

ÖKOTOXIKOLOGISCHE BIOTESTS UND -MARKER

BIOLOGISCHE EFFEKTBASIERTE METHODEN ZUR BEURTEILUNG DER WASSER- UND SEDIMENTQUALITÄT

Das Oekotoxzentrum hat die Wasser- und Sedimentqualität von 15 Fließgewässern in acht Kantonen mit verschiedenen biologischen effektbasierten Methoden untersucht. So wurden drei komplementäre Projekte durchgeführt mit dem Ziel, für die umfassende Beurteilung der Wasser- und Sedimentqualität eine aussagekräftige Batterie an Biotests auszuwählen und zu validieren und Biomarkermethoden weiterzuentwickeln. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die gewählten Methoden und Standorte und die wichtigsten Ergebnisse. Die detaillierten Ergebnisse der einzelnen Projekte werden in weiteren Artikeln dieser Aqua & Gas-Ausgabe präsentiert.

*Cornelia Kienle; * Rébecca Beauvais; Carmen Casado-Martinez; Anne-Sophie Voisin; Inge Werner; Etienne Vermeirssen; Benoit Ferrari, Oekotoxzentrum*

RÉSUMÉ

BIOESSAIS ET BIOMARQUEURS ÉCOTOXICOLOGIQUES POUR ÉVALUER LA QUALITÉ DE L'EAU ET DES SÉDIMENTS

Les méthodes basées sur les effets, telles que les bioessais et les biomarqueurs écotoxicologiques, s'avèrent prometteuses pour évaluer la qualité de l'eau. En tant qu'outils de screening et indicateurs précoces, elles constituent un lien important entre l'exposition, c'est-à-dire la présence des substances chimiques et les risques associés pour les organismes aquatiques, et les effets sur les organismes dans l'environnement. Le Centre Ecotox a mené trois projets afin d'élargir l'évaluation de la qualité de l'eau à l'aide d'une sélection de méthodes basées sur les effets. Les chercheurs ont pour cela analysé la qualité de l'eau et des sédiments sur des sites d'exploitation extensive, agricole ou agricole et urbaine des terres à l'aide d'une batterie de bioessais standardisés ainsi que de biomarqueurs moléculaires chez des jeunes truites de rivière. La comparaison avec des méthodes d'évaluation bien établies basées sur des analyses chimiques a montré que ces méthodes basées sur les effets étaient complémentaires entre elles ainsi qu'avec l'analyse chimique et qu'elles amélioraient la détection des risques écotoxicologiques. Les présents résultats seront utilisés à l'avenir pour proposer des batteries de tests optimales pour l'eau et les sédiments, adaptées aux sources de pollution présentes en Suisse.

EINLEITUNG

Im Rahmen der nationalen Beobachtung der Oberflächen-gewässerqualität (NAWA) werden die Grundlagen geschaffen, um den Zustand und die Entwicklung der Schweizer Oberflächengewässer auf nationaler Ebene zu dokumentieren und zu beurteilen [1]. Dabei werden sowohl chemische als auch biologische Untersuchungen mittels ökologischer Indikatoren durchgeführt. Chemische Untersuchungen ermöglichen die Erfassung der Stoffkonzentrationen in Gewässern. Die Beurteilung des Risikos für Wasserlebewesen erfolgt, indem die gemessenen Konzentrationen mit Umweltqualitätskriterien (Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung) in Beziehung gesetzt werden [2-4]. Ökologische Indikatoren erlauben eine Aussage, wie der Zustand der Lebensgemeinschaften von Wasserpflanzen, Wasserwirbellosen (Invertebraten) und Fischen (Vertebraten) ist [5-7]. Chemische Stoffe wie Herbizide, Insektizide und Pharmazeutika können sowohl kurzfristig einzelne Organismen als auch langfristig ganze Lebensgemeinschaften beeinflussen. Neben akuten Effekten, wie beispielsweise erhöhter Sterblichkeit, können auch sublethale Wirkungen auftreten: z. B. eine Beeinträchtigung der Entwicklung, des Wachstums und/oder der Fortpflanzung.

* Kontakt: cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch

Effektbasierte Methoden stellen als Screening-Werkzeuge und Frühindikatoren eine wichtige Brücke zwischen der Exposition, d.h. den gemessenen Chemikalien und den damit verbundenen akuten und/oder chronischen Risiken für Wasserlebewesen, und den Effekten auf Organismen in der Umwelt dar. Sie ermöglichen die Bewertung von Schadstoffgemischen in Umweltproben, da nicht alle vorhandenen Stoffe gemessen werden können. Zu diesen Methoden gehören unter anderem Biotests und Biomarker.

Ökotoxikologische Biotests sind Analysemethoden, die lebende Zellen, Organismen oder Gemeinschaften in definierter Art und Anzahl einsetzen, um deren Reaktion auf eine Exposition mit Schadstoffen in Umweltproben (z.B. Wasser oder Sediment) zu messen [8]. Man unterscheidet hier u.a. zwischen Biotests, bei denen allgemeine und/oder spezifische Auswirkungen auf einzelne Zellen/einzellige Organismen oder Zelllinien untersucht werden (*In-vitro*-Biotests) und Tests mit ganzen, mehrzelligen Organismen (*In-vivo*-Biotests) [9, 10]. Biotests können

unter kontrollierten Bedingungen und mit mehreren Arten durchgeführt werden. So kann die Empfindlichkeit verschiedener Arten erfasst werden. Da nicht ein einzelner Biotest existiert, der alle möglichen Effekte auf verschiedene Organismen nachweisen kann, ist es sinnvoll, verschiedene *In-vitro*- und *In-vivo*-Biotests in einer «Biotestbatterie» zu kombinieren, um sowohl verschiedene Wirkweisen von Schadstoffen als auch akute und chronische Wirkungen auf verschiedene Organismengruppen mit unterschiedlicher ökologischer Relevanz zu erfassen.

Während eine Vielzahl von Biotests bereits standardisiert ist und für das Biomonitoring eingesetzt werden kann, befindet sich die Verwendung von Biomarkern für das Biomonitoring noch in der Entwicklung, stellt aber einen vielversprechenden ergänzenden Ansatz dar. Biomarker sind quantifizierbare biologische Reaktionen auf Umweltstress [11]. Diese Reaktionen können auf verschiedenen biologischen Ebenen (Genexpression, Enzymaktivität, physiologische Parameter) gemessen werden. Biomarker ermögli-

chen die Messung eines grossen Spektrums von Wirkungen, wie Neurotoxizität und Immuntoxizität, die teilweise noch nicht durch Biotests abgedeckt sind. Eine Messung von Biomarkern ist entweder bei Zelllinien bzw. Organismen im Labor oder bei Organismen, die im Freiland gesammelt wurden, möglich. Biomarker, die an im Freiland gesammelten Organismen gemessen werden, liefern zusätzliche Informationen, indem sie ein integriertes Bild der Expositionsgeschichte, des allgemeinen Gesundheitszustands und der vielfältigen Stressfaktoren, denen die Tiere ausgesetzt sind, aufzeigen. Obwohl das Fehlen von wirkungsbasierten Auslösewerten die Interpretation der Ergebnisse derzeit noch erschwert, liefern sie wertvolle ergänzende Informationen in Bezug auf relevante, standortspezifische Stressfaktoren wie z.B. Hitzestress, Immuntoxizität, endokrine Störungen und Metallbelastung [12].

Übergeordnetes Ziel der hier vorgestellten Projekte [12-14] war es, ein praxistaugliches Verfahren für die routinemässige Überwachung der Wasser- und Sedimentqualität mit effektbasierten

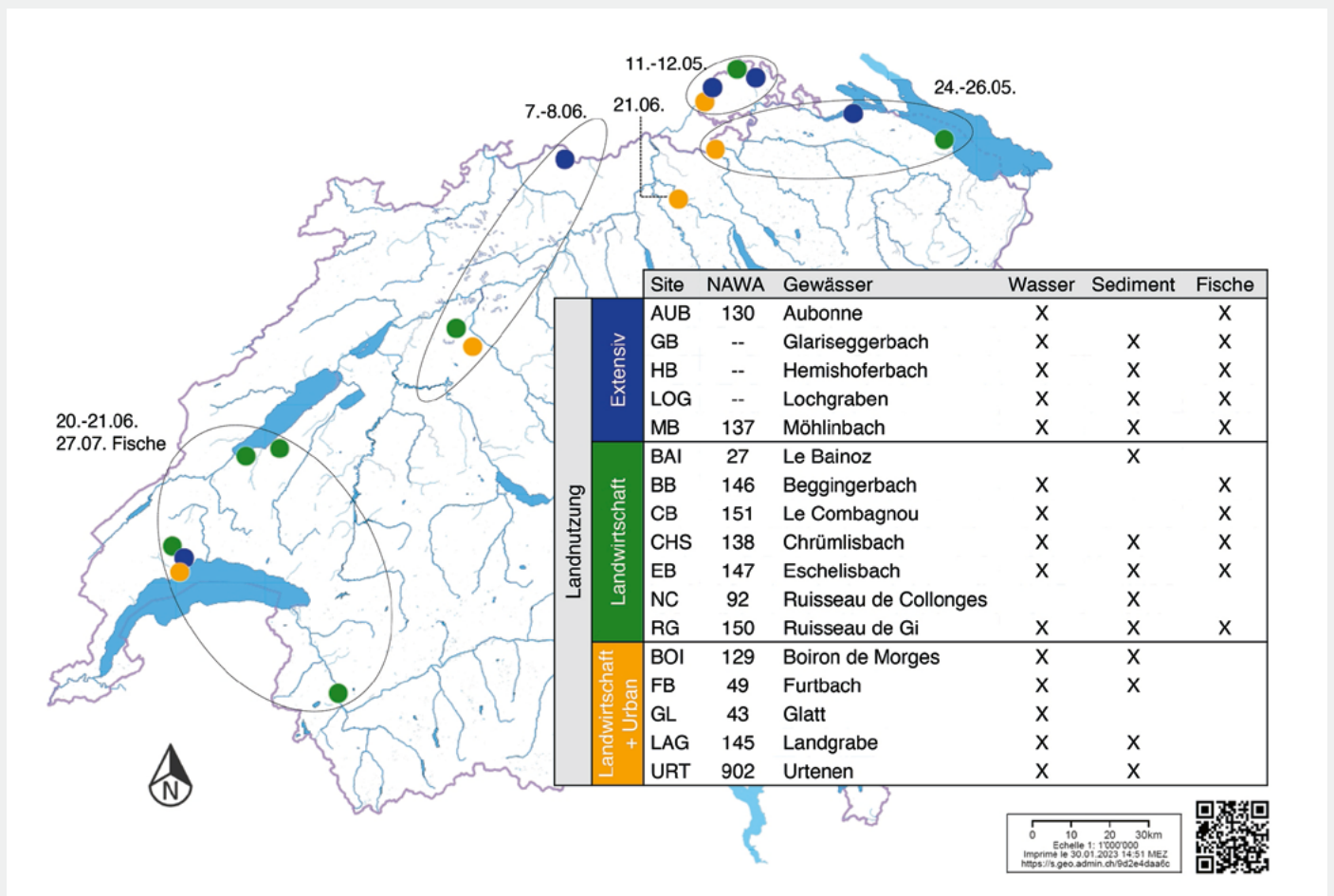


Fig. 1 Übersicht über die Probenahmestandorte und Probenahmedaten im Jahr 2021.

(Quelle: Bundesamt für Landestopographie)

Methoden zu entwickeln. Denn ein rein auf chemischen Analysen basierendes Monitoring kann Lücken aufweisen, da nicht alle relevanten Schadstoffe bekannt sind oder analysiert werden können. Eine Kombination aus effektbasiertem und chemischem Monitoring kann ein vollständiges Bild der Gewässerbelastung liefern und mögliche Lücken aufzeigen. Hierfür wurde eine umfangreiche Biotestbatterie auf Wasser- und Sedimentproben von 15 bzw. 13 Probenahmestellen angewendet (Projekte «Biotestbatterie Wasser» [14] und «Biotestbatterie Sediment» [13]). Parallel dazu wurden an zehn ausgewählten Stellen junge Bachforellen beprobt und auf eine breite Palette von Biomarker-Genen analysiert, die die Auswirkungen von Mikroverunreinigungen und anderen Stressfaktoren widerspiegeln (Projekt «Biomarker» [12]).

Das Risiko für Wasserlebewesen wurde durch einen Vergleich der Biotest-Ergebnisse mit effektbasierten, biotestspezifischen Schwellenwerten beurteilt. Diese wurde anschliessend mit dem chronischen Mischungsrisiko basierend auf chemischen Messwerten verglichen. Anhand der Ergebnisse all dieser Untersuchungen konnten Fliessgewässer mit einem erhöhten Risiko für Gewässerorganismen identifiziert werden. Zudem wurde die Eignung der eingesetzten effektbasierten Methoden beurteilt und ein Vorschlag für Biotestbatterien und Biomarker-Untersuchungen zur Evaluation der Wasser- und Sedimentqualität für weitere Monitoringprojekte in der Schweiz erarbeitet. Diese werden in den Artikeln zu den einzelnen Projekten vorgestellt [12–14].

STANDORTAUSWAHL UND PROBEAHME

In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), dem Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) und den Kantonen wurden insgesamt 15 Standorte (12 davon aus dem NAWA-Programm) mit unterschiedlicher Landnutzung im Einzugsgebiet ausgewählt. Beprobt wurden je fünf Standorte mit einem Einzugsgebiet mit hohem Anteil an Wald und/oder unproduktiven Flächen (extensive Landnutzung, EXT). An diesen Standorten kann folglich von einer geringen Belastung ausgegangen werden. Zudem wurden fünf Standorte mit land-

wirtschaftlicher Landnutzung und fünf Standorte mit landwirtschaftlicher und urbaner Landnutzung beprobt (Fig. 1). Sedimente wurden an 11 der 15 Gewässer beprobt. Da die Sedimentablagerungen an drei Standorten nicht ausreichend waren, wurden zwei zuvor vom Oekotoxzentrum untersuchte Standorte für die Sedimentuntersuchungen hinzugezogen (Le Bainoz, Ruisseau de Collonges) (Fig. 1). Die Standorte wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

Extensive Landnutzung (EXT)

Anteil Siedlung <10%, hoher Anteil an Wald und/oder unproduktiven Flächen

Landwirtschaftliche Landnutzung (AGR)

Anteil Siedlung <10%

Landwirtschaftliche und urbane Landnutzung (AGR+URB)

Anteil Siedlung ≥10% (max. 30%),

Anteil Abwasser ≥20% (max. 95%)

Der Anteil landwirtschaftlicher Nutzflächen (Ackerfläche, Obstanbau und Rebanbau) lag bei den AGR- und AGR+URB-Standorten zwischen 25 und 56%.

Für die Untersuchung der Wasserqualität wurden je Standort vier 3,5- (CB, CHS, EB, FB, GL, RG) bzw. eine 14-Tages-Mischprobe (AUB, BB, BOI, GB, HB, LOG, MB, URT) mit automatischen Probenehmern für Biotests und chemische Analytik genommen. Von den Kantonen wurden in diesen Proben bis zu 206 organische Stoffe und ihre Transformationsprodukte bestimmt. Bestimmt wurden bis zu 63 Herbizide, 26 Fungizide, 25 Insektizide (darunter 9 Pyrethroide), 30 Arzneimittel, ein Biozid und ein Korrosionsschutzmittel. Zusätzlich wurden abiotische Parameter und Metalle in Stichproben analysiert. In den ökotoxikologischen Biotests wurden 14-Tages-Mischproben untersucht. Hierfür wurden die 3,5-Tages-Mischproben mengenproportional zu 14-Tages-Mischproben vereinigt.

Die Probenahme der Sedimente wurde von *Biol'Eau Sàrl* gemäss der Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität [15] durchgeführt. An jedem Standort wurde eine Mischprobe des Sediments gesammelt und auf 2 mm gesiebt. Diese Sedimente wurden mit ökotoxikologischen Biotests und chemischer Analytik untersucht. Es wurden eine Reihe von Sediment-eigenschaften wie Korngrösse, Gehalt an organischer Substanz, Kalziumkarbonat

(CaCO₃), gesamtem organischem Kohlenstoff (TOC) und Gehalt der Elemente C, N, S und P bestimmt. Konzentrationen an Metallen (einschliesslich des gesamten Quecksilbers) und organischen Mikroverunreinigungen (16 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), 6 Polychlorierte Biphenyle (PCB), 10 Organophosphat-Flammschutzmittel, 9 UV-Filter, 12 Moschusverbindungen und Duftstoffe, 91 Pestizide oder ihre Metaboliten, darunter 20 Fungizide, 36 Herbizide, 33 Insektizide und 2 Biozide) wurden zusätzlich gemessen.

Für die Analyse der Biomarker wurden junge Bachforellen an fünf Standorten mit extensiver Landnutzung und an fünf Standorten mit landwirtschaftlicher Landnutzung durch Elektrobefischung beprobt. Die frühen Lebensstadien der Forellen, die besonders empfindlich gegenüber Belastungen reagieren, sind potenziell im Frühjahr und Frühsommer im Wasser vorhanden, genau dann, wenn das Risiko einer Pestizidbelastung für die Fische am höchsten ist. Wann immer möglich, wurden daher etwa zehn Forellen des Jahrgangs (0+) beprobt. Waren diese Forellen nicht zu finden, wurden 1+-Forellen beprobt.

ANGEWENDETE BIOTESTS UND BIOMARKER

Im Projekt «Biotestbatterie Wasser» [14] wurde eine Palette von 14 *In-vitro*- und *In-vivo*-Biotests angewendet. Hierfür wurden sowohl Biotests einbezogen, die die Verstoffwechslung von Schadstoffen (Schadstoffmetabolismus), Störungen der hormonellen Regulation (endokrine Disruption), oxidativen Stress und auch mutagene Wirkungen erfassten. Des Weiteren wurden Wirkungen auf das Algenwachstum und die -photosynthese (kombinierter Algentest) sowie Wirkungen auf das Wachstum und/oder die Fortpflanzung von Wasserwirbellosen (Muschelkrebse und Wasserflöhe), auf die Entwicklung und das Überleben von Fischembryonen und -larven (Fisch-Embryo-Toxizitätstest), ebenso wie Wirkungen auf Fischzellen, die Hinweise auf eine akute Fischtoxizität geben, erfasst.

Im Projekt «Biotestbatterie Sediment» [13] wurden drei wirbellose Organismen (Muschelkrebse, Nematoden und Zuckmückenlarven) ausgewählt, die in oder auf Sedimenten leben. Mit diesen Biotests werden Auswirkungen auf das Über-

leben, die Emergenz, das Wachstum und/oder die Fortpflanzung der exponierten Organismen erfasst.

Im Rahmen des Projekts «Biomarker» [12] wurden rund hundert Biomarker-Gene in Gehirn und Leber von Bachforellen gemessen. Diese Biomarker decken eine Reihe von biologischen Prozessen ab, die durch Pestizide, Mikroverunreinigungen und andere Stressoren beeinträchtigt werden können: Schadstoffmetabolismus, oxidativer Stress, endokrine Disruption, Metallbelastung, allgemeiner Stress, Hitzestress sowie Immuntoxizität und Neurotoxizität.

Die Ergebnisse der Biotests in den Wasser- und Sedimentproben wurden mit sogenannten effektbasierten Schwellenwerten verglichen. Unterhalb dieser Werte sind schädigende Auswirkungen auf Organismen bezüglich des gemessenen Effekts unwahrscheinlich. Dies ermöglicht eine Beurteilung des Risikos für Wasser- und Sedimentorganismen. Diese wurden anschliessend mit den Risiken, basierend auf den Ergebnissen der chemischen Analytik, verglichen. Obwohl solche Schwellenwerte für Biomarker noch nicht zur Verfügung stehen, konnten durch den Vergleich der Messungen zwischen verschiedenen Standorten bereits eindeutige Reaktionen der Biomarker an bestimmten Standorten und damit verbundene biologische Auswirkungen ermittelt werden.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Die Biotests mit Wasserproben haben gezeigt, dass es Unterschiede in der ökotoxikologischen Qualität von Standorten mit unterschiedlichen Landnutzungen gibt. An Standorten mit landwirtschaftlicher (AGR) bzw. landwirtschaftlicher und urbaner Landnutzung (AGR+URB) traten insgesamt mehr Überschreitungen von effektbasierten Schwellenwerten auf als an Standorten mit extensiver Landnutzung (EXT) [14]. Auch die chemische Analytik zeigte chronische Mischungsrisiken an allen drei Standorttypen auf, an EXT-Standorten v.a. für Invertebraten und teilweise für Vertebraten und an AGR- und AGR+URB-Standorten für Pflanzen und/oder Invertebraten und teilweise für Vertebraten. Das chronische Mischungsrisiko an EXT- und AGR-Standorten war, basierend auf Überschreitungen von chronischen Umweltqualitätskriterien, auf ein bis drei Stoffe zurückzuführen

(Pyrethroide und weitere Insektizide). An AGR+URB-Standorten waren häufig mehrere Stoffe (2-9) verantwortlich. Hier kamen zu den vorgängig genannten Stoffgruppen auch noch Herbizide und Pharmazeutika dazu. Insgesamt wurden viele Überschreitungen und vor allem besonders hohe chronische Risiken durch Pyrethroid-Insektizide verursacht. Die Biotests, bei denen effektbasierte Schwellenwerte am häufigsten überschritten wurden, waren der PXR-CALUX®, der Auswirkungen auf die Schadstoffwahrnehmung anzeigt, der Fisch-Embryo-Toxizitätstest, der Fischzellinientest und der kombinierte Algentest (Endpunkt Wachstumshemmung), wohingegen die Biotests mit Invertebraten keine Überschreitungen aufzeigten.

Die Biotests mit Sedimentproben haben gezeigt, dass mit Ausnahme eines EXT-Standorts an allen Standorten mindestens einer der getesteten biologischen Parameter die entsprechenden effektbasierten Schwellenwerte überschritten hat [13]. Der empfindlichste Parameter war das Wachstum, gefolgt von der Sterblichkeit von Muschelkrebse und dem

Emergenz von Zuckmückenlarven. Eine Beurteilung basierend auf ökotoxikologischen Qualitätsklassen [13] ergab, dass die Sedimentqualität an EXT-Standorten insgesamt gut bis mässig war. Im Gegensatz dazu wiesen Sedimente an AGR- bzw. AGR+URB-Standorten eine mässige bis unbefriedigende Qualität auf. Die chemischen Analysen zeigten, dass die Sedimente von EXT-Standorten nur gering mit Metallen, PAK und PCB belastet waren. Auch bei Sedimenten von AGR-Standorten waren nur geringe Konzentrationen dieser Stoffe vorhanden, dahingegen wurden deutlich mehr Pestizide, insbesondere Insektizide gemessen. Sedimente von AGR+URB-Standorten waren sowohl mit Metallen, PAK und PCB als auch mit Pestiziden belastet. In Bezug auf Pestizide wurden deutlich mehr Qualitätskriterien an AGR- und AGR+URB-Standorten überschritten als an EXT-Standorten.

Die Analyse von Biomarkern in Bachforellen von EXT- und AGR-Standorten zeigten Auswirkungen bei Standorten beider Kategorien, wobei die Mehrzahl der Auswirkungen bei AGR-Standorten auftraten [12]. Es gab unter anderem



Die vielversprechenden Ergebnisse ermutigen zum Einsatz und zur Weiterentwicklung von Biotest- und Biomarkermethoden.

DANKSAGUNG

Die Autoren möchten den folgenden Personen für ihre wertvollen Beiträge und/oder Kommentare danken: *Anke Hofacker, Manuel Kunz, Nicole Munz, Urs Schönenberger und Yael Schindler* (Bundesamt für Umwelt); *Pius Niederhauser* (AWEL, Kt. Zürich); *Margie Koster* (Amt für Umwelt, Kt. Thurgau); *Claudia Minkowski, Matthias Ruff* (Amt für Wasser und Abfall, Gewässer- und Bodenschutzlabor, Kt. Bern); *Martin Märki* (BVU Abteilung für Umwelt, Umweltlabor, Kt. AG); *Christoph Moschet* (Interkantoniales Labor, Kt. Schaffhausen); *Cécile Plagellat* (DGE-DIREV, Division Protection des eaux, Chimie des eaux et PCAM, Kt. VD); *Georg Grosjean* (Labor Veritas); *Tobias Doppler, Irene Wittmer* (VSA); *Natalie Gsteiger* (AUA-Labor, Eawag); *Christian Stamm* (Eawag); *Aurea C. Chiaia-Hernandez* (Universität Bern), und *Jean-Luc Loizeau* (Université de Genève). Die Projekte wurden durch das Bundesamt für Umwelt und das Oekotoxzentrum (ko-)finanziert.

standortspezifische Hinweise auf Schadstoffmetabolismus, oxidativen Stress, endokrine Disruption, Immuntoxizität und Hitzestress. Die chemische Risikobewertung der Wasserproben ergab nur an einem der Standorte (EXT) ein hohes Risiko für Vertebraten. Die Biomarker-Ergebnisse stimmen zwar mit dem an diesem Standort festgestellten chronischen Mischungsrisiko überein, weisen aber zusätzlich auf andere problematische Standorte hin, die weitere Untersuchungen rechtfertigen.

Wenn man alle drei angewendeten Ansätze zusammenfassend betrachtet, bewirkten Wasserproben von AGR- und AGR+URB-Standorten stärkere ökotoxikologische Effekte als jene von EXT-Standorten. Die Sediment-Biotests zeigten ebenfalls, dass die Sedimente an EXT-Standorten insgesamt eine bessere ökotoxikologische und chemische Qualität aufwiesen als die Sedimente an AGR- und AGR+URB-Standorten. Darüber hinaus wurden die meisten der bei den Biomarkeruntersuchungen beobachteten Wirkungen an AGR-Standorten gemessen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Anwendung von Biotestbatterien auf Wasser- und Sedimentproben an Standorten mit unterschiedlichen Landnutzungen hat Unterschiede in ökotoxikologischen Effekten zwischen den verschiedenen Standorttypen aufgezeigt.

Insbesondere wurden Unterschiede zwischen den Proben von Einzugsgebieten mit extensiver versus intensiver Landnutzung festgestellt. Die mit den verschiedenen Methoden gesammelten Hinweise ermöglichen die Identifizierung problematischer Standorte und geben Hinweise auf die zugrundeliegenden Gruppen von Chemikalien und Stressoren und somit Hinweise für weiterführende Analysen. So können diese Ansätze massgeblich zur Identifikation von Problemstandorten und relevanten Stressfaktoren beitragen.

Insgesamt haben die drei Projekte die Komplementarität der verschiedenen Methoden gut aufgezeigt und den Biomarker-Ansatz als vielversprechende Methode für zukünftige Felduntersuchungen bestätigt. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchungen soll nun eine Biotestbatterie für das Monitoring von Oberflächengewässern [14] und eine für Sedimente [13] vorgeschlagen werden. Die vielversprechenden Ergebnisse ermutigen zum Einsatz und zur Weiterentwicklung von Biotest- und Biomarkermethoden für die routinemässige Überwachung der Wasserqualität. Die in den Projekten angewendeten Methoden sollen nun an weiteren Standorten eingesetzt werden.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Kunz, M.; Schindler Wildhaber, Y.; Dietzel, A. (2016): Zustand der Schweizer Fliessgewässer. Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässer-

qualität (NAWA) 2011–2014, in Umwelt-Zustand Nr. 1620, BAFU, Editor: Bern. p. 87

- [2] Langer, M. et al. (2019): Hohe Ökotoxikologische Risiken in Bächen. *Aqua & Gas* 4: 58–68
- [3] Wittmer, I. et al. (2014): Schweizer Fliessgewässer mit vielen Pestiziden belastet. *Aqua & Gas* 3: 32–43
- [4] Schweizerischer Bundesrat (1998): Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Januar 2021): p. 72
- [5] Känel, B.; Michel, C.; Reichert, P. (2018): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrophyten – Stufe F (flächendeckend) und Stufe S (systembezogen). Entwurf, in Umwelt-Vollzug. Bundesamt für Umwelt: Bern. p. 119
- [6] Schager, E.; Peter, A. (2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Fische Stufe F (flächendeckend), in Vollzug Umwelt. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 44. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. p. 65.
- [7] Stucki, P. (2010): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F, in Umwelt-Vollzug. BAFU, Bern. p. 61
- [8] Fent, K. (2013): Ökotoxikologie, Umweltchemie – Toxikologie – Ökologie. 4 ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag. 377
- [9] Connon, R.E.; Geist, J.; Werner, I. (2012): Effect-based tools for monitoring and predicting the ecotoxicological effects of chemicals in the aquatic environment. *Sensors* 12(9): 12741–12771
- [10] Kienle, C. et al. (2015): Ökotoxikologische Biotests – Anwendung von Biotests zur Evaluation der Wirkung und Elimination von Mikroverunreinigungen. *Aqua & Gas* 7/8: 18–26
- [11] Beiras, R. (2018): Chapter 16 – Biological Tools for Monitoring: Biomarkers and Bioassays. In: *Marine Pollution*, R. Beiras, Editor. Elsevier. p. 265–291
- [12] Voisin, A.-S. et al. (2023): Biomarqueurs moléculaires: Application pour la surveillance de la qualité de l'eau avec la truite de rivière. *Aqua & Gas* 4: 42–48
- [13] Casado-Martinez, C. et al. (2023): Évaluation de la qualité des sédiments. *Aqua & Gas* 4: 34–41
- [14] Kienle, C. et al. (2023): Beurteilung der Wasserqualität mittels Biotestbatterie *Aqua & Gas* 4: 24–33
- [15] Casado, C. et al. (2021): Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie

LORNO mit LTE Übertragung

Das intelligente Leckerkennungs- system – die Lösung gegen Wasser- verlust.

Die neuen Elektronikeinheiten (MGM II) des bewährten LORNO-Leckerkennungs-systems sind mit LTE-SIM-Karten aus-
gestattet.

- Freie Standortwahl der Messpunkte
- Ausstattung einzelner, abgelegener Messpunkte möglich
- Einbindung in bestehende Funk-Systeme möglich
- Keine Funk-Repeater mehr nötig
- LTE optimale Übertragungstechnologie für LORNO betr. Datenvolumen, Netz-abdeckung und Netzstabilität
- Tägliche Datenübermittlung und Sofort-Alarmierung



Neugierig?

 **BKW**

INFRA
SERVICES

 **Hinni**
Infra Services