total Environment* 406, 484–490.
- [6] DIN 38410 (2004): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M) Teil 1: Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässern (M 1).
- [7] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (2006): Wasserqualität der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich, Statusbericht 2006. Zürcher Umweltp Praxis. www.gewaesserschutz.zh.ch