

ÖKOTOXIKOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN: RISIKO VON PSM BESTÄTIGT

NAWA-SPEZ-STUDIE 2017 ZEIGT BEEINTRÄCHTIGUNG VON GEWÄSSERORGANISMEN

Für fünf kleine Schweizer Fließgewässer wurden anhand akuter und chronischer Risikoquotienten die Risiken der Mischungen synthetisch-organischer Pflanzenschutzmittel (PSM) bewertet, die durch chemische Analyse nachgewiesen worden waren. An allen fünf Standorten wurde zeitweise ein hohes Risiko für Pflanzen, wirbellose Organismen und/oder Fische ermittelt. Das Mischungsrisiko für Pflanzen konnte mit einem Biotest für den Grossteil der Proben bestätigt werden. Auch die Untersuchung der Wirbellosengemeinschaft in den Bächen zeigte eine Belastung durch PSM an.

Marion Junghans*, Oekotoxzentrum; Miriam Langer*, Oekotoxzentrum, Fachhochschule Nordwestschweiz und Eawag (Hauptautoren)
Caroline Baumgartner, AquaPlus AG; Etienne Vermeirssen; Inge Werner, Oekotoxzentrum

RÉSUMÉ

CONFIRMATION DE RISQUES ÉCOTOXICOLOGIQUES DUS AUX PRODUITS PHYTOSANITAIRES – L'ÉTUDE NAWA SPEZ 2017 INDIQUE UNE PERTURBATION DES ORGANISMES AQUATIQUES DANS DES RUISSEAUX

La pollution de cinq petits cours d'eau suisses par 217 produits phytosanitaires organiques de synthèse (PPH) a été étudiée de mars à octobre 2017 dans le cadre du programme NAWA SPEZ. Deux de ces ruisseaux figuraient déjà dans l'étude précédente menée en 2015. L'objectif est à nouveau de déterminer le risque dû au mélange de PPH pour les communautés biotiques des cours d'eau étudiés. Pour ce faire, le risque aigu et chronique dû au mélange a été calculé pour les végétaux, les invertébrés et les vertébrés à partir des concentrations mesurées et des critères de qualité environnementale. Pour les végétaux, un risque a par ailleurs été déterminé en se basant sur les effets observés avec le test combiné sur algues vertes. En complément, l'état de la communauté de macroinvertébrés a été apprécié dans tous les ruisseaux à l'aide de l'indice SPEAR.

L'évaluation du risque aigu a révélé que la qualité de l'eau était médiocre pour les organismes aquatiques au moins une fois dans chaque cours d'eau. Autrement dit, le quotient de risque dû au mélange (QR_{mix}) était de 2 à 10 durant une période de 3,5 jours pour au moins un des trois groupes d'organismes. Le Chrümlisbach et l'Eschelisbach ont également connu des périodes de mauvaise

AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Im Programm «Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität Spezialuntersuchungen» (NAWA SPEZ) wurde von März bis November 2017 die Belastung fünf kleiner Schweizer Fließgewässer mit 217 organisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen (PSM) erfasst (Spycher *et al.* in dieser Ausgabe, S. 14). Die vorausgegangene NAWA-SPEZ-2015-Messkampagne hatte bereits gezeigt, dass von den analytisch bestimmten PSM-Mischungen ein hohes Risiko für Pflanzen, Wasserwirbellose (Invertebraten) und Wirbeltiere (Vertebraten, z.B. Fische) in landwirtschaftlich beeinflussten Bächen ausgeht [1]. Das Ziel der vorliegenden Studie war, die Befunde aus dem Jahr 2015 zu überprüfen und das Wissen über den Zustand von kleinen Fließgewässern in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten auszubauen. Dazu wurden zwei Bäche wiederum beprobt und drei weitere Bäche in die Messkampagne neu aufgenommen. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob das anhand der analytischen Daten berechnete Mischungsrisiko für Pflanzen durch einen Biotest mit Grünalgen bestätigt werden kann. An allen Standorten wurde zusätzlich der Einfluss von PSM auf die Wirbellosengemeinschaft in den Bächen untersucht.

* Kontakt: marion.junghans@oekotoxzentrum.ch; miriam.langer@fhnw.ch
Titelfoto: Eschelisbach (Kanton Thurgau); Esther Michel, Eawag

PROBENAHMESTANDORTE

Detaillierte Informationen zu den Standorten finden sich im Artikel *Spycher et al. (S. 14)*. Es wurde bei der schweizweiten Auswahl der Probenahmestandorte darauf geachtet, dass die Einzugsgebiete einen möglichst geringen Siedlungsanteil, aber einen hohen Anteil an landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen aufweisen. Diese sollten ein breites Spektrum an Anbaukulturen abdecken und verschiedene Regionen der Schweiz repräsentieren. Zwei der Standorte wurden bereits 2015 beprobt (Eschelisbach im Kanton Thurgau und Weierbach im Kanton Basel-Land). Die Standorte Le Bainoz im Kanton Freiburg, Chrümmlisbach im Kanton Bern und Hoobach im Kanton Schaffhausen wurden in der NAWA-SPEZ-2017-Kampagne zum ersten Mal untersucht. Die Fliessgewässer weisen eine Fliessgewässerordnungszahl von 1 bis 4 auf und werden nicht durch Kläranlageneinleitungen oder Mischwasserüberläufe beeinflusst.

PROBENAHME UND -AUFBEREITUNG

An den fünf Standorten wurden von Anfang März bis Mitte Oktober mit automatischen Probenehmern (Maxx, TP5C) Wasserproben genommen und auf 4 °C gekühlt. Alle 45 Minuten wurde dabei eine Teilprobe von 35 ml gezogen und in Glasbehältern zu jeweils dreieinhalbtägigen Mischproben vereinigt. So wurde eine nahezu lückenlose Beprobung der fünf untersuchten Bäche über 7,5 Monate hinweg realisiert und die PSM-Belastungen auch im Herbst erfasst. Lediglich in den Einzugsgebieten des Bainoz, des Chrümmlisbachs und des Weierbachs kam es durch Ausfälle der Probensammler zu einem Verlust von zwei (Chrümmlisbach und Weierbach) bzw. fünf Proben (Le Bainoz). Die PSM-Analytik wird detailliert in *Spycher et al. (S. 14)* beschrieben.

Die Proben wurden wöchentlich von den kantonalen Fachpersonen abgeholt und danach in gekühlten unzerbrechlichen Aluminiumflaschen direkt ans Oekotoxzentrum (Dübendorf) versandt. Dort wurden die Proben direkt nach Empfang mittels Festphasenextraktion (SPE) mit der Säule LiChrolut EN/RP-18 (Merck, Darmstadt, Deutschland) aufbereitet. Die Säule wurde anschliessend mit Aceton und Methanol extrahiert und die Extrakte bis zur Testdurchführung bei -20 °C gelagert. Da bei der Festphasenextraktion wasserlösliche Substanzen wie Salze oder Nährstoffe nicht angereichert werden, hat diese Methode den Vorteil, dass Effekte im Algentest direkt auf organische Mikroverunreinigungen zurückgeführt werden können.

RISIKOBEWERTUNG PSM-MISCHUNGEN

Anhand von gemessenen Umweltkonzentrationen (*measured environmental concentration*, MEC) und ökotoxikologischen Daten kann das Risiko der Pflanzenschutzmittel für Gewässerorganismen bestimmt werden. Dazu werden aus ökotoxikologischen Effektdaten sogenannte Umweltqualitätskriterien (UQK) abgeleitet. Wenn die MEC höher als das UQK ist, kann eine Beeinträchtigung von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen im Gewässer nicht ausgeschlossen werden. Das Verhältnis aus MEC und UQK ist der Risikoquotient (RQ).

Für 40 PSM wurden vom Oekotoxzentrum gemäss dem Leitfaden der EU-Wasserrahmenrichtlinie [2] UQK hergeleitet [3]. Für Substanzen, für die das Oekotoxzentrum noch keine UQK vorgeschlagen hatte, wurden Qualitätskriterien verwendet, die von anderen Ländern gemäss dem Leitfaden der EU hergeleitet worden waren. Wenn kein UQK gefunden werden konnte, wurde, wenn möglich, ein Ad-hoc-Wert basierend auf den verfügbaren Zulassungsdaten hergeleitet. Es wurde jeweils ein akutes UQK zur Beurteilung

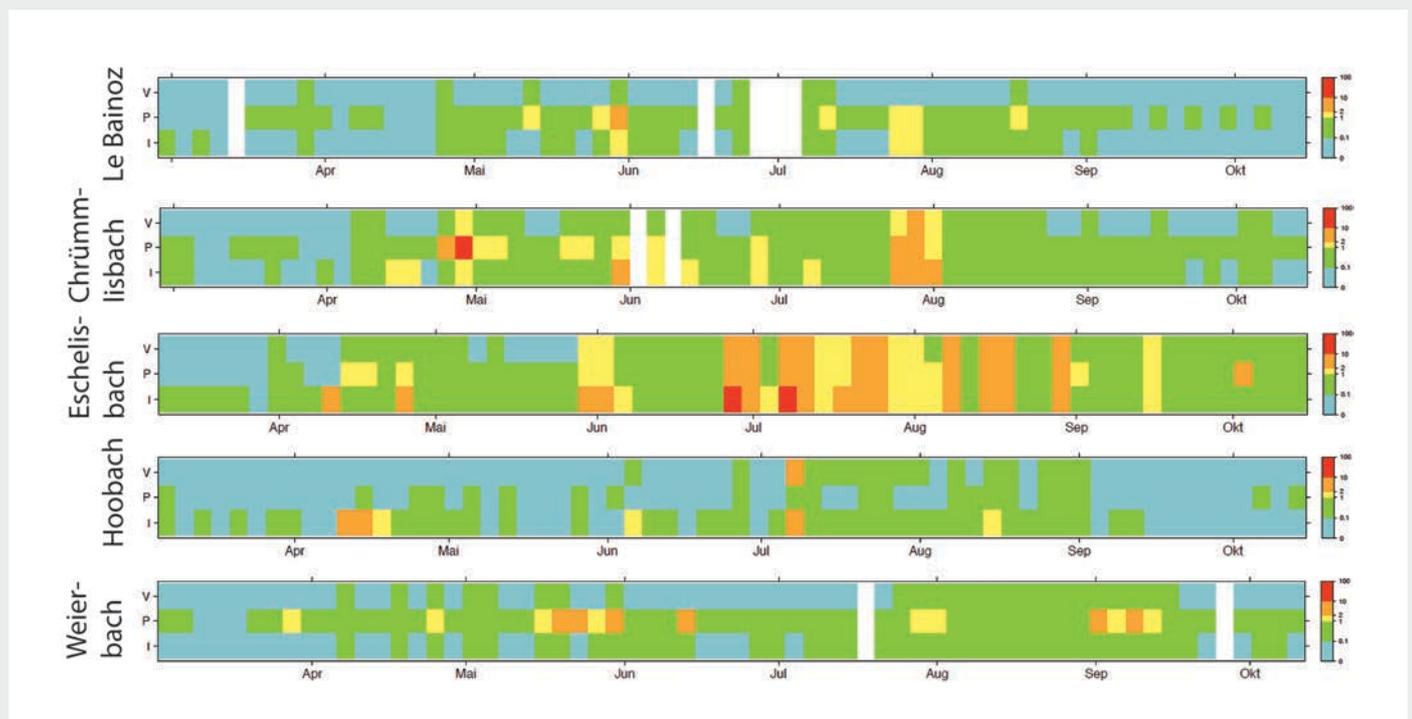


Fig. 1 Akute Mischungsrisikoquotienten (ARQ_{mix}) der gemessenen Konzentrationen in 3,5-Tages-Mischproben an den NAWA-SPEZ-2017-Probenahmestellen. Auf der y-Achse sind die Organismengruppen dargestellt: V: Vertebraten (Fische); P: Pflanzen; I: Invertebraten. Weisse Abschnitte bedeuten, dass keine Proben genommen werden konnten. Die Farben zeigen die Höhe des RQ für die jeweilige Organismengruppe und den Zeitraum an. Blau: RQ < 0,1; grün: RQ 0,1-1; gelb: RQ 1-2; orange: RQ 2-10; rot: RQ > 10.

des Sterblichkeitsrisikos sowie ein chronisches zur Erfassung der Risiken für das Auftreten negativer Effekte auf Fortpflanzung oder Wachstum bestimmt.

Die Mischungsrisikobewertung [4, 5] wurde wie schon für die Studie im Jahr 2015 getrennt für aquatische Pflanzen, Invertebraten und Vertebraten durchgeführt. Während Herbizide hauptsächlich ein Risiko für Pflanzen darstellen und Insektizide hauptsächlich für Invertebraten, können Fungizide alle drei Organismengruppen beeinträchtigen. So wirkt das Fungizid Cyprodinil hauptsächlich auf Wasserflöhe, das Fungizid Azoxystrobin hauptsächlich auf Kleinkrebse und Kieselalgen. Azolfungizide dagegen wirken akut am stärksten auf Wasserlinsen, bei den chronischen Effekten gehören aber auch Fische zu den besonders empfindlichen Organismen.

Die akuten Risiken (ARQ_{mix}) wurden direkt für die dreieinhalb-tägigen Mischproben bestimmt. Die chronischen Risikoquotienten (CRQ_{mix}) wurden für 14-Tage-zeitgewichtete Konzentrationen berechnet [5, 6]. Anhand von Expositionsprofilen aus NAWA SPEZ 2015 konnte gezeigt werden, dass diese Integrationszeiten zur Beurteilung akuter und chronischer Effekte durch stark fluktuierende PSM-Konzentrationen geeignet sind [7].

In *Figur 1* und *2* sind die ARQ_{mix} respektive CRQ_{mix} für die fünf Standorte über die Zeit hinweg zusammengefasst. Dazu wurden die beobachteten ARQ_{mix} bzw. CRQ_{mix} in fünf Klassen eingeteilt [6]: Zeiträume, für die keine Beeinträchtigung der Vertebraten (V), Pflanzen (P) bzw. Invertebraten (I) zu erwarten waren, können entweder als gut ($RQ = 0,1$ bis 1) oder sogar sehr gut ($RQ < 0,1$) klassiert werden. Nicht mehr ausgeschlossen werden kann eine Beeinträchtigung für Zeiträume mit einer mässigen ($RQ = 1$ bis 2), unbefriedigenden ($RQ = 2$ bis 10) oder gar schlechten ($RQ > 10$) Wasserqualität. Da an allen Standorten für mindestens eine der drei Organismengruppen Zeiträume mit unbefriedigender Wasserqualität beobachtet wurden, kann für keinen der untersuchten Standorte eine Beeinträchtigung der Gewässerlebewesen durch PSM ausgeschlossen werden.

AKUTE RISIKEN

Die akuten Mischungsrisiken waren nicht an allen Standorten gleich hoch (*Fig. 1*). Die geringsten Mischungsrisiken wurden im Bainoz (FR) gemessen. Nur während der letzten Mai-Woche gab es für Pflanzen ein Zeitfenster mit unbefriedigender Wasserqualität ($ARQ_{mix} = 4,5$). Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Weierbach

(BL). Allerdings wurden hier für Pflanzen mehrere Zeiträume mit unbefriedigender Wasserqualität beobachtet ($ARQ_{mix} = 2$ bis 5). Im Hoobach (SH) war die Wasserqualität dagegen vereinzelt für Invertebraten unbefriedigend ($ARQ_{mix} = 2$ bis 5) und einmal auch für Fische ($ARQ_{mix} = 2,7$). Im Chrümlisbach wurde für alle drei Organismengruppen eine unbefriedigende Wasserqualität bestimmt, Ende April für Pflanzen sogar eine schlechte ($ARQ_{mix} = 11$).

Im Eschelisbach bestanden die höchsten Risiken für Gewässerorganismen. Während in der ersten Jahreshälfte nur die Invertebraten betroffen waren (mit ARQ_{mix} bis 16), war von Juli bis September die Wasserqualität für alle drei Organismengruppen wiederholt unbefriedigend. Ende Juni und Anfang Juli gab es sogar zweimal Zeiträume, in denen die Wasserqualität für Invertebraten als schlecht eingestuft werden musste. Während die akuten Risiken im Eschelisbach zwischen den Messkampagnen 2015 und 2017 vergleichbar waren, reduzierten sich 2017 die akuten Risiken im Weierbach deutlich im Vergleich zu 2015 [1].

CHRONISCHE RISIKEN

Auch die chronischen Risiken (*Fig. 2*) im Weierbach waren 2017 insgesamt gerin-

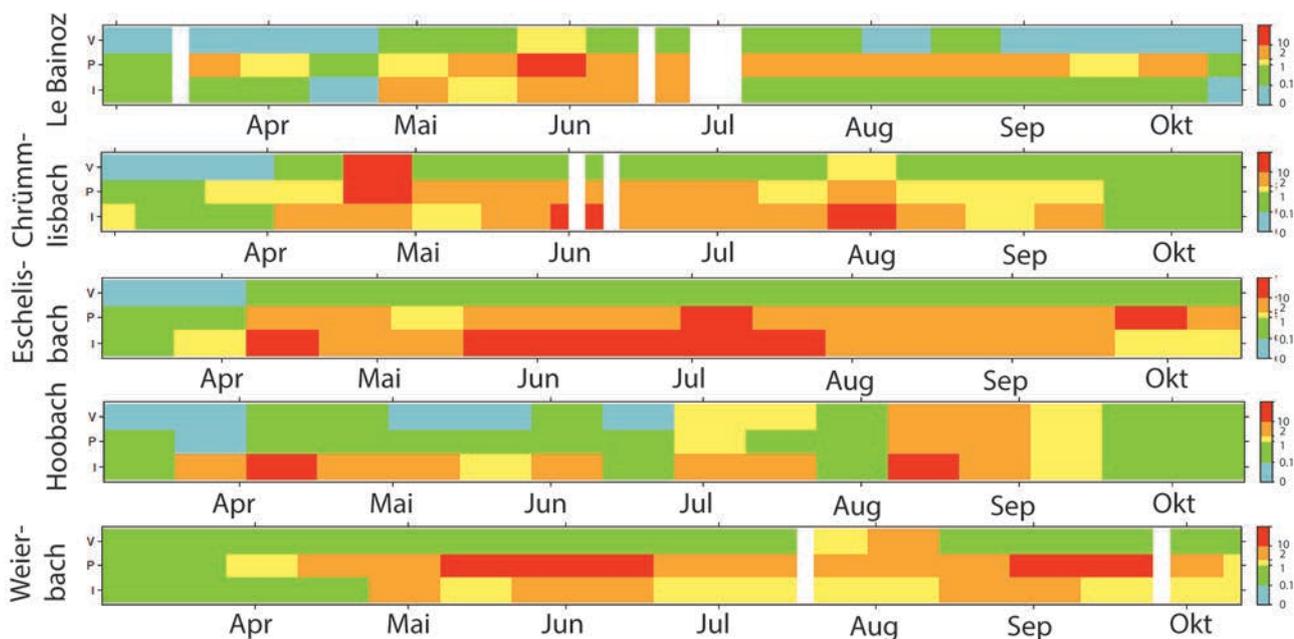


Fig. 2 Chronische Mischungsrisikoquotienten (CRQ_{mix}) für das zeitgewichtete Mittel der gemessenen Konzentrationen (14-Tages-Mischproben) an den NAWA-SPEZ-2017-Probenahmestellen. Auf der y-Achse sind die Organismengruppen dargestellt: V: Vertebraten (Fische); P: Pflanzen; I: Invertebraten. Weisse Abschnitte bedeuten, dass keine Proben genommen werden konnten. Die Farben zeigen die Höhe des RQ für die jeweilige Organismengruppe und Zeitraum an. Blau: $RQ < 0,1$; grün: $RQ: 0,1-1$; gelb: $RQ 1-2$; orange: $RQ 2-10$; rot: $RQ > 10$.

ger als 2015, allerdings lag der maximale CRQ_{mix} (51) noch leicht höher als im Jahr 2015 [1]. Wie schon im Falle der akuten Risiken waren im Weierbach hauptsächlich die Pflanzen betroffen, allerdings war die Wasserqualität von Ende April bis Mitte Juni (CRQ_{mix} bis zu 8,8) sowie Ende August bis Anfang September (CRQ_{mix} bis zu 5,8) auch für die Invertebraten schlecht.

Im Eschelisbach bestand 2017 wie bereits 2015 ein sehr hohes Risiko für Invertebraten. Im Jahr 2017 gab es jedoch noch mehr Zeiträume, in denen die Wasserqualität schlecht war (12 Wochen vs. 8 Wochen). Der höchste CRQ_{mix} betrug 36. Besonders im Frühjahr (April bis Mai) waren die Risiken 2017 höher als 2015. Dies war auch für Pflanzen der Fall. Während im Jahr 2015 die Wasserqualität für Pflanzen bis Mitte Mai gut oder sogar sehr gut war, war sie 2017 bereits ab Anfang April bis zum Ende des Beobachtungszeitraums im Oktober mässig bis schlecht (CRQ_{mix} bis 11).

Im Chrümmlisbach musste die Wasserqualität für alle Organismengruppen mindestens einmal als schlecht eingestuft werden und erreichte für Pflanzen und Vertebraten Ende April bis Anfang Mai einen maximalen CRQ_{mix} von 43. Auch im Bainoz und im Hoobach war die Wasserqualität zeitweise schlecht (CRQ_{mix} bis zu 16 bzw. 17). Während im Bainoz das grösste Risiko für Pflanzen bestand, waren im Hoobach die Risiken für Invertebraten am höchsten.

Abschliessend lässt sich sagen, dass an allen fünf Standorten die chronischen Mischungsrisiken für mindestens eine der drei Organismengruppen so hoch waren, dass die Wasserqualität mehrheitlich unbefriedigend bis schlecht war.

BESTÄTIGUNG VON NAWA SPEZ 2015

Insgesamt bestätigten die Ergebnisse der vorliegenden Studie die bereits 2015 beobachteten hohen Mischungsrisiken durch PSM in Kleingewässern in intensiv landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten der Schweiz. Erneut deuten besonders die hohen und lang andauernden chronischen Mischungsrisiken darauf hin, dass negative Auswirkungen auf die Gewässerorganismen wahrscheinlich sind.

DIREKTE MESSUNG DES MISCHUNGSRIKOS

DER KOMBINIERTE ALGENTEST

Mit dem kombinierten Algentest (siehe *Box 1*) liessen sich für Pflanzen direkt die Risiken der Wasserproben ermitteln. Dazu wurden die Extrakte der 3,5-Tage-Mischprobe im kombinier-

DER KOMBINIERTE ALGENTEST

Der kombinierte Algentest zeigt an, wie stark die Photosynthese und das Wachstum der einzelligen Grünalge *Raphidocelis subcapitata* durch die im Festphasenextrakt einer Wasserprobe enthaltenen organischen Substanzen beeinträchtigt werden [8, 9]. Dafür werden Verdünnungen des Probeextraktes (Anreicherungsfaktor 2 bis 264) getestet und eine Dosis-Wirkungskurve erstellt. Mit einer Referenzkurve für das Herbizid Diuron kann die Wirkung der Probe in Diuron-Äquivalenten (DEQ, in ng/l) ausgedrückt werden, d. h. die hemmende Wirkung der Probe entspricht der Wirkung von x ng/l Diuron. Dabei wird der Anreicherungsfaktor berücksichtigt. Als Endpunkte werden die Hemmung der Photosynthese (nach 2 h) und das Wachstum (nach 24 h) erfasst.

Um das Risiko der Probe zu berechnen, werden abschliessend die gemessenen DEQ mit dem Umweltqualitätskriterium (UQK) für Diuron verglichen. Das Risiko ist ein Mass für die Wahrscheinlichkeit, mit der die Wasserprobe auf alle Organismen oder bestimmte Organismengruppen im Gewässer giftig wirkt. Toxische Effekte durch organische Pflanzenschutzmittel in der unbehandelten (nativen) Wasserprobe sind ab etwa 1000 ng/l DEQ (2 h) zu erwarten.

In der NAWA-SPEZ-2017-Kampagne wurden kontinuierlich 3,5-Tage-Mischproben genommen. Die im Algentest ermittelten DEQ für 3,5-Tage-Mischproben wurden zur Bestimmung des akuten Risikos mit dem akuten UQK für Diuron (250 ng/l) verglichen. Für die Ermittlung des chronischen Risikos wurden DEQ-Werte von vier aufeinanderfolgenden 3,5-Tage-Mischproben gemittelt (Gesamtzeitraum: 14 Tage) und mit dem chronischen UQK für Diuron (70 ng/l) verglichen [7].

Box 1

A: 3,5-Tage-Mischprobe	Hemmung der Photosynthese (2 h)				Hemmung des Wachstums (24 h)		
	Anzahl Proben	Anzahl Proben > AQK	% Proben mit Überschreitungen	Max DEQ ng/l	Anzahl Proben > AQK	% Proben mit Überschreitungen	Max DEQ ng/l
Le Bainoz (FR)	57	7	12	869	28	49	3244
Chrümmlisbach (BE)	58	6	10	350	33	57	4174
Eschelisbach (TG)	63	0	0	126	13	21	581
Hoobach (SH)	63	0	0	164	5	8	376
Weierbach (BL)	56	4	7	753	31	55	1563

B: 14-Tage-Mittel	Hemmung der Photosynthese (2 h)				Hemmung des Wachstums (24 h)		
	Anzahl Proben	Anzahl Proben > CQK	% Proben mit Überschreitungen	Max DEQ ng/l	Anzahl Proben > CQK	% Proben mit Überschreitungen	Max DEQ ng/l
Le Bainoz (FR)	13	6	46	507	13	100	1721
Chrümmlisbach (BE)	14	5	36	244	14	100	1427
Eschelisbach (TG)	15.5	0	0	67	14	90	304
Hoobach (SH)	16	0	0	51	11	69	187
Weierbach (BL)	13	5	38	301	13	100	665

Tab. 1 Ergebnisse des kombinierten Algentests der NAWA-SPEZ-2017-Proben. A: für 3,5-Tage-Mischproben; B: für das 14-Tage-Mittel. DEQ: Diuron-Äquivalenzkonzentrationen; PS II: Hemmung der Photosynthese; AQK: akutes Qualitätskriterium für Diuron, 250 ng/l; CQK: chronisches Qualitätskriterium für Diuron, 70 ng/l; [3].

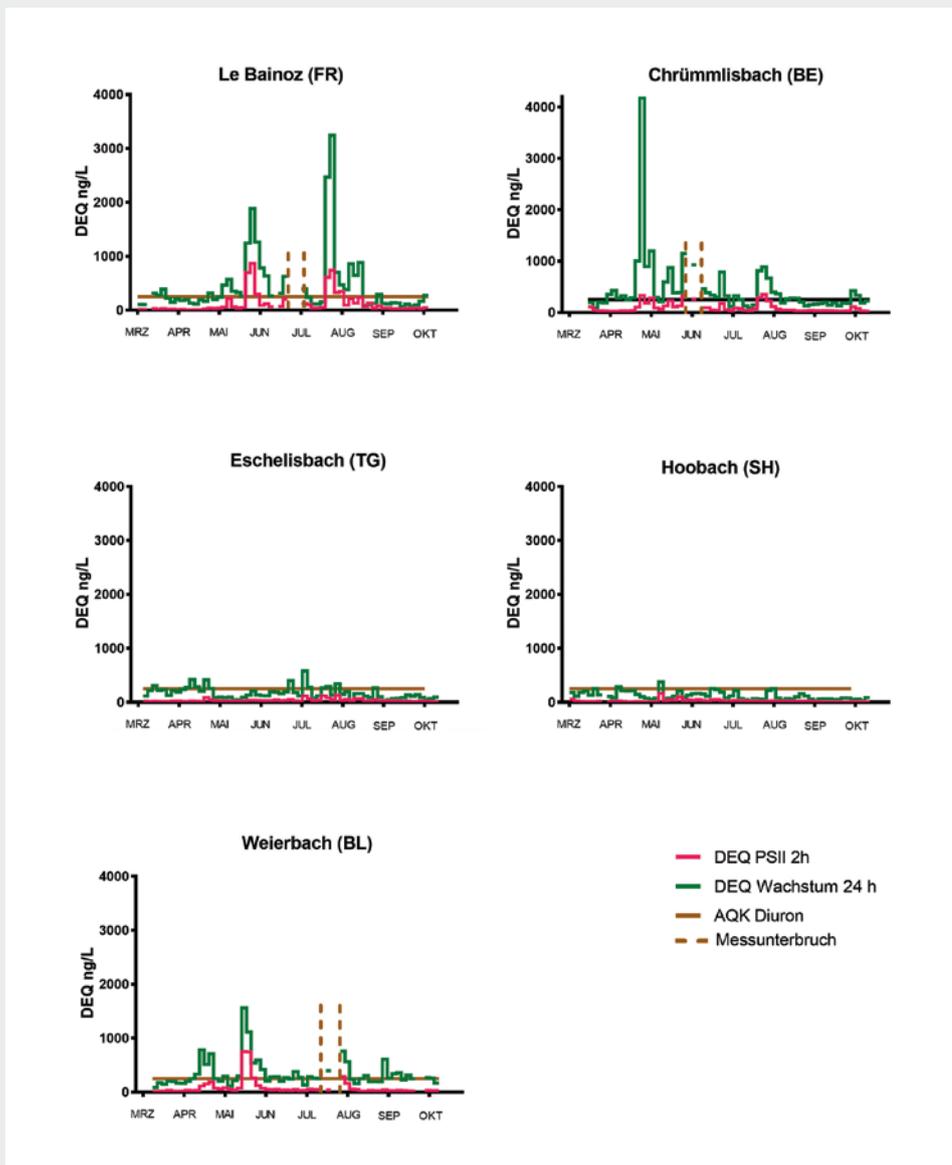


Fig. 3 Ergebnisse der Untersuchung der 3,5-Tage-Mischproben von NAWA SPEZ 2017 mit dem kombinierten Algentest. Dargestellt sind Diuron-Äquivalenzkonzentrationen (DEQ) für die Endpunkte Hemmung der Photosynthese (pink) und Wachstum (dunkelgrün). Die waagerechte Linie stellt das akute UQK (250 ng/l) für Diuron dar. Mit gestrichelten Linien werden Zeiträume ohne Messungen angezeigt.

ten Algentest mit der einzelligen Grünalge *Raphidocelis subcapitata*, untersucht [8, 9]. Als ökotoxikologische Endpunkte wurden die Hemmung der Photosynthese und das Wachstum erfasst. Mit einer Referenzkurve können Diuron-Äquivalenzkonzentrationen (DEQ) berechnet werden, die anzeigen, wie stark der Effekt einer Probe im Vergleich zum Referenzherbizid Diuron ist. Anders als in der NAWA-SPEZ-2015-Auswertung wurden in dieser Studie effektbasierte DEQ nicht nur für die Hemmung der Photosynthese, sondern auch für das Wachstum angegeben. Damit war es nun möglich, die algentoxische Wirkung aller vorhandenen organischen Substanzen integrativ zu erfassen. Die Hemmung der Photosynthese

integriert dagegen nur die Wirkung solcher Stoffe, deren Wirkmechanismus auf einer Photosystem-II-(PS-II)-Hemmung beruht, wie im Falle von Diuron.

Der Algentest zeigte hohe und andauernde Risiken durch algentoxische Substanzen im Bainoz, Chrümmelisbach und Weierbach an (Tab. 1, Fig. 3). In den 3,5-Tages-Mischproben überschritten die DEQ für den Endpunkt Wachstum im Bainoz während 49%, im Chrümmelisbach während 57%, im Weierbach während 55% der Zeit das akute Umweltqualitätskriterium für Diuron.

Mit dem neu ausgewerteten Endpunkt Wachstum wurden höhere DEQ gemessen als mit dem klassischen Endpunkt Photosynthesehemmung (PS II) (Fig. 3). Im

Eschelisbach und Weierbach wurden für die PS-II-hemmenden Substanzen ähnliche durchschnittliche DEQ nachgewiesen wie bereits 2015 [1]. Die gemittelten DEQ wichen jeweils um weniger als das 1,5-Fache voneinander ab. Im Weierbach lag der maximale DEQ allerdings 2017 bis zu 3-fach höher als 2015.

Zur Berechnung der chronischen Belastung durch algentoxische Substanzen wurde von beiden Endpunkten das 14-Tage-zeitgewichtete Mittel der DEQ errechnet und mit dem chronischen UQK von Diuron (70 ng/l; [3]) verglichen (Tab. 1b). Für den Endpunkt Wachstum überschritt dieser DEQ, also das Mischungsrisiko algentoxischer Substanzen im Le Bainoz, Chrümmelisbach und Weierbach während 100%, im Eschelisbach zu 90% und im Hoobach zu 69% der Zeit das chronische UQK von Diuron.

ALGENTESTS BESTÄTIGTEN MEISTENS CHEMISCHE MISCHUNGSRISIKOBEWERTUNG

Aus den tatsächlich im Algentest gemessenen DEQ für Wachstum wurden effektbasierte Risikoquotienten errechnet ($DEQ_{\text{Algentest}}/\text{akutes UQK für Diuron}$), die mit der auf der chemischen Analytik basierenden Mischungsrisikobewertung für Pflanzen verglichen wurden. Durch diesen Ansatz können die Ergebnisse des effektbasierten Monitorings direkt mit dem chemischen Monitoring verglichen werden (Fig. 4).

Die aus den Resultaten des Algentests abgeleiteten Risiken bestätigen in den meisten Fällen die Mischungsrisiken für Pflanzen, die aus der chemischen Analytik errechnet wurden. Wenn PSM dominieren, die deutlich stärker auf andere Pflanzen als auf Grünalgen wirken, so kann dies zu Abweichungen führen. Eine solche Situation gab es z. B. Mitte Juni im Weierbach (Fig. 4). Es wurden hohe Konzentrationen des Sulfonylharnstoffes Nicosulfuron gemessen, für den Grünalgen mehr als tausendfach weniger empfindlich sind als die Wasserlinsen, aufgrund derer das UQK bestimmt wurde. In solchen Fällen unterschätzt der Algentest das Risiko der pflanzentoxischen Wirkung. Dies gilt analog auch für 2,4-D und Azoxytrobilin. Das Auxin-Herbizid 2,4-D wirkt mehr als tausendfach stärker auf zweikeimblättrige Wasserpflanzen und Azoxytrobilin siebenfach stärker auf Kleinkrebse als auf Grünalgen.

Andererseits gibt es Fälle, in denen das aus der Analytik errechnete Mischungs-

risiko das tatsächliche effektbasierte Risiko unterschätzt. Beispielsweise zeigten Proben aus dem Bainoz Anfang August im kombinierten Algentest ARQ, die bis zu zehnfach über jenen der chemischen Analytik lagen. Dies kann unter anderem an methodischen Unterschieden in der Festphasenextraktion der chemischen Analytik und des Algentests liegen [11]. Im Allgemeinen zeigte der kombinierte Algentest meist leicht höhere RQ an als die chemische Mischungsbewertung. Dies kann durch unbekanntes (durch die Analytik nicht erfasste) algentoxische Stoffe verursacht sein. So reagiert der Algentest auch auf biologisch aktive Transformationsprodukte oder auf PSM unterhalb des Detektionslimits. Es ist aber auch nicht auszuschliessen, dass es zu Wechselwirkungen zwischen PSM kam, welche die Effekte einzelner PSM noch verstärkten.

Der Vergleich zwischen den chemisch- und den effektbasiert-bestimmten Risiken für aquatische Pflanzen zeigte, dass es sinnvoll ist, chemisches Monitoring mit integrativen Biotests zu ergänzen. Die weitgehende Übereinstimmung der beiden Risikobewertungsansätze impliziert auch, dass sowohl die verwendeten UOK als auch die Methode zur Mischungsrisikobeurteilung robust sind.

WIRBELLOSENGEMEINSCHAFTEN ZEIGEN PSM-BELASTUNG AN

Im Frühjahr und Sommer 2017 wurden durch die AquaPlus AG an allen NAWA-SPEZ-Probenahmestellen bzw. an naheliegenden Gewässerabschnitten (Tab. 2) Erhebungen der Wirbellosengemeinschaften durchgeführt [12]. Als Vergleichsbasis wurden Referenzstellen ausgewählt, die einen weitgehend ökomorphologisch, hydrologisch und stofflich naturnahen Zustand aufweisen. Im Einzugsgebiet dieser Referenzstellen befinden sich keine Punktquellen von Schadstoffen und der Einfluss von Siedlungen, Strassen und Landwirtschaft ist minimal.

Die Wirbellosengemeinschaften wurden gemäss BAFU-Modul-Stufen-Konzept im März untersucht. Zusätzlich wurde eine Beprobung im Juli durchgeführt, um die Lebensgemeinschaft während der PSM-Applikationsperiode zu erfassen. Mit den erhobenen Daten wurde gemäss [13] der SPEAR-(SPECies At Risk)-Index für Pestizide bestimmt, der speziell für PSM-Belastungen mit einem typischen Puls-Ein-

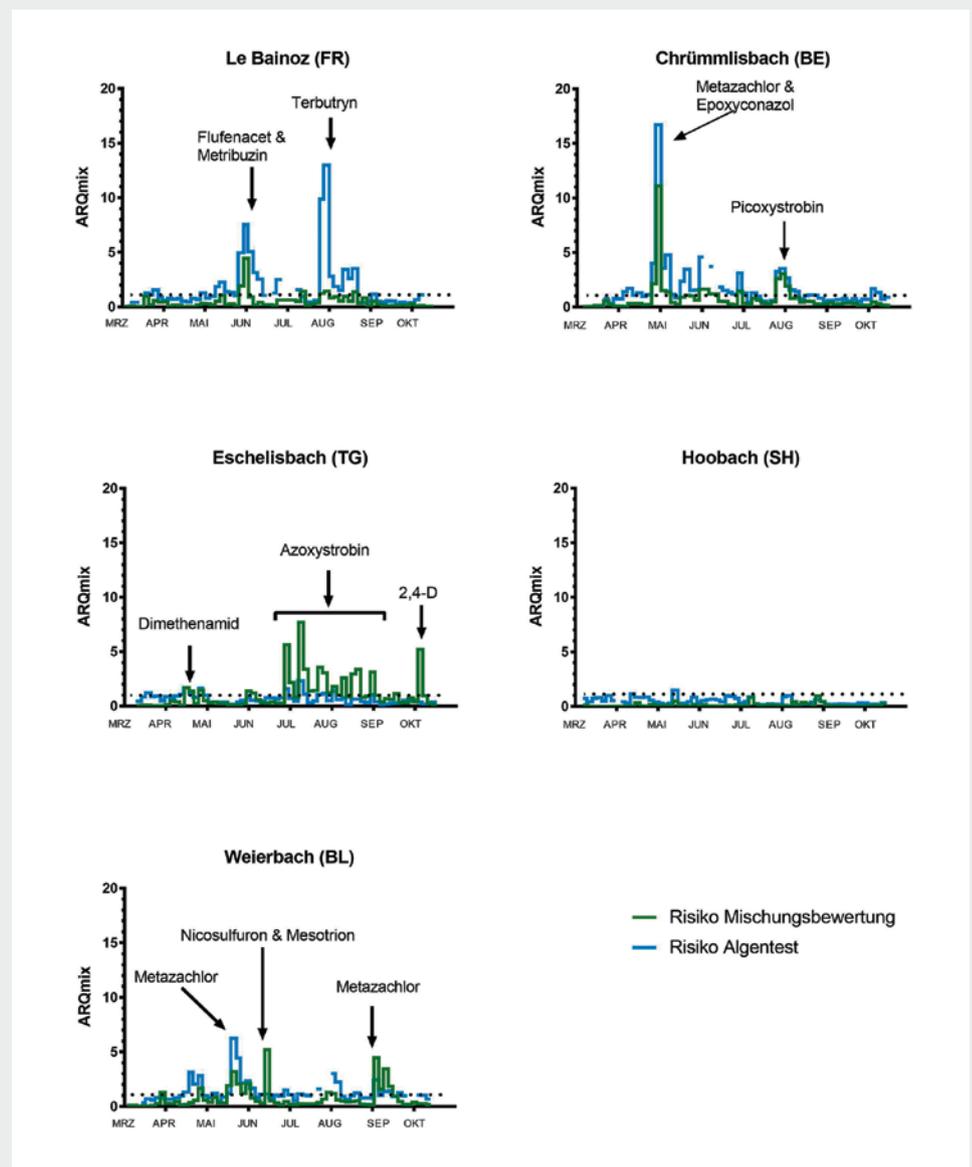


Fig. 4 Vergleich der ARQ des effektbasierten Monitorings (blau, Wachstumshemmung nach 24 im kombinierten Algentest) und des chemischen Monitorings (grün, ARQ_{mix} der auf Pflanzen wirkenden Substanzen). Die gepunktete Linie stellt einen $RQ = 1$ dar. Zusätzlich angegeben sind die PSM, die das Risiko deutlich dominieren.

tragsmuster in kleinen Fliessgewässern optimiert ist. Der Index berechnet den Anteil PSM-empfindlicher Arten in der Wirbellosengemeinschaft des Gewässers. Wirbellose reagieren auf Insektizide und Fungizide besonders empfindlich, daher erlaubt der Index vor allem Aussagen zur Gewässerqualität bezüglich dieser PSM-Gruppen. Je geringer der Wert des SPEAR-Index, desto grösser ist der Anteil an PSM-toleranten Wirbellosen und somit der Schadstoffeinfluss. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss jedoch beachtet werden, dass auch morphologische und hydrologische Faktoren (z.B. Verbauung der Gewässersole, Austrocknen) die Zusammensetzung der Wirbellosengemeinschaften und daher auch den SPEAR-Index

beeinflussen. An den NAWA-SPEZ-Probenahmestellen zeigte der SPEAR-Index sowohl im März als auch im Juli deutlich schlechtere Verhältnisse an als an den Referenzstellen (Fig. 5). Bei den Gewässern, bei denen die Anwendung des SPEAR-Index wegen ihrer guten Gewässermorphologie und der permanenten Wasserführung uneingeschränkt geeignet war (Le Bainoz, Chrümmlisbach, Eschelisbach), weist dies auf einen deutlichen Einfluss von PSM auf die Lebensgemeinschaft der Wirbellosen hin. Bei den beiden anderen NAWA-SPEZ-Probenahmestellen (Weierbach, Hoobach) zeigte der SPEAR-Index ebenfalls unbefriedigende bis schlechte Zustände an. Hier spielten neben den PSM möglicherweise Habi-

SPEZ-Stellen	Le Bainoz (FR)	Chrümmlisbach (BE)	Eschelisbach (TG)	Hoobach (SH)	Weierbach (BL)
	naturnahe bis wenig beeinträchtigte Ökomorphologie	naturnahe Ökomorphologie, flussaufwärts von SPEZ-2017-Probestelle beprobt	relativ naturnahe Ökomorphologie	<i>stark beeinträchtigte Ökomorphologie</i>	naturnahe Ökomorphologie, bachabwärts von SPEZ-Stelle im bewaldeten Gebiet; der Weierbach trocknete 2017 im Sommer stellenweise aus
Datum Probenahme	09.03.17 11.07.17	09.03.17 10.07.17	06.03.17 10.07.17	06.03.17 10.07.17	16.03.17 02.08.17
Referenzstellen	Le Talent (FR)	Mülibach (BE)	Tobelmülibach (TG)	Essitaalgraben (SH)	Chrebsbach (ZH)
	naturnahe Ökomorphologie	naturnahe Ökomorphologie	<i>naturnahe Ökomorphologie, obwohl 2017 immer wasserführend – typisch für zeitweises Austrocknen, Anpassung der Lebensgemeinschaft an Trockenstadium</i>	naturnahe Ökomorphologie	naturnahe Ökomorphologie
Datum Probenahme	09.03.17 11.07.17	10.03.17 10.07.17	06.03.17 10.07.17	06.03.17 10.07.17	08.03.17 12.07.17

Tab. 2 Charakterisierung der NAWA-SPEZ-2017-Standorte für die Erhebung der Wasserwirbellosengemeinschaft und der als Vergleichsbasis gewählten Referenzstandorte. Geringfügige Verschiebungen der Beprobungsstandorte im Vergleich zu den NAWA-SPEZ-2017-Probenahmestellen sind in der Tabelle aufgeführt. Kursiv dargestellt: Probenahmestellen, die wegen stark beeinträchtigter Ökomorphologie oder periodischen Austrocknens nicht uneingeschränkt für die Erhebung des SPEAR-Index geeignet waren.

tatfaktoren eine zusätzliche Rolle. So ist die Ökomorphologie des Hoobaches stark beeinträchtigt. Ferner wurde beobachtet, dass der Weierbach im Juli stellenweise austrocknete. Dies beeinflusste wahrscheinlich die Wirbellosengemeinschaft und wirkte sich damit zusätzlich negativ auf den SPEAR-Index im Weierbach im Sommer aus.

Ein direkter Vergleich des analytisch-chemisch basierten PSM-Mischungsrisikos für Wirbellose (Fig. 2) und dem im Gewässer erhobenen SPEAR-Index wäre

zwar wünschenswert, ist aber aufgrund der geringen Anzahl der untersuchten Standorte und des einzigen Vergleichszeitpunktes (Sommer) nur begrenzt möglich und wenig aussagekräftig. Obwohl deutliche Unterschiede in der Höhe des PSM-Mischungsrisikos für Wirbellose an den verschiedenen Standorten auftraten, spiegelten sich diese Unterschiede nicht direkt in den verschiedenen SPEAR-Indices wider. Als Erklärung muss dabei berücksichtigt werden, dass der SPEAR-Index vom Zustand der Ökomorphologie

beeinflusst wird. So kann durch eine schlechte Ökomorphologie der Index deutlich negativer ausfallen, wohingegen in einem Gewässer mit PSM-Belastung eine gute Morphologie für die Lebensgemeinschaft der Wirbellosen förderlich sein und daher einen höheren SPEAR-Index bewirken kann [12].

Obwohl es nicht möglich war, die beiden Ansätze direkt zu vergleichen, kann dennoch eine übergeordnete Erkenntnis gezogen werden: Für alle SPEZ-2017-Standorte liessen sowohl die Mischungsrisikobewertung ein Risiko für Wirbellose als auch der SPEAR-Index eine Belastung der Wirbellosengemeinschaft durch PSM erkennen. Beide Ansätze zeigten daher ergänzend, dass die untersuchten Bäche durch PSM negativ beeinflusst waren.

Zwischen März und Juli verringerte sich der SPEAR-Index sowohl an den NAWA-SPEZ-Stellen als auch an den Referenzstellen geringfügig (Fig. 5). Dies beruhte an allen Standorten auf der Emergenz von Insektenlarven im Frühlings [11]. Dass an den NAWA-SPEZ-Gewässern der SPEAR bereits im Frühjahr geringer als in den Referenzgewässern ausfiel, weist darauf hin, dass sich die Artengemeinschaft während des Winters nicht mehr erholen kann und bereits zu Beginn der PSM-Applikationsperiode im Frühjahr verarmt ist.

Im Weierbach und im Eschelisbach wurde sowohl 2015 als auch 2017 der SPEAR-Index erhoben (Fig. 6). Er zeigte

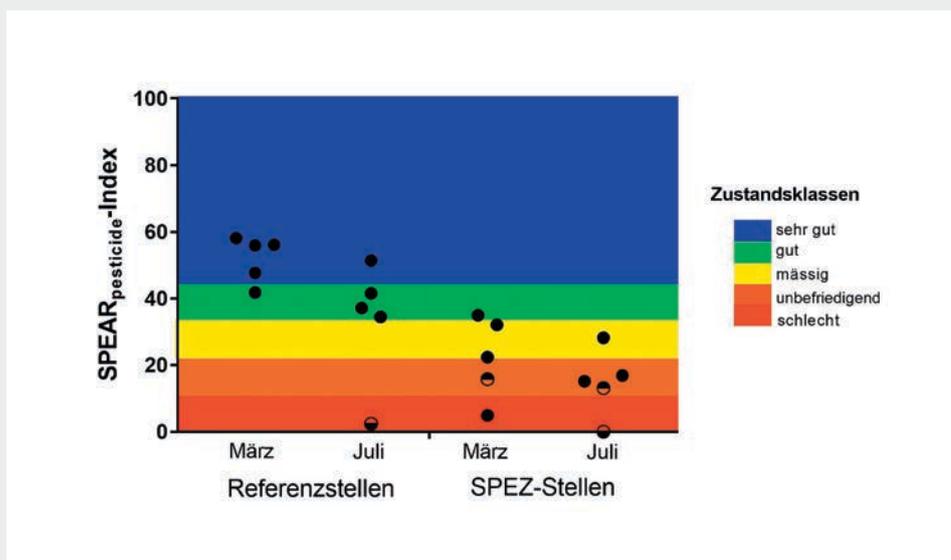


Fig. 5 Auf Artniveau bestimmter SPEAR-Index an den verschiedenen NAWA-SPEZ-2017- bzw. nahe gelegenen Probenahmestellen und den Referenzstellen. Halbausgefüllte Symbole stellen Werte von Probenahmestellen dar, die aufgrund zusätzlicher Beeinflussung für eine Bewertung nicht uneingeschränkt geeignet waren, z. B. wegen regelmässigen Austrocknens (unterer Teil gefüllt) oder wegen stark beeinträchtigter Morphologie (oberer Teil gefüllt).

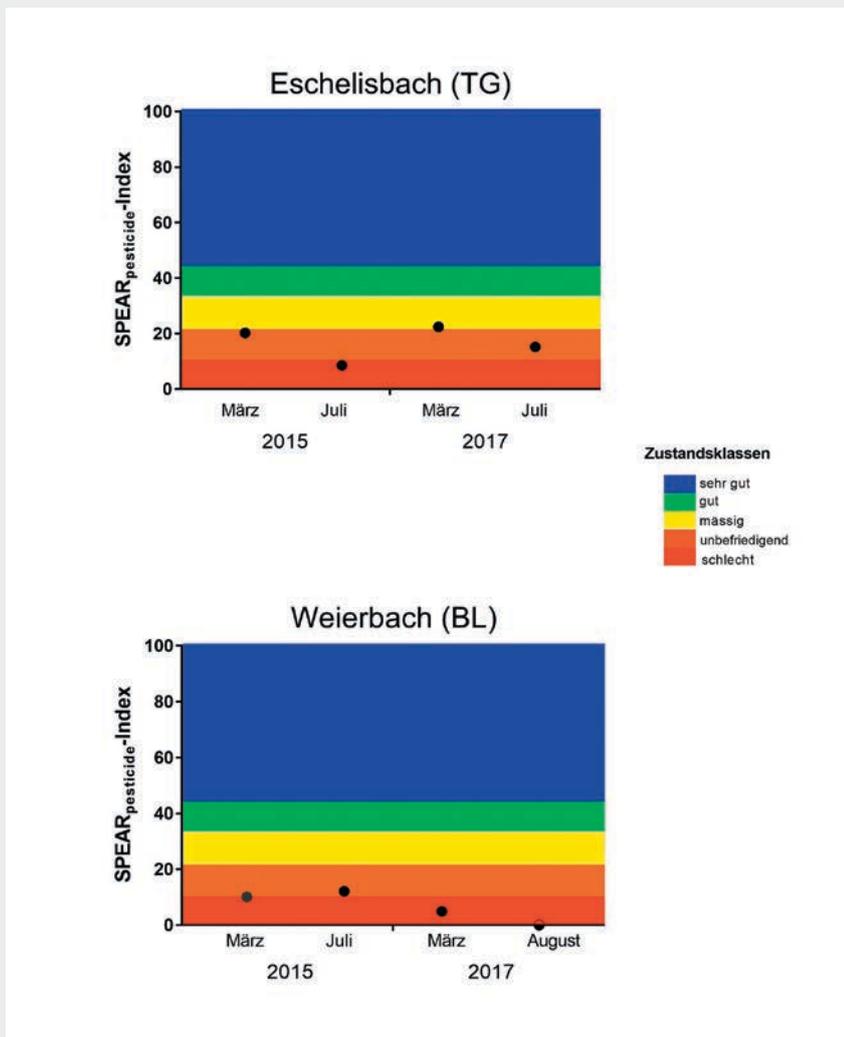


Fig. 6 Vergleich der auf Artniveau bestimmten SPEAR-Indices an den 2015 und 2017 untersuchten Gewässern Eschelisbach und Weierbach. Die Probenahme am Weierbach 2017 wurde an einer ökomorphologisch besseren Stelle durchgeführt als 2015, dennoch war der SPEAR-Index 2017 sowohl im Frühling als auch im Sommer schlechter als 2015. Eventuell spielte im Sommer auch das Austrocknen bestimmter Gewässerabschnitte des Weierbachs eine Rolle.

an beiden Standorten unabhängig vom Beobachtungsjahr unbefriedigende oder schlechte Zustände an.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse der NAWA-SPEZ-2017-Messkampagne zeigten erneut ein hohes Risiko durch PSM für Pflanzen und Wirbellose in kleinen Fliessgewässern mit intensiv landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. Die auf analytischen Daten basierende Mischungsrisikobewertung liess akute, aber besonders auch hohe chronische Risiken für die Wasserlebewesen erkennen. Der zeitliche Verlauf und die Höhe der Mischungsrisiken in den 2017 untersuchten Bächen bestätigte eine der wichtigsten Erkenntnisse aus der NAWA-SPEZ-Messkampagne im Jahr 2015. Die dauerhaft hohen Risiken für

Pflanzen und Invertebraten weisen deutlich darauf hin, dass in intensiv landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten Erholungszeiten fehlen.

Eine Ergänzung der chemisch-analytisch-basierten Mischungsrisikobewertung für algentoxisch wirkende PSM mit dem kombinierten Algentest hat sich als wertvoll erwiesen. Mithilfe dieses Biotests kann direkt das Mischungsrisiko einer Umweltprobe für Pflanzen ermittelt werden. Der Test integriert die Wirkung aller vorhandenen organischen Stoffe, die sowohl Photosynthese als auch Wachstum der Grünalgen beeinträchtigen, sowie deren mögliche Wechselwirkungen. In den meisten Fällen zeigte dieser effektbasierte Ansatz ein leicht erhöhtes, in einzelnen Fällen auch ein erheblich höheres Risiko als die chemisch-analytische Mischungsrisikobewertung an. In einigen Fällen, in

denen PSM mit speziellen Wirkmechanismen das Risiko dominieren, kann der Algentest das Risiko auch unterschätzen. Dies passiert dann, wenn andere Pflanzenarten empfindlicher reagieren als Grünalgen und dadurch das UQK sehr niedrig ist. Die weitgehende Übereinstimmung der beiden Risikobewertungsansätze impliziert jedoch, dass sowohl die verwendeten UQK als auch die Methode zur Mischungsrisikobewertung robust sind. Auch der SPEAR-Index, der eine Beeinträchtigung der Lebensgemeinschaften von Wasserwirbellosen im Gewässern durch PSM quantifiziert, erwies sich in dieser Studie als geeigneter Indikator. Dieser Index reagiert vor allem auf Insektizide und Fungizide. Er zeigte für alle NAWA-SPEZ-2017-Standorte eine Belastung der Wirbellosengemeinschaft durch PSM an.

DANKSAGUNG

Die Autoren möchten den beteiligten Mitarbeitern der kantonalen Gewässerschutzlabore und Gewässerschutzfachstellen danken, insbesondere *Claudia Minkowski*, *Matthias Ruff* (Kt. Bern), *Thomas Amiet*, *Xenia Ehrensperger*, *Marin Huser*, *Nadine Konz* (Kt. Basel-Landschaft), *Dominique Folly*, *Jacques Grandjean* (Kt. Fribourg), *Christoph Moschet*, *Raffael Fehlman*, *Mareike Böhler* (Kt. Schaffhausen), *Heinz Ehmann* und *Margie D. Koster* (Kt. Thurgau). Ausserdem danken wir *Yves Bourdilloud* (STEP ERES) für die Probenahme am Bainoz. Der Sektion Wasserqualität des BAFU möchten wir für die Teilfinanzierung der Studie und konstruktive Kommentare danken.

Ein grosser Dank innerhalb des Oekotoxenzentrums geht an *Andrea Schifferli*, *Sina Hasler* und *Thomas Bucher* für die Durchführung der Biotests im Labor sowie an *Anke Schneeweiss* und *Muris Korkaric* für die wertvolle Unterstützung beim Auswerten. Zudem möchten wir *Heinz Singer*, *Christian Stamm*, *Rebekka Teichler* (Eawag Uchem) sowie *Silwan Daouk*, *Tobias Doppler*, *Irene Wittmer* (VSA) für die gute Projektzusammenarbeit und wertvollen Kommentare danken. Ausserdem danken wir *Simon Spycher* für die Erstellung komplexer Abbildungen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Langer, M. et al. (2017): Hohe ökotoxikologische Risiken in Bächen: NAWA SPEZ untersucht Bäche in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. Aqua & Gas 4/2017: 58–68*



Marco Odermatt

Marco Odermatt

Die neue Messklasse

NeoVac Ultrimis W Ultraschall-Wasserzähler



Der NeoVac Ultrimis W Ultraschall-Wasserzähler basiert auf neuester Technik, verfügt über keine beweglichen Teile und garantiert die höchste Messqualität bis R800. Der Gehäuseschutz IP68 und die Einbaumöglichkeit in jeder beliebigen Betriebsstellung bieten maximale Flexibilität bei Einsatz und Betrieb. Modernste Kommunikationstechnologien wie Wireless-M-Bus und NFC machen manuelle Zählerauslesungen und Verbrauchsschätzungen überflüssig.

Mehr über den Ultrimis W und seine vielseitigen Funktionen:

www.neovac.ch/ultrimis

HOME OF METERING

NeoVac