

ÖKOLOGISCHER ZUSTAND VON SCHWEIZER BÄCHEN

**DIE MEISTEN DER UNTERSUCHTEN BÄCHE ERFÜLLEN IHRE
ROLLE ALS LEBENSRAUM FÜR TIERE NUR EINGESCHRÄNKT**

99 Schweizer Bäche wurden anhand der beiden Bioindikatoren Fische und Makrozoobenthos untersucht. Die Mehrzahl der Bäche zeigt wesentliche Defizite beim ökologischen Zustand. So fehlen beispielsweise in über 70% der Gewässer ein Teil der pestizidempfindlichen Insektenlarven und andere Kleinlebewesen. Statistische Auswertungen deuten darauf hin, dass sich eine beeinträchtigte Ökomorphologie sowie ein grosser Anteil Ackerland, Obstkulturen und Reben im Einzugsgebiet besonders negativ auf das Vorkommen dieser empfindlichen Kleinlebewesen auswirken.

*Christiane Ilg, VSA-Plattform «Wasserqualität»
Roman Alther, Universität Zürich und Eawag*

RÉSUMÉ

ÉTAT ÉCOLOGIQUE DES RUISSEAUX SUISSES

Les petits cours d'eau représentent 75% du réseau hydrographique suisse et abritent une faune diversifiée (poissons, larves d'insectes etc.). Dans le cadre du programme d'observation nationale de la qualité des eaux de surface, Observation spécifique (NAWA-SPE), l'état écologique de 99 petits cours d'eau suisses du Plateau, de certaines parties du Jura et des zones de plaine des grandes vallées a été évalué à l'aide des macroinvertébrés et des poissons. L'utilisation d'indicateurs basés sur différents groupes taxonomiques permet de tirer différentes conclusions sur l'état des petits cours d'eau. Les résultats montrent une altération des communautés faunistiques dans près de 80% des cours d'eau étudiés. Cette évaluation négative est due notamment à la rareté, voire à l'absence d'insectes sensibles aux pesticides. Les analyses statistiques montrent que l'écomorphologie ainsi que la proportion de surfaces agricoles dans le bassin versant ont une influence importante sur la présence de ces insectes sensibles. Elle confirme donc que les communautés d'insectes sont fortement perturbées dans une grande partie des ruisseaux suisses en raison d'une contamination excessive par des pesticides et/ou un mauvais état écomorphologique, et souligne l'urgence de prendre des mesures de protection et de revalorisation des petits cours d'eau.

EINLEITUNG

Bäche machen den grössten Teil des Schweizer Gewässernetzes aus. So zählen 75 Prozent des 65 000 Kilometer langen Gewässernetzes zu Fliessgewässern der Flussordnungszahl 1 oder 2 [1]. Diese kleinen Fliessgewässer sind ein wichtiger Lebensraum für viele Fisch- und Makrozoobenthos-Arten wie Insektenlarven, Kleinkrebse oder Würmer [2, 3].

Viele Schweizer Bäche sind stark von menschengemachten Beeinträchtigungen betroffen. Fast ein Viertel ist eingedolt oder ökomorphologisch beeinträchtigt [4]. Zudem sind die Bäche in stark landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten oft durch Pestizide belastet [5, 6].

99 UNTERSUCHTE BÄCHE

Um ein differenziertes Bild über den ökologischen Zustand dieser Bäche zu erhalten, wurden im Rahmen einer NAWA-SPEZ-Kampagne in 99 Bächen des Mittellandes, Teilen des Juras und der Talebenen Makrozoobenthos und Fische untersucht [7]. Mögliche Zusammenhänge zwischen relevanten Umweltvariablen wie Landnutzung, Ökomorphologie oder Nährstoffbelastung wurden anschliessend statistisch untersucht.

Kontakt: C. Ilg, christiane.ilg@vsa.ch

METHODEN

PROBENAHMESTELLEN

Der grösste Teil der beprobten Bäche liegt in der topografisch tieferliegenden Hälfte der Schweiz (< 1080 m ü. M.). Darin eingeschlossen sind das Mittelland, Teile des Juras und die Talebenen grösserer Täler. Insbesondere die Landnutzung unterscheidet sich zwischen tiefen und höheren Lagen. Landnutzungen, die potenziell zu Gewässerverunreinigungen führen (Ackerland, Obstkulturen und Reben sowie Siedlungen), befinden sich zum grössten Teil unterhalb von 1080 m ü. M. Die Stellen wurden, abgesehen von wenigen Ausnahmen, nach den folgenden Kriterien ausgewählt:

- Mittlerer Abfluss MQ < 300 l/s
- Einzugsgebietsfläche > 3 km²
- Insgesamt soll die Auswahl ein möglichst unterschiedliches Ausmass menschlicher Einflüsse (z.B. Landnutzung) abdecken.

Die wichtigsten Kenngrössen der Probenahmestellen sind in *Figur 1* zusammengefasst.

BIOLOGISCHE INDICES

Der ökologische Zustand der Bäche wurde anhand der Indikatoren Makrozoobenthos und Fische nach dem Modul-Stufen-Konzept (MSK) sowie für das Makrozoobenthos zusätzlich nach dem SPEAR-Index untersucht und bewertet. Die MSK-Methoden konkretisieren die in der Gewässerschutzverordnung aufgeführten ökologischen Ziele. Diese besagen beispielsweise, dass die Lebensgemeinschaft von Tieren naturnah und standortgerecht sein soll. Der Zustand wird jeweils fünf Zustandsklassen zugeordnet. Ein guter oder sehr guter Zustand entspricht dabei dem Erreichen der gesetzlichen Ziele, ein mässiger, unbefriedigender oder schlechter Zustand bedeutet, dass die Ziele nicht erreicht werden.

Makrozoobenthos

Die Probenahmen des Makrozoobenthos erfolgten im Frühling 2018 innerhalb der höhenstufenspezifischen prioritären Erhebungsfenster. Zusätzlich wurde das Makrozoobenthos auch im Sommer 2018 beprobt, um die potenziellen Auswirkungen

gen eines intensiveren Pestizideinsatzes in diesem Zeitraum auf den Zustand des Makrozoobenthos zu bewerten. Es wurden 99 Stellen im Frühling und 97 Stellen im Sommer beprobt, da zwei Stellen im Sommer 2018 komplett ausgetrocknet waren.

Bewertet wurden die Kleinlebewesen anhand des Schweizer Makrozoobenthos-Index IBCH sowie des SPEAR-Index. Der IBCH ermöglicht die Beurteilung des generellen Zustands der Fliessgewässer. Er wurde mit den im Frühling erhobenen Makrozoobenthos-Proben anhand der 2019 aktualisierten Methode berechnet (IBCH_2019 [8]). Der IBCH_2019 berechnet sich anhand der Vielfalt der gesammelten Makrozoobenthos-Taxa und der Empfindlichkeit einiger Indikatortaxa. Der Wertebereich des IBCH-Index liegt zwischen 0 und 1 und wird den folgenden Zustandsklassen zugeordnet:

- <0,2 entspricht der Zustandsklasse «schlecht»
- <0,4: Zustandsklasse «unbefriedigend»
- <0,6: Zustandsklasse «mässig»
- <0,8: Zustandsklasse «gut»
- ≥0,8: Zustandsklasse «sehr gut»

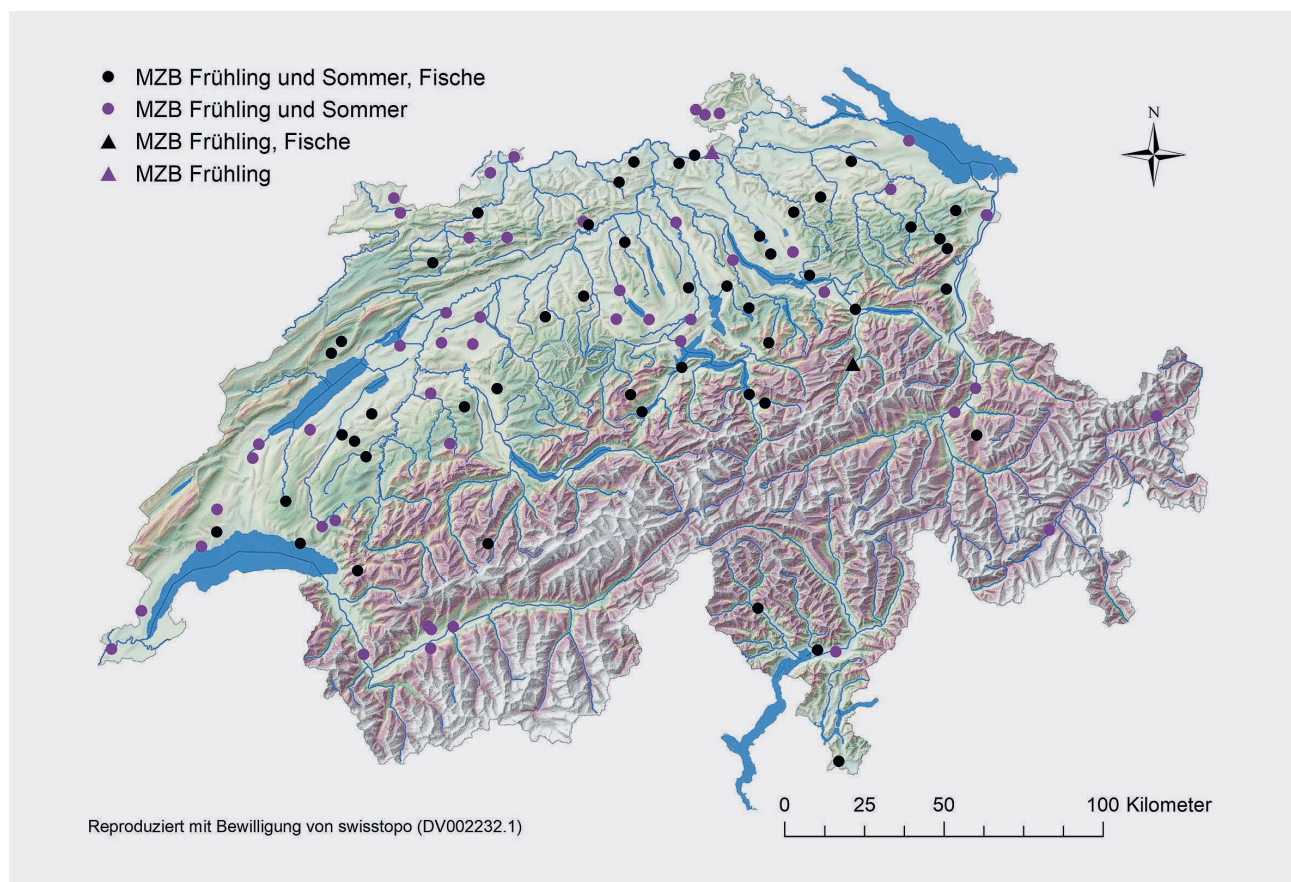


Fig. 1 Die Probenahmestellen (n = 99) und untersuchten Parameter. MZB = Makrozoobenthos. Schwarze Marker = MZB-Probenahmen im 2018 und Fisch-Probenahme im 2019, violette Marker = nur MZB-Probenahmen im 2018. Punkte = MZB-Probenahme im Frühling und Sommer 2018, Dreiecke = MZB-Probenahme nur im Frühling 2018.

Der SPEAR-Index zeigt die Pestizidbelastung in Fließgewässern an [9]. Er misst den Anteil vorhandener pestizidempfindlicher Makrozoobenthos-Taxa am gesamten Makrozoobenthos-Vorkommen. Er wurde für die Proben vom Frühling und vom Sommer berechnet. Verwendet wurde die SPEAR-Index-Version 2019.11. Der Wertebereich des SPEAR-Index liegt zwischen 0 und 100. Je kleiner der Wert, desto stärker belastet ist ein Gewässer. Die Einteilung in Zustandsklassen erfolgte nach den Kategorien nach *Beketov et al.* [9]:

- Werte zwischen 0 und 11 entsprechen der Güteklasse «schlecht»
- > 11–22: Güteklasse «unbefriedigend»
- > 22–33: Güteklasse «mässig»
- > 33–44: Güteklasse «gut»
- > 44: Güteklasse «sehr gut»

Fische

Im September und Oktober 2019 wurde an 49 der 99 Stellen die Fischgesellschaft beprobt und der Fisch-Index [10] berechnet. Der Fisch-Index basiert auf mehreren Eigenschaften des Fischbestands wie der Fischartzusammensetzung, den Populationsstrukturen von Indikatorarten, der Fischdichte und dem Gesundheitszustand der Fische.

Der Punktebereich lag zwischen 0 und 17 und wurde den folgenden Zustandsklassen zugeordnet:

- 0 und 1: Zustandsklasse «sehr gut»
- 2–5: Zustandsklasse «gut»
- 6–9: Zustandsklasse «mässig»
- 7–13: Zustandsklasse «unbefriedigend»
- 14–17: Zustandsklasse «schlecht»

UMWELTVARIABLEN

Mittels Regressionsmodellen (s. *Abschnitt* «Statistische Analysen») wurde geprüft,

ob ein Zusammenhang zwischen dem ökologischen Gewässerzustand (IBCH, Fisch-Index, SPEAR-Index) und folgenden Umweltvariablen (*Tab. 1*) feststellbar ist:

- 1) Geografische und hydrologische Eigenschaften der Probenahmestelle
 - Höhe der Probenahmestelle (m ü. M.)
 - Gefälle des Gewässerabschnittes an der Messstelle (%)
 - mittlerer Abfluss (m³/s)
 - Gesamtfläche des Einzugsgebietes oberhalb der Probenahmestelle (km²)
- 2) Landnutzungsanteil im Einzugsgebiet oberhalb der Probenahmestelle (%)
 - Siedlungsflächen
 - Summe Wald, Grün- und Unproduktivflächen
 - Summe potenziell pestizidintensiver Landwirtschaftsflächen (Acker, Obstkulturen und Rebbau)
- 3) Ökomorphologie-Klasse an der Messstelle
Erhoben wurde die Ökomorphologie-Klasse an der Messstelle gemäss dem MSK-Modul Ökomorphologie Stufe F [11]. Dabei werden die Gewässermorphologie, bauliche Massnahmen im und am Gewässer sowie Gegebenheiten im unmittelbar angrenzenden Umland erhoben. Die Bewertung erfolgte in vier Zustandsklassen:
 - von 1 (natürlich/naturnah)
 - bis 4 (naturfremd/künstlich)
- 4) Kieselalgenindex
Der Kieselalgenindex DI-CH [12] galt als Indikator für Nährstoffbelastung. Der Wertebereich lag zwischen 1 (geringe Nährstoffbelastung) und 8 (hohe Nährstoffbelastung).

Zusätzlich wurden auch die Zusammenhänge zwischen dem Fisch-Index und folgenden Umweltparametern, von denen bekannt ist, dass sie einen signifikanten Einfluss auf das Vorkommen von Fischarten in Schweizer Fließgewässern haben [13], getestet:

Habitatfläche (km²)

Gesamtfläche aller von einem Gewässerabschnitt aus erreichbaren Gewässerabschnitte unter Berücksichtigung einer maximalen Distanz von 2 km entlang des Gewässernetzes in alle Richtungen, jeweils bis zu den limitierenden Wanderhindernissen. Als Wanderhindernisse wurden natürliche und künstliche Hindernisse ab einer Höhe von 50 cm berücksichtigt.

Anteil Kolke (%)

Anteil des Gewässerabschnitts, der als Kolk klassifiziert wurde.

Fischunterstände (%)

Anteil des Gewässerabschnitts mit Fischunterständen.

STATISTISCHE ANALYSEN

Um die Unterschiede zwischen den Bewertungen des ökologischen Zustands der Gewässer in geringerer und in höherer Lage zu testen, wurden *Wilcoxon*-Rangsummen-Tests verwendet. Dieser nichtparametrische Test kann auch angewendet werden, wenn die Daten nicht normalverteilt sind [14].

Um den Zusammenhang zwischen den Kenngrößen der Gewässerfauna (IBCH, SPEAR-Index und MSK-Fisch-Index) und den Umweltvariablen zu untersuchen, wurden multivariate Regressionsmodelle verwendet. Durch solche Auswertungen kann der Einfluss der Umweltvariablen auf den ökologischen Zustand geschätzt werden. Für den IBCH und den SPEAR-Index als abhängige Variablen wurden GLM (*Generalized Linear Models* oder zu Deutsch verallgemeinerte lineare Modelle) mit einer Beta-Verteilung und einer *Logit*-Linkfunktion verwendet. Dieses Regressionsmodell ist für Situationen geeignet, in denen die abhängige Variable kontinuierlich und auf das Intervall (0,1) beschränkt ist [15]. Deshalb wurde der SPEAR-Index vor der Modellierung auf 0 bis 1 skaliert. Für den MSK-Fisch-Index wurde ein GLM mit einer *Poisson*-Verteilung verwendet. Um die Modellleistung zu validieren und auf sogenannte Über-

Variable	Einheit	Minimum	Maximum	Median	Mittelwert
Gesamtfläche des Probenahmestellen-Einzugsgebietes	km ²	0,2	53,9	4,4	6,4
Meereshöhe	m ü. M.	198	1768	492	593
Anteil Siedlungsfläche im Einzugsgebiet	%	0,0	44,0	7,3	10,1
Anteil Wald, Grün- und Unproduktivflächen im Einzugsgebiet	%	16,5	100,0	67,7	67,0
Anteil Acker, Obstkulturen und Rebbau im Einzugsgebiet	%	0,0	69,0	17,4	22,9
Mittlerer modellierter Abfluss	l/s	0	1300	100	200
Gefälle des Gewässerabschnittes an der Probenahmestelle	%	0,1	26,8	2,2	4,0
Ökomorphologie	Kategorien	1,0	4,0	2,0	2,2
Kieselalgenindex DI-CH	–	1,0	3,0	1,0	1,6

Tab. 1 Übersicht über die Umweltvariablen an den Probenahmestellen.

anpassung zu prüfen, wurden fünffache Kreuzvalidierungen mit zehn Wiederholungen durchgeführt.

Um Probleme mit zu starker Multikollinearität zu vermeiden, wurden Korrelationen zwischen den Umweltvariablen getestet. So korrelierte die Variable «Anteil an Wald, Grün- und Unproduktivflächen» sehr stark mit der Variable «Landwirtschaftsflächen» (Spearman-Rangkorrelationstest, $r = -0,94$, $p < 0,05$) und wurde deshalb nicht in die Modelle integriert. Alle Modelle wurden mit der Statistik-

Software R [16] durchgeführt. Für die Betaregression wurde das R-Paket *Beta-reg* [15] verwendet und für die Kreuzvalidierung das R-Paket *Caret* [17] mit einer Implementierung für Betaregression.

RESULTATE

ÖKOLOGISCHER ZUSTAND DER KLEINEN FLIESSGEWÄSSER

Alle Indices zeigen weitverbreitete Defizite des ökologischen Zustands der Bäche an. Die Bewertung variiert je nach Index.

Die «integrierenden» Indices IBCH und Fisch-Index, die auf eine breite Palette menschlicher Einflüsse reagieren, zeigen bei knapp 39 bzw. 29% der Stellen ökologische Probleme an (Fig. 2). Der Fisch-Index bewertet vor allem die Parameter Populationsstruktur und Fischdichte als ungenügend (Fig. 3). Das heisst, dass von verschiedenen Arten nicht genügend Jungfische und generell zu wenig Fischindividuen vorhanden sind. Der SPEAR-Index schliesslich zeigt, dass im Frühjahr an über 60% und im Sommer gar an rund

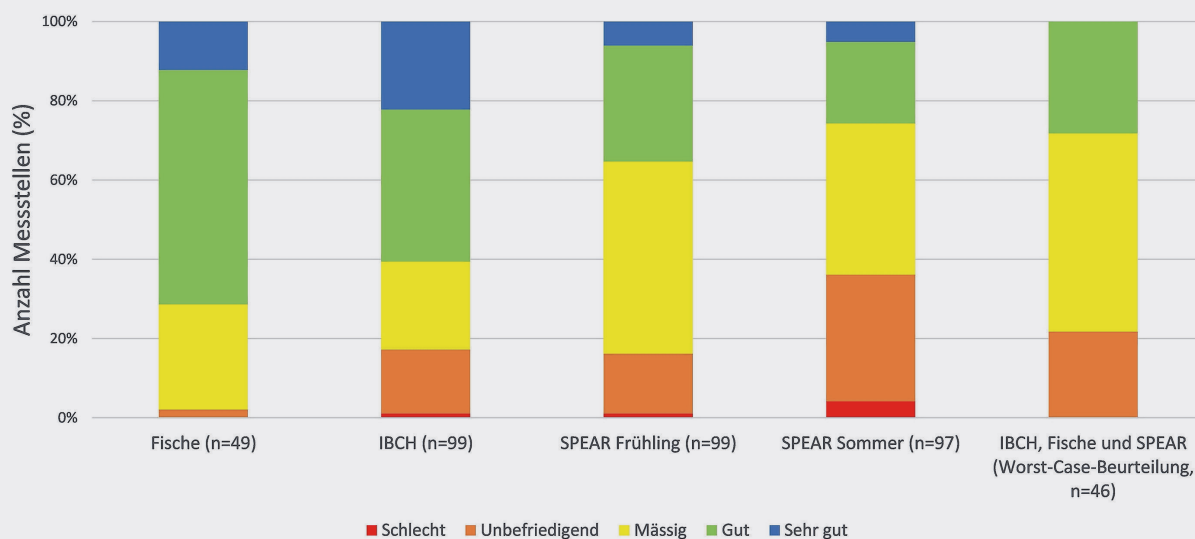


Fig. 2 Bewertung der Gewässer anhand des IBCH, Fisch-Index und SPEAR-Index sowie eine Worst-Case-Beurteilung (basierend auf der schlechtesten der Bewertungen) anhand der drei Indices (IBCH, Fisch-Index und SPEAR-Index).

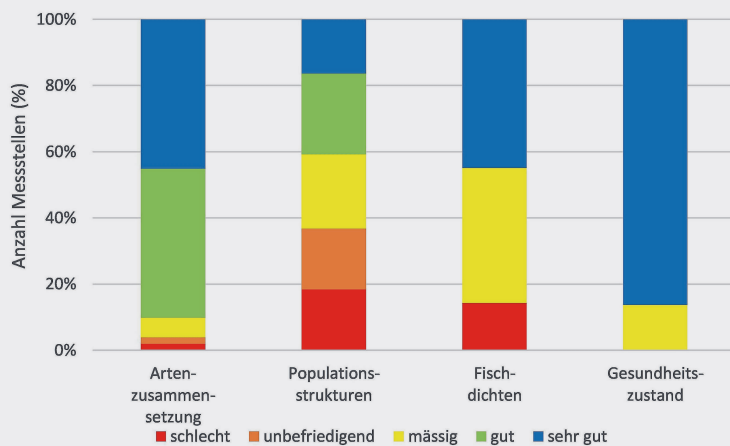


Fig. 3 Bewertung der einzelnen Fisch-Parameter gemäss Fisch-Index ($n = 49$). Der flächendeckend sehr gut bewertete Parameter «Gesundheitszustand» beschränkt sich auf bloss am Auge erkennbare Deformationen des Körperbaus und ist nicht geeignet, um Stress oder Fischkrankheiten wie die proliferative Nierenkrankheit PKD anzuzeigen.

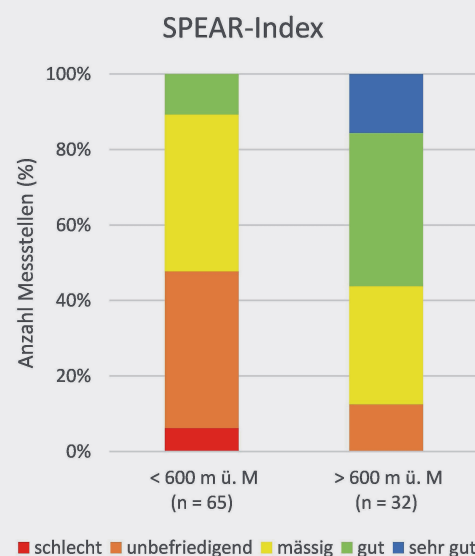


Fig. 4 Bewertung der Gewässer anhand des SPEAR-Index im Sommer.

74% der Stellen pestizidempfindliche Makrozoobenthos-Taxa in zu geringem Masse vorhanden sind (Fig. 2). In den tieferen Lagen (< 600 m ü. M.) ist die Situation noch deutlicher. Im Sommer kommen hier empfindliche Organismen an 89% der Bäche in zu geringer Anzahl vor (Fig. 4).

Insgesamt ist an knapp 80% der Stellen, an denen alle Indikatoren erhoben wurden, eine Beeinträchtigung der Wasserlebewesen durch menschliche Einflüsse sichtbar (Fig. 2). Nur ca. 20% sind in einem naturnahen Zustand.

ZUSAMMENHANG ZWISCHEN INDICES UND DEN UMWELTVARIABLEN

Im Folgenden werden nur die Modelle für die beiden Makrozoobenthos-Indices präsentiert (Tab. 2). Diese Modelle erfüllen die methodischen Anforderungen (z.B. mittleres R² aus Kreuzvalidierung), um aussagekräftige Zusammenhänge zwischen

den Indices und den gemessenen Umweltparametern zu identifizieren.

Der IBCH reagiert einerseits auf Defizite bei der strukturellen Lebensraumvielfalt und andererseits auch auf Defizite bei der chemischen Wasserqualität [8]. Diese Studie bestätigt den integrierenden Charakter des IBCH. Das Modell zeigt, dass die Siedlungsflächen einen signifikant negativen Einfluss auf die Bewertung des ökologischen Zustands mittels IBCH haben. Dieses Resultat ist im Einklang mit Ergebnissen von früheren Studien, die zeigen, dass städtische und landwirtschaftliche Gebiete einen wesentlichen negativen Einfluss auf die Wasserqualität und somit auch auf die Makrozoobenthos-Gemeinschaften haben können [18, 19]. Weitere menschliche Einflüsse (ungenügende Ökomorphologie und Landwirtschaftsflächen) haben tendenziell ebenfalls in dieser Studie einen negativen Einfluss

Kenngrossen der Gewässerfauna	Variable	Koeffizient	Standardfehler	Z-Wert	p-Wert	mittlerer quadratischer Fehler Kreuzvalidierung	Kreuzvalidierung R ²
IBCH-Index	Intercept	0,614	0,444	1,384	0,166	0,153	0,324
	Meereshöhe	0,001	0,000	3,877	0,000		
	Gefälle	-0,051	0,018	-2,857	0,004		
	Siedlungsfläche	-0,018	0,008	-2,199	0,028		
	Ökomorphologie	-0,123	0,069	-1,768	<u>0,077</u>		
	Landwirtschaftsfläche	-0,007	0,004	-1,763	<u>0,078</u>		
	Einzugsgebietsfläche	-0,039	0,022	-1,752	<u>0,080</u>		
	Nährstoffbelastung	0,074	0,083	0,894	0,371		
	Abfluss	0,122	0,832	0,147	0,883		
SPEAR-Index Frühling	Intercept	-0,389	0,199	-1,952	0,051	0,069	0,412
	Ökomorphologie	-0,137	0,032	-4,332	0,000		
	Landwirtschaftsfläche	-0,007	0,002	-4,091	0,000		
	Einzugsgebietsfläche	-0,029	0,010	-2,844	0,004		
	Abfluss	0,811	0,373	2,177	0,029		
	Gefälle	0,012	0,007	1,573	0,116		
	Meereshöhe	0,000	0,000	0,629	0,529		
	Siedlungsfläche	0,001	0,004	0,339	0,734		
	Nährstoffbelastung	-0,002	0,038	-0,049	0,961		
SPEAR-Index Sommer	Intercept	-0,515	0,253	-2,040	0,041	0,083	0,435
	Ökomorphologie	-0,176	0,041	-4,350	0,000		
	Landwirtschaftsfläche	-0,007	0,002	-2,846	0,004		
	Einzugsgebietsfläche	-0,031	0,013	-2,377	0,017		
	Abfluss	0,990	0,471	2,103	0,035		
	Gefälle	0,018	0,009	1,914	<u>0,056</u>		
	Meereshöhe	0,000	0,000	1,577	0,115		
	Nährstoffbelastung	-0,063	0,049	-1,294	0,196		
	Siedlungsfläche	0,006	0,005	1,241	0,215		

Tab. 2 GLM-Modelle für den IBCH und den SPEAR-Index. Die Variable Landwirtschaftsfläche umfasst die Kulturen Acker-, Reb- und Obstbau. Intercept: Y-Achsenabschnitt; Koeffizient: Parameterwert mit der Schätzungsgenauigkeit (Standardfehler); p-Wert für die Null-Hypothese, dass die entsprechende Umweltvariable keinen Effekt hat; mittlerer quadratischer Fehler aus der Kreuzvalidierung: Mass für die Unterschiede zwischen den von einem Modell vorhergesagten Werten und den beobachteten Werten; mittleres R² aus der Kreuzvalidierung: Gütemass der Modelle, es gibt an, wie gut die unabhängigen Variablen dazu geeignet sind, die Varianz der abhängigen Variable zu erklären. Die Umweltvariablen mit einem p-Wert < 0,05 sind fett markiert, die mit einem p-Wert < 0,1 unterstrichen.

($p < 0,1$). Allerdings hängt das Vorkommen von Makrozoobenthos-Taxa nicht nur von der Ökomorphologie innerhalb einer Aufnahme- und Abflussfläche ab, sondern auch vom Vorhandensein ihrer Habitate im Oberlauf eines Gewässers [20].

Der SPEAR-Index wurde entwickelt, um die Beeinträchtigung des Makrozoobenthos durch Pestizide zu zeigen. Der stark negative Einfluss der oft pestizidintensiven Kulturen Acker-, Reb- oder Obstbau auf die Bewertung mittels SPEAR-Index bestätigt diesen Zusammenhang. Die Resultate zeigen somit, dass die in früheren Studien dokumentierten grossen Belastungen kleiner Fliessgewässer mit Pestiziden aus der Landwirtschaft [5, 6, 21] zum Fehlen von empfindlichen Insekten in den Gewässern führt. Diese Interpretation ist im Einklang mit anderen Beobachtungen, die einen deutlichen Zusammenhang zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsgebiet und dem SPEAR-Index zeigen konnten [2, 22]. Zudem zeigen die Resultate, dass der SPEAR-Index grundsätzlich auch in der Schweiz angewandt werden kann, obwohl er ursprünglich für Deutschland entwickelt wurde [9].

Die multivariaten Modelle zeigen, dass sich auch die Ökomorphologie auf die Bewertung des Gewässerzustands mittels SPEAR-Index auswirkt. Es ist bekannt, dass die Ökomorphologie und insbesondere die Substrat-Diversität am Gewässergrund grosse Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Makrozoobenthos-Gemeinschaften hat [8]. Mehrere Studien konnten auch schon zeigen, dass die Ökomorphologie eines Gewässers die Reaktion von Makrozoobenthos auf Pestizide beeinflussen kann [23, 24], weshalb die hier beobachtete Wirkung der Ökomorphologie auf den SPEAR-Index nicht überraschend ist.

Neben menschlichen Einflüssen (wie Siedlung, Landwirtschaft, Defizite bei der Ökomorphologie) haben in allen Modellen auch abiotische Parameter wie Höhe über Meer, Abfluss oder Gefälle einen teilweise starken Einfluss auf die Bewertung des ökologischen Zustands. Dies könnte darauf hindeuten, dass auch nicht gemessene und mit den abiotischen Parametern korrelierende menschliche Beeinträchtigungen, wie beispielsweise die Gewässervernetzung oder die Ökomorphologie im Einzugsgebiet, das Makrozoobenthos beeinflussen [25, 26]. Das Modell für den Fisch-Index konnte nur einen geringen

Teil der Variabilität erklären und wird daher nicht gezeigt. Der Fisch-Index ist ein räumlich und zeitlich stark integrierender Index. Er kann bekanntermassen auch auf in dieser Studie nicht gemessene Umwelteinflüsse, wie beispielsweise Gewässervernetzung, stark reagieren [10]. Zudem war die Stichprobengrösse für die Fische deutlich kleiner als für das Makrozoobenthos. Es ist deshalb nicht überraschend, dass sich die Bewertung mittels Fisch-Index durch die gemessenen Umwelteinflüsse mit den benutzten statistischen Modellen nicht abschliessend erklären liess. Dennoch konnte ein negativer Einfluss der Siedlungsflächen und der Grösse des Einzugsgebietes auf die Fischpopulationen festgestellt werden. Einen positiven Einfluss zeigten hingegen der Abfluss und der Anteil der Kolke. In anderen Studien wurden Defizite bei der Gewässermorphologie [13] oder eine Belastung der Gewässer mit PSM auch für Fische als bedeutend identifiziert [27].

Es ist zu beachten, dass der Fisch-Index derzeit überarbeitet wird. Die aktualisierte Version wird voraussichtlich bis Ende 2024 veröffentlicht. Es wird spannend sein zu prüfen, ob die Zusammenhänge zwischen den Umweltparametern und den neuen Bewertungen stärker sind.

SCHLUSSFOLGERUNG

In dieser Studie werden sowohl Makrozoobenthos als auch fischbasierte Indikatoren für die ökologische Bewertung von kleinen Fliessgewässern verwendet. Die Verwendung von Indikatoren, die auf unterschiedlichen taxonomischen Gruppen basieren, ermöglicht es, unterschiedliche Aussagen zum Zustand kleiner Fliessgewässer zu machen. Die Resultate zeigen, dass die Mehrheit der untersuchten Bäche im Mittelland, in Teilen des Juras und der Talebenen grösserer Täler ihre Rolle als Lebensraum für Tiere nur eingeschränkt wahrnehmen können. Die Untersuchungen des Makrozoobenthos und der Fische zeigen, dass an knapp 80% der Stellen eine Beeinträchtigung dieser Wasserlebewesen durch menschliche Einflüsse sichtbar ist. Nur an ca. 20% der Stellen ist die Lebensgemeinschaft naturnah und standortgerecht. In der Studie wurde erstmals statistische Auswertung mittels Regressionsmodellen durchgeführt, um erklärende Variablen für die Bewertung zu erkennen. Ausschlaggebend für diese negative Bewertung sind insbesondere

DANKSAGUNG

Wir danken den Kantonalen Fachstellen, BDM- und NAWA-Verantwortlichen für die Makroinvertebraten-, Fisch- und Kieselalgendaten. Für die Aufarbeitung und Bereitstellung der Umweltvariablen, und insbesondere der Landnutzungsdaten, bedanken wir uns bei *Urs Helg* vom BAFU. Wir möchten uns auch bei *Elias Hodel* für die Stellenauswahl bedanken. Wir danken insbesondere *Yael Schindler Wildhaber* und *Bänz Lundsgaard-Hansen* für den intensiven Austausch und Feedbacks während aller Phasen der Artikelerstellung. Ein grosses Dankeschön richtet sich zudem an *Peter Reichert* für seine Hilfe und Ratschläge für die statistischen Auswertungen und an *Irene Wittmer*, *Tobias Doppler* und *Anne Dietzel* für ihre hilfreichen Kommentare und Verbesserung des Manuskripts.

die selten vorkommenden bis fehlenden pestizidempfindlichen Insekten. Diese Studie zeigt, dass der Zustand der Ökomorphologie sowie der Anteil an Landwirtschaftsflächen im Einzugsgebiet einen wesentlichen Einfluss auf das Vorkommen dieser empfindlichen Insekten haben. Sie bestätigt somit, dass in einem grossen Teil der Schweizer Bäche mit einer zu hohen Pestizidbelastung und einem schlechten ökomorphologischen Zustand die Insektengemeinschaften stark gestört sind, und unterstreicht die Dringlichkeit von Massnahmen zu Schutz und Aufwertung der Gewässer.

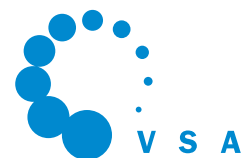
Bei den Fischen konnte das statistische Modell nur einen kleinen Teil der Variabilität des Fisch-Index erklären. Dies weist darauf hin, dass weitere Faktoren die Fischgemeinschaften beeinträchtigen. Dies könnten zum Beispiel die Gewässervernetzung, aber auch die chemischen Belastungen oder Wassertemperaturen während der Laichzeit und die damit verbundene Sauerstoffsättigung sein.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Munz, N.; Leu, C.; Wittmer, I. (2012): Pestizidmessungen in Fliessgewässern. *Aqua & Gas*, 11, 32–41
- [2] Leib, V. (2015): Biologischer Zustand kleiner Fliessgewässer. *Aqua & Gas*, 4, 66–75
- [3] Peter, A.; Schölzel, N. (2018): Kleine Bäche-Grosse Bedeutung. *Aqua & Gas*, 7/8, 70–78
- [4] Zeh Weissmann, H.; Könitzer, C.; Bertiller, A. (2009): Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland

- (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Stand: April 2009. Umwelt-Zustand Nr. 0926. Bundesamt für Umwelt, Bern. 100 S.
- [5] Spycher, S. et al. (2019): Anhaltend hohe PSM-Belastung in Bächen. *Aqua & Gas*, 4, 14–25
- [6] Doppler, T. et al. (2020): Mikroverunreinigungen im Gewässermonitoring. *Aqua & Gas*, 7/8, 44–53
- [7] Stucki, P.; Knispel, S. (2020): NAWA SPEZ biologie, Rapport sectoriel macrozoobenthos. Campagne NAWA-SPEZ 2018 : petits cours d'eau
- [8] 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: 59
- [9] Beketov, M. et al. (2009): SPEAR indicates pesticide effects in streams – comparative use of species-and family-level biomonitoring data. *Environmental Pollution*, 157, 1841–1848
- [10] Schager, E.; Peter, A. (2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer Fische. Stufe F. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL, Bern
- [11] BUWAL (Hrsg.) (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer in der Schweiz. Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 27
- [12] Hürlimann, J.; Niederhauser, P. (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern. 130 S.
- [13] Schuwirth, N. et al. (2022): Umwelteinflüsse auf häufige Fischarten. *Aqua & Gas*, 6, 66–71
- [14] Schwarz, J. (2018): Mann-Whitney-U-Test. Abgerufen 2. September 2020, von https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/mann.html
- [15] Cribari-Neto, F.; Zeileis, A. (2010): Beta regression in R. *Journal of Statistical Software* 34, 1–24
- [16] R Core Team (2020): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- [17] Kuhn, M. (2020): caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-86. <https://CRAN.R-project.org/package=caret>
- [18] Robinson, C. et al. (2014): Spatial relationships between land-use, habitat, water quality and lotic macroinvertebrates in two Swiss catchments. *Aquatic Sciences*, 76, 375–392
- [19] Schuwirth, N. et al. (2019): Analyse Schweizweiter Makrozoobenthosdaten. *Aqua & Gas*, 12, 55–61
- [20] Habertür, M. (2021): Ergebnisse der 3. Erhebung NAWA-Trend Los 2, Makrozoobenthos, 50 S.
- [21] Doppler, T. et al. (2017): Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen. *Aqua & Gas*, 4, 46–56
- [22] Hutter, P. et al. (2019): Fließgewässer-Fauna unter Druck. *Aqua & Gas*, 7/8, 45–51
- [23] Rasmussen, J.J. et al. (2012): Stream habitat structure influences macroinvertebrate response to pesticides. *Environmental Pollution*, 164, 142–149
- [24] Junghans, M. et al. (2019): Ökotoxikologische Untersuchungen: Risiko von PSM bestätigt. NAWA-SPEZ-Studie 2017 zeigt Beeinträchtigung von Gewässerorganismen. *Aqua & Gas*, 4, 26–34
- [25] Harvey, E.; Altermatt, F. (2019): Regulation of the functional structure of aquatic communities across spatial scales in a major river network. *Ecology*, 100(4), e02633. <https://doi.org/10.1002/ecy.2633>
- [26] Ryo, M. et al. (2018): Nonlinear higher order abiotic interactions explain riverine biodiversity. *Journal of Biogeography*, 45, 628–639
- [27] Schneeweiss, A. et al. (2019): Ökotoxikologische Wirkungen von PSM auf Fische. *Aqua & Gas*, 11, 82–91

Verband Schweizer
Abwasser- und
Gewässerschutz-
fachleute
Association suisse
des professionnels
de la protection
des eaux
Associazione svizzera
dei professionisti
della protezione
delle acque
Swiss Water
Association



Die richtige Weiterbildung finden

Trouver ma formation

BILDUNGSBROSCHÜRE 2024/25**BROCHURE DE FORMATION 2024/25**

KATASTROPHENSCHUTZ: GERÜSTET IN JEDER SITUATION



Hochleistungs-Pumpen der Marke Börger sind für jede Situation geeignet. Vorzüge sind die **einfache Bedienung**, die **Mobilität** und die **schnelle Einsatzbereitschaft**. Einzelanfertigungen für Feuerwehr, Zivilschutz und Armee garantieren **optimale Pumpenlösungen**, abgestimmt auf Ihre Bedürfnisse.



Für eine **persönliche
Beratung** kontaktieren
Sie **Andreas Jans**:

a.jans@rototec.ch
+41 78 723 91 14
+41 31 838 40 00

ROTOTEC
the power of flow

DIE KÖNNEN DAS!



Multicolor Print AG
Sihlbruggstrasse 105a
6341 Baar
multicolorprint.ch

 **SHIMADZU**
Excellence in Science



Enhanced performance

The LCMS-8060NX culminates Shimadzu's expertise in triple quadrupole MS. Its Analytical Intelligence functions improve user operational efficiency and productivity in the workflow.

- World-class sensitivity
- Speed beyond comparisomy
- Superior robustness
- Automated workflow



**ANALYTICAL
INTELLIGENCE**

The Analytical Intelligence logo is a trademark of Shimadzu Corporation.

[www.shimadzu.ch/
enhanced-performance](http://www.shimadzu.ch/enhanced-performance)

