

HOHE ÖKOTOXIKOLOGISCHE RISIKEN IN BÄCHEN

NAWA SPEZ UNTERSUCHT BÄCHE IN GEBIETEN MIT INTENSIVER LANDWIRTSCHAFTLICHER NUTZUNG

In der vorliegenden Studie wurde für fünf kleine Schweizer Fliessgewässer anhand akuter und chronischer Risikoquotienten eine Risikobewertung für chemisch analysierte Pflanzenschutzmittelmischungen durchgeführt. An vier der fünf Standorte wurde ein zeitweise hohes Risiko der Mischung für Pflanzen oder wirbellose Organismen nachgewiesen. Biologische Untersuchungen unterstützen diese Risikoeinschätzung.

Miriam Langer, Marion Junghans*, Oekotoxzentrum (Hauptautoren)

Simon Spycher, Eawag; Margie Koster, Kanton Thurgau, Amt für Umwelt, Abt. Gewässerqualität und -nutzung

Caroline Baumgartner, AquaPlus AG; Etienne Vermeirssen; Inge Werner, Oekotoxzentrum

RÉSUMÉ

RISQUES ÉCOTOXICOLOGIQUES ÉLEVÉS DANS LES RUISSEAUX SUISSES – NAWA SPEZ ANALYSE DE PETITS COURS D'EAU AVEC UNE UTILISATION AGRICOLE INTENSIVE

Dans le cadre de la surveillance «Surveillance nationale de la qualité des eaux de surface, études spéciales» (NAWA SPEZ), cinq petits cours d'eau suisses ont été analysés de façon détaillée, du début mars à la fin août 2015, pour détecter la présence de produits phytosanitaires. Dans la présente étude, le risque de mélange pour les concentrations en produits phytosanitaires mesurées pour les plantes, les invertébrés et les poissons a été déterminé à l'aide de critères de qualité de l'eau aigus et chroniques fondés sur les effets. Pour compléter, on a analysé dans quelle mesure le risque de mélange prédit concordait avec les indicateurs biologiques analysés (test sur algues combinés, surveillance biologique *in situ* avec gammarus dans l'Eschelisbach, indice SPEAR_{pesticide} macroinvertébrés). Un risque de mélange chronique a été identifié dans tous les cours d'eau analysés. Dans quatre des cinq sites, la qualité de l'eau a été classée comme mauvaise en raison du risque de mélange (Eschelisbach TG, Weierbach BL, Mooskanal BE, Tsatonire VS). À l'exception du Mooskanal, un risque chronique était présent dans tous ces sites pendant presque toute la durée des prélèvements d'échantillons. Un risque de mélange aigu s'est présenté par intermittence dans quatre sites de prélèvement d'échantillons,

AUSGANGSLAGE UND ZIEL

Im Programm «Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität Spezialuntersuchungen» (NAWA SPEZ) wurde 2015 die Belastung von fünf kleinen Schweizer Fliessgewässern mit 213 organisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen (PSM) zwischen März und August erfasst (Doppler *et al.* [1] auf Seite 46 in dieser Ausgabe). Auffällig waren dort neben der hohen detektierten Vielfalt an PSM (128) und der räumlichen und zeitlichen Variabilität der PSM-Belastung auch die längerfristig hohen Konzentrationen einzelner PSM. Insgesamt 32 PSM-Wirkstoffe überschritten die effekt-basierten Wasserqualitätskriterien [1], d. h. es bestand ein Risiko für negative Effekte auf Wasserlebewesen. Wie in früheren Untersuchungen [2–4] zeigte die chemische Analytik der 2015er-Messkampagne deutlich, dass Gewässerorganismen nicht nur Einzelsubstanzen, sondern einer Vielzahl im zeitlichen Verlauf variierender PSM ausgesetzt sind. In dieser Studie wurde das Mischungsrisiko berechnet und mit den Ergebnissen der biologischen Indikatoren verglichen. Dabei wurden die Ergebnisse der chemischen Analytik in einen breiteren ökotoxikologischen Kontext gesetzt und die Risiken für die Gewässerökologie abgeschätzt. Ein Teil der Wasserproben wurde deshalb mit dem kombinierten Algentest auf die Wirkung von Photosystem-II-inhi-

* Kontakt: marion.junghans@oekotoxzentrum.ch

bierenden Herbiziden getestet. Zusätzlich wurde der Einfluss von PSM auf die Wirbelosengemeinschaft untersucht und an einem Standort, dem Eschelisbach (Kanton Thurgau), ergänzend ein aktives *In situ*-Monitoring mit Bachflohkrebsen durchgeführt.

Der Hauptfokus der NAWA-SPEZ-Studie lag auf dem chemischen Monitoring. Die biologischen Indikatoren wurden lediglich explorativ untersucht. Trotzdem lieferten sie wertvolle Hinweise auf die Auswirkungen von PSM in den untersuchten Gewässern.

PROBENAHMESTANDORTE

Bei der Auswahl der Probenahmestandorte wurde darauf geachtet, dass die Einzugsgebiete einen möglichst geringen Siedlungsanteil aufweisen, die landwirtschaftlichen Landnutzungen ein breites Spektrum an unterschiedlichen Anbaukulturen abdecken und dass verschiedene Regionen der Schweiz repräsentiert sind. Folgende kleine Fließgewässer (Fließgewässerordnungszahl 1 bis 4), ohne Kläranlageneinleitungen oder Mischwasserüberläufe wurden untersucht:

- Eschelisbach (Kanton Thurgau)
- Weierbach (Kanton Basel-Landschaft)
- Mooskanal (Kanton Bern)
- Canale Piano di Magadino (Cantone Ticino)
- Tsatonire (Canton Valais)

Detaillierte Informationen zu den Standorten finden sich in [1] und in [5].

MISCHUNGSRISIKOBEWERTUNG

QUALITÄTSKRITERIEN ALS MASS FÜR DIE GEWÄSSERGÜTE

Die Gewässerschutzverordnung (GSchV) führt in Anhang 2 die bundesrechtlichen Anforderungen an die Wasserqualität der Gewässer auf. Gemäss der verbalen Anforderung dürfen Stoffe, die durch menschliche Tätigkeit in oberirdische Gewässer gelangen, die Fortpflanzung, Entwicklung und Gesundheit empfindlicher Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen nicht beeinträchtigen. Aktuell gilt aber für alle organischen Pestizide (PSM und Biozide) eine einheitliche numerische Anforderung von 0,1 µg/l, welche die ökotoxikologische Wirkung der verschiedenen Stoffe nicht berücksichtigt. Um der verbalen Anforderung zu entsprechen, werden zurzeit für rund 40 PSM neue, ökotoxikologisch begründete numerische Anforderungen hergeleitet, die für diese Stoffe den Einheitswert von 0,1 µg/l ersetzen werden. Diese neuen numerischen Anforderungen entsprechen voraussichtlich weitestgehend dem jeweiligen Qualitätskriterien-(QK)-Vorschlag des Oekotoxizentrums [6]. Bis zu dieser Anpassung gilt weiterhin der heutige Wert von 0,1 µg/l [7].

Zur Beurteilung der Wasserqualität von Oberflächengewässern werden die QK schliesslich mit den jeweiligen analytisch gemessenen Umweltkonzentrationen (MEC) verglichen. Eine Beeinträchtigung der Organismen kann bei Risikoquotienten (RQ) > 1 (Gl. 1) nicht mehr ausgeschlossen werden.

$$RQ_{mix} = \sum_i^n RQ_i = \sum_i^n \frac{MEC_i}{QK_i} \quad (Gl. 1)$$

Unterschieden wird zwischen akuten (AQK) und chronischen Qualitätskriterien (CQK). Erstere sollen vor kurzfristiger Expo-

sition, Zweitere vor langfristiger Exposition schützen. Entsprechend werden jeweils akute (ARQ) und chronische Risikoquotienten (CRQ) berechnet.

Die in dieser Studie zur Bewertung des Mischungsrisikos verwendeten QK sind identisch mit jenen, die in *Doppler et al.* [1] für die Einzelstoffbewertung benutzt wurden. Sie wurden vom Oekotoxizentrum nach dem Leitfaden der EU-Wasserrahmenrichtlinie [8] hergeleitet [6]. Lücken wurden durch Qualitätskriterien (QK) anderer Länder gefüllt, sofern diese nach derselben Methode hergeleitet wurden. Wenn kein geeignetes QK verfügbar war, wurde wenn möglich ein *Ad-hoc*-Wert basierend auf den öffentlich verfügbaren PSM-Zulassungsdaten hergeleitet. Die Methoden der QK-Herleitung sind in [9] zusammengefasst.

PROBENAHME FÜR DIE BESTIMMUNG DER UMWELTKONZENTRATIONEN

Alle Standorte wurden kontinuierlich von Anfang März bis Ende August beprobt. Damit Konzentrationsspitzen erfasst werden konnten, wurden halbtägliche, zeitproportionale Mischproben genommen. Hohe Konzentrationen wurden vor allem während Regenereignissen erwartet und auch beobachtet. Um den Messaufwand zu minimieren, wurden daher Proben vereinigt, die zwischen Regenereignissen genommen wurden. So wurden z.T. auch Tages- bis maximal 24-Tages-Mischproben analysiert [1].

BERECHNUNG ZEITGEWICHTETER MITTELWERTE

Im Beurteilungskonzept für Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen [9] wurde vorgeschlagen, den CQK mit zeitproportionalen Zweiwochenmischproben zu vergleichen. Der Integrationszeitraum von zwei Wochen entspricht der mittleren Dauer von chronischen ökotoxikologischen Tests. Folgt man dieser Argumentation für akute Risiken, vergleicht man die AQK mit zeitproportionalen 3-Tages-Mischproben, da akute ökotoxikologischen Studien eine mittlere Dauer von drei Tagen haben. In der vorliegenden Studie wurden die AQK sowohl mit 3-Tages-Mischproben als auch mit tatsächlich gemessenen Konzentrationen verglichen, wobei die Risikobeurteilung der Mischungstoxizität auf den 3-Tages-Mischproben basiert. Am Beispiel des Eschelisbachs werden die Auswirkungen der beiden Ansätze für die Gewässerbeurteilung diskutiert.

Da vor der chemischen Analytik die Mischproben zwischen den Regenereignissen über unterschiedlich viele Halbtage vereinigt wurden, war die zeitliche Integration der einzelnen Proben sehr variabel (zeitproportionale Mischproben über 0,5 und 24 Tage). Daher wurden für den Vergleich mit dem CQK zeitgewichtete Mittelwerte über 14 Tage berechnet (*Time Weighted Average Concentration*, C_{twa-14}). Analog dazu wurden 3-Tages-Mischproben (C_{twa-3}) zum Vergleich mit dem AQK berechnet.

BERECHNUNG DES MISCHUNGSRISIKOS

Zur Berechnung des Mischungsrisikos werden die RQ der Einzelsubstanzen addiert [10–12]. Da jedoch PSM häufig spezifisch toxisch für eine Organismengruppe (Pflanzen, Wirbellose oder Wirbeltiere [Fische]) sind, wurde eine Methode vorgeschlagen [13], bei der für jede Organismengruppe nur die RQ jener *n* Substanzen addiert werden, für welche die Organismengruppe *y* eine hohe Empfindlichkeit aufweist (Gl. 2).

$$RQ_{mix y} = \sum_i^n RQ_{iy} \quad (Gl. 2)$$

So kann das Mischungsrisiko für Pflanzen, Wirbellose und Wirbeltiere (z.B. Fische) getrennt berechnet werden. Das Gesamtrisiko für das Gewässer entspricht dem der am stärksten betroffenen Organismengruppe (Gl. 3).

$$RQ_{mix\ gesamt} = \max(RQ_{mix\ y})$$

(Gl. 3)

Diese ist somit die risikobestimmende Organismengruppe. Details zur Gruppierung finden sich in [13]. Herbizide sind dabei hauptsächlich für Pflanzen relevant und Insektizide für Wirbellose, manchmal auch für Fische. Bei Fungiziden ist es substanzabhängig. Einige wirken besonders auf Wirbellose, andere

auf Pflanzen. Sterolsynthesehemmende Fungizide sind auch für Wirbeltiere relevant. Die Einteilung erfolgt basierend auf den ökotoxikologischen Daten für die jeweils empfindlichsten Arten pro Organismengruppe. In [13] wurde dieser Ansatz bereits auf reale Messdaten angewandt und auch mit einer Wirkmechanismus basierten Methode verglichen [14]. Die Methoden erzielten dort vergleichbare Ergebnisse.

Das Gesamtrisiko für die Mischung wird hier analog zum Beurteilungskonzept [9] folgendermassen beurteilt: Wenn der RQ kleiner 0,1 ist, kann die Wasserqualität als sehr gut eingestuft werden, zwischen 0,1 und 1 als gut, zwischen 1 und 2 als mässig, zwischen 2 und 10 als unbefriedigend und grösser 10 als schlecht. Diese Einteilung wird sowohl für CRQ als auch für ARQ verwendet.

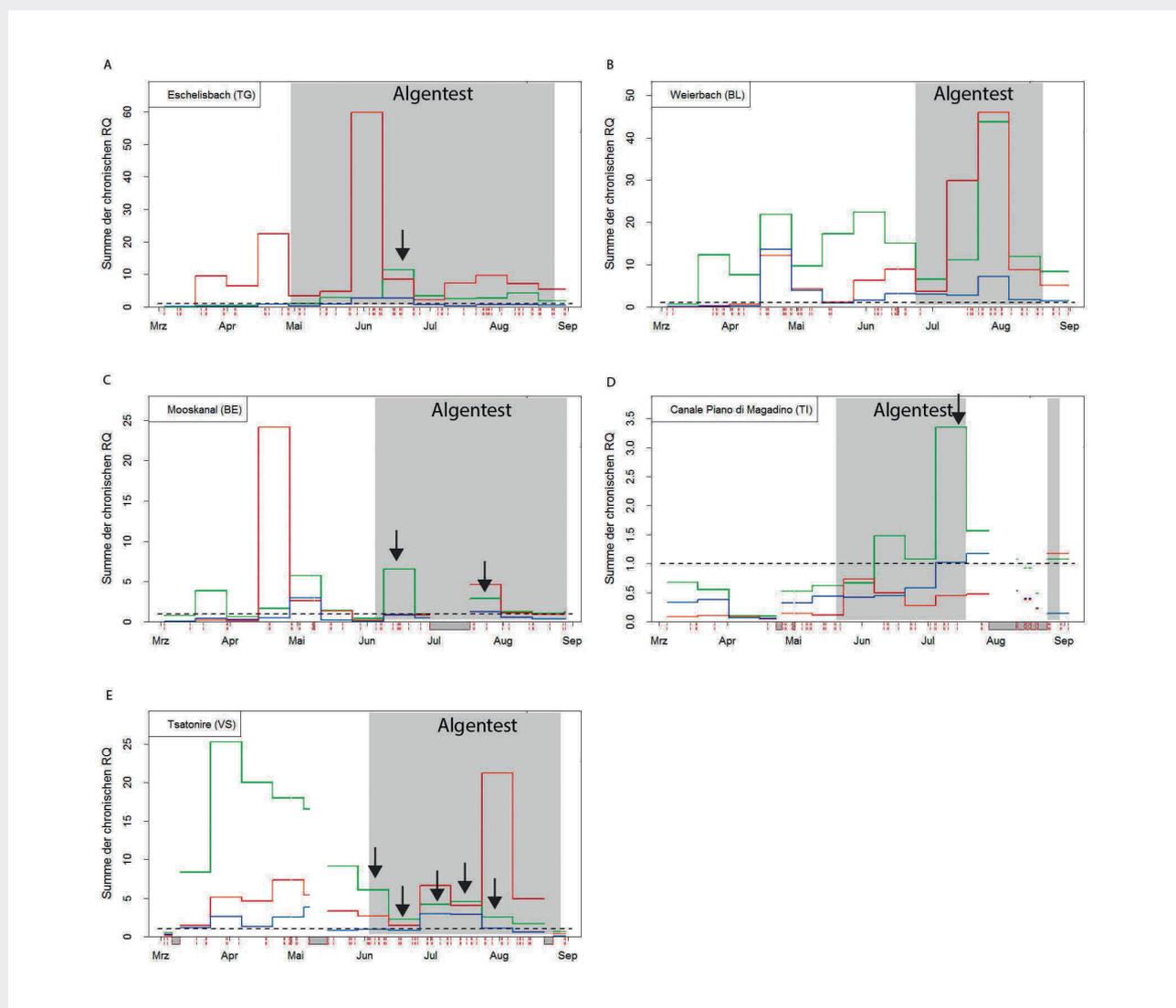


Fig. 1 Chronische Mischungsrisikoquotienten für das zeitgewichtete Mittel der gemessenen Konzentrationen (Ctwa-14) an den NAWA SPEZ-Stellen. Die Farben stehen für die jeweiligen Organismengruppen (grün = Pflanzen, rot = Wirbellose, blau = Wirbeltiere [Fische]). Die gestrichelte Linie stellt einen RQ von 1 dar. Bei unterbrochenen Linien und grauen Balken auf der x-Achse konnten keine Proben genommen werden. Während des grau unterlegten Zeitraums wurden Proben mit den kombinierten Algentests untersucht. Die Pfeile zeigen, wann im Algentest ein erhöhtes Risiko detektiert wurde.

Quotients de risque de mélange chronique pour la concentration moyenne pondérée dans le temps mesurée (Ctwa-14) dans les sites de la NAWA SPEZ. Les couleurs représentent les groupes d'organismes correspondants (vert = plantes, rouge = invertébrés, bleu = animaux vertébrés [poissons]). La ligne pointillée représente une RQ de 1. Pour les lignes discontinues et les barres grises en abscisse, aucun échantillon n'a pu être prélevé. Pendant les périodes grisées, les échantillons ont été analysés avec les tests sur algues combinés. Les flèches montrent quand un risque plus élevé a été détecté lors des tests sur algues.

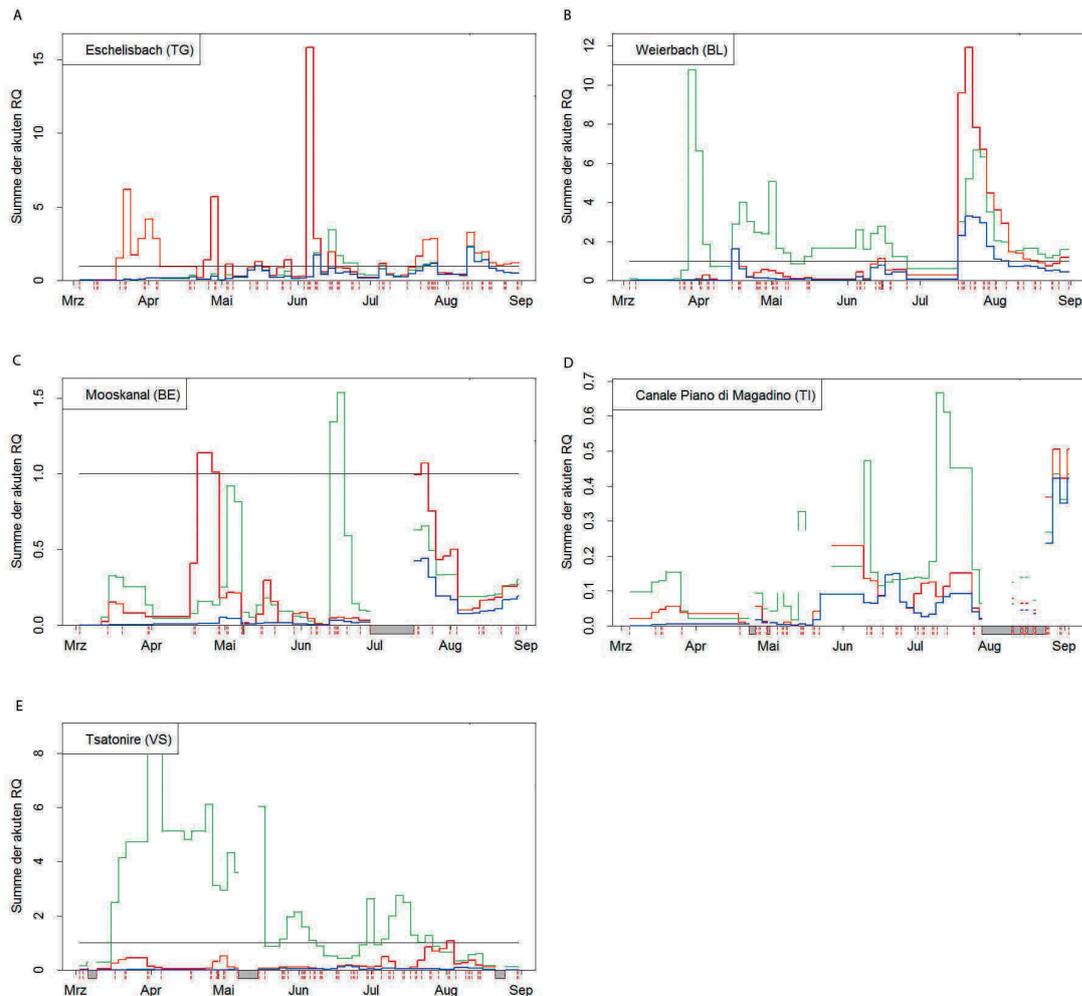


Fig. 2 Akute Mischungsrisikoquotienten bezogen auf das zeitgewichtete Mittel der gemessenen Konzentrationen (C_{twa-3}) an den NAWA SPEZ-Stellen. Die Farben stehen für die jeweiligen Organismengruppen (grün = Pflanzen, rot = Wirbellose, blau = Wirbeltiere [Fische]). Die waagerechte Linie stellt einen RQ von 1 dar. Bei unterbrochenen Linien konnten keine Proben genommen werden.

Quotients de risque de mélange aigu relatif à la concentration moyenne pondérée dans le temps mesurée (C_{twa-3}) dans les sites de la NAWA SPEZ. Les couleurs représentent les groupes d'organismes correspondants (vert = plantes, rouge = invertébrés, bleu = animaux vertébrés [poissons]). La ligne horizontale représente une RQ de 1. Pour les lignes discontinues, aucun échantillon n'a pu être prélevé.

HOHE RISIKEN DER PSM-MISCHUNGEN AN VIER VON FÜNF STANDORTEN

Im Eschelsbach bestand für Wirbellose ab Mitte März im gesamten Untersuchungszeitraum ein chronisches Risiko mit RQ-Spitzen von ca. 20 und 60 (Fig. 1A). Zwischen Mitte März und Anfang August bestand zeitweise auch ein Risiko für das Auftreten akuter Effekte. Die akuten Risikoquotienten (ARQ_{mix}) lagen für das zeitlich gewichtete Mittel der gemessenen Konzentration (C_{twa-3}) teilweise über 15 (Fig. 2A), für eine Halbtagesprobe sogar bei 70 (Fig. 3). Zwar bestand zwischen Juni und September auch ein akutes und chronisches Risiko für Pflanzen ($CRQ_{mix} > 1$), aber Wirbellose waren zu jeder Zeit die risikobestimmende Or-

ganismengruppe für den Eschelsbach. Wirbeltiere und damit vor allem Fische waren weder an diesem noch an einem der anderen Standorte zu irgendeinem Zeitpunkt die risikobestimmende Organismengruppe. Zusammenfassend wurde die Wasserqualität im Eschelsbach als schlecht eingestuft.

Beim Weierbach ist die risikobestimmende Organismengruppe saisonal unterschiedlich. Während des Frühjahrs und Frühsommers war das Risiko für Pflanzen am grössten, später im Jahr für die Wirbellosen. Für beide Organismengruppen waren sowohl der akute RQ (ARQ_{mix}) als auch der chronische (CRQ_{mix}) mehrfach deutlich und über längere Zeit > 1 (Fig. 1B und 2B). Auch hier wurde die

Wasserqualität als schlecht eingestuft. Deutlich geringer als im Eschelsbach und im Weierbach war das akute Mischungsrisiko im Mooskanal. Die Wasserqualität wurde hier als gut bis mässig eingestuft, da der akute Risikoquotient für C_{twa-3} ($ARQ_{mix3Tage}$) immer < 2 war (Fig. 2C). Allerdings war die Wasserqualität in Bezug auf das chronische Risiko für Pflanzen während dreier nicht aufeinanderfolgender Zweiwochenperioden unbefriedigend ($CRQ_{mix_Pflanzen}$ 2–10). Während weiterer zwei Wochen war die Wasserqualität aufgrund des Risikos für Wirbellose schlecht ($CRQ_{mix_Wirbellose} > 20$) (Fig. 1C).

Im Canale Piano di Magadino bestand kein Risiko für das Auftreten akuter Effekte auf Gewässerorganismen (Fig. 2D).

Ein chronisches Mischungsrisiko bestand während zweier Zeiträume nur für Pflanzen (Fig. 1D). Die Risikoquotienten lagen jedoch immer unter vier. Somit zeigte der Canale Piano di Magadino die beste Wasserqualität (akut gut, chronisch unbefriedigend) der fünf untersuchten Standorte.

In der Tsatonire konnte ähnlich wie im Weierbach eine ausgeprägte Saisonalität beobachtet werden. Im Frühjahr und Frühsommer bestand ein hohes chronisches Mischungsrisiko für Pflanzen mit einem maximalen $CRQ_{\text{mix_Pflanzen}} > 20$. Das chronische Risiko für Pflanzen wurde im Jahresverlauf geringer. Im Juli/August dominierte dann das Risiko für Wirbellose (Fig. 1E). Die Wasserqualität wird als schlecht eingestuft.

VERGLEICH DES BEURTEILUNGSZEITRAUMS DER AKUTEN QUALITÄTSKRITERIEN

Da dies die erste Monitoringkampagne ist, die darauf ausgelegt war, akute Risiken über die Zeit mittels kontinuierlicher

Probenahme zu erfassen, hat man hier zum ersten Mal die Möglichkeit, den Integrationszeitraum für die Beurteilung des akuten Risikos genauer zu betrachten. Im Beurteilungskonzept wurde herausgestrichen, dass sich alle Probenahmestrategien für eine akute Risikobewertung eignen [9]. In den beiden entgegengesetzten Extremfällen heisst dies, dass sowohl für die Spitzenkonzentration (aus einer Stichprobe oder aus zeitlich hoch aufgelösten Ereignisproben) als auch für eine Zweiwochenmischprobe ein akutes Risiko berechnet werden kann.

In Tabelle 1 sind jene PSM aufgeführt, die $ARQ > 1$ aufwiesen und damit wesentlich zum akuten Mischungsrisiko beitragen, sowie die Dauer und Höhe der Überschreitungen ihrer QK. Man sieht, dass sowohl die Anzahl der Überschreitungen (18 statt 28) als auch die Höhe des $RQ_{\text{Einzelstoff}}$ mit dem zeitgewichteten Mittel der gemessenen Konzentration statt mit den Spitzenkonzentrationen (Halbtagesmischproben)

vergleicht (max. 6-fach geringer). Dies ist auch gut in Figur 3 für Invertebraten zu erkennen, in der die akuten RQ für beide Expositionskonzentrationen grafisch verglichen werden. Die Zeitdauer der Überschreitung ist mit 220 zu 202 Tagen für das zeitgewichtete Mittel hingegen eher länger als für die Spitzenkonzentrationen.

Mit dem $ARQ_{3\text{Tage}}$ haben wir uns in dieser Studie dafür entschieden, für die akute Mischungsrisikobewertung die gemessene Umweltkonzentration über drei Tage zu integrieren, da dieses Vorgehen analog zum $CRQ_{14\text{Tage}}$ ist. Es gibt jedoch noch andere Ansätze. Die derzeitige Praxis in den USA ist das akute Qualitätskriterium auf einen gemessenen Einstundenmittelwert anzuwenden [15]. Auch für die Zulassung von PSM auf europäischer Ebene wird in den für diesen Zweck verwendeten Expositionsmodellen der höchste, modellierte Einstundenmittelwert verwendet [16]. Aber auch praktische Überlegungen zur Probenahme müssen berücksichtigt wer-

Substanzname	Wirkart	Zeitdauer Überschreitung (Tage)		Maximaler RQ		Anzahl Standorte mit Überschreitung (RQ_{real})	Anzahl Standorte mit Überschreitung ($RQ_{3\text{Tage}}$)	Maximale Konzentration (ng/l)
		ARQ_{real}	$ARQ_{3\text{Tage}}$	ARQ_{real}	$ARQ_{3\text{Tage}}$			
Stand der QK 17.01.2017								
Aclonifen	Herbizid	0,5	3	12,5	2,1	1	1	1500
Azoxystrobin	Fungizid	29	30	5,5	2,8	2	2	3000
Chlorpyrifos	Insektizid	11	6	2,4	1,1	2	1	39
Chlorpyrifos-methyl	Insektizid	4,5	9	70	15	1	1	210
Diazinon	Insektizid	16	18	24,6	5,6	1	1	590
Diflufenican	Herbizid	8	9	10,7	5,1	1	1	480
Dimethoate	Insektizid	1	0	1,6	0,6	1	0	1600
Diuron	Herbizid	60	64	12	6,7	2	1	3000
Epoxiconazole	Fungizid	1	0	1	0,4	1	0	250
Fipronil	Insektizid	7	9	1,7	1,7	1	1	24
Iodosulfuron-methyl-Natrium	Herbizid	0,5	0	1,3	0,3	1	0	110
Isoproturon	Herbizid	0,5	3	16,7	3	1	1	40000
Linuron	Herbizid	1	0	2	0,8	1	0	2800
MCPA	Herbizid	2,5	0	1,1	0,9	1	0	1600
Mesosulfuron-methyl	Herbizid	1,5	3	10	2,2	1	1	360
Metazachlor	Herbizid	8	15	4,3	3,8	1	1	1200
Methiocarb	Insektizid	0,5	0	1,1	0,3	1	0	170
Methomyl	Insektizid	1	0	2	0,4	1	0	6000
Metolachlor	Herbizid	9,5	6	1,5	1,3	1	1	5000
Nicosulfuron	Herbizid	4	3	2,1	1,3	2	1	180
Spiroxamine	Fungizid	8,5	12	11,5	2,3	1	1	600
Terbutylazine	Herbizid	6,5	9	2,7	1,3	1	1	3400
Thiacloprid	Insektizid	20	21	10,8	8,3	2	2	860

Tab. 1 PSM, die bei NAWA SPEZ $ARQ_{\text{Einzelstoff}}$ -Werte > 1 aufwiesen. / PPh présentant une valeur $ARQ_{\text{substance isolée}} > 1$ lors de la NAWA SPEZ.

den. So ist es nicht möglich – zumindest zurzeit –, durchgehend über mehrere Monate ein chemisches Monitoring mit einer Auflösung von einer Stunde durchzuführen. Für die aquatische Risikobeurteilung von PSM, deren Einzelstoffkonzentrationen im Jahresverlauf sehr schwanken, bedeutet dies, dass viele Belastungen gar nicht oder nur zu einem geringen Teil erfasst werden.

Für eine abschliessende Empfehlung des Beurteilungszeitraums der akuten Qualitätskriterien sind noch umfassendere Evaluationen nötig. Inwieweit das reale Risiko unter- bzw. überschätzt wird, ist dabei, neben praktischen Überlegungen zur Repräsentativität und zum Arbeitsaufwand, ein wichtiger Aspekt.

BIOLOGISCHE INDIKATOREN BESTÄTIGEN BEEINTRÄCHTIGUNG

Die ökologischen Auswirkungen der chemischen Belastung sind von vielen Faktoren abhängig. Mithilfe von ökotoxikologischen Effektindikatoren können Daten generiert werden, die die Auswirkungen der chemischen Belastung aufzeigen und Hinweise auf problematische Stoffgruppen geben. Dadurch können Massnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität zielgerichtet selektiert und eingesetzt werden. In den folgenden Abschnitten wird aufgezeigt, wie sich die Bewertung des Mischungsrisikos anhand analytischer Daten und QK mit Beobachtungen aus ökotoxikologischen und biologischen Untersuchungen im Gewässer ergänzen.

DER KOMBINIERTE ALGENTEST

Parallel zu den chemisch analysierten Proben [1] wurden im Zeitraum Anfang Juni bis Ende August Einwochenmischproben generiert und mit dem kombinierten Algentest mit der einzelligen Grünalge *Raphidocelis subcapitata*, früher als *Pseudokirchneriella subcapitata* bezeichnet, untersucht [17, 18]. Die Proben wurden bei -20 °C gelagert und dann mit einer Festphasenextraktion [18] extrahiert. Die vorhergehende Extraktion hat den Vorteil, dass Nährstoffe nicht mehr enthalten sind und so deren Einfluss auf die Ergebnisse ausgeschlossen werden kann. Als ökotoxikologische Endpunkte wurden die Hemmung der Photosynthese (nach 2h) und die des Wachstums (nach 24h) untersucht. Der kombinierte Algentest ist empfindlich für Herbizide, deren Wirkmechanismus auf einer Pho-

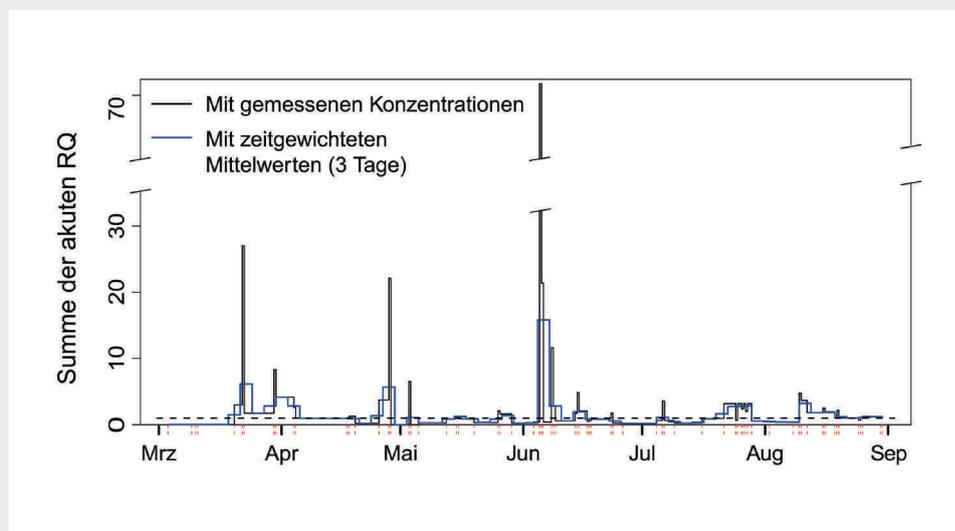


Fig. 3 Akute Mischungsrisikoquotienten für Wirbellose in Proben vom Eschelisbach: Vergleich des zeitgewichteten Mittels der gemessenen Konzentrationen (Ctwa-3) mit gemessenen Halbtages- bzw. 1-Tages- bis 24-Tages-Proben. Blaue Linie = 3-Tages-Mischprobe; graue Linie = Halbtages- bzw. 1-Tages- bis 24-Tages-Proben; die gestrichelte Linie stellt einen RQ von 1 dar.

Quotients de risque de mélange aigu pour les invertébrés dans les échantillons de l'Eschelisbach: comparaison de la moyenne pondérée dans le temps des concentrations mesurées (Ctwa-3) avec les échantillons d'une demi-journée ou d'une journée à 24 jours. Ligne bleue = échantillon composite de 3 jours, ligne grise = échantillons d'une demi-journée ou d'une journée à 24 jours. La ligne pointillée = RQ de 1.

tosystem-II-(PS-II-)Hemmung beruht. Von Doppler et al. [1] wurden folgende 17 PS-II-hemmende PSM quantifiziert: Atrazin, Bentazon, Bromoxynil, Chlorthalozon, Dimefuron, Diuron, Ioxynil, Isoproturon, Lenacil, Linuron, Metamitron, Metribuzin, Monolinuron, Monuron, Terbacil, Terbutylazin und Terbutryn. Die Stoffgruppe der PS-II-hemmenden PSM ist sehr umweltrelevant. Zum Beispiel befinden sich in der Liste der prioritären Substanzen der EU-Wasserrahmenrichtlinie derzeit sechs Stoffe, deren Wirkmechanismus PS-II-hemmend ist (Atrazin, Cybutryn, Diuron, Isoproturon, Simazin und Terbutryn).

Mit dem kombinierten Algentest wird die Wirkung aller PS-II-hemmenden Stoffe erfasst. Mithilfe einer Referenzkurve werden als quantitative Einheit Diuron Äquivalenzkonzentrationen (DEQ ng/l) ermittelt, die anzeigen, wie stark der Effekt einer Probe im Vergleich zum Referenzherbizid Diuron ist.

In 23% der insgesamt 56 gemessenen Einwochenmischproben überschritt der DEQ das chronische Umweltqualitätskriterium von Diuron (Tab. 2), was ein Risiko für eine Beeinträchtigung der Photosynthese in aquatischen Pflanzen anzeigt. In der Tsatonire (Valais) lagen die gemessenen DEQ beinahe während des gesamten getesteten Zeitraumes von drei Monaten über dem CQK für Diuron (74 bis 272 ng/l

DEQ) (Tab. 2). Die im kombinierten Algentest gemessene Toxizität und das daraus abgeleitete Risiko decken sich sehr gut mit dem errechneten Mischungsrisiko für PS-II-Hemmer (Summe der RQ aller PS-II-Hemmer) (Fig. 4). Dies zeigt auch, dass für PS-II-Hemmer das Mischungsrisiko mit der Summierung der $CRO_{\text{Einzelstoff}}$ vorhergesagt werden kann. Dies wurde auch für die anderen Probenahmestandorte beobachtet (Fig. 4). Am Anfang und Ende der Vergleichsperiode sind Abweichungen meist Artefakte, da die errechneten Konzentrationsmittel häufig von Stoffpeaks ausserhalb des Vergleichszeitraums beeinflusst werden (z. B. Fig. 4B).

Das Gesamtrisiko für Pflanzen war jedoch häufig höher als das Mischungsrisiko für PS-II-Hemmer alleine. Nur in der Tsatonire waren PS-II-Hemmer die risikobestimmende Stoffgruppe. Obgleich nicht vollkommen identische Zeiträume im kombinierten Algentest und bei der chemischen Risikobewertung verwendet wurden, zeigen diese eine gute Deckung bei der Einschätzung des Risikos für Pflanzen an (Fig. 1E, schwarze Pfeile sowie Tab. 2).

Im Eschelisbach wurde zwischen dem 9. und 16. Juni ein erhöhter DEQ festgestellt, der auch in der Risikobewertung eine erhöhte Summe der RQ für Pflanzen zeigt. Allerdings war der Anteil der PS-II-Hemmer am $CRO_{\text{mix_Pflanzen}}$ vernachläss-

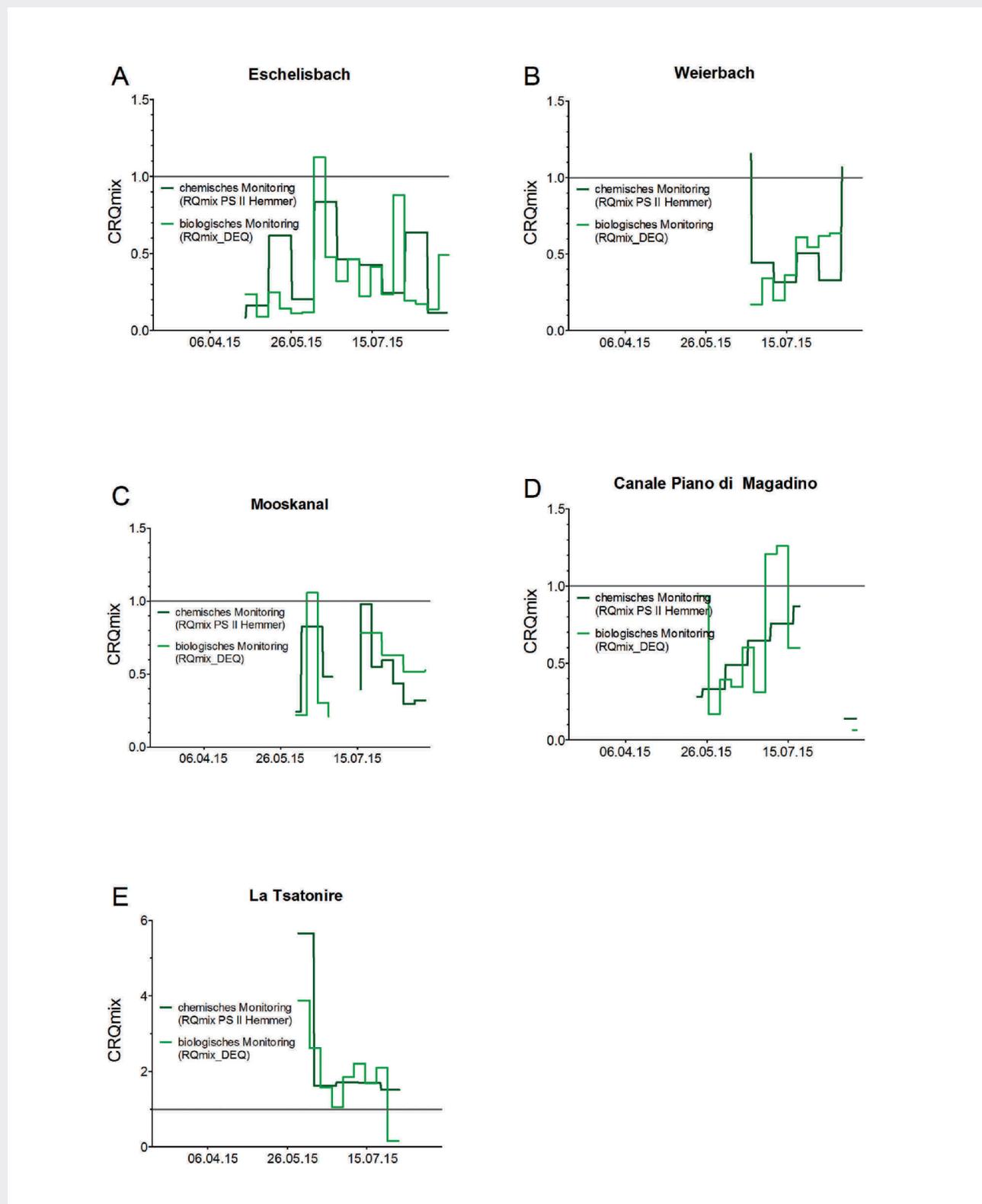


Fig. 4 Vergleich der CRQ des biologischen Monitorings (kombinierter Algentest) und des chemischen Monitorings (CRQ_{mix} der PS-II-hemmenden PSM). Die waagerechten Linien stellen einen RQ von 1 dar.

Comparaison CRQ de la surveillance biologique (tests sur algues combinés) et de la surveillance chimique (CRQ_{mix} des PPh inhibiteurs de la photosynthèse [PSII]). Les lignes horizontales représentent une RQ de 1.

sigbar gering, sodass der kombinierte Algentest ein deutlich geringeres Risiko anzeigte (vergleiche CRQ_{mix} Fig. 1A und Fig. 4A). Im Weierbach lag der CRQ_{DEQ} deutlich unter 1. Das heisst, es bestand

kein Risiko für PS-II-Hemmung (Fig. 1B und 4B). Dennoch war das Risiko für Pflanzen hoch ($CRQ_{mix_Pflanzen} > 40$). Bei der Identifikation der Herbizide, die am Eschelisbach und Weierbach hauptsäch-

lich zum Risiko beitrugen, traten besonders zwei Herbizide in den Vordergrund: Metazachlor (Hemmung in der Synthese langkettiger Fettsäuren, Hemmung der Zellteilung) sowie Nicosulfuron (Hem-

	Zeitraum	Anzahl Proben	Anzahl Proben > CQK*	Probedatum mit > CQK*	gemessener DEQ > CQK [ng/l]
Eschelisbach TG	28.4.-25.8.	17	1	9.6.-16.6.	79
Weierbach BL	23.6.-18.8.	8	0	–	–
Mooskanal BE	5.6.-28.8.	12	2	12.6.-19.6., 17.7.-24.7.	74 69
Canale Piano di Magadino TI	20.5.-22.7., 19.8.-26.8.	10	2	1.7.-15.7.	85 88
La Tsatonire VS	2.6.-4.8.	9	8	2.6.-28.7.	74-272

Tab. 2 Ergebnisse des kombinierten Algentests der NAWA-SPEZ-2015-Proben.

DEQ: Diuronäquivalenzkonzentrationen, CQK*: Chronisches Qualitätskriterium für Diuron 70 ng/l [6].

Résultats des tests sur algues combinés des échantillons de la NAWA SPEZ 2015.

DEQ: concentration d'équivalence Diuron, CQK*: critère de qualité chronique pour le Diuron 70 ng/l [6].

mung in der Synthese bestimmter Aminosäuren, Hemmung der Zellteilung). Diese Wirkmechanismen können mit der PS-II-Hemmung im kombinierten Algentest nicht erfasst werden. Für die Erfassung der gesamten herbiziden Wirkung ist ein Test mit Makrophyten zu empfehlen. Auch im Mooskanal und im Canale Piano di Magadino war der Anteil der PS-II-Hemmer am Risikoquotienten für Pflanzen vergleichsweise gering, sodass auch dort der kombinierte Algentest ein deutlich geringeres Risiko für Pflanzen anzeigte als die auf chemischer Analytik und CQK basierte Risikobewertung.

IN SITU-EXPERIMENTE MIT BACHFLOHKREBSEN

Im Eschelisbach wurden zwischen dem 25. März und 11. Juni 2015 Bachflohkrebe (*Gammarus fossarum*) ausgebracht und deren Mortalität wöchentlich überprüft. Bachflohkrebe sind Wirbellose und reagieren vor allem auf Insektizide empfindlich. Bei der Bewertung des Risikos anhand der akuten RQ fallen wiederholt sehr hohe Risiken für Wasserwirbellose auf (Fig. 1A, 2A und 3), am deutlichsten am 5. und 8. Juni 2015. Anhand der ausgebrachten Bachflohkrebe lässt sich zeigen, wie sich Überschreitungen des akuten Qualitätskriteriums direkt im Feld auswirken können. Es überlebten wöchentlich durchschnittlich 97% der platzierten Bachflohkrebe. Eine auffällige Ausnahme wurde im Zeitraum vom 5. bis 11. Juni beobachtet. Hier überlebten nur 68% der eine Woche zuvor eingesetzten Bachflohkrebe, diese zeigten jedoch ein auffällig lethargisches Verhalten. Die chemische Analyse ergab, dass am 5. und 8. Juni höhere Konzentrationen der Insektizide Chlorpyrifos-methyl, Dimethoat, Methomyl, Pirimicarb und Thiacloprid auftraten. Die Gesamtmenge der Insektizide lag an beiden Tagen über 2000 ng/l (jeweils bezogen auf die Summe der beiden Halbtagesproben). Bei Betrachtung der den Umweltqualitätskriterien zugrunde liegenden ökotoxikologischen Studien und der daraus errechneten RQ wird deutlich, dass besonders Chlorpyrifos-methyl (210 ng/l am 8.6.) giftig für Krebstiere ist. Im Dossier für die *Ad hoc*-QK-Herleitung des niederländischen Forschungsinstituts RIVM liegt der tiefste EC50 (48 h) bei 30 ng/l für *Penaeus duorarum* und der tiefste chronische NOEC (21d) bei 10 ng/l [19]. Der vom Oekotoxizentrum für diese Studie abgeleitete AQK_{ad hoc} für Chlorpyrifos-methyl liegt bei 3 ng/l. Für den ARQ_{real} von Chlorpyrifos-methyl in Proben aus dem Eschelisbach ergaben sich Werte zwischen 20 bzw. bis 70 und für den ARQ_{Einzelstoff_3Tage} Werte zwischen 6 und 16. Beide ARQ-Berechnungen zeigten für den 5.6.2015 ein sehr hohes Risiko für Wirbellose an. Bezogen auf die Konzentrationsmittelwerte der gesamten Expositionszeit dieser Bachflohkrebe (5. bis 11. Juni 2015) trug Chlorpyrifos-methyl zu 78% zum akuten

Mischungsrisiko bei. Auch das Fungizid Azoxystrobin zeigte in diesem Zeitraum eine Überschreitung seines AOK und trug mit 10% zum Mischungsrisiko bei. Ebenso trugen Thiacloprid (5%) und Dimethoat (3%) zum Mischungsrisiko bei, während der Beitrag von Methomyl und Pirimicarb jeweils geringer als 0,5% war. Das akute Mischungsrisiko (ARQ_{Mix_3Tage}) wurde also deutlich von Chlorpyrifos-methyl dominiert. Dies zeigt, dass hohe ARQ direkt im Feld erkennbare Auswirkungen auf die Lebewesen im Gewässer haben können. Am Eschelisbach wurden wiederholt auch durch andere Insektizide (z.B. Diazinon) hohe akute und chronische RQ erzielt. Wie sich die hohen RQ auf die Artengemeinschaft der Wirbellosen im Eschelisbach auswirken wird im folgenden Abschnitt besprochen.

DER SPEAR_{pesticide}-(SPECIES AT RISK)-INDEX

An allen fünf NAWA-SPEZ-Probestellen sowie geeigneten Referenzstellen wurden die natürlichen Wirbellosen-Gemeinschaften gemäss Modulstufenkonzept [20] untersucht [5]. Die Beprobungen erfolgten im März und Juli.

Der SPEAR_{pesticide} ist ein Index, der speziell für Pestizidbelastungen mit einem typischen gepulsten Eintragsmuster in kleinen Fließgewässern optimiert wurde. Der Index berechnet den Anteil PSM-empfindlicher Wirbelloser im Gewässer. Im Artikel von Michel et al. (S. 70) werden das Konzept, die Interpretation der Ergebnisse und neben weiteren Punkten auch weitere Einflussfaktoren des SPEAR_{pesticide} ausführlich diskutiert. Mit dem SPEAR_{pesticide} können vor allem Aussagen zur Gewässerqualität bezüglich der Belastung mit Insektiziden und Fungiziden mit insektizider Wirkung gemacht werden. Je geringer der Wert des SPEAR_{pesticide} desto grösser ist der Anteil an PSM-toleranten Wirbelloser. Bei der Interpretation des Index muss jedoch darauf geachtet werden, dass auch morphologische und hydrologische Faktoren (z.B. Verbauung der Gewässersohle, Austrocknen) die Zusammensetzung der Wirbelosengemeinschaft und somit den SPEAR_{pesticide} beeinflussen.

Der Eschelisbach ist ein naturnahes und morphologisch wenig beeinflusstes Gewässer. Trotz naturnahem Lebensraum zeigte der SPEAR_{pesticide} im März einen unbefriedigenden und im Juli einen schlechten Zustand an (Tab. 3). Ein Grossteil der im Eschelisbach gefundenen Wirbelosentaxa gehörten zu den PSM-toleranten Arten. Dieses Resultat deckt sich mit der chronischen und akuten Risikoeinschätzung für Wirbellose (RQ_{mix_Wirbellose}), die für den Eschelisbach eine schlechte Wasserqualität anzeigt.

Im Canale Piano di Magadino war der Anteil an PSM-toleranten Arten im März eher gering (Zustandsklasse gut, Tab. 3), im Juli

	Datum Probenahme	SPEAR _{pesticide}
Eschelischbach TG	06.03.15	20.2
	14.07.15	8.5
Weierbach BL	05.03.15	(10.1)
	14.07.15	(12.4)
Mooskanal BE	03.03.15	(30.5)
	13.07.15	(2.2)
Canale Piano di Magadino TI	04.03.15	34
	13.07.15	31.4
La Tsatonire VS	03.03.15	(15.2)
	13.07.15	(21.2)

Zustandsklassen
 ■ sehr gut ■ gut ■ mässig ■ unbefriedigend ■ schlecht

Tab. 3 Auf Artniveau bestimmter SPEAR_{pesticide}-Index an den verschiedenen NAWA SPEZ 2015-Probestellen. Werte in Klammern wurden für Gewässer bestimmt, die für eine Anwendung mit dem SPEAR nicht uneingeschränkt geeignet waren.

Au niveau infra-spécifique d'un indice SPEAR_{pesticide} déterminé dans les différentes stations de prélèvement de la NAWA SPEZ 2015. Les valeurs entre parenthèses ont été déterminées pour les cours d'eau qui n'étaient pas appropriés sans réserve pour une utilisation avec le SPEAR.

war der Anteil toleranter Wirbelloser etwas grösser (Zustandsklasse mässig). Auch diese Resultate sind im Einklang mit der akuten und chronischen Mischungsrisikobewertung (kein Risiko für nachteilige Effekte auf Wirbellose).

Weierbach, Mooskanal und Tsatonire waren für die Anwendung des SPEAR_{pesticide} nicht geeignet. Der Mooskanal ist im Sommer ein stehendes Gewässer; der Weierbach und die Tsatonire haben eine Betonsohle und bieten daher keinen geeigneten Lebensraum für Wirbellose. Das Vorkommen und die Zusammensetzung der Wirbellosenlebensgemeinschaft ist aber sowohl von der Wasserqualität (z. B. Nährstoffbelastung, Pestizidbelastung) als auch von den morphologischen und hydrologischen Gegebenheiten abhängig. Daher ist eine Interpretation des SPEAR-Index in Bezug auf die chemische Belastung dieser drei Gewässer nicht möglich.

GEWÄSSERQUALITÄT DURCH PSM ÜBER LÄNGERE ZEITRÄUME BEEINTRÄCHTIGT

Die Betrachtung des Mischungsrisikos ist nicht nur im Hinblick auf die Höhe der RQ relevant, sondern auch weil dadurch ein realistisches Bild über die Dauer der (Gesamt-)Belastung für bestimmte Organismengruppen entsteht. Doppler *et al.* haben für den Eschelischbach, die Tsatonire und den Weierbach festgestellt, dass während mehr als 85% des Beprobungszeitraums mindestens ein PSM das chronische QK überschritten hat [1]. Vom Blickpunkt der Mischungsrisikobeurteilung stellt sich die Frage, ob das Mischungsrisiko über den gesamten Probenahmezeitraum von einem oder von mehreren PSM dominiert wurde. Wenn es von einem PSM dominiert wurde, ist die gegenwärtige Praxis der Risikobeurteilung auf Einzelstoffbasis ausreichend. Wenn es aber mehrere PSM waren, gibt die Beurteilung des Mischungsrisikos ein exakteres Bild der Gewässerqualität. Als Beispiel soll das chronische Risiko für Wirbellose im Weierbach dienen (Fig. 5). Während 70% des Untersuchungszeitraums bestand ein Mischungsrisiko ($CRQ_{\text{mix Wirbellose}} > 1$). Für 40% des Zeitraums unterschätzte die Einzelstoffbeurteilung das Mischungs-

risiko um mehr als einen Faktor 2. Im Mittel ist der RQ für die Mischung um den Faktor 1,7 höher als der höchste Einzelstoff RQ. Wichtiger ist jedoch die zeitliche Dimension. Während der ersten Hälfte des Probenahmezeitraums sind Methiocarb und Diflubenzuron die Treiber des Mischungsrisikos, während der zweiten Hälfte sind es Thiacloprid, Fipronil, Dimethoat und Azoxystrobin (Fig. 5). Der beobachtete Wechsel von Wirkstoffen mit erhöhten Risiken ist relevant für die Diskussion, inwieweit man bei der PSM-Zulassung von einer Erholung der Organismen bzw. Populationen ausgehen kann.

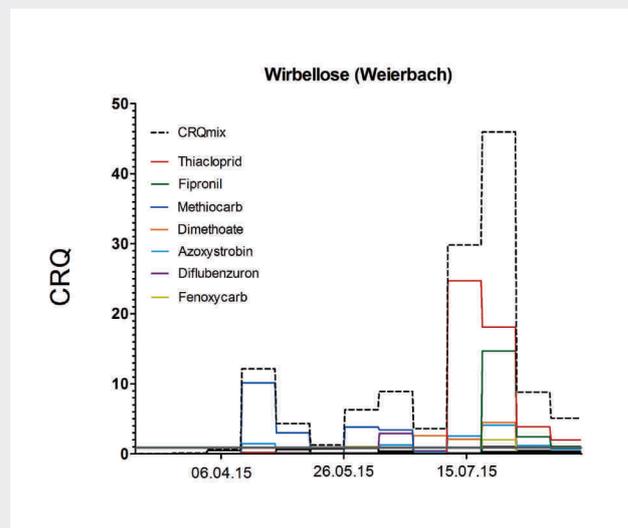


Fig. 5 Beitrag der PSM mit $RQ_{\text{max}} > 0,4$ zum chronischen Mischungsrisiko (gestrichelte Linie) für Wirbeltiere im Weierbach.

Contribution des PPh avec une $RQ_{\text{max}} > 0,4$ au risque de mélange chronique (pointillé) pour les animaux vertébrés dans le Weierbach.

Beispielsweise wurde am 5.6.2015 im Eschelischbach eine Konzentrationsspitze von 210 ng/l Chlorpyrifos-methyl gemessen, die mit einem akuten RQ von 70 vermutlich wesentlich zum beobachteten Sterben der Bachflohkrebsbe beigetragen hat. Im nachfolgenden Monitoringzeitraum wird diese Substanz im Eschelischbach nicht mehr nachgewiesen. Bei einer ausschliesslichen Betrachtung des Risikos durch Einzelsubstanzen könnte eine Erholung der Wirbellosen, beispielsweise durch Regeneration oder Wiederbesiedlung, in Erwägung gezogen werden. Da aber im nachfolgenden Monitoringzeitraum wiederholt andere Substanzen in Konzentrationen nachgewiesen werden, die zu einem $RQ_{\text{Einzelstoff}} > 1$ für Wirbellose führen, ergibt sich ein anderes Bild. Bei Integration des Mischungsrisikos aller nachgewiesenen Substanzen ist es durch das andauernde hohe Risiko für Wirbellose (Fig. 3) fraglich, ob eine Erholung überhaupt möglich ist. Und in der Tat zeigt die Beurteilung der Gewässerökologie (SPEAR-Index) eine schlechte Besiedlung des Eschelischbachs mit empfindlichen Wirbellosen (Tab. 3). Auch hier würde die Risikobeurteilung für jeden Einzelstoff allein die Dauer der Belastung unterschätzen, vor allem, wenn diese auf dieselben Organismengruppen wirken. So wurde z. B. Chlorpyrifos-methyl im Eschelischbach nur während 2,5% der Messdauer und in der gesamten Kampagne nur während 0,5% der Dauer nachgewiesen. Es lohnt sich also, das Gesamtbild zu betrachten. Die Berechnung des Mischungsrisikos, und zwar getrennt für die drei Hauptorganismengruppen Pflanzen, Wirbellose und Wirbeltiere, hat sich somit als nützliche Methode erwiesen.

DANK

Wir danken herzlich den beteiligten Gewässerschutzfachstellen der Kantone Thurgau, Basel-Land, Bern, Ticino und Valais für die Probenahme. *Barbara Ganser, Andrea Schifferli* und *Thomas Bucher* danken wir für die Durchführung und Auswertung der Biotests. Besonderer Dank gilt *Tobias Doppler* und *Irene Wittmer* (VSA-Plattform Wasserqualität) sowie der Abteilung UCHEM der Eawag (*Heinz Singer, Simon Mangold* und *Rahel Comte, Christian Stamm*) und dem BAFU für die gute Zusammenarbeit beim Projekt NAWA SPEZ 2015.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Analyse des Mischungsrisikos zeigte bei vier der fünf untersuchten kleinen Fließgewässer deutliche Risiken für chronische aber auch für akute Effekte auf Pflanzen und Wirbellose. Der Zustand dieser Gewässer in Bezug auf die Wasserqualität muss daher als schlecht eingestuft werden.

Die Betrachtung der Belastung in einem Fließgewässer über die Zeit und der Mischungstoxizität der vorkommenden PSM ist für die Bewertung des Risikos für Wasserorganismen massgebend. Diese Analyse ermöglicht es, die Gesamtbelastung zu erfassen, die letztendlich für das Überleben der Organismen relevant ist. Werden Organismen nämlich kontinuierlich über einen langen Zeitraum belastet, fehlen Zeiten, in denen sie sich von der Belastung wieder erholen können.

Biologische Untersuchungen sind als Ergänzung zur Risikobewertung mittels chemischer Analytik und Qualitätskriterien wertvoll. In dieser Studie bestätigten sie das mit chemischen Daten ermittelte Risiko für Pflanzen und Wirbellose. Die Ergebnisse des kombinierten Algentests zeigten das hohe Mischungsrisiko für Pflanzen durch Photosynthese-hemmende Herbizide in der Tsatonire an. Wenn die Wirkung von Herbiziden mit anderen Wirkmechanismen erfasst werden soll, sollte ein Test mit Makrophyten (höhere Wasserpflanzen) eingesetzt werden. Ein solcher Test kann darüber hinaus auch Effekte pflanzenhemmender Fungizide integrieren. Die im Eschelisbach eingesetzten Bachflohkrebse reagierten auf den

extrem kurzen Chlorpyrifos-methyl-Puls, der das akute QK bis um das 70-fache überschritt, während der SPEAR-Index im Eschelisbach das langfristige Risiko für Invertebraten widerspiegelt. Biotests und Untersuchungen der Artengemeinschaft haben den zusätzlichen Vorteil, dass sie Aussagen zur Dominanz bestimmter Stoffgruppen ermöglichen, die für die Gefährdung der Wasserlebewesen verantwortlich sind. Durch eine solche Identifikation von Stoffgruppen, ist es möglich, gezielte Risikominderungsmaßnahmen zu ergreifen. Eine Kombination chemischer und biologischer Verfahren ist für zukünftige Untersuchungen zu empfehlen.

Wenn PSM, die allein oder in der Mischung ökotoxikologisch bedeutsam sind, in Zukunft besser reguliert werden sollen, böte der Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln [21] dafür das geeignete Instrument.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Doppler, T. et al. (2017): Hohe Pflanzenschutzmittelbelastung in Schweizer Bächen. Aqua & Gas*
- [2] *Ochsenbein, U.; Berset, J.; Scheiwiler, E. (2015): Mikroverunreinigung in Bernischen Gewässern. Aqua & Gas, 2*

- [3] *Ochsenbein, U.; Berset, J.; Scheiwiler, E.; Guthruf, K. (2012): Mikroverunreinigungen in Aaretal-gewässern. Aqua & Gas, 11*
- [4] *Wittmer, I. et al. (2014): Über 100 Pestizide in Fließgewässern. Aqua & Gas, 3*
- [5] *AquaPlus (2016): NAWA SPEZ Pestizide 2015: Biologische Untersuchungen an den SPEZ-Stellen und an den Referenzstellen*
- [6] *Oekotoxzentrum (2017): Vorschläge für akute und chronische Qualitätskriterien für ausgewählte schweizrelevante Substanzen.; Available from: www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/*
- [7] *SR-814.201 (2016): Gewässerschutzverordnung, Schweiz. 814.201.*
- [8] *European Commission Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). 2011*
- [9] *Wittmer, I.; Junghans, M.; Singer H.; Stamm, C. (2014): Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf*
- [10] *EU (2011): Scientific Committees: Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS), Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER), Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) – Toxicity and Assessment of Chemical Mixtures, European Commission. Brussels: DG Health & Consumers*

> SUITE DU RÉSUMÉ

plus particulièrement dans l'Eschelisbach et le Weierbach. Le risque de mélange était souvent élevé sur le long terme, de sorte que les organismes du cours d'eau manquaient de temps de récupération. Les indicateurs biologiques recensent l'effet de mélanges chimiques sur les organismes aquatiques; ils permettent de faire des déductions sur le type de produits chimiques problématiques. Dans 23% du total de 56 échantillons composites d'une semaine, on a mesuré, à l'aide des tests sur algues combinés, une inhibition de la photosynthèse qui dépassait le critère de qualité de l'environnement chronique de l'herbicide de référence le Diuron et, ainsi, représentait un risque plus élevé d'effets chroniques sur les plantes. Le risque déduit des tests sur algues combinés concorde très bien avec le risque de mélange atteint pour l'inhibiteur de la photosynthèse (PSII). Le risque de mélange pour les plantes n'a toutefois été dominé par les PPH inhibiteurs de photosynthèse (PSII) que dans la Tsatonire. Dans le Weierbach, c'est l'herbicide Matazachlor qui dominait et dans l'Eschelisbach c'était l'herbicide Nicosulfuron, qui ne perturbent ni l'un ni l'autre la photosynthèse. Une surveillance biologique in situ avec des gammarus a été réalisée dans l'Eschelisbach pour prouver la présence d'insecticides. Au début juin 2015, une mortalité plus élevée a été constatée. Cela concorde avec la période de risque de mélange aigu qui a été dominée à ce moment à plus de 78% par une substance, l'insecticide Chlorpyrifos-methyl. L'indice SPEAR_{pesticide} (indiquant le risque d'une pollution par les pesticides à l'aide des communautés d'invertébrés aquatiques), qui réagit également de façon particulièrement sensible à l'effet d'insecticides, a indiqué un mauvais état des invertébrés pour l'Eschelisbach.

Les analyses biologiques se sont révélées dans cette étude un lien précieux entre l'évaluation du risque de mélange chimique et l'état écologique. Elles ont donné des indications sur l'identité des substances ou groupes de substances problématiques, et ont ainsi soutenu la prise de mesures ciblées de réduction des risques. Il faut donc recommander une combinaison de procédés chimiques et biologiques pour les études à venir.

- [11] Price, P. et al. (2012): A decision tree for assessing effects from exposures to multiple substances. *Environmental Sciences Europe*, 24:26
- [12] WHO (2009): World Health Organization: Harmonization Project Document 7; Assessment of Combined Exposures to Multiple Chemicals: Report of a WHO/IPCS International Workshop on Aggregate/Cumulative Risk Assessment. Geneva
- [13] Junghans, M.; Kunz, P.; Werner, I. (2013): Toxizität von Mischungen – Aktuelle praxisorientierte Ansätze für die Beurteilung von Gewässerproben. *Aqua & Gas*, 5
- [14] Chèvre, N. et al. (2006): Including Mixtures in the Determination of Water Quality Criteria for Herbicides in Surface Water. *ES&T* 40(2): p. 426–435
- [15] Stephen, C. et al. (1985): Guidelines for Deriving Numerical National Water Quality Criteria for the Protection of Aquatic Organisms and Their Uses. Office of Research and Development Environmental Research Laboratories, Duluth, Minnesota, Narragansett, Rhode Island, Corvallis, Oregon
- [16] EFSA (2013): Guidance on tiered risk assessment for plant protection products for aquatic organisms in edge-of-field surface waters. *EFSA Journal* 11(7): p. 3290
- [17] Escher, B.I. et al. (2008): Toxic equivalent concentrations (TEQs) for baseline toxicity and specific modes of action as a tool to improve interpretation of ecotoxicity testing of environmental samples. *Journal of Environmental Monitoring*, 10(5): p. 612–621
- [18] Kienle, C.; Vermeirssen, E.; Kunz, P.Y.; Werner, I. (2015): Grobbeurteilung der Wasserqualität von abwasserbelasteten Gewässern anhand von öko-toxikologischen Biotests. Studie im Auftrag des BAFU Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie, Eawag-EPFL, Dübendorf
- [19] RIVM (2008): Afleiding van 41 ad hoc MTR's 2007
- [20] BAFU (2010): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Vollzug Nr. 1026, 61 S.
- [21] Eidgenössisches Departement für Wirtschaft Bildung und Forschung (2016): Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (Entwurf vom 4. Juli 2016)



IL CONGRESSO SVIZZERO
SULL'ACQUA DI SSIGA E VSA

Palazzo dei Congressi, Lugano
30 marzo 2017

GRAZIE · DANKE · MERCI

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM



Repubblica e Cantone Ticino
Dipartimento del territorio



aat
associazione
acquadotti
ticinesi

Endress+Hauser 
People for Process Automation

vonRollhydro

hawle

WABAG

rittmeier
BRUGG

etertub