



ANALYSE SCHWEIZWEITER MAKROZOOBENTHOSDATEN

ERKENNTNISSE ÜBER ANTHROPOGENE EINFLÜSSE UND MONITORING-DESIGN

Mit einem statistischen Modell wurden schweizweite Monitoringdaten über die Zusammensetzung von Makrozoobenthosgemeinschaften in Schweizer Fliessgewässern ausgewertet. Temperatur, Landwirtschaft und Hydromorphologie wurden dabei als wichtige Einflussfaktoren im Modell identifiziert. Arten aus der gleichen Familie reagieren in vielen Fällen unterschiedlich auf natürliche und menschliche Umwelteinflüsse. Neben der taxonomischen Auflösung wirkt sich auch die Stellenauswahl auf die Aussagekraft der Resultate aus.

Nele Schuwirth, Eawag*

Bogdan Caradima, Eawag

Yael Schindler Wildhaber, Bundesamt für Umwelt BAFU

Nadine Sarbach-Remund, UNA – Atelier für Naturschutz und Umweltfragen AG

RÉSUMÉ

ANALYSE DES DONNÉES MACROZOOBENTHIQUES EN SUISSE – LES INFLUENCES ANTHROPIQUES ET LA CONCEPTION DE LA SURVEILLANCE

Une analyse des données de surveillance s'étendant sur toute la Suisse et portant sur la composition des biocénoses macrozoobenthiques dans les cours d'eau suisses a permis d'identifier la température, les différents indicateurs de qualité de l'eau et les facteurs hydromorphologiques comme facteurs d'influence importants. De nombreux taxons réagissent à de multiples facteurs de stress. Ceci doit être pris en compte dans la gestion des eaux. Certaines espèces de familles fréquemment présentes réagissent de manière très différente aux facteurs d'influence naturels ou anthropiques. Pour ces espèces, il serait particulièrement intéressant d'effectuer une détermination au niveau de l'espèce. La résolution taxonomique, et le choix des tronçons ont une influence sur la pertinence des résultats du modèle. Plus les différents facteurs environnementaux sont couverts correctement dans l'ensemble de données, plus il est facile d'identifier clairement leurs influences sur l'apparition des taxons. Les analyses du modèle peuvent aider à identifier des taxons indicateurs, mais elles doivent être complétées par des connaissances spécifiques afin d'élaborer d'autres indices.

HINTERGRUND

Makrozoobenthosgemeinschaften sind ein wichtiger Bestandteil der Biodiversität in Fliessgewässern. Die wirbellosen Kleinlebewesen übernehmen grundlegende Funktionen im Ökosystem, wie beispielsweise den Blattabbau, und sind ein wichtiger Teil der Nahrungskette. Darüber hinaus sind sie sehr artenreich, weitverbreitet und relativ langlebig. Sie eignen sich daher als Bioindikatoren und werden seit über hundert Jahren als Anzeiger für die Wasserqualität verwendet [1].

In der Schweiz gibt es im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts [2] seit 2010 eine Anleitung zur einheitlichen Probenahme von Makrozoobenthos [3], die in verschiedenen kantonalen und bundesweiten Monitoringprogrammen angewendet wird [4]. Diese Monitoringdaten werden bei *info fauna – CSCF* in der Datenbank *Midat* [5] zentral gesammelt und verfügbar gemacht. Die Monitoring-Programme von Bund und Kantonen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Strategie zur Stellenauswahl und auch hinsichtlich der taxonomischen Auflösung der Daten. Im Rahmen zweier Forschungsprojekte wurden diese Daten nun erstmals mit verschiedenen Modellansätzen gemeinsam ausge-

* Kontakt: nele.schuwirth@eawag.ch

wertet. Ziel war es, über folgende Aspekte zu lernen:

- Einfluss multipler Stressoren und natürlicher Faktoren auf die Zusammensetzung der Makrozoobenthosgemeinschaften in Fließgewässern
- Habitatsprüche der verschiedenen Taxa
- Einfluss der taxonomischen Auflösung auf den Informationsgehalt der Daten

Die dabei gewonnenen Erkenntnisse helfen, Empfehlungen für das Monitoring des Makrozoobenthos und dessen ökologischer Bewertung abzugeben.

METHODEN

VERSCHIEDENE MODELLANSÄTZE

Um den Einfluss multipler Stressoren und natürlicher Faktoren auf das Makrozoobenthos zu analysieren, wurden zwei verschiedene Modellansätze entwickelt. Die Modelle haben das Ziel, die Vorkom-

menswahrscheinlichkeit verschiedener Taxa der gesamten Makrozoobenthosgemeinschaft aufgrund menschlicher und natürlicher Umwelteinflüsse vorherzusagen. Daraus lässt sich ableiten, wie relevant die verschiedenen Einflussgrößen für das Vorkommen der Taxa sind. Bei der Interpretation der Resultate muss beachtet werden, dass die Modelle auf statistischen Korrelationen beruhen – eine Ursache-Wirkungs-Beziehung kann damit nicht nachgewiesen werden.

Modell 1

Der erste Modellansatz ist ein statistisches Modell ohne Einbezug von Vorwissen über die Habitatpräferenzen der Makrozoobenthos-Taxa [6, 7]. Hier wurden Daten über viele mögliche Einflussfaktoren, für die eine Ursache-Wirkungs-Beziehung plausibel erscheint, gesammelt, aufbereitet und im Modell getestet. Die Auswahl der Einflussfaktoren erfolgte nach einem systematischen Test,

welche Kombination aus Einflussfaktoren das Vorkommen oder Nicht-Vorkommen der Taxa am besten vorhersagt (Tab. 1). Die getesteten Einflussfaktoren beinhalten lokale Umweltbedingungen an der Stelle der Probenahme, wie zum Beispiel Temperatur und Fließgeschwindigkeit, die Breitenvariabilität aus dem Modul «Ökomorphologie» und die Bewaldung des Uferbereichs. Dazu kamen Landnutzungsdaten aus dem gesamten Einzugsgebiet und aus dem Uferbereich oberhalb der Probenahmestelle. Da einige lokale Faktoren (Temperatur und Fließgeschwindigkeit) nicht als gemessene Daten an allen Stellen vorlagen, wurden sie anhand eines Modells abgeschätzt (Tab. 1).

Modell 2

Der zweite Modellansatz [8, 9] bezieht Vorwissen über Habitatpräferenzen der verschiedenen Taxa aus Datenbanken [10–12] mit ein (Tab. 1). Die Habitatpräferenzen betreffen verschiedene Umweltfaktoren, wie Temperatur, Fließgeschwindigkeit, Substrattypen und Wasserqualität (Tab. 1). Im Modell wird aufgrund der Habitatpräferenzen für jede Stelle und jedes Taxon eine sogenannte Habitattauglichkeit bezüglich der verschiedenen Umwelteinflüsse gerechnet, aus der dann die Vorkommenswahrscheinlichkeit abgeleitet wird. Dieses Modell enthält weniger Einflussfaktoren als das erste Modell, dafür solche, für die ein direkter Zusammenhang bekannt ist. Die Modellkalibrierung (= Anpassung der Parameter, um gute Übereinstimmung mit den Daten zu finden) findet einen Kompromiss zwischen dem Vorwissen aus den Datenbanken über die Habitatpräferenzen und guter Vorhersage. Ein Vergleich der Präferenzparameter aus der Datenbank und nach der Kalibrierung zeigt, was aus den Monitoringdaten über die Habitatpräferenzen gelernt werden kann. Diese Erkenntnisse können in Zukunft dazu genutzt werden, die Präferenz-Datenbanken zu revidieren [9]. Die Gewichtungsfaktoren bezüglich der verschiedenen Umweltfaktoren werden dabei für alle Taxa gemeinsam kalibriert und geben einen Hinweis darauf, wie stark der relative Einfluss auf die Makrozoobenthosgemeinschaft ist.

Modell 1	Modell 2	
Einflussfaktoren	Einflussfaktoren	Habitatpräferenzen
Temperatur: maximale Wassertemperatur im Sommer, modelliert aus Einzugsgebietsgröße und mittlerer Höhe des Einzugsgebietes in °C (T)	Temperatur: maximale Wassertemperatur im Sommer, modelliert aus Einzugsgebietsgröße und mittlerer Höhe des Einzugsgebietes °C (T)	Temperatur-Präferenz [10]
Fließgeschwindigkeit: mittlere Fließgeschwindigkeit modelliert aus Gewässerbreite, Steigung, mittlerem Abfluss, in m/s	Fließgeschwindigkeit: mittlere Fließgeschwindigkeit modelliert aus Gewässerbreite, Steigung, mittlerem Abfluss, in m/s	Strömungs-Präferenz [11]
Breitenvariabilität aus dem MSK-Modul Ökomorphologie	Ökomorphologie (Ökom) aus dem MSK-Modul Ökomorphologie	Präferenz für Ökomorphologie (ohne Vorwissen)
Wald lokal: Anteil des Gewässernetzes innerhalb von 150 m Distanz zur modellierten Stelle, der durch bewaldetes Gebiet führt	Substrat-Typen (Subst) Felderhebung während der MZB-Probenahme	Substrat-Präferenz [11]
Wald EZG: Anteil des Gewässernetzes im EZG, der durch bewaldetes Gebiet führt		
Ackeranteil in 10 m breitem Uferstreifen im EZG (A10m)		
Grossvieheinheiten pro km ² im EZG (GVE)	Organische Belastung modelliert aus dem Anteil Landwirtschaftsfläche, dem Anteil gereinigten Abwassers und den Grossvieheinheiten pro km ² im EZG (OrgB)	Saprobienle Valenz (nach österreichischer Einstufung) [10]
Insektizid-Landnutzungsindex aus Landwirtschaftsfläche im EZG, gewichtet nach typischer Häufigkeit von Insektizidanwendungen (InsLW)	Insektizid-Landnutzungsindex aus Landwirtschaftsfläche, gewichtet nach typischer Häufigkeit von Insektizidanwendungen und aus der Siedlung (Anteil gereinigten Abwassers bei Mittelwasserabfluss) (InsLwSi)	SPEAR-Klassifikation [13]
Siedlungsanteil im EZG		

Tab. 1 In den Modellen berücksichtigte Einflussfaktoren, um die Vorkommenswahrscheinlichkeit von Makrozoobenthos-Taxa vorauszusagen. Blau: lokale Einflussfaktoren an der modellierten Stelle, türkis: Einflüsse aus dem Uferbereich im Einzugsgebiet (EZG), grün: Einflüsse aus dem gesamten EZG oberhalb der modellierten Stelle. Im Modell 2 wurden zusätzlich zu den Einflussfaktoren auch Habitatpräferenzen der Makrozoobenthos-Taxa einbezogen.

VERSCHIEDENE DATENSÄTZE

In dieser Studie wurden alle Daten einbezogen, die am 13. Juli 2017 in Midat vor-

handen waren und nach MSK [3] beprobt wurden. Dabei handelt es sich um Daten aus dem Biodiversitätsmonitoring (BDM), der nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) und von kantonalen Monitoringprogrammen aus den Kantonen Aargau, Appenzell Ausserrhoden, Bern, Genf, Jura, Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz, St. Gallen, Uri, Waadt, Wallis, Zürich.

Das Design (Stellenauswahl, geografische Abdeckung und taxonomische Auflösung) dieser Monitoringprogramme unterscheidet sich aufgrund unterschiedlicher Zielsetzungen:

NAWA

Das von Bund und Kantonen seit 2011 gemeinsam betriebene Monitoringprogramm NAWA verfolgt das Ziel, den Zustand und die Entwicklung der Schweizer Oberflächengewässer integral zu dokumentieren und zu beurteilen. Es umfasst rund 100 Messstellen, die alle vier Jahre beprobt werden [1]. NAWA komplementiert somit die kantonalen Messstellen.

Kantonale Monitoringprogramme

Der Aufbau der kantonalen Monitoringprogramme unterscheidet sich stark: Meist sind die kantonalen Messnetze geografisch feiner aufgelöst, um eine Übersicht über den Zustand der Oberflächengewässer im Kantonsgebiet aufzuzeigen. Teilweise werden auch gezielt Stellen ausgewählt, an denen Defizite zu erwarten sind [14].

BDM

Das Biodiversitätsmonitoring umfasst rund 500 Messstellen, die systematisch auf einem regelmässigen Gitter über die ganze Schweiz verteilt sind. Jährlich wird seit 2010 ein Fünftel dieser Stellen beprobt mit dem langfristigen Ziel, die Veränderungen der Biodiversität in der Schweiz aufzuzeigen [15].

Aus diesen Daten wurden vier Datensätze erstellt (Tab. 2) und analysiert, um den oben genannten Forschungsfragen nachzugehen:

- BDM-Datensatz mit Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen (EPT) auf bestmöglicher Auflösung (in der Regel Art- oder Gattungsniveau) und andere Taxa auf Familienniveau (bis auf wenige Ausnahmen mit gröberer Auflösung), Stellenauswahl basierend auf regelmässigem Gitter (CHGa, Ab-

Datensatz	Abkürzung	Anzahl Stellen	Anzahl Proben	Anzahl Taxa
BDM mit EPT-Taxa bis auf Artniveau	CHGa	493	581	245
BDM auf Familienniveau	CHGf	493	581	103
kombinierter Datensatz ganze Schweiz	CHKf	1330	1802	124
kombinierter Datensatz Mittelland	MLKf	637	950	117

Tab. 2 Übersicht über die verwendeten Datensätze.

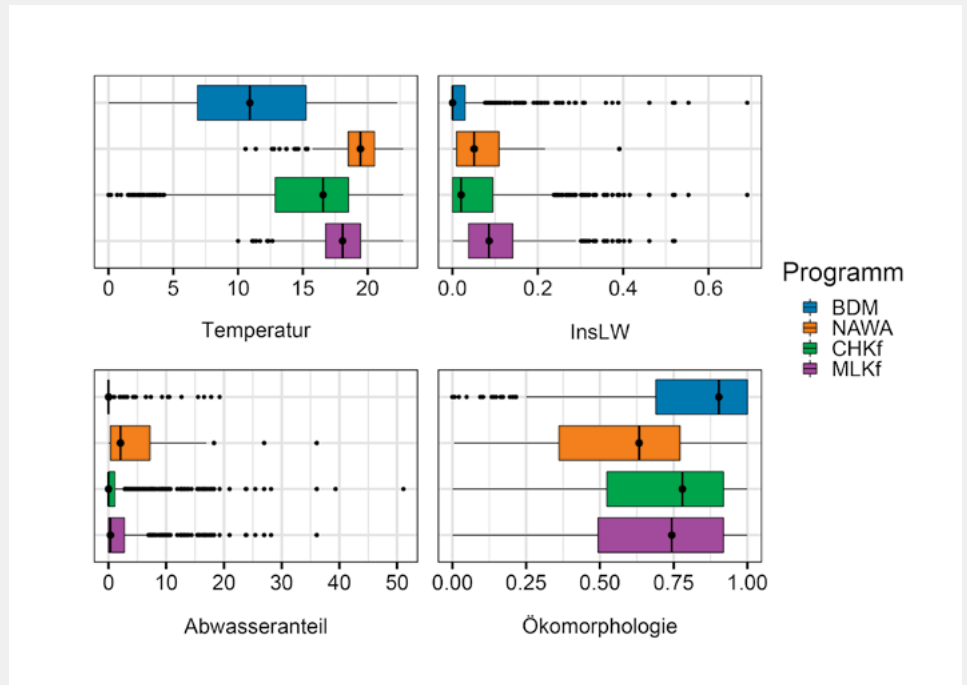


Fig. 1 Abdeckung einer Auswahl von Umweltfaktoren in den Monitoringprogrammen BDM und NAWA, der Kombination aller Datensätze für die ganze Schweiz (CHKf) und beschränkt aufs Mittelland (MLKf). InsLW: Insektizid-Landnutzungsindex aus Landwirtschaftsfläche (s. Tab. 1), die ökomorphologische Bewertung wird auf einer kontinuierlichen Skala von 0 (schlechteste Bewertung) bis 1 (beste Bewertung) dargestellt.

kürzung für schweizweit, Gitter, Artniveau als feinste Auflösung)

- BDM mit allen Taxa auf Familienniveau (wenige Ausnahmen mit gröberer Auflösung) (CHGf, Abkürzung für schweizweit, Gitter, Familienniveau als feinste Auflösung)
- Alle Programme (BDM, NAWA, kantonale Monitoringprogramme) kombiniert auf Familienniveau (bis auf wenige Ausnahmen mit gröberer Auflösung), Stellenauswahl bei NAWA und kantonalen Programmen aufgrund strategischer Überlegungen, z.B. unter Einbezug von Vorwissen über potenzielle Belastungen (CHKf, Abkürzung für schweizweit, alle Daten kombiniert, Familienniveau als feinste Auflösung)
- Alle Programme kombiniert auf Familienniveau beschränkt aufs Schweizer Mittelland (MLKf, Abkürzung für Mittelland, alle Daten kombiniert, Familienniveau als feinste Auflösung)

Aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzungen der Monitoringprogramme unterscheidet sich die Stellenzusammensetzung der Datensätze hinsichtlich der menschlichen und natürlichen Umweltfaktoren (Fig. 1).

RESULTATE

TEMPERATUR UND WASSERQUALITÄTS-INDIKATOREN ALS WICHTIGSTE EINFLUSSFAKTOREN

Modell 1

Unter allen möglichen Einflussgrößen haben folgende Faktoren im Modell 1 [6] zur besten Vorhersage über alle Taxa und alle Datensätze geführt (sortiert nach abnehmender Gewichtung): Temperatur, Insektizid-Landnutzungsindex aus Landwirtschaft, Fließgeschwindigkeit, Anteil Landwirtschaftsfläche in einem 10 m breiten Uferstreifen im Einzugsgebiet, Siedlungsanteil im Ein-

zugsgebiet, Grossvieheinheiten pro Fläche im Einzugsgebiet (EZG), Bewaldung des Uferbereichs im EZG und lokal sowie Breitenvariabilität.

Modell 2 basierend auf Vorwissen

In diesem Modell [8] hatte die Temperatur von allen Einflussfaktoren das höchste Gewicht für die Modellvorhersage, gefolgt von der organischen Belastung (Saprobie, modelliert als Kombination aus Landwirtschaftsfläche, Abwasseranteil und Grossvieheinheiten im Einzugsgebiet) [9]. Aber auch die Substrattypen, die Fliessgeschwindigkeit, und der Insektizid-Landnutzungsindex aus Landwirtschaft und Siedlung hatten einen signifikanten Einfluss auf das Vorkommen der verschiedenen Taxa. In einer Modellvariante wurde die Ökomorphologie als zusätzlicher Einflussfaktor mit aufgenommen, um zu testen, ob wir anhand des Modells die Sensitivität verschiedener Taxa bezüglich morphologischer Beeinträchtigungen einschätzen können. In diesem Modell verloren die Substrattypen an Einfluss, was darauf hinweist, dass Substrattypen und Ökomorphologie zum Teil redundante Informationen liefern.

EINFLÜSSE AUF DAS VORKOMMEN EINZELNER TAXA

Modell 1

In diesem statistischen Modell kann man direkt ablesen, welche Taxa im Modell positiv, negativ oder nicht signifikant auf die verschiedenen Einflussfaktoren reagieren (Fig. 2) [6]. Zum Beispiel besteht zwischen dem Vorkommen der Familie der Asellidae (zu

denen die Wasserasseln gehören) eine positive Korrelation mit dem Siedlungsanteil im Einzugsgebiet und der Temperatur, und eine negative Korrelation mit bewaldeten Ufern im Einzugsgebiet und der Fliessgeschwindigkeit. Die Modellresultate werden allerdings davon beeinflusst, wie häufig die Taxa beobachtet wurden. Für Taxa, die nur in wenigen Proben vorkamen, findet das Modell aufgrund des geringen Informationsgehaltes der Daten kaum signifikante Umwelteinflüsse (z.B. Ephydriidae in Fig. 2). Das gleiche gilt für Taxa, die nahezu überall vorkommen, wie zum Beispiel Zuckmücken (Chironomidae), eine artenreiche Familie mit grosser ökologischer Spannweite. Für diese Taxa sagt das Modell eine generell tiefe bzw. hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit voraus, ohne zwischen den verschiedenen Stellen differenzieren zu können. Des Weiteren muss man bei der Interpretation der Resultate beachten, dass sie auch durch indirekte Effekte beeinflusst sein können. Wenn Taxa im Modell zum Beispiel positiv auf die Anzahl Grossvieheinheiten im Einzugsgebiet reagieren, kann das daran liegen, dass sie vom Eintrag organischen Materials profitieren, oder dass auf diesen Flächen weniger Pestizide eingesetzt werden, auf die sie empfindlich reagieren.

Modell 2: Überprüfung der Präferenzdatenbanken

Im Modell 2 können die Habitatpräferenzen, die aus bestehenden Präferenzdatenbanken entnommen wurden [10, 11, 13] mit den Resultaten der Modellkalibrierung verglichen werden. Dieser Vergleich zeigt, für welche Taxa und welche Umweltfaktoren Modell und Datenbank weitgehend übereinstimmen

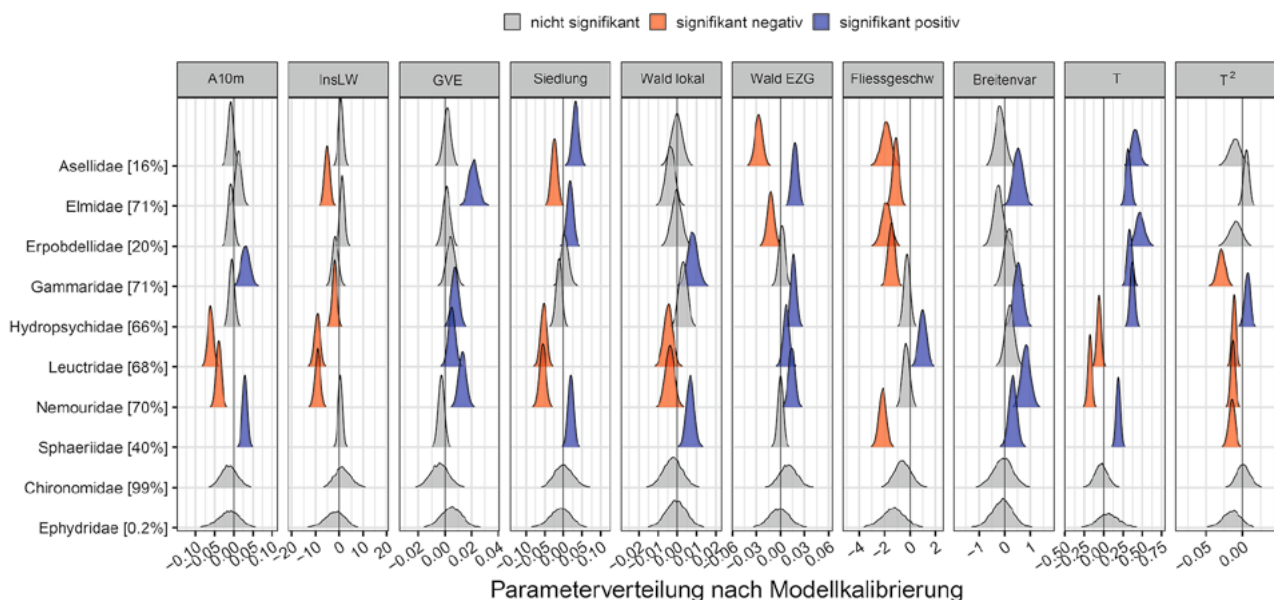


Fig. 2 Positive (blau), negative (rot) oder nicht signifikante (grau) Umwelteinflüsse auf die modellierte Vorkommenswahrscheinlichkeit für ausgewählte Taxa (A10m = Ackeranteil in 10 m breitem Uferstreifen, InsLW = Insektizid-Landnutzungsindex bezüglich Landwirtschaft, GVE = Anzahl Grossvieheinheiten pro km² im Einzugsgebiet, Siedlung = Siedlungsanteil im Einzugsgebiet, Wald lokal = Bewaldung des Uferbereichs im Umkreis von 150 m, Wald EZG = Bewaldung des Uferbereichs im Einzugsgebiet, Fliessgeschw = Fliessgeschwindigkeit, Breitenvar = Breitenvariabilität, T = Temperatur, T² = Temperatur im Quadrat, die Aufnahme dieses Faktors ins Modell ermöglicht eine parabelförmige Abhängigkeit der Vorkommenswahrscheinlichkeit von der Temperatur, da einige Taxa mittlere Temperaturen bevorzugen und sowohl auf zu kalte als auch auf zu warme Temperaturen negativ reagieren). Die Zahlen in eckigen Klammern geben an, in wie viel Prozent der Proben das Taxon beobachtet wurde. Resultate des Modells, das an den schweizerischen kombinierten Datensatz (CHKf) gefittet wurde.

und für welche Taxa aus den Monitoringdaten Informationen gewonnen werden, die vom Vorwissen aus den Datenbanken abweichen [9]. So weisen zum Beispiel die Resultate darauf hin, dass die Steinfliege *Nemoura minima* möglicherweise besser mit moderaten Sommertemperaturen von 10–18 °C zurecht kommt, als in der Präferenzdatenbank angegeben [9, 10] (für weitere Beispiele s. [9]).

Für einige Taxa und Umweltfaktoren lagen keine Präferenzinformationen vor. Für diese kann die Modellkalibrierung dazu beitragen, die Präferenzinformationen in den Datenbanken zu ergänzen. Ein Beispiel dafür ist die Modellversion, indem die Ökomorphologie als zusätzlicher Einflussfaktor aufgenommen wurde, obwohl es in den Datenbanken keine Präferenzinformationen gibt, die sich direkt auf die ökomorphologische Bewertung beziehen. Die Modellkalibrierung für den BDM-Datensatz hat 17 EPT-Arten sowie eine Familie aus der Ordnung der Zweiflügler (Blephariceridae, Lidmücken) identifiziert, die sensitiv auf ökomorphologische Beeinträchtigungen reagieren und zehn Taxa aus verschiedenen Ordnungen, die unempfindlich auf die Ökomorphologie reagieren [9].

BESSERE TAXONOMISCHE AUFLÖSUNG VEREINFACHT DIE URSACHENANALYSE

Anhand der BDM-Monitoringdaten, in denen die EPT-Taxa auf Artniveau bestimmt wurden, konnte der Einfluss der taxonomischen Auflösung dieser Taxa auf die Modellresultate untersucht werden. In beiden Modellen zeigt sich, dass es häufig vorkommende EPT-Familien gibt, die auf die Einflussfaktoren weniger empfindlich reagieren als die Arten der gleichen Familie. Beispielsweise kommen Vertreter der Familie der Baetidae fast an allen Monitoringstellen vor, ihr Vorkommen hängt daher kaum von äusseren Einflussfaktoren ab. Verschiedene *Baetis*-Arten, zum Beispiel *B. alpinus* und *B. rhodani*, reagieren im Modell jedoch deutlich stärker auf Einflussfaktoren und unterscheiden sich ebenfalls deutlich in ihrer geografischen Verteilung (Fig. 3). Folglich ist für solche Familien der Informationsgehalt

auf Artniveau deutlich grösser als auf Familienniveau, was dazu führt, dass die Arten besser als Bioindikatoren geeignet sind als die Familien. Andere Familien hingegen kommen nur in sehr wenigen Proben vor und eine bessere taxonomische Auflösung hätte wenig Nutzen zur Verwendung als Bioindikatoren. Für Fragen bezüglich Biodiversität und vom Aussterben bedrohter Arten kann eine bessere taxonomische Auflösung natürlich auch für solche Familien von Interesse sein.

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für die Ordnung der *Oligochaeta* (Wenigborster). Diese werden im IBCH (*Indice biologique CH*)-Protokoll nur auf Ordnungsniveau aufgelöst, kommen aber im kombinierten Datensatz auf Familienniveau vor (*Lumbricidae*, *Lumbriculidae*, *Naididae*, *Tubificidae*, *Haplotaxidae*). Diese Familien zeigen im Modell unterschiedliche Reaktionen auf fast alle Umweltfaktoren, wohingegen die Ordnung nur signifikant positiv auf die Anzahl Grossvieheinheiten und signifikant negativ auf die Fliessgeschwindigkeit reagiert. Da die verschiedenen Taxa der *Oligochaeta* gute Bioindikatoren sind, wurde ein spezieller Index für sie entwickelt, der möglicherweise in Zukunft in der Schweiz eingesetzt werden kann [12].

MONITORING-DESIGN BEEINFLUSST DIE RESULTATE

Ein Vergleich des Modells für den kombinierten Datensatz für die ganze Schweiz (CHKf) mit dem kombinierten Datensatz beschränkt aufs Mittelland (MLKf) zeigt, dass in beiden Modellen die Parameterschätzungen sehr ähnlich sind [6]. Der Ausschluss der alpinen und jurassischen Stellen hat nur einen geringen Einfluss auf die Kalibrierung der Modellparameter. Das heisst, die Resultate sind relativ robust auf die geografische Auswahl. Die Vorhersagekraft beim schweizweiten Modell ist allerdings deutlich besser als beim Modell fürs Mittelland. Beim Vergleich zwischen dem Modell für den BDM-Datensatz auf Familienniveau (CHGf) und dem Modell für den kombinierten Datensatz (CHKf) sind die Parameterunterschiede grösser. Durch die grössere Anzahl Datenpunkte und die bessere Abdeckung der Umweltfaktoren reagieren die Taxa im Modell

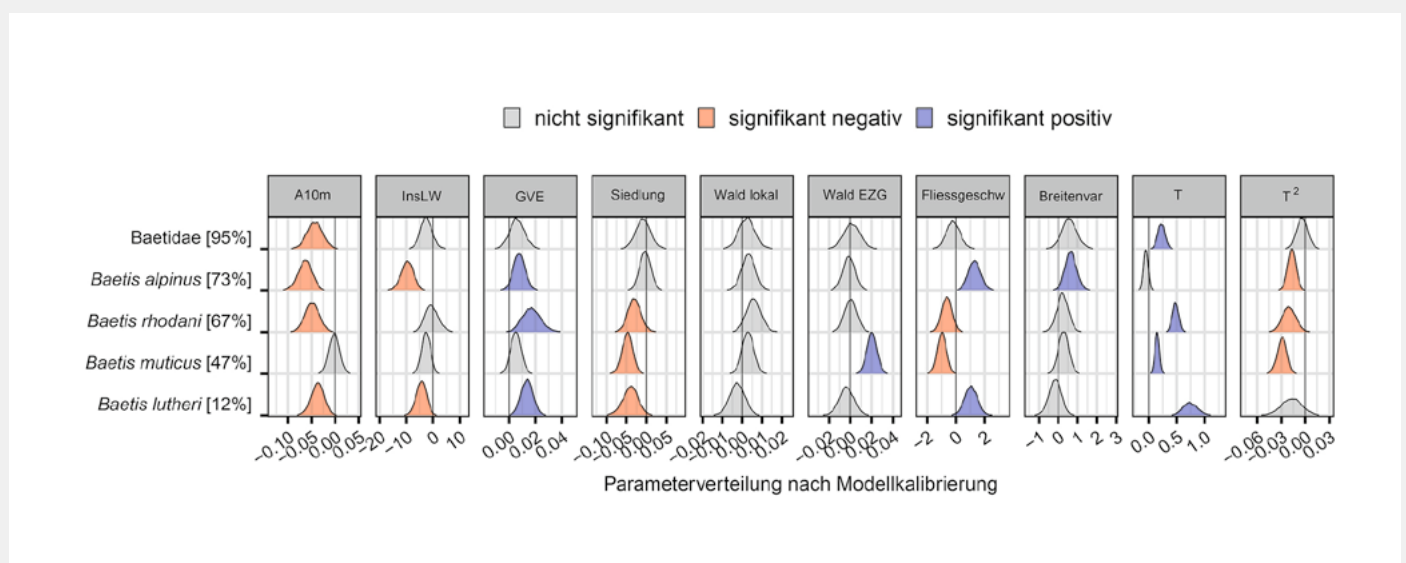


Fig. 3 Die Parameterverteilungen der vier häufigsten *Baetis*-Arten der fast in allen Proben vorkommenden Eintagsfliegen-Familie Baetidae zeigen unterschiedliche Reaktionen auf Umwelteinflüsse an. Die Arten reagieren im Modell stärker als die Familie, sie sind also bessere Bioindikatoren. So reagieren zum Beispiel die Familie Baetidae und die Art *B. rhodani* im Modell unempfindlich auf den Insektizid-Landnutzungsindex bezüglich Landwirtschaft (InsLW), während die Arten *B. alpinus* und *B. lutheri* signifikant negativ reagieren. Die Zahlen in eckigen Klammern geben an, in wie viel Prozent der Proben das Taxon gefunden wurde.

für den kombinierten Datensatz häufig stärker auf die Einflussfaktoren als im Modell für den kleineren BDM-Datensatz mit weniger belasteten Stellen.

IBCH-EINSTUFUNG WEITGEHEND BESTÄTIGT

Die Resultate der Parameterschätzung bestätigen im Wesentlichen die Einstufung nach Indikatorgruppe gemäss IBCH, dem Index der im Modul «Makrozoobenthos» zum Einsatz kommt [3, 16, gleiche Ausgabe, 17] (Fig. 4). So reagieren die Taxa der hohen Indikatorgruppen erwartungsgemäss stärker negativ auf menschliche Belastungen als die Taxa der tiefen Indikatorgruppen, die häufig nicht signifikant oder sogar positiv reagieren. Allerdings gibt es auch Taxa, wie zum Beispiel die Köcherfliegen-Fa-

milie *Beraeidae*, die einer hohen Indikatorgruppe zugeordnet sind (neu Stufe 8, [16, 17]), die im Modell nicht signifikant reagieren. Dies liegt daran, dass diese Familie in weniger als 1% der Proben vorkam.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Einfluss multipler Stressoren und natürlicher Faktoren auf die Artenzusammensetzung des Makrozoobenthos

Viele Taxa reagieren im Modell empfindlich auf mehrere Stressoren. Die Temperatur und verschiedene Wasserqualitätsindikatoren zeigen in beiden Modellen den stärksten Einfluss auf das Vorkommen der Makrozoobenthos-Taxa in Fliessgewässern.

Habitat-Ansprüche der verschiedenen Taxa
Modellanalysen können die Identifikation von Indikator taxa unterstützen, sollten aber durch Fachwissen ergänzt werden. Der Modellansatz mit Einbezug von Vorwissen über Habitatpräferenzen ermöglicht eine systematische Überprüfung und Ergänzung von Präferenz-Datenbanken. Daraus könnten in Zukunft weitere, ursachenspezifische Indizes erarbeitet werden.

Einfluss der taxonomischen Auflösung auf den Informationsgehalt der Daten

Besonders häufig vorkommende Familien reagieren im Modell deutlich weniger stark auf Umwelteinflüsse als die Gattungen oder Arten, die zu ihnen gehören. Die Modellanalysen zeigen auf, dass für weitverbreitete EPT-Familien und Oligochaeta

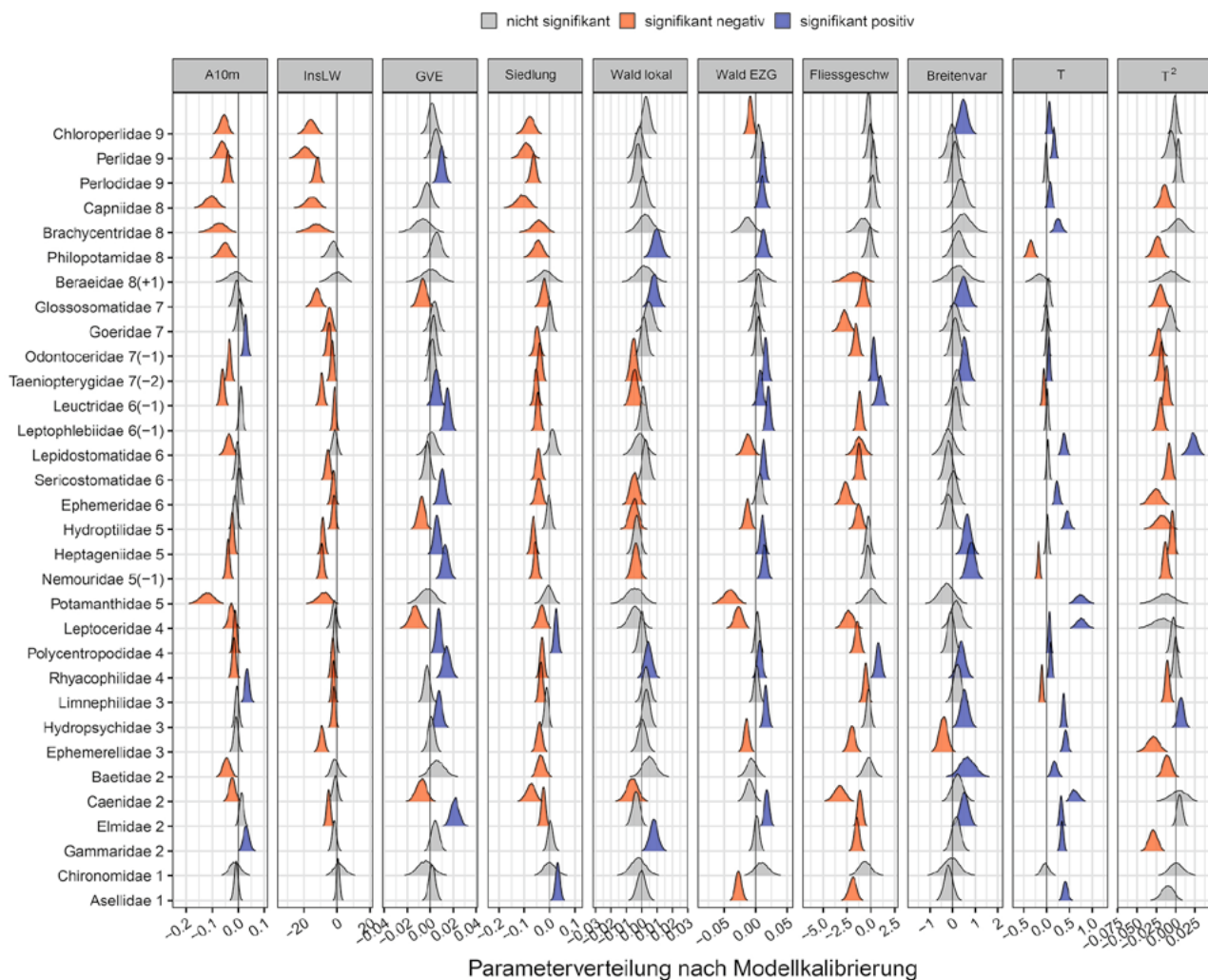


Fig. 4 Parameterverteilungen der Taxa, die im Index IBCH einer Indikatorgruppe zugeordnet sind (Modell für den schweizweiten kombinierten Datensatz, CHKF). Die Zahlen hinter den Taxanamen geben die Indikatorgruppe im IBCH_2019 [16, 17] an, Zahlen in Klammern zeigen die Änderung der Einstufung im Vergleich zum IBCH [3]. Zum Beispiel wurden die *Taeniopterygidae* im IBCH_2019 um zwei Stufen heruntergestuft, von 9 auf 7.

eine bessere taxonomische Auflösung besonders wertvoll für die Bioindikation ist. Für andere weitverbreitete Taxa, wie zum Beispiel Zuckmücken (Chironomidae), standen keine besser aufgelösten Daten zur Verfügung. Da ihre Artbestimmung mit grösserem Aufwand verbunden ist und es dafür nur wenige Fachleute in der Schweiz gibt, wurde dieser Familie im Fliessgewässermonitoring bisher nur geringe Beachtung geschenkt. Auch solche Taxa hätten das Potenzial, gute Bioindikatoren zu sein.

Empfehlungen für das Monitoring und die ökologische Bewertung

- Viele Taxa reagieren in den Modellen empfindlich auf multiple Stressoren. Dies sollte bei der Wirkungskontrolle von Massnahmen berücksichtigt werden. Eine Koordination zwischen Revitalisierungs- und Wasserqualitätsmassnahmen kann die Effektivität der Massnahmen bezüglich biologischer Effekte steigern.
- Für Taxa, die im Modell sensitiv auf Substrat, Breitenvariabilität und/oder ökomorphologische Bewertung reagieren, würde man eine Veränderung nach Revitalisierungsmassnahmen erwarten. Taxa, die sensitiv auf den Siedlungsanteil im Einzugsgebiet oder den Abwasseranteil reagieren, sind Taxa, bei denen man eine Reaktion auf die Aufrüstung von Kläranlagen erwarten würde. Dabei muss man aber jeweils auch die anderen Stressoren und das Kolonisierungspotenzial berücksichtigen. Ebenso kann eine Korrelation zwischen einer Familie und einem Einflussfaktor nicht auf alle Arten innerhalb dieser Familie abgeleitet werden.
- Je mehr Daten vorhanden sind, desto stärker ist die Aussagekraft der Analysen, eine Datenlieferung an *Midat* ist daher essenziell für zukünftige Auswertungen und Entwicklungen von neuen Indizes. Zudem wäre es nützlich, wenn auch die Substrat-Daten (Aufnahmeraster), die während der Makrozoobenthos-Probenahme erhoben werden, digitalisiert und in die *Midat*-Datenbank aufgenommen werden.
- Derzeit werden in den verschiedenen Kantonen unterschiedliche Taxa bis

auf Artniveau bestimmt. Wenn man die Daten dieser Programme nun kombinieren und gemeinsam auswerten möchte, verliert man diese taxonomische Auflösung. Eine einheitliche Taxaliste zur Artbestimmung würde es erlauben, verschiedene Monitoring-Programme in Zukunft ohne Verlust zu kombinieren.

- Es lohnt sich, die Abdeckung von Einflussfaktoren in Monitoringprogrammen durch gezielte Auswahl zusätzlicher Stellen zu verbessern. Dabei sollte auch auf seltene Kombinationen geachtet werden, zum Beispiel Stellen mit niedriger Wassertemperatur und beeinträchtigter Wasserqualität. Damit könnte man die verschiedenen Einflussfaktoren noch besser auseinanderhalten.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Kolkwitz, R.; Marsson, M. (1909): Ökologie der tierischen Saprobien. Beiträge zur Lehre von der biologischen Gewässerbeurteilung. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 2(1-2): p. 126–152
- [2] Modul-Stufen-Konzept (2019): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Oberflächengewässer in der Schweiz. www.modul-stufen-konzept.ch
- [3] Stucki, P. (2010): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 61 S.
- [4] BAFU (2013): NAWA – Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität. Konzept Fliessgewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1327: 72 S.
- [5] MIDAT (2019): <https://midat.cscf.ch>
- [6] Caradima, B., Reichert, P., Schuwirth, N. (in review): Effects of site selection and taxonomic resolution on the inference of stream invertebrate responses to environmental conditions
- [7] Caradima, B., Schuwirth, N., Reichert, P. (2019): From individual to joint species distribution models: A comparison of model complexity and predictive performance. *Journal of Biogeography*, 46(10): p. 2260–2274
- [8] Vermeiren, P.; Reichert, P.; Schuwirth, N. (in review): Integrating uncertain prior knowledge regarding ecological preferences into multi-species distribution models: effects of model complexity on predictive performance. *Ecological Modelling*
- [9] Vermeiren, P. et al. (submitted): Confronting prior knowledge on ecological preferences of stream invertebrates with independent monitoring data using a Bayesian multi-species distribution model
- [10] Schmidt-Kloiber, A.; Hering, D. (2015): www.freshwaterecology.info – An online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences. *Ecological Indicators*, 53: p. 271–282
- [11] Tachet, H. (2010): *Invertébrés d'eau douce systématique, biologie, écologie*. 3rd ed. 2010, Paris: CNRS Editions
- [12] Vivien, R. et al. (2019): Assessment of the effects of wastewater treatment plant effluents on receiving streams using oligochaete communities of the porous matrix. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, (420): p. 18
- [13] Liess, M.; Schaefer, 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(3): p. 484–490
- [14] Leib, V. (2014): Makrozoobenthos in kleinen Fliessgewässern, schweizweite Auswertung. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Begleitet von P. Stucki, 29.10.2014
- [15] Gattlen, N.; Klaus, G.; Litsios, G. (2017): Biodiversität der Schweiz: Zustand und Entwicklung. Ergebnisse des Überwachungssystems im Bereich Biodiversität, Stand 2016. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern
- [16] Kürty, D. et al. (2019): Vom IBCH zum IBCH_2019. Methodenupdate des Moduls Makrozoobenthos Stufe F im Modul-Stufen-Konzept. *Aqua & Gas*, 12: p. 47
- [17] BAFU (Hrsg.) (2019): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern (IBCH_2019). Makrozoobenthos – Stufe F 1. aktualisierte Ausgabe, November 2019; Erstausgabe 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 58 S.

DANKSAGUNG

Wir danken allen kantonalen Fachstellen, den Verantwortlichen des BDM und des NAWA-Programms für die Datenlieferungen an *Midat* sowie dem CSCF für den Zugang zu den Monitoringdaten. Wir danken insbesondere Peter Reichert und Peter Vermeiren für die Mitarbeit an den Modell-Studien. Die Modell-Studien wurden vom BAFU und dem EU Horizon 2020-Programme (Projekt Aquacross, Grant agreement No. 642317) finanziert.