

HOHE PSM-BELASTUNG IN SCHWEIZER BÄCHEN

NAWA-SPEZ-KAMPAGNE UNTERSUCHT BÄCHE IN GEBIETEN INTENSIVER LANDWIRTSCHAFTLICHER NUTZUNG

In der vorliegenden Studie wurde in fünf kleinen Gewässern mit landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten die Belastung durch Pflanzenschutzmittel (PSM) untersucht. Insgesamt wurden über 200 PSM-Wirkstoffe untersucht, davon wurden 128 nachgewiesen. Die Einzelstoff-Konzentrationen waren mit teilweise bis zu 40 000 ng/l hoch, 32 Stoffe überschritten akute oder chronische ökotoxikologische Qualitätskriterien. In drei Gebieten überschritt über mehrere Monate immer mindestens ein Stoff ein Qualitätskriterium. Abschätzungen zeigen, dass auch in deutlich weniger intensiv genutzten Gebieten mit Überschreitungen gerechnet werden muss.

Tobias Doppler, VSA-Plattform Wasserqualität; Simon Mangold, Eawag (Hauptautoren)

Irene Wittmer, VSA-Plattform Wasserqualität; Simon Spycher; Rahel Comte; Christian Stamm; Heinz Singer, Eawag
Marion Junghans, Oekotoxzentrum; Manuel Kunz, BAFU*

RÉSUMÉ

CAMPAGNE NAWA SPEZ: POLLUTION ÉLEVÉE PAR LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES DANS LES RUISSEAUX SUISSES

Les utilisations de produits phytosanitaires (PPH) dans l'agriculture représentent des sources importantes de pollution des eaux de surface suisses. Certaines connaissances font cependant toujours défaut en ce qui concerne a) l'ampleur de la pollution dans les petits cours d'eau, b) les pics de concentration réels sur l'ensemble de la période d'application et c) la variété des substances. Dans la présente étude NAWA SPEZ, cinq petits cours d'eau dont le bassin versant est fortement exploité par l'agriculture ont été choisis pour combler ces lacunes. Des échantillons ont été prélevés régulièrement de mars à août 2015. Pendant les périodes de fortes précipitations, les mesures ont été faites avec la fréquence la plus élevée, c'est-à-dire que des échantillons composites d'une demi-journée ont été analysés. Pendant les périodes sans précipitations, les échantillons composites d'une demi-journée ont été assemblés avec des échantillons composites de différentes durées (allant de 24 h jusqu'à 24 jours).

213 PPH ont été recherchés et 128 ont été trouvés dans au moins un échantillon. Les concentrations en substances isolées ont atteint un maximum de 40 000 ng/l. Dans plus de la moitié des

AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Landwirtschaftliche Anwendungen sind wichtige Quellen für Einträge von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Schweizer Oberflächengewässer. Bisherige Analysen haben gezeigt, dass PSM in kleinen und mittelgrossen Fließgewässern nebst Schwermetallen die problematischste Stoffgruppe sind [1]. Wiederholt wurden PSM in Konzentrationen gemessen, die sowohl die numerische Anforderung der Gewässerschutzverordnung (GSchV) von 0,1 µg/l als auch ökotoxikologisch basierte Qualitätskriterien überschreiten [z. B. 2, 3]. Dies gilt insbesondere für kleine, aber auch für mittelgrosse Gewässer [1, 3].

Mit der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) dokumentieren Bund und Kantone schweizweit die Wasserqualität [4]. Die Überwachung des Gewässerzustands wird durch die kantonalen Messprogramme zum Vollzug ergänzt. In der Dauerbeobachtung NAWA TREND wird an rund 100 Stellen der Zustand der Gewässerqualität langfristig überprüft. Bis zum jetzigen Zeitpunkt werden in NAWA TREND jedoch keine PSM und keine kleinen Fließgewässer erfasst. Damit beschränkt sich die Datenlage zur PSM-Belastung kleiner

* Kontakt: heinz.singer@eawag.ch

Fliessgewässer auf Daten von kantonalen Untersuchungen und wenige Spezialuntersuchungen. Die Auswertung dieser Daten zeigte Lücken auf [3], insbesondere in Bezug auf folgende drei Aspekte:

A Räumliche Abdeckung

Kleine Gewässer machen 75% der Fliessstrecke des Schweizer Fliessgewässernetzes aus. Es liegen aber nur 25% der kantonalen Probenahmestandorte an kleinen Gewässern, und nur 20% der Messwerte stammen aus solchen Gewässern [3].

B Probenahme und zeitliche Abdeckung

Gut 40% der Proben aus kleinen Gewässern waren Stichproben [1]. Mit Stichproben, aber auch mit Mischproben über mehrere Tage kann die tatsächliche Belastung kaum erfasst werden [5]. Nur vereinzelt existieren Studien, die die Belastung während Regenereignissen zeitlich hochaufgelöst und über den gesamten Applikationszeitraum von PSM erfassen.

C Substanzspektrum

In den meisten Untersuchungen wurde nur ein vergleichsweise kleiner Teil der potenziell vorkommenden Substanzen untersucht. So wurden, bei derzeit mehr als 250 zugelassenen, organisch-synthetischen PSM, in 75% der Proben weniger als 44 Substanzen analysiert [3].

Spezialbeobachtungen im Rahmen von «NAWA SPEZ» bieten eine Möglichkeit, solche Lücken in der schweizweiten Beobachtung der Gewässerqualität zu schliessen und spezifische Fragestellungen anzugehen. Im Jahr 2012 wurde eine erste NAWA-SPEZ-Kampagne zur Pestizidvielfalt in mittelgrossen Fliessgewässern durchgehend von März bis Juli durchgeführt [2]. Damit wurden Defizite zu den oben erwähnten Punkten (B) und (C) angegangen. Das Ziel der hier vorgestellten zweiten NAWA-SPEZ-Kampagne war es, die oben beschriebenen Lücken bezüglich der Erfassung der stofflichen und ökotoxikologischen Belastung kleiner Fliessgewässer durch PSM zu füllen. In vielen kleinen Fliessgewässern stellt die Landwirtschaft die dominante Belastungsquelle dar. Siedlungsgebiete spielen häufig eine untergeordnete Rolle, weil Kläranlageneinleitungen und auch die meisten Mischwasserentlastungen in der Regel an mittleren bis grossen Gewässern liegen [1]. Im Fokus der Studie stand deshalb die PSM-Belastung aus der Landwirtschaft in kleinen Gewässern. Dazu sollten verschiedene PSM-intensive Kulturen einbezogen und ein möglichst breites PSM-Spektrum erfasst werden. Zudem wollte man die gesamte Applikationsdauer abdecken und während Regenereignissen zeitlich hochaufgelöste Proben untersuchen, um akute Belastungssituationen mit Konzentrationsspitzen erfassen zu können.

METHODEN

STANDORTWAHL

Es wurden fünf kleine Gewässer ausgewählt, deren Einzugsgebiete landwirtschaftlich intensiv genutzt werden und die keine Kläranlageneinleitungen oder Mischwasserüberläufe aufweisen. Der Siedlungsanteil an den Einzugsgebieten ist mässig bis gering und beträgt in den untersuchten Gebieten zwischen 0 und 17% (Tab. 1).

Die Einzugsgebiete decken ein breites Spektrum an angebauten Kulturen ab, insbesondere auch die PSM-intensiven Kulturen Obst, Reben und Gemüse. Die Gebiete liegen in verschiedenen Teilen der Schweiz. Sie sind in Bezug auf die natürlichen Bedingungen – wie Topographie oder Niederschlagsregime – sehr unterschiedlich. Das Einzugsgebiet der Tsatonire im Wallis ist sehr steil und auf knapp einem Viertel der Fläche werden Reben angebaut. Die Einzugsgebiete von Eschelisbach und Weierbach haben eine moderate Topographie und sind teilweise drainiert. Am Eschelisbach wird neben Ackerbau vor allem intensiver Obst- und Beerenanbau betrieben. Im Einzugsgebiet des Weierbachs wird hauptsächlich Ackerbau mit einem relativ hohen Anteil Gemüseanbau betrieben. Mit dem Mooskanal im Berner Seeland und dem Canale Piano di Magadino wurden auch zwei Gewässer in Ebenen beprobt, die landwirtschaftlich intensiv genutzt werden. In beiden Einzugsgebieten ist die hauptsächliche Landnutzung Ackerbau mit einem relativ hohen Anteil an Freilandgemüse. In der Magadinoebene kommen noch ein wenig Rebbau, Gemüse in Gewächshäusern sowie im oberen Teil des Einzugsgebietes grosse Flächen Wald und Siedlung dazu.

REPRÄSENTATIVITÄT DER GEBIETE UND NIEDERSCHLAGSVERHÄLTNISSE

In Bezug auf die Flächenanteile der landwirtschaftlichen Nutzung repräsentieren die ausgewählten Gebiete unterschiedlich lange Fliessstrecken in der Schweiz (Fig. 1). So liegt beispielsweise der Ackerlandanteil für 6290 km Fliessstrecke höher als beim Canale Piano di Magadino und für 560 km Fliessstrecke höher als beim Mooskanal [6]. Die Einzugsgebiete liegen damit bezüglich der Intensität des Pflanzenbaus über dem schweizerischen Durchschnitt, repräsentieren aber jeweils mehr als 10% der Fliessstrecken, die von der jeweiligen Landnutzung beeinflusst sind. Die Gebiete stellen somit keine Einzelfälle dar, so zeigen die dunkelbraunen Linien in Figur 1 Fliessstrecken mit gleich hohem oder höherem Anteil der entsprechenden Kultur an. Wichtig ist jedoch insbesondere, dass die ausgewählten Gebiete aufgrund der vorliegenden Informationen durchaus die übliche landwirtschaftliche Praxis für die jeweiligen Kulturen widerspiegeln. Auf relevante gebietsspezifische Besonderheiten weisen wir bei den Ergebnissen und deren Diskussion hin.

| Gewässer | Kanton | Flussordnungszahl | Fläche EZG km ² | Flächenanteil im EZG % | | | |
|--------------------------|--------|-------------------|-------------------------------|------------------------|------|-------|----------|
| | | | | Ackerbau | Obst | Reben | Siedlung |
| Mooskanal | BE | 2 | 3,4 | 65 | 0 | 0 | 8 |
| Weierbach | BL | 1 | 1,6 | 52 | 3 | 0 | 14 |
| Eschelisbach | TG | 2 | 2,0 | 29 | 13 | 0 | 0 |
| Canale Piano di Magadino | TI | 4 | 9,0 | 15 | 0 | 3 | 17 |
| Tsatonire | VS | 2 | 2,4 | 0 | 1 | 22 | 11 |

Tab. 1 Landnutzung in den untersuchten Einzugsgebieten (EZG) / Utilisation des sols dans les bassins versants (EZG) analysés

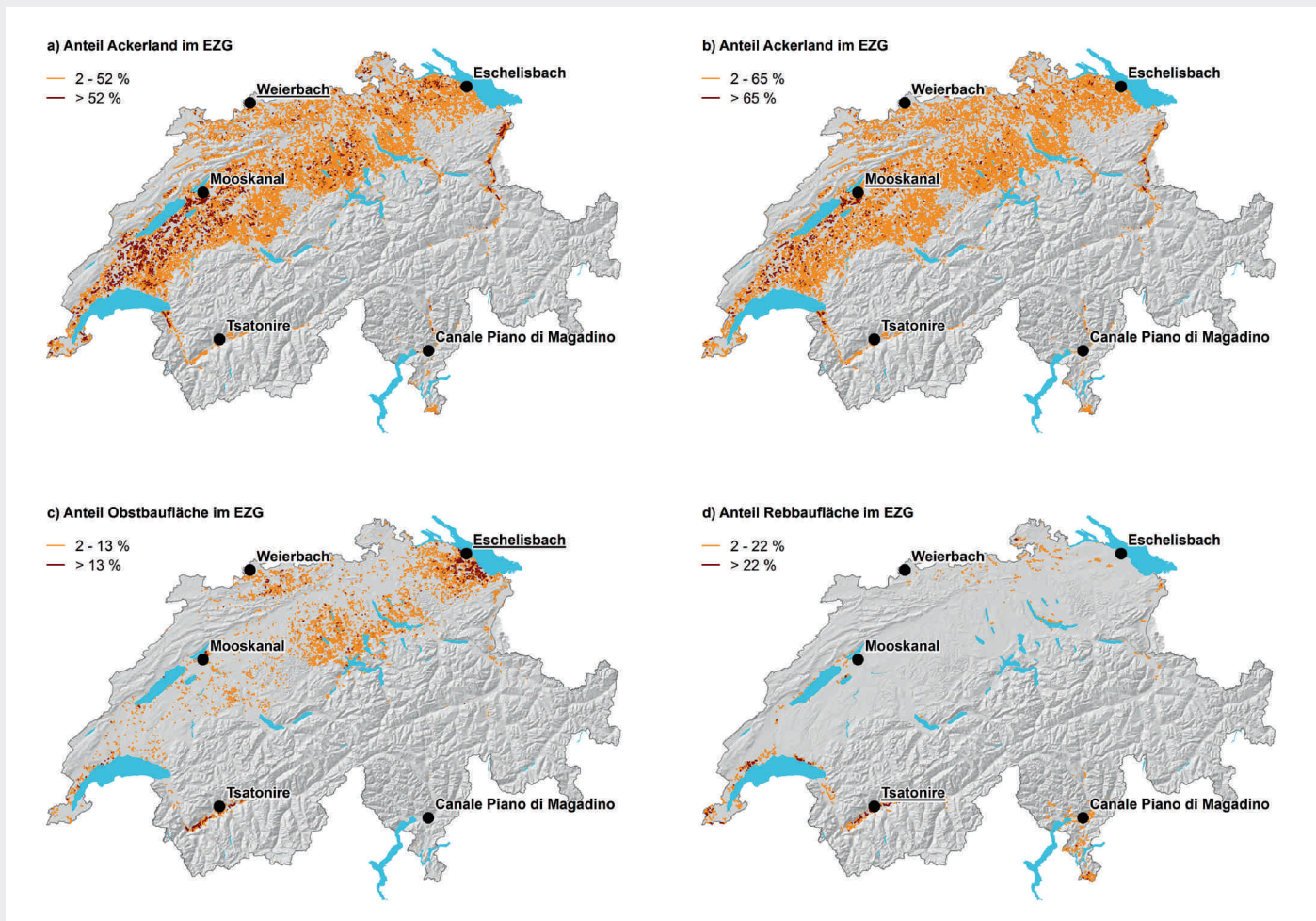


Fig. 1 Fließgewässernetz der Schweiz und Untersuchungsstandorte. Dunkelbraun sind die Fließstrecken, die einen gleich hohen oder höheren Ackerlandanteil wie im EZG Weierbach (a), einen gleich hohen oder höheren Ackerlandanteil wie im EZG Mooskanal (b), einen gleich hohen oder höheren Obstanteil wie im EZG Eschelisbach (c) oder einen gleich hohen oder höheren Rebenanteil wie im EZG Tsatonire (d) haben.

Hellbraun sind alle Fließstrecken, die durch die jeweilige Kultur beeinflusst sind, Kulturanteile < 2% im EZG sind nicht dargestellt.

Réseau de cours d'eau et sites d'analyse. Sont représentés en brun foncé les tronçons à part de terre arable aussi élevée ou plus que dans le bassin versant du Weierbach (a), une part de terre arable aussi élevée ou plus que dans le bassin versant du Mooskanal (b), une part de terre pour la culture des fruits aussi élevée ou plus que dans le bassin versant de l'Eschelisbach (c) ou une part de vignes aussi élevée ou plus que dans le bassin versant du Tsatonire (d).

Les tronçons de cours d'eau influencés par la culture en question sont représentés en brun clair. Les parts de culture < 2% ne sont pas représentées.

Über den ganzen Untersuchungszeitraum betrachtet, war es an allen Standorten weder extrem nass noch extrem trocken, auch wenn in einzelnen Monaten die Niederschlagssumme deutlich vom Medianwert der Zeitspanne von 1980–2015 abwich. Die Abweichung vom langjährigen Mittel folgte keinem gemeinsamen Muster über alle Standorte. So war es beispielsweise im April im Wallis eher trocken, im Thurgau waren die Monate März und April jedoch eher nass, in den Monaten Mai und Juni fiel im Thurgau sogar aussergewöhnlich viel Niederschlag. Einzig im Juli war es an allen Stationen überdurchschnittlich trocken.

KONTINUIERLICHE PROBENNAHME MÄRZ BIS AUGUST

An allen fünf Standorten wurden mit automatischen Probenehmern (ISCO 7612) von Anfang März bis Ende August 2015 kontinuierlich Halbtagesmischproben genommen. Diese setzen sich jeweils aus 16 Teilproben à 50 ml alle 45 Minuten zusammen. Für den gesamten Zeitraum resultierten in den fünf Untersuchungsgebieten insgesamt rund 1800 Proben (360 pro Standort). Aufgrund von kurzen Ausfällen bei der Probenahme an einzel-

nen Standorten ist die Zeitdauer, für welche Proben existieren, nicht überall gleich lang. Sie liegt zwischen 156 und 180 Tagen. Probenahme, Probentransport sowie -lagerung fand in Glasflaschen statt. Die Proben wurden wöchentlich eingesammelt und an die Eawag versendet, wo sie bis zur Aufbereitung und Messung bei -20 °C gelagert wurden.

Aufgrund des grossen analytischen Aufwands wurden nicht alle 1800 Proben einzeln analysiert, sondern es wurde mit einer von den Niederschlägen abhängigen variablen zeitlichen Auflösung gearbeitet. Da man während Niederschlagsereignissen die höchsten Konzentrationsspitzen erwartete [7], wurde da mit der höchsten Auflösung gemessen, d.h. es wurden einzelne Halbtagesmischproben untersucht. In Phasen ohne Niederschläge wurden die Halbtagesmischproben zu unterschiedlich langen Mischproben zusammengefügt (24-Stunden- bis 24-Tages-Mischproben). Damit wurde sichergestellt, dass die ganze Zeitperiode durchgehend mit Messungen abgedeckt ist. Durch die unterschiedlichen Wetterverhältnisse an den Standorten wurden so verschieden viele Mischproben generiert. Insgesamt wurden 249 Proben analysiert, pro Standort zwischen 34 und 60

Proben. Etwa die Hälfte waren Halbtagesmischproben, der Rest Mischproben über längere Perioden.

213 PFLANZENSCHUTZMITTEL UNTERSUCHT

Um die PSM-Verunreinigung der fünf Gewässer zu erfassen, wurden möglichst viele der im Jahr 2015 zugelassenen Stoffe analysiert. Der Fokus lag dabei auf den organisch-synthetischen Wirkstoffen, die eine Pestizidwirkung haben. Von den 257 im Jahr 2015 zugelassenen Stoffen konnten 179 analysiert werden (Tab. 2). Zudem wurden 34 PSM untersucht, die innerhalb der letzten Jahre verwendet wurden, aber heute nicht mehr zugelassen sind (z. B. Atrazin oder Diazinon). 78 Stoffe konnten mit der angewendeten Analyseverfahren nicht erfasst werden. Dazu zählen stark sorbierende Substanzen (z. B. Pyrethroide), aber auch schnell abbaubare (Folpet, Amitraz).

Von allen untersuchten Substanzen wurde die gelöste Fraktion gemessen. 20 ml einer filtrierten Probe wurden über eine Online-Festphasenextraktion (SPE) angereichert und über Flüssigchromatographie (LC) gekoppelt an ein hochauflösendes Massenspektrometer (HRMS/MS, Orbitrap-Technologie) gemessen. Die Stoffe wurden mit Referenzstandards und isotonenmarkierten internen Standards quantifiziert [8]. Mit der Methode werden Nachweisgrenzen erreicht, mit denen für über 94% der untersuchten Substanzen chronische Qualitätskriterien (CQK; s. unten) überprüft werden können. Mit Ausnahme von 14 Stoffen liegen damit die Nachweisgrenzen tiefer als die CQK. Bei vier der 14 Substanzen lagen jedoch die Nachweisgrenzen nur geringfügig oberhalb der CQK.

BEURTEILUNG ANHAND GSchV UND ÖKO-TOXIKOLOGISCHER QUALITÄTSKRITERIEN

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 die oberirdischen 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

| | Total ² | Herbizide | Fungizide | Insektizide |
|--|--------------------|-----------|-----------|-------------|
| Zugelassene | | | | |
| Anzahl organisch-synthetischer PSM mit pestizider Wirkung 2015 zugelassen ¹ | 257 | 108 | 93 | 52 |
| Untersuchte | | | | |
| Untersuchte PSM 2015 zugelassen | 179 | 81 | 64 | 30 |
| Untersuchte PSM 2015 nicht mehr zugelassen | 34 | 20 | 4 | 10 |
| Total untersuchte PSM | 213 | 101 | 68 | 40 |

¹ Nach PSMV [7], berücksichtigt wurden nur eindeutig organisch-synthetische PSM mit pestizider Wirkung (keine Wachstumsregulatoren, Pheromone, anorganische Stoffe, natürliche Gemische etc.)

² Das Total enthält weitere Wirkstoffe mit pestizider Wirkung wie z.B. Rotendizide und Akarizide.

Tab. 2 2015 zugelassene und untersuchte Pflanzenschutzmittel.
Produits phytosanitaires autorisés et analysés en 2015.

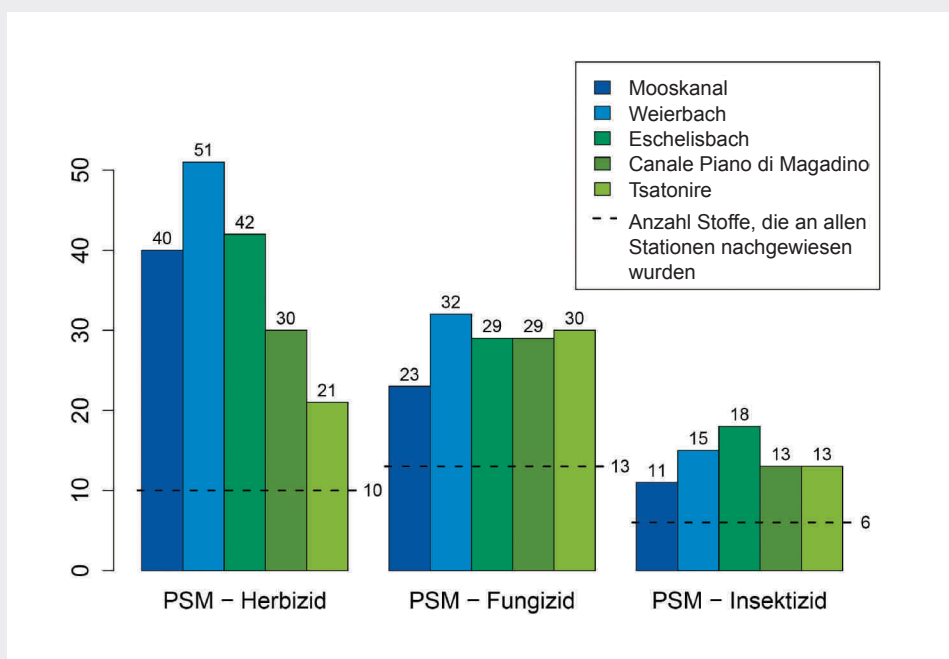


Fig. 2 Anzahl detektierte PSM pro Standort, aufgeteilt nach Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden.
Die gestrichelte Linie zeigt die Anzahl an Substanzen an, die in allen Gebieten gefunden wurden.
Nombre de PPH détectés par site, subdivisés en herbicides, fongicides et insecticides.
La ligne pointillée montre le nombre de substances trouvées dans toutes les régions.

nicht berücksichtigt. Um der verbalen Anforderung zu entsprechen, werden zurzeit für rund 40 PSM sowohl für akute wie chronische Belastungen neue, ökotoxikologisch begründete numerische Anforderungen hergeleitet, die für diese Stoffe den Einheitswert von 0,1 µg/l ersetzen werden. Bis zu dieser Anpassung gilt weiterhin der heutige Wert von 0,1 µg/l [9].

Um zu beurteilen, ob die gemessenen PSM-Konzentrationen ein Risiko für aquatische Organismen darstellen, wurden die gemessenen Konzentrationen mit chronischen und akuten ökotoxikologischen Qualitätskriterien (QK) verglichen. Dazu wurden sogenannte Risikoquotienten (RQ) als das Verhältnis zwischen der gemessenen Konzentration

und einem substanzspezifischen, ökotoxikologisch basierten (akuten oder chronischen) Qualitätskriterium berechnet. Übersteigt dieses Verhältnis den Wert Eins, können negative Effekte auf aquatische Lebewesen nicht mehr ausgeschlossen werden.

Für die 40 Stoffe, die in der GSchV verankert werden, wurden vom Oekotoxzentrum gemäss dem Leitfaden der EU-Rahmenrichtlinie Qualitätskriterien hergeleitet [10]. Für Substanzen, für die das Oekotoxzentrum noch keine Qualitätskriterien vorgeschlagen hat, wurden Qualitätskriterien verwendet, die von anderen Ländern gemäss dem Leitfaden der EU hergeleitet wurden. Wurde kein geeignetes Qualitätskriterium gefunden, so wurde wenn möglich ein *Ad-hoc*-Wert

basierend auf den Zulassungsdaten hergeleitet.

Die chronischen Qualitätskriterien (CQK) wurden mit über 14 Tage zeitgewichteten gemittelten Konzentrationen verglichen [5]. Die akuten Qualitätskriterien wurden direkt mit den jeweils gemessenen Konzentrationen verglichen. Eine vertiefte Diskussion der ökotoxikologischen Methoden und Ergebnisse ist im Beitrag von Langer et al. (S. 58 in dieser Ausgabe von A & G) dargelegt.

ERGEBNISSE

GROSSE STOFFVIELFALT IN KLEINEN BÄCHEN

Insgesamt wurden 128 verschiedene Pflanzenschutzmittel in mindestens einer Probe nachgewiesen: 61 Herbizide (von 101 analysierten), 45 Fungizide (von 68) und 22 Insektizide (von 40).

Je nach Standort wurden zwischen 64 und 98 verschiedene Stoffe nachgewiesen, wobei die Anzahl detektierter Herbizide zwischen den Gebieten besonders

stark variierte (Fig. 2). Mit 64 nachgewiesenen PSM war die Stoffvielfalt in der Tsatonire am geringsten, insbesondere die Anzahl nachgewiesener Herbizide war dort mit 21 vergleichsweise tief. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass im EZG der Tsatonire fast ausschließlich Weinbau betrieben wird und somit nur ein beschränktes Set an PSM zum Einsatz kommt. 29 Stoffe (13 Fungizide, 10 Herbizide, 6 Insektizide) wurden an allen fünf Standorten mindestens einmal nachgewiesen. Der Grossteil dieser Stoffe wurde an allen Standorten regelmässig detektiert und weist eine hohe Konzentrationsdynamik auf. Das deutet darauf hin, dass sie in der untersuchten Periode auch tatsächlich appliziert wurden. Wären es Einträge von Anwendungen aus früheren Jahren, schwankten die Konzentrationen nur geringfügig.

Im Gegensatz zu diesen überall vorkommenden PSM gab es auch Stoffe, die ausschließlich an einem Standort vorkamen. Im Weierbach und im Mooskanal fallen hauptsächlich Herbizide in diese Kategorie, an den anderen drei Standorten waren es überwiegend Fungizide.

Nicht nur gesamthaft an den Standorten, auch innerhalb der einzelnen Proben wurde eine hohe Stoffvielfalt nachgewiesen. Die Anzahl detektierter Stoffe pro Probe lag zwischen drei und maximal 65. Die durchschnittliche Anzahl erfasseter Stoffe pro Probe reichte von 18 Pflanzenschutzmitteln (Median) im Canale Piano di Magadino bis zu 41 (Median) im Weierbach. Diese Anzahl ist vergleichbar mit den Ergebnissen aus den NAWA SPEZ 2012-Untersuchungen in mittelgrossen Gewässern [2]. Diese Stoffvielfalt überrascht etwas, da man in den kleineren Gewässern, aufgrund der geringeren Diversität der angebauten Kulturen im Einzugsgebiet, auch eine geringere Vielfalt an Stoffen erwartet hätte.

An allen Standorten war eine zeitliche Dynamik in der Stoffvielfalt deutlich zu erkennen. Die geringste Stoffvielfalt wurde an jedem Standort Anfang März beobachtet. Die maximal gefundene Stoffanzahl lag in den meisten Fällen um den Faktor 3 bis 4 höher. Am Mooskanal war die maximale Stoffanzahl sogar 15 Mal höher als die minimale Anzahl detektierter Stoffe. Im Mooskanal wurden besonders zu Beginn des untersuchten Zeitraumes wenige Stoffe detektiert. Im Eschelisbach, dem Canale Piano di Magadino und der Tsatonire wurde die höchste Stoffviel-

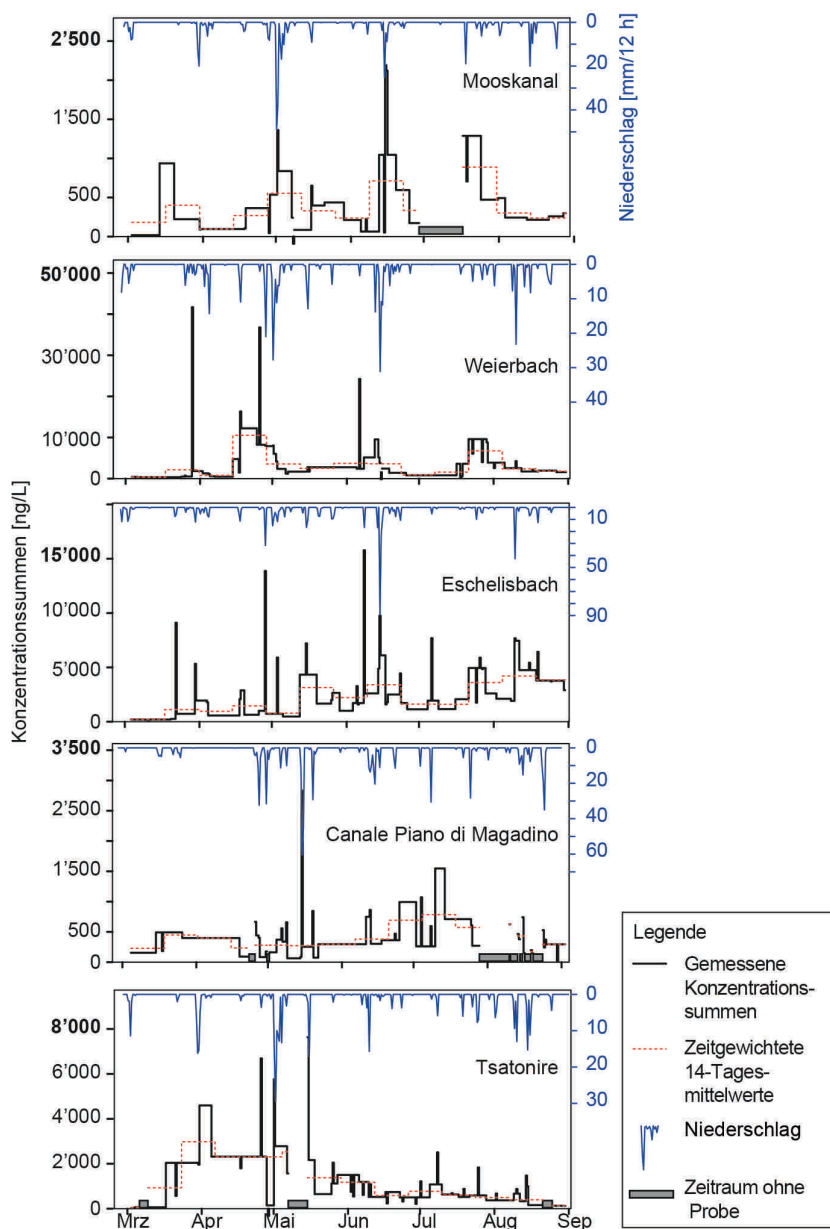


Fig. 3 Summe aller Pflanzenschutzmittelkonzentrationen pro Probe (Konzentrationssummen) an den verschiedenen Stationen im Zeitverlauf.

Total de toutes les concentrations en produits phytosanitaires par échantillon (totaux des concentrations) historique dans les différentes stations.

HINWEISE AUF RELEVANTE EINTRAGSWEGE UND MÖGLICHE MASSNAHMEN

PSM können durch verschiedene Prozesse in Gewässer gelangen. Es ist gut belegt, dass applizierte PSM mit dem Regen in Gewässer transportiert werden (z. B. [7, 14]). Dies führt in der Regel zu erhöhten Konzentrationen während Abflussereignissen. Tatsächlich wurde dieses Muster vielfach in den Daten dieser Studie beobachtet (Fig. 3).

Es wurden jedoch auch Zeitfenster mit Konzentrationsanstiegen trotz fehlender Niederschläge beobachtet. Diese Anstiege müssen auf andere Eintragswege zurückzuführen sein. Um diese Einträge besser zu verstehen und mögliche Eintragswege zu identifizieren, wurden zwei längere Mischproben während Trockenwetter nachträglich für jede Halbtagesmischprobe separat nachgemessen (Weierbach: 18. bis 24. April, 13 Halbtage und Eschelisbach: 16. bis 21. Juli, 11 Halbtage).

Die Nachmessungen (Fig. 4) zeigten sehr unterschiedliche Zeitverläufe. Im Weierbach (Fig. 4a) stiegen für mehrere Wirkstoffe die Konzentrationen abrupt an, im Fall von Metolachlor um mehr als einen Faktor hundert. Die naheliegende Erklärung für kurzfristige Anstiege ohne Regenereignis ist unsachgemäße Handhabung. Dagegen schwankten die sehr hohen Konzentrationen im Eschelisbach in der Figur 4b über die elf Halbtage nie um mehr als einen Faktor 4 und blieben nach dem Anstieg in den letzten sechs Halbtagen permanent hoch. Dieser Konzentrationsverlauf ist schwer einzuordnen und lässt sich allenfalls durch Bewässerung auf einer drainierten Fläche erklären, die fortwährend neue Einträge verursachte. Darauf, dass es Einträge über Böden sind, oder von Stoffen, die eine gewisse Aufenthaltszeit im Feld hatten und nicht Einträge über unsachgemäße Handhabung, deutet neben der Dynamik auch das sehr hohe Verhältnis des Transformationsprodukts Azoxystrobinsäure zur Ausgangssubstanz Azoxystrobin hin. In der Regel dominiert bei unsachgemäßer Handhabung und direkten Einträgen ins Gewässer die Ausgangssubstanz.

Der regengetriebene Eintrag von Pflanzenschutzmitteln war in den untersuchten Gewässern ein wichtiger Eintragsweg und Massnahmen müssen deshalb auch gezielt bei diesem Eintrag ansetzen. Daneben zeigen diese Beispiele aber, dass auch PSM-Einträge während Trockenperioden relevant sein können. Bei den

ungeklärten Eintragswegen sind weitere Ursachenabklärungen notwendig, gleichzeitig müssen aber auch Massnahmen gegen Einträge aus unsachgemäßer Handhabung ergriffen werden.

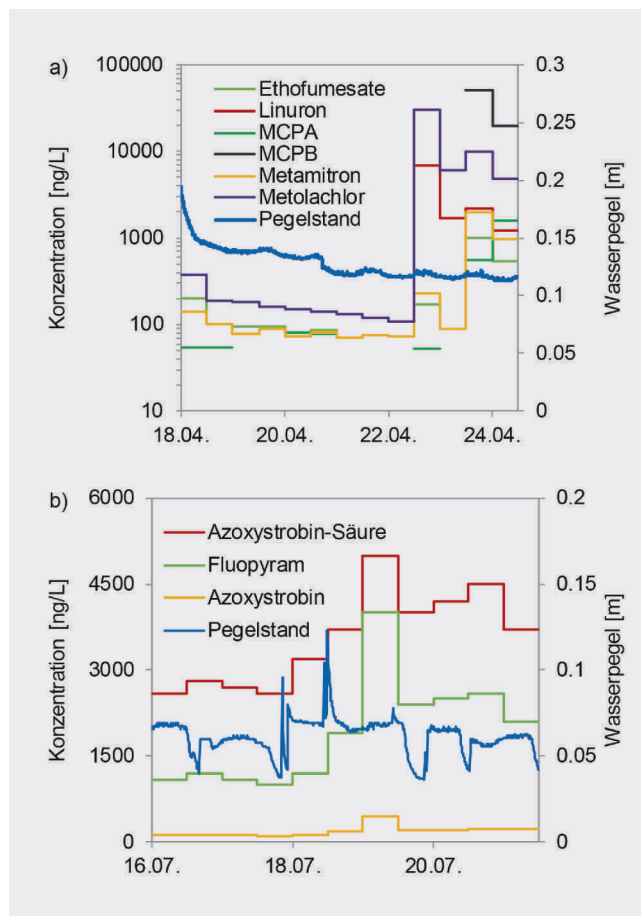


Fig. 4 Zeitfenster mit Konzentrationsanstiegen trotz fehlender Niederschläge in zeitlich hoher Auflösung (Halbtagesmischproben): a) im Weierbach (zu beachten: logarithmische Skala) und b) im Eschelisbach. Intervalles de temps avec les augmentations de concentration malgré l'absence de précipitations dans des dissolutions plus élevées dans le temps: a) dans le Weierbach et b) dans l'Eschelisbach.

falt im Juni und Juli erreicht, während in den untersuchten Ackerbaugebieten im Mooskanal und im Weierbach dieser Zeitpunkt bereits im Mai erreicht wurde. Die vorhandenen Messungen lassen auch gewisse Rückschlüsse auf den Einsatz nicht mehr zugelassener Wirkstoffe zu. Anhand des Konzentrationsverlaufs kann davon ausgegangen werden, dass bei vier von zehn nachgewiesenen, aber nicht mehr zugelassenen Wirkstoffen (Atrazin, Carbofuran, Diazinon und Propachlor) noch gewisse Anwendungen im Untersuchungs-jahr stattgefunden haben.

HOHE KONZENTRATIONSSPITZEN

Die Einzelstoff-Maximalkonzentrationen pro Probe variierten zwischen 5,2 und

40 000 ng/l (40 µg/l). Bei der Hälfte der Proben lag die maximale Konzentration eines einzelnen Stoffs über 340 ng/l. Während Regenereignissen wurden erhöhte Konzentrationen festgestellt, aber zum Teil auch durchgehend erhöhte PSM-Konzentrationen während Trockenperioden (s. Box).

Die Konzentrationssumme aller PSM pro Probe lag zwischen 18 und 41 700 ng/l (Fig. 3). In mehr als der Hälfte der Proben war die Konzentrationssumme höher als 1000 ng/l (1 µg/l). An allen Standorten ausser dem Mooskanal lagen die Konzentrationssummen der Halbtagesmischproben, die von Regenereignissen stammen, im Median (680–4870 ng/l, je nach Standort) um ca. den Faktor 2 höher

als die Konzentrationssummen in den längeren Mischproben (Median: 330–2600 ng/l, je nach Standort), die überwiegend Trockenperioden repräsentieren. Die Konzentrationssumme in einer einzelnen Probe wird häufig von einigen wenigen Substanzen dominiert. Allerdings waren es in den einzelnen Proben immer wieder andere Substanzen, die in hohen Konzentrationen gemessen wurden. Das heisst, dass das Substanzmuster stark von Probe zu Probe wechselte, und zwar sowohl im Zeitverlauf als auch zwischen den Standorten. Es entfallen in der Hälfte der Proben mehr als zwei Drittel der Konzentrationssumme auf die drei jeweils höchstkonzentrierten Stoffe. Über alle fünf Gebiete gehören 67 Stoffe

| | Canale Piano di Magadino | Eschelischbach | Mooskanal | Tsatonire | Weierbach |
|--|--------------------------|----------------|-------------|--------------|--------------|
| Nachgewiesene Stoffe | 72 | 89 | 74 | 64 | 98 |
| Median der Anzahl nachgewiesener Stoffe pro Probe | 18 | 35 | 22 | 22 | 41 |
| Median der Konzentrationssumme pro Probe [ng/l] | 380 | 2500 | 280 | 740 | 2550 |
| Zeitdauer Einzelstoff Überschreitung 0,1 µg/l [Tage [Zeitanteil der Untersuchungszeit]] | 86 (55%) | 178 (99%) | 63 (39%) | 110 (67%) | 179 (99%) |
| Zeitdauer Überschreitung CQK [Tage [Zeitanteil der Untersuchungszeit]] | 14 (10%) | 168 (92%) | 70 (43%) | 140 (86%) | 168 (92%) |
| Zeitdauer Überschreitung 10*CQK [Tage [Zeitanteil der Untersuchungszeit]] | 0 (0%) | 28 (16%) | 14 (9%) | 56 (34%) | 56 (31%) |
| Stoffe mit Überschreitung CQK | 1 | 12 | 5 | 6 | 19 |
| Zeitdauer Überschreitung AQK [Tage [Zeitanteil der Untersuchungszeit]] | 0 (0%) | 41 (22%) | 9,5 (6%) | 68 (41%) | 43 (24%) |
| Stoffe mit Überschreitung AQK | 0 | 8 | 1 | 5 | 14 |

Tab. 3 Unterschiede in der stofflichen und ökotoxikologischen Belastung an den verschiedenen Standorten.

Differences des pollutions par des substances et écotoxicologiques dans les différents sites.

zu den drei Konzentrationsbestimmenden Substanzen. An den einzelnen Standorten waren es jeweils zwischen 21 und 27 Substanzen, die in den Top drei pro Probe vorkamen. Sowohl die absoluten Konzentrationen als auch der saisonale Verlauf variieren stark zwischen den Standorten. In allen fünf Gebieten waren die Konzentrationssummen aller Pflanzenschutzmittel Anfang März noch vergleichsweise tief. Bereits in der zweiten Märzhälfte traten jedoch an allen Standorten Konzentrationssummen von über 500 ng/l (0,5 µg/l) auf. Danach ist der Konzentrationsverlauf an allen Standorten sehr dynamisch, geprägt von grossen Konzentrationsschwankungen und kurzen, hohen Spitzenkonzentrationen. Sowohl das Niveau der Hintergrundkonzentration und der Konzentrationsspitzen als auch der Verlauf über die Saison sind jedoch unterschiedlich (man beachte die unterschiedlichen Skalen in Fig. 3). Die Konzentrationen an der Tsatonire zeigen einen klaren, langen Konzentrationspeak im Frühling (fast ausschliesslich durch Herbizide verursacht) und insgesamt sinkende Konzentrationen über den Sommer. In den anderen Gebieten ist keine eindeutige Saisonalität erkennbar, sie zeigen über den gesamten Frühling und Sommer immer wieder Konzentrationsspitzen. Ende August war die Konzentrationssumme ausser an der Tsatonire in allen Gebieten noch höher als Anfang März. Insbesondere am Weierbach und am Eschelischbach war die Belastung im August hoch, wobei die Hintergrundkonzentration im Eschelischbach über den Sommer sogar stetig anstieg. Dieser Anstieg ist hauptsächlich durch Fungizide verursacht. Dies belegt, dass die in früheren Studien übliche Beschränkung auf die Hauptapplikationszeit im Frühjahr und Frühsommer dazu führen kann, dass eine Phase mit hohen Konzentrationen nicht erfasst wird. Wie weit in den Herbst die Belastung anhält, lässt sich anhand der Daten nicht sagen, da ab September nicht mehr gemessen wurde.

GSchV WIRD NICHT EINGEHALTEN

In knapp 80% (193 von 249) der analysierten Proben überschritt mindestens eine Substanz die geltende Anforderung von 0,1 µg/l. In etwa einem Viertel der Proben überschritten diese sogar fünf oder mehr Substanzen, in einer Probe waren es gar 19 verschiedene PSM. Insgesamt verursachten 72 verschiedene PSM 753 Überschreitungen der numerischen Anforderung von 0,1 µg/l.

Die numerische Anforderung an die Gewässerqualität konnte in keinem der untersuchten Gewässer eingehalten werden. Die Zeitdauer, in der mindestens eine Substanz die 0,1 µg/l überschritt, betrug überall mehr als ein Drittel der Beprobungsdauer (63 Tage). In vier der fünf untersuchten Gebiete gab es gar Überschreitungen während mehr als der Hälfte der Zeit und im Weierbach und im Eschelischbach überschritt während fast der ganzen Beprobungsdauer mindestens ein PSM die Konzentration von 0,1 µg/l (Tab. 3).

QUALITÄTSKRITERIEN ÜBER LÄNGERE DAUER ÜBERSCHRITTEN

Insgesamt überschritten 32 einzelne PSM chronische oder akute ökotoxikologische Qualitätskriterien (CQK, AQK). Bei rund zwei Dritteln dieser Stoffe wurden beide Qualitätskriterien überschritten, neun überschritten nur das CQK und drei nur das AQK (Tab. 4). Bei der Anzahl Stoffen mit Überschreitungen dominieren die Herbizide mit 17 Stoffen vor den Insektiziden mit elf und den Fungiziden mit vier.

In allen Gebieten wurden chronische Qualitätskriterien durch mindestens einen Stoff überschritten, zum Teil während fast des gesamten Probenahmezeitraumes (Fig. 5). Die Zeitdauer der Überschreitungen und die Anzahl Stoffe mit Überschreitung war jedoch in den Gebieten sehr unterschiedlich (Tab. 3, Fig. 5). Die Zeitdauer mit Überschreitungen war im Canale Piano di Magadino am kürzesten, dort überschritt nur einmal ein Stoff während 14 Tagen das CQK. Am längsten wurden CQK im Weierbach überschritten, während 5,5 Monaten lag mindestens ein Stoff über dem CQK (Fig. 5). In drei von fünf Bächen (Weierbach, Eschelischbach, Tsatonire) fanden Überschreitungen während mehr als 4,5 Monaten statt. Im Maximum überschritten acht Stoffe in derselben Probe ihr CQK.

An den unterschiedlichen Messstellen führten verschiedene Stoffe zu Überschreitungen. So zeigten 19 von den 32 Stoffen nur an einem Gewässer Überschreitungen, dafür dort meist mehrmals (Tab. 4). Keiner der untersuchten Stoffe überschritt an mehr als drei Standorten sein Qualitätskriterium. Chlorpyrifos, Metazachlor, Nicosulfuron und Thialoprid zeigten an drei Stellen Überschreitungen. Diese vier Stoffe sind verantwortlich für mehr als 30% der total 113 CQK-Überschreitungen.

Die Beurteilung der Konzentrationen mittels akuter Qualitätskriterien zeigt in drei Gebieten eine hohe Belastung an. Inge-

| Substanzname | Rechtliche Aspekte ¹ | Wirkart | Max. RQ akut | AQK Zeitdauer Überschreitung (Tage) | Max. RQ chronisch | CQK Zeitdauer Überschreitung (Tage) | Anzahl Standorte mit Überschreitung (CQK oder AQK) | Detektionshäufigkeit % | Max. Messwert (ng/l) |
|---|---------------------------------|------------|--------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|--|------------------------|----------------------|
| a) Stoffe, die mindestens einmal ein chronisches oder akutes ökotoxikologisches Qualitätskriterium überschritten haben | | | | | | | | | |
| Metazachlor | P S | Herbizid | 4,3 | 8 | 35,2 | 168 | 3 | 43 | 1200 |
| Azoxystrobin | P S | Fungizid | 5,5 | 29 | 4,1 | 140 | 2 | 87 | 3000 |
| Thiacloprid | P B S | Insektizid | 10,8 | 20 | 24,7 | 126 | 3 | 29 | 860 |
| Chlorpyrifos | P B X S | Insektizid | 2,4 | 11 | 23,8 | 112 | 4 | 5 | 39 |
| Diuron | P B S | Herbizid | 12 | 60 | 18,2 | 99 | 2 | 45 | 3000 |
| Nicosulfuron | P S | Herbizid | 2,1 | 4 | 5,8 | 98 | 3 | 26 | 180 |
| Diflufenican | P | Herbizid | 10,7 | 8 | 6,9 | 70 | 1 | 14 | 480 |
| Fipronil | P* B TA | Insektizid | 1,7 | 7 | 14,7 | 70 | 2 | 5 | 24 |
| Methiocarb | P | Insektizid | 1,1 | 0,5 | 10,1 | 70 | 2 | 8 | 170 |
| Terbutylazine | P B X S | Herbizid | 2,7 | 6,5 | 4,5 | 70 | 1 | 77 | 3400 |
| Dimethoate | P S | Insektizid | 1,6 | 1 | 4,5 | 56 | 2 | 40 | 1600 |
| Linuron | P S | Herbizid | 2 | 1 | 2,9 | 56 | 2 | 71 | 2800 |
| MCPA | P S | Herbizid | 1,1 | 2,5 | 2 | 56 | 1 | 43 | 1600 |
| Chlorpyrifos-methyl | P B X S | Insektizid | 70 | 4,5 | 48,8 | 42 | 1 | 2 | 210 |
| Fenoxycarb | P B | Insektizid | 1 | 0 | 3 | 42 | 2 | 2 | 25 |
| Diazinon | P X B X S | Insektizid | 24,6 | 16 | 5,3 | 28 | 1 | 24 | 590 |
| Dimethenamid | P | Herbizid | 0,2 | 0 | 1,5 | 28 | 1 | 30 | 280 |
| MCPB | P | Herbizid | | 0 | 7,1 | 28 | 1 | 9 | 20 000 |
| Methomyl | P B X | Insektizid | 2 | 1 | 3,6 | 28 | 1 | 16 | 6000 |
| Metolachlor | P S | Herbizid | 1,5 | 9,5 | 3,8 | 28 | 1 | 67 | 5000 |
| Rimsulfuron | P | Herbizid | 0 | 0 | 2,1 | 28 | 1 | 1 | 26 |
| Spiroxamine | P | Fungizid | 11,5 | 8,5 | 2,3 | 28 | 1 | 9 | 600 |
| Thiamethoxam | P B S | Insektizid | 0,7 | 0 | 2,9 | 28 | 1 | 29 | 1000 |
| Carbendazim | P B S | Fungizid | 0,9 | 0 | 1 | 14 | 1 | 74 | 500 |
| Diflubenzuron | P B TA | Insektizid | 0,2 | 0 | 2,9 | 14 | 1 | 2 | 38 |
| Isoproturon | P B S | Herbizid | 16,7 | 0,5 | 2,5 | 14 | 1 | 27 | 40 000 |
| Mesosulfuron-methyl | P | Herbizid | 10 | 1,5 | 1,3 | 14 | 1 | 9 | 360 |
| Mesotrione | P | Herbizid | 0,5 | 0 | 1,3 | 14 | 1 | 12 | 400 |
| Propachlor | P X | Herbizid | 0,3 | 0 | 2,9 | 14 | 1 | 4 | 130 |
| Aclonifen | P | Herbizid | 12,5 | 0,5 | 0,5 | 0 | 1 | 2 | 1500 |
| Epoxiconazole | P S | Fungizid | 1 | 1 | 0,3 | 0 | 1 | 43 | 250 |
| Iodosulfuron-methyl | P | Herbizid | 1,3 | 0,5 | 0,2 | 0 | 1 | 3 | 110 |
| b) Stoffe, die nie über dem CQK oder dem AQK nachgewiesen wurden, aber zu den Top 10 der Höchstkonzentrierten gehören | | | | | | | | | |
| Napropamide | P S | Herbizid | 0,7 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 41 | 4900 |
| Ethofumesate | P S | Herbizid | 0,2 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 27 | 4400 |
| MCPP (Mecoprop) | P B ² S | Herbizid | 0 | 0 | 0,7 | 0 | 0 | 63 | 4000 |
| Fluopyram | P | Fungizid | 0,2 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 60 | 6000 |
| Metamitron | P | Herbizid | 0,25 | 0 | 0,6 | 0 | 0 | 46 | 10 000 |
| Propyzamide | P | Herbizid | 0,1 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 35 | 8000 |

¹ P = PSM nach PSMV [11] (P* = in keinem Produkt zugelassen), B = Biozid nach VBP [12], X = heute nicht mehr als solches zugelassen, TA = Tierarzneimittel nach Swissmedic, S = Schweiz-spezifischer Stoff nach Beurteilungskonzept

² Mecoprop wird auch in Bitumenbahnen als Materialschutz verwendet, ist aber offiziell kein Biozid.

Tab. 4 a) Liste aller Substanzen, die mindestens einmal ein chronisches oder akutes ökotoxikologisches Qualitätskriterium (CQK/AQK) überschritten haben, sortiert nach der Zeitdauer der chronischen Überschreitungen. b) Stoffe mit den 10 höchsten Konzentrationen.

Die Top 10 der jeweiligen Kategorien sind rot markiert.

a) Liste de toutes les substances qui ont dépassé au moins une fois un critère de qualité écotoxicologique chronique ou aigu (CQK/AQK), classées en fonction de la durée des dépassements chroniques. b) substances avec les 10 concentrations les plus élevées.

Les 10 plus élevées des catégories correspondantes sont marquées en rouge.

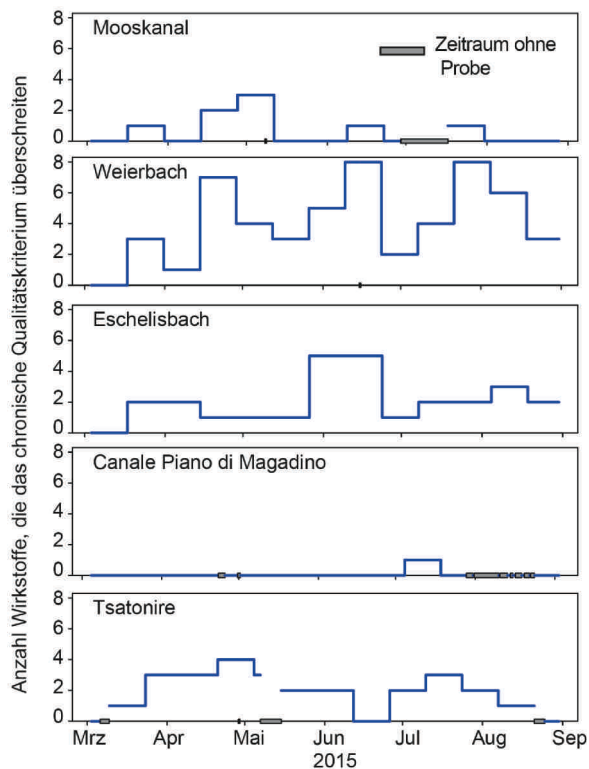


Fig. 5 Anzahl Stoffe, deren über 14 Tage gemittelte Konzentration über dem chronischen Qualitätskriterium lag.

Nombre de substances dont la concentration moyenne sur 14 jours s'est située au-dessus du critère de qualité chronique.

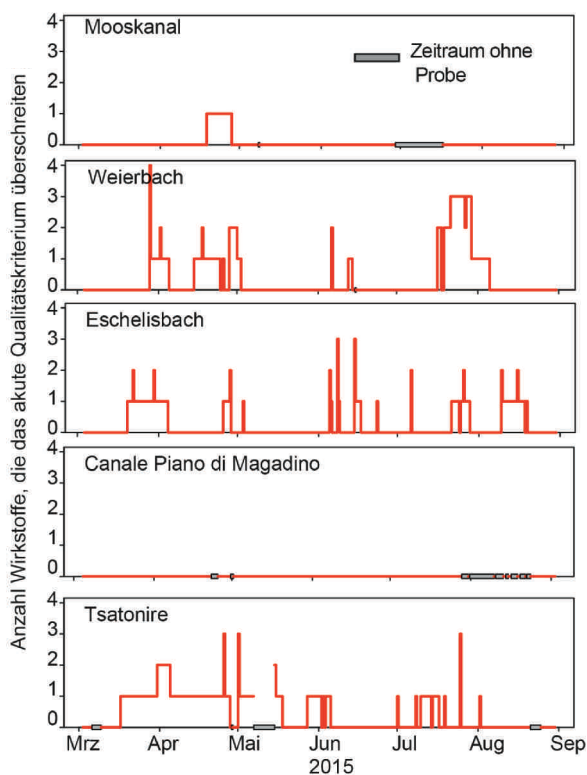


Fig. 6 Anzahl Stoffe über dem AQK im Zeitverlauf.

Nombre de substances dépassant le AQK sur la durée.

samt wurden für 23 Stoffe Konzentrationen oberhalb des akuten Qualitätskriteriums nachgewiesen und dies in vier von fünf Gebieten (Fig. 6, Tab. 4). Im Eschelisbach führten vor allem Insektizide zu Überschreitungen, in der Tsatonire Herbizide und im Weierbach PSM mit verschiedenen Wirkarten.

Die Zeitdauer mit Überschreitungen akuter QK ist zum Teil lang. So lag beispielsweise in der Tsatonire die Diuron-Konzentration an 60 Tagen (mit Unterbrechungen) sowie Azoxystrobin im Eschelisbach und im Weierbach an insgesamt 12 bzw. 16 Tagen oberhalb des AQK (Tab. 4). Am Weierbach überschritten bis zu vier Stoffe in derselben Probe ihr AQK, aber auch an der Tsatonire und am Eschelisbach gab es mehrere Proben, in denen drei Stoffe gleichzeitig ihr AQK überschritten (Fig. 6). Zudem zeigten neun Stoffe eine Konzentration, die um mindestens einen Faktor 10 höher lag als das AQK (Tab. 4).

Diese Vergleiche zwischen gemessenen Konzentrationen und den ökotoxikologischen Qualitätskriterien zeigen, dass negative Effekte auf aquatische Lebewesen nicht ausgeschlossen werden können, und dies teilweise während langen Zeitperioden. Damit ist auch davon auszugehen, dass in diesen Gewässern PSM die Fortpflanzung, Entwicklung und Gesundheit empfindlicher Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen während eines grossen Zeitraums beeinträchtigen. Eine vertiefte ökotoxikologische Einschätzung ist im Beitrag von Langer *et al.* (S. 58) zu finden. Beschränkt man sich in der Analyse auf jene 41 PSM-Wirkstoffe, die im Beurteilungskonzept für diffuse Einträge vorgeschlagen wurden [5], und für welche voraussichtlich zum grössten Teil ökotoxikologisch basierte numerische Anforderungen in den Anhang 2 der GSchV aufgenommen werden, erfasst man 72% der chronischen und 87% der akuten QK-Überschreitungen.

Von den 32 Stoffen, die QK überschritten, waren 2015 sieben auch als Biozid zugelassen (Tab. 4). Einträge aus Biozideinsatz in der Siedlung können für diese Stoffe demnach nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Aufgrund der Konzentrationsverläufe dieser Stoffe sind wir jedoch zum Schluss gekommen, dass bis auf Fipronil die Einträge mit grosser Wahrscheinlichkeit durch landwirtschaftliche Anwendungen zustande kamen (klare Saisonalität in den Konzentrationsverläufen). Auch Einträge aus PSM-Einsatz im Siedlungsgrün können aufgrund des Siedlungsanteils in den meisten Gebieten nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Allerdings ist die Gesamtbelastung im Gebiet mit dem höchsten Siedlungsanteil (Canale Piano di Magadino) am niedrigsten und im Eschelisbach, der keine Siedlung im Einzugsgebiet hat, ist die Gesamtbelastung hoch. Somit kann man davon ausgehen, dass PSM-Einsatz im Siedlungsgrün in den untersuchten Gebieten nicht relevant war für die Gesamtbelastung.

DISKUSSION

GESAMTBELASTUNG WEITERHIN UNTERSCHÄTZT

Die vorliegende Erfassung und Beurteilung der PSM-Belastung kleiner Fliessgewässer weist trotz eines sehr breiten analytischen Wirkungsspektrums und einer hohen zeitlichen Auflösung gewisse Lücken auf. Einzelne hochtoxische Insektizide wie die Pyrethroide lassen sich mit der verwendeten Methode nicht analysieren. Frühere Untersuchungen zeigten, dass das ermittelte Gesamtrisiko für die aquatischen Organismen deutlich höher liegt, wenn man diese Substanzen ebenfalls untersucht [13]. Auch Glyphosat, das bei Messungen häufig in hohen

Konzentrationen gefunden wird, würde eine zusätzliche Spezialanalytik benötigen. Allerdings fällt diese Substanz für die ökotoxikologische Beurteilung weniger ins Gewicht.

Weitere Gründe, weshalb das Risiko für Gewässerorganismen tatsächlich noch höher liegt als hier beschrieben, sind Konzentrationsspitzen, die durch die mehrtägigen Mischproben während Trockenwetterperioden ausgemittelt wurden. Zudem können Konzentrationen rasch abbaubarer Wirkstoffe bis zur Entnahme der Proben reduziert werden. Aber auch die Tatsache, dass nur bis Ende August Proben vorliegen und die Konzentrationssummen auch dann zum Teil noch unvermindert hoch lagen (z. B. Eschelisbach in *Fig. 3*), deutet darauf hin, dass man nicht die ganze belastete Zeitperiode erfasst hat. Schlussendlich haben auch zwei analytische Rahmenbedingungen einen Einfluss auf die Beurteilung. Erstens unterschätzt man die Belastung für gewisse Stoffe, die stark an Partikel sorbieren, da nur der gelöste Anteil in den Proben analysiert wurde. Zweitens lag für einige wenige Stoffe die analytische Bestimmungsgrenze in der Nähe der CQK oder höher, womit ein gewisser Anteil der Belastung nicht erfasst werden konnte.

UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN GEBIETEN UND ALLGEMEINE BEDEUTUNG DER ERGEBNISSE

Bei der Diskussion, welche Bedeutung diese Befunde für die Interpretation der Belastungssituation der Schweizer Fliessgewässer mit PSM haben, sind mehrere Aspekte zu beachten. Zum einen fallen grosse Unterschiede zwischen den untersuchten Gewässern auf. Dies gilt sowohl für die stoffliche Belastung als auch die ermittelten ökotoxikologischen Risiken. Die Standorte Eschelisbach, Tsatonire und Weierbach zeigen sehr hohe ökotoxikologische Risiken. An diesen drei Standorten wurden Überschreitungen des AQK während 1,5 bis über zwei Monaten nachgewiesen (*Tab. 3*). Im Mooskanal wurde demgegenüber nur eine Überschreitung des AQK nachgewiesen und im Canale Piano di Magadino keine. Auch die Konzentrationssummen sind an diesen beiden Standorten tiefer als in den anderen drei Gebieten. Auch zwischen anderen kleinen Einzugsgebieten in der Schweiz ist daher mit einer entsprechenden Variabilität zu rechnen.

Die Unterschiede in der Belastung lassen sich nicht alleine durch die Intensität und die Art der Landnutzung erklären. Das Einzugsgebiet des Mooskanals hat den höchsten Ackerlandanteil der fünf Gebiete (65%). Auch findet in diesem Gebiet Gemüseanbau statt, der typischerweise PSM-intensiv ist. Die Gewässerbelastung ist im Mooskanal aber deutlich tiefer als z. B. im Weierbach, der mit 52% einen tieferen Ackerlandanteil hat. Interessant ist, dass die beiden Gebiete mit der tiefsten Gewässerbelastung (Canale Piano di Magadino und Mooskanal) beide in Ebenen liegen. Die Topographie, also die Steilheit der Felder im Einzugsgebiet und damit auch der Anteil der Flächen, der potenziell einen Gewässeranschluss hat, könnte also ein wichtiger Einflussfaktor sein. Die deutlich geringeren Konzentrationen im Canale Piano di Magadino kommen aber wahrscheinlich auch aufgrund der weniger intensiven Landnutzung im Gebiet (*Tab. 1*) zustande.

Alles in allem weisen die teilweise hohen Belastungen darauf hin, dass erhebliche Teile des Fliessgewässernetzes zu stark mit PSM verunreinigt sein könnten. Bettet man zum Beispiel das Gebiet des Weierbachs rechnerisch in ein zehnmals grösseres Einzugsgebiet ohne weiteren PSM-Einsatz ein, ergibt dies, bei gleicher Abflussbildung von den anderen Flächen, eine Verdün-

nung um einen Faktor zehnfach. Damit würden die CQK noch immer über 56 Tage um das Zweifache überschritten (*Tab. 3*). Der entsprechende, zehnmals kleinere Ackerlandanteil wird für 40% der Fliessstrecke der Schweizer Gewässer überschritten. Diese Überlegung zeigt, dass die Ergebnisse durchaus für erhebliche Teile der Fliessgewässer relevant sein dürften und dass relativ kleine, hoch belastete Gebiete erhebliche Gewässerstrecken verunreinigen können.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse zeigen, dass Bäche in kleinen, landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten stark mit PSM belastet sein können. Die beobachteten Konzentrationen der 128 detektierten Wirkstoffe erreichen teilweise sehr hohe Werte von mehreren Mikrogramm pro Liter und sind je nach Gebiet über Wochen stark erhöht. Weder der aktuell geltende numerische Anforderungswert von 0,1 µg/l noch die zukünftig in der GSchV vorgesehenen ökotoxikologisch basierten Qualitätskriterien werden eingehalten, beides während bis zu rund 90% der Untersuchungsperiode. Die hohen beobachteten PSM-Konzentrationen gehen auf zahlreiche Substanzen zurück. Die kurze Fliessstrecke in den fünf Gebieten reicht aus, um fast die Hälfte aller zugelassenen organisch-synthetischen PSM nachzuweisen. Von dieser Vielfalt erreichen zahlreiche Wirkstoffe kritische Werte. Die beobachtete zeitliche Dynamik unterstreicht die grosse Bedeutung regengetriebener Einträge, zeigt aber auch, dass substantielle Einträge während Trockenperioden auftreten können.

Da kleine Fliessgewässer 75% unseres Fliessgewässernetzes ausmachen und PSM-intensive Landwirtschaft in vielen EZG eine grosse Bedeutung hat, sind die Befunde weit über die fünf Untersuchungsgebiete hinaus relevant. Somit können die PSM-Einträge in kleine Bäche über weite Fliessstrecken zu Überschreitungen der ökotoxikologisch basierten Qualitätskriterien führen und damit auch die Wasserqualität mittelgrosser Fliessgewässer beeinträchtigen. Die Ergebnisse unterstreichen damit die Bedeutung, die den kleinen Fliessgewässern für das Erreichen einer guten Wasserqualität zukommt.

Aufgrund der Resultate ist in mindestens drei der untersuchten Gebiete von einer Beeinträchtigung der empfindlichen Gewässerorganismen auszugehen. Zudem kann in einem grossen Teil unserer Fliessgewässer eine Beeinträchtigung durch PSM nicht ausgeschlossen werden. Eine ökotoxikologische Gesamtbeurteilung wird von *Langer et al.* (*S. 58*) vorgenommen. Aus unseren Befunden folgt, dass eine breit angelegte Palette an Massnah-

DANKSAGUNG

Die Autoren möchten den beteiligten Mitarbeitern der kantonalen Gewässerschutzlabore und Gewässerschutzfachstellen danken, insbesondere *Katrin Guthruf, Markus Zeh, Daniel Scheidegger* (Kt. Bern), *Heinz Ehmann* und *Margie D. Koster* (Kt. Thurgau), *Marin Huser, Nadine Konz, Thomas Amiet* (Kt. Basel-Landschaft), *Marc Bernard, Lise Boulicault, Gani Bilalowski* (Kt. Wallis), *Mauro Veronesi* und *Nicola Solcà* sowie deren Mitarbeiter (Kt. Tessin).

Ein grosser Dank an *Philipp Longrée* und *Birgit Beck* für die Unterstützung im Labor. Zudem möchten wir *Reto Murali, Christian Leu, Miriam Langer, Rik Eggen* sowie *Juliane Hollender* für ihre wertvollen Kommentare danken.

men zur Verminderung der PSM-Einträge benötigt wird.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Gälli, R. et al. (2015): Mikroverunreinigungen in Fliessgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Umwelt Zustand. Bern, BAFU
- [2] Wittmer, I. et al. (2014): Über 100 Pestizide in Fliessgewässern – Programm NAWA SPEZ zeigt die hohe Pestizidbelastung der schweizer Fliessgewässer auf. Aqua & Gas. 3
- [3] Munz, N.; Leu, C.; Wittmer, I. (2012): Pestizidmessungen in Fliessgewässern – Schweizweite Auswertung. Aqua & Gas. 11
- [4] Kunz, M. et al. (2016): Zustand der Schweizer Fliessgewässer – Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011–2014. Umweltwissen. BAFU. Bern
- [5] Wittmer, I.; Junghans, M.; Stamm, C.; Singer, H. (2014): Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag
- [6] Strahm, I. et al. (2013): Landnutzung entlang des Schweizer Gewässernetzes. Aqua & Gas 5
- [7] Leu, C. et al. (2004): Simultaneous assessment of sources, processes, and factors influencing herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment. Environmental Science & Technology. 38: 3827–3834
- [8] Huntscha, S. et al. (2012): Multiresidue analysis of 88 polar organic micropollutants in ground, surface and wastewater using online mixed-bed multilayer solid-phase extraction coupled to high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Journal of Chromatography A. 1268: 74–83
- [9] SR-814.201. (2016): Gewässerschutzverordnung, Schweiz. Nr. 814.201
- [10] European Commission (2011): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards
- [11] SR-916.20. (2010): Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV). Schweiz. Nr. 916.161
- [12] SR-813.12. (2005): Verordnung über das Inverkehrbringen von und den Umgang mit Biozidprodukten (Biozidprodukteverordnung, VBP), Schweiz.
- [13] Moschet, C. et al. (2014): Picogram per liter detections of pyrethroids and organophosphates in surface waters using passive sampling. Water Research. 66: 411–422
- [14] Doppler, T. et al. (2014): Critical source areas for herbicides can change location depending on rain events. Agriculture, Ecosystems & Environment. 192: 85–94

> SUITE DU RÉSUMÉ

échantillons, la concentration totale de l'ensemble des PPh s'élevait à plus de 1000 ng/l. 32 PPh différents dépassaient de manière chronique et/ou aiguë les critères de qualité écotoxicologiques (CQK, AQK). Les critères de qualité écotoxicologiques ont même été dépassés pendant environ 90% de la période d'analyse de 6 mois dans trois des régions analysées. Au vu des résultats, on doit conclure à une perturbation des organismes aquatiques fragiles dans au moins trois des régions étudiées. Étant donné que les petits cours d'eau constituent 75% du réseau hydrographique suisse et que l'agriculture recourant fortement aux PPh a beaucoup d'importance dans de nombreux bassins versants, les résultats sont pertinents bien au-delà des cinq régions d'analyse. Une estimation fondée sur la comparaison de l'utilisation des sols entre les régions analysées et l'ensemble de la Suisse montre que, dans une grande partie de nos cours d'eau, une dégradation par les PPh ne peut pas être exclue.

De grandes différences entre les régions observées sont apparues, aussi bien dans l'ampleur de la pollution que dans la gamme de substances. Les types de rejets sont aussi variés. On a observé aussi bien des apports entraînés par les précipitations que des apports pendant les périodes sèches. Ces résultats montrent qu'une large gamme de mesures s'avère nécessaire pour réduire les apports de PPh dans nos cours d'eau.

www.ramseyer.ch

Wir bekennen Farbe.

QUALITÄT
+ KOMPETENZ
= SICHERHEIT

Kälteanlagen
HLK-Anlagen
Energieanlagen
Produktionsanlagen
Gaseanlagen
Chemieanlagen
Pharma & Food

RAMSEYER
ANDRÉ RAMSEYER AG
INDUSTRIESTRASSE 32
CH-3175 FLAMATT
TEL. 031 744 00 00