



URSACHEN DER PESTIZID- VERUNREINIGUNG

MÖGLICHE QUELLEN UND EINTRAGSWEGE IN FLIESSGEWÄSSER EINGRENZEN

Anhand schweizweiter Pestizidmessdaten sowie Angaben zu Verkaufsmengen von Pflanzenschutzmitteln, Bioziden und Tierarzneimitteln zeigt dieser Artikel für die neun Pestizide mit den meisten Überschreitungen der ökotoxikologischen Qualitätskriterien auf, welches die relevanten Anwendungen und Eintragswege in Fließgewässer sind.

Sofia Barth, VSA-Plattform «Wasserqualität»

Tobias Doppler, VSA-Plattform «Wasserqualität»

RÉSUMÉ

CAUSES DE LA POLLUTION PAR LES PESTICIDES DANS LES COURS D'EAU

Certains pesticides sont utilisés comme produits phytosanitaires (PPh), biocides et/ou médicaments vétérinaires (MédV) et peuvent se retrouver dans les cours d'eau par différentes voies de contamination, par exemple, les stations d'épuration des eaux usées (STEP), le ruissellement provenant des champs, les zones de lavage de pulvérisateurs de PPh, etc. Sur la base des données disponibles, parfois incomplètes, sur les quantités de PPh, de biocides et de MédV vendues, ainsi que des données de mesure issues de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface pour les micropolluants, nous avons examiné, pour les neuf pesticides affichant le plus grand nombre de dépassements des critères de qualité écotoxicologiques, quelles étaient les utilisations et les voies d'apport les plus significatives pour la pollution des eaux. Les cinq herbicides utilisés exclusivement dans l'agriculture se retrouvent principalement dans les cours d'eau via les pluies, tandis que les apports via les STEP jouent globalement un rôle secondaire. De même, les quatre insecticides pyréthroïdes, autorisés pour de nombreuses applications différentes, semblent se retrouver principalement dans les cours d'eau via la pluie ainsi que via les STEP et d'autres voies. Dans le cas de la lambda-cyhalothrine, l'utilisation en tant que PPh est la principale cause de contamination des eaux, tandis que dans le cas de la perméthrine, ce sont les utilisations en tant que biocide exposées à la pluie qui sont au

EINLEITUNG

Viele Fließgewässer in der Schweiz sind mit Pestiziden belastet, die schädlich sind für Gewässerlebewesen. Der Begriff Pestizide umfasst dabei ein breites Spektrum an Wirkstoffen, die in verschiedenen Anwendungen zum Schutz von Pflanzen (Pflanzenschutzmittel) oder zum Schutz von Menschen und Materialien (Biozide) eingesetzt werden. Einige Pestizide mit insektizider Wirkung werden auch in Tierarzneimitteln (TAM) und Humanarzneimitteln (HAM) eingesetzt. Diese in TAM und HAM enthaltenen Insektizide gelten gesetzlich nicht als Pestizide, sind aber im Folgenden unter dem Begriff «Pestizide» mitgemeint (Gewässerschutzverordnung Anhang 2 Ziff. 11 Abs. 3). Während manche Pestizide beispielsweise nur als Pflanzenschutzmittel (PSM) zur Unkrautbekämpfung in der Landwirtschaft zugelassen sind, werden andere – vor allem Insektizide – vielfältig als PSM, Biozid und/oder TAM eingesetzt. Um die Gewässerbelastung mit diesen Pestiziden gezielt reduzieren zu können, ist es entscheidend zu wissen, aus welcher Anwendung die Pestizide stammen (Eintragsquelle) und wie sie in die Gewässer gelangen (Eintragswege). Obwohl zu Eintragsquellen und -wegen von Pestiziden seit langem geforscht wird und, insbesondere für landwirtschaftliche PSM-Anwendungen, auch bereits vieles bekannt ist [1–7], bestehen noch Wissenslücken. Herausfordernd ist die Eingrenzung von Eintragsquellen und

Kontakt: S. Barth, sofia.barth@vsa.ch

-wegen vor allem für jene Pestizide, die in mehreren Zulassungsbereichen (PSM, Biozide, TAM) eingesetzt werden. Jedoch sind auch die Anwendungsmöglichkeiten und Eintragswege innerhalb eines einzelnen Zulassungsbereichs vielfältig. So können PSM für verschiedene landwirtschaftliche Anwendungen beispielsweise im Feld- und Gemüsebau zugelassen sein, gleichzeitig werden gewisse Wirkstoffe auch im Garten- und Landschaftsbau, in Privatgärten oder in der Forstwirtschaft eingesetzt. Auch Biozide und TAM finden je nach Wirkstoff sowohl im Siedlungsraum (z. B. als Holzschutzmittel, Schädlingsbekämpfung in Gebäuden, Zecken- und Flohmittel bei Haustieren) als auch in der Landwirtschaft Anwendung (z. B. als

Schädlingsbekämpfung im Stall, Produkte zum Aufgiessen bei Nutztieren (*Pour-on*-Produkte). Zudem gibt es pro Anwendung meist mehrere mögliche Eintragswege in Gewässer (Fig. 1). Für in der Landwirtschaft angewendete PSM ist beispielsweise bekannt, dass sie einerseits über diffuse Eintragswege vom Feld (z. B. über Abschwemmung oder Drift) und andererseits auch über Punktquellen in Gewässer gelangen können (z. B. von Befüll- und Waschplätzen für PSM-Spritzgeräte) [1]. Auch Biozide und TAM gelangen je nach Anwendung über die Abwasserreinigungsanlage (ARA) oder über Regenwasserkanäle (z. B. Auswaschung von Fassadenbehandlungen) in Gewässer. Abschwemmung vom Feld ist ebenfalls möglich, etwa wenn Biozide oder TAM in der Nutztierhaltung verwendet werden und direkt vom Tier oder über die Gülle aufs Feld gelangen (Fig. 1) [1]. Ist ein Pestizid für mehrere Anwendungen zugelassen, sind detaillierte Informationen nötig, um die relevantesten Anwendungen und Eintragswege in Gewässer identifizieren zu können. Detaillierte Anwendungsdaten (was, wie viel, wo, wann und wofür eingesetzt) werden allerdings keine erhoben. Für PSM liegen aber seit 2008 die pro Jahr

gesamthaft in der Schweiz verkauften Wirkstoffmengen vor [8]. Darüber, wie viel Wirkstoffmenge pro PSM-Anwendungsbereich eingesetzt wird, sind aber lediglich Abschätzungen vorhanden [9, 10]. Diese sind aber gerade für die vielfältig eingesetzten Wirkstoffe sehr unsicher. Erfreulich ist, dass in diesem Jahr erstmals in Verkehr gebrachte Mengen für Biozidprodukte gemeldet werden mussten und somit für die betrachteten Wirkstoffe erste Auswertungen zu den Mengen gemacht werden konnten. Auch für ausgewählte TAM wurden dieses Jahr einmalig die Verkaufsmengen der letzten fünf Jahre bei den Inverkehrbringern angefragt. Damit wird die bisherige Datengrundlage zum Pestizideinsatz erheblich verbessert. Neben den Angaben zu den Wirkstoffmengen können auch Gewässerdaten wichtige Hinweise auf Eintragsquellen und -wege von Pestiziden liefern. Denn, je nachdem aus welcher Anwendung ein Pestizid stammt oder wie es eingetragen wird, treten unterschiedliche Konzentrationsdynamiken und Eintragsmuster in Gewässern auf (Fig. 1). Wichtige Unterscheidungsmerkmale sind: i) ob die Einträge über ARA erfolgen, ii) ob es sich um kontinuierliche, fluktuierende oder saisonale Einträge handelt oder iii) ob sie

VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

ARA	Abwasserreinigungsanlagen
CQK	Chronisches Qualitätskriterium
GSchG	Gewässerschutzgesetz
GSchV	Gewässerschutzverordnung
HAM	Humanarzneimittel
PSM	Pflanzenschutzmittel
RQ	Risikoquotient
TAM	Tierarzneimittel
VBP	Biozidprodukteverordnung

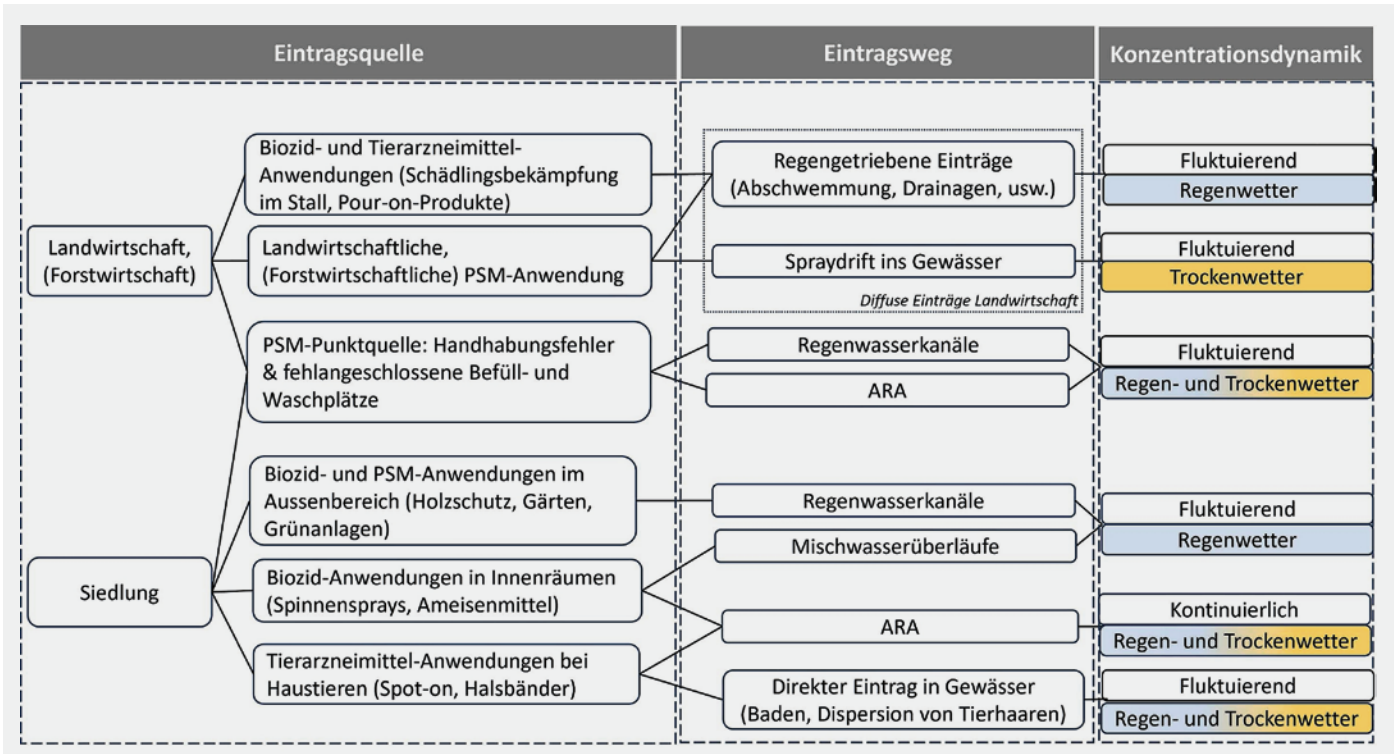


Fig. 1 Vereinfachte und nicht abschliessende Übersicht über ausgewählte Eintragsquellen und Eintragswege von Pestiziden (Pflanzenschutzmittel (PSM), Biozide) sowie von als Tierarzneimittel (TAM) verwendeten Insektiziden und der damit verbundenen Konzentrationsdynamik in Fließgewässern [1]. ARA: Abwasserreinigungsanlage

regengetrieben sind oder nicht. Die Rückschlüsse sind dabei selten eindeutig, da jeweils mehrere Kombinationen von Eintragsquelle und Eintragsweg zu gleichen oder ähnlichen Dynamiken in Gewässern führen können (Fig. 1). Trotzdem können mithilfe von Informationen über die zugelassenen Anwendungen und den verfügbaren Verkaufsmengen für PSM, Biozide und TAM gewisse Eintragsquellen und Eintragswege eingegrenzt oder ausgeschlossen werden.

Dieser Artikel geht deshalb der Frage nach, welche Informationen mit den zur Verfügung stehenden Verkaufsmengen und den im Rahmen der Beobachtung Oberflächengewässerqualität für Mikroverunreinigungen (NAWA Trend MV) erhobenen schweizweiten Fliessgewässerdaten über die Eintragsquellen und Eintragswege von Pestiziden gewonnen werden können. Präsentiert werden die Auswertungen der Gewässerdaten für neun der zehn Pestizide, die 2022 und 2023 zu den meisten Überschreitungen der ökologischen Qualitätskriterien (QK) geführt haben und in diesen Jahren noch für mindestens eine Anwendung zugelassen waren (Tab. 1). Dazu gehören einerseits fünf Herbizide (Nicosulfuron, Foramsulfuron, Metribuzin, Diflufenican, Flufenacet) sowie vier Pyrethroid-Insektizide (Permethrin, Cypermethrin, Deltamethrin, Lambda-Cyhalothrin). Die Auswertungen zu Fipronil, dem Pestizid mit den meisten QK-Überschreitungen von 2022 bis 2023, werden in einem separaten Artikel in diesem Heft präsentiert (s. Artikel S. 88).

DATENGRUNDLAGE

MONITORINGDATEN

Für die Analyse wurden die Daten der Jahre 2019 bis 2023 von NAWA Trend MV verwendet. Der Datensatz umfasst 38 Messstandorte, an denen die Pestizidbelastung das ganze Jahr über lückenlos mittels kontinuierlicher, zeitproportionaler 2-Wochen-Mischproben erfasst wurde. An 16 dieser Standorte werden ausserdem jeweils zwischen April und Juli 3,5-Tages-Mischproben entnommen. Pyrethroid-Insektizide werden an 24 Standorten während den Monaten März bis Oktober gemessen. Zur Ermittlung der Gewässerbelastung werden die Messwerte in 2-Wochen-Mischproben mit den vom Oekotoxzentrum hergeleiteten chronischen Qualitätskriterien (CQK) verglichen [11], wobei der Quo-

tient aus Messwert und CQK das Risiko darstellt (Risikoquotient RQ) [12]. Ein $RQ > 1$ bedeutet, dass eine Überschreitung des CQK vorliegt und ein Risiko für Wasserlebewesen besteht. Für die hochtoxischen Pyrethroid-Insektizide können bereits Konzentrationen im Bereich von Nano- bis Pikogramm pro Liter zu einer Schädigung von Gewässerlebewesen führen. Die Messung in diesen Konzentrationsbereichen ist herausfordernd und erfordert eine hochsensitive Analytik [13]. In gewissen Fällen ist aber auch diese Analytik nicht ausreichend empfindlich, weshalb die effektive Gewässerbelastung für Pyrethroide nicht immer vollständig erfasst werden kann. Dies führt nicht nur dazu, dass die Risiken für Wasserlebewesen tendenziell unterschätzt werden, sondern kann auch ein unvollständiges oder verzerrtes Bild der Eintragsdynamik vermitteln.

Während NAWA Trend MV darauf ausgelegt ist, die Gewässerbelastung durch Pestizide und andere Mikroverunreinigungen der Schweizer Fliessgewässer zu erfassen, ist es nicht auf die Identifizierung von Eintragsquellen und Eintragswegen ausgerichtet. Dies unter anderem, weil mit 2-Wochen-Mischproben die Konzentrationsdynamiken nur sehr grob erfasst werden. Aufgrund der Vielfalt an untersuchten Fliessgewässern und der mehrjährigen Datenreihe können aber trotzdem wertvolle Informationen zu Quellen und Eintragswegen gewonnen werden.

VERKAUFSMENGEN

Die Verkaufsmengen von PSM-Wirkstoffen werden jährlich vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) publiziert [8]. Für die folgenden Auswertungen wurden die Verkaufsmengen von 2022 und 2023 herangezogen.

Für Biozidprodukte wurden basierend auf Art. 30c der Biozidprodukteverordnung (VBP) erstmals Zahlen zu den in Verkehr gebrachten Mengen für das Jahr 2024 gemeldet. Im Sommer 2025 lagen hierzu erste Daten zu Biozid-Wirkstoffen vor (ausgewertet durch das Bundesamt für Umwelt) [14]. Diese basieren auf den Meldungen, die bis zum Juni 2025 von den Inverkehrbringern eingegangen sind. Da die Umsetzung der neuen gesetzlichen Vorgabe erst am Anfang steht, umfassen die Meldungen für das Jahr 2024 nicht alle zugelassenen Biozidprodukte. Sie stellen daher nur eine grobe Grös-

senordnung der Mengen dar und dienen der Einordnung und dem Vergleich mit PSM- oder TAM-Verkaufsmengen. Für die Auswertungen wurden die gemeldeten in Verkehr gebrachten Mengen von 2024 verwendet, da keine Daten zu den früheren Jahren verfügbar sind.

Für TAM wurden im ersten Halbjahr 2025 spezifisch Verkaufsmengen für ausgewählte, als TAM äusserlich verwendete Insektizide für die Jahre 2020–2024 erhoben [15]. Für die Auswertungen wurden die Jahre 2022 und 2023 betrachtet.

AUSWERTUNGEN

ZUGELASSENE ANWENDUNGEN

Zur Eingrenzung der Eintragsquelle wurden alle verfügbaren Informationen über die verschiedenen zugelassenen Anwendungen der Pestizide gesammelt und zusammengestellt (Tab. 1). Die fünf Herbizide (Nicosulfuron, Foramsulfuron, Flufenacet, Metribuzin, Diflufenican) sind, mit Ausnahme von Diflufenican, nur für die berufliche Anwendung als PSM in landwirtschaftlichen Kulturen zugelassen. Diflufenican darf zudem auf Sport- und Zierrasen eingesetzt werden, wobei die dort eingesetzten Mengen gemäss Schätzungen von Lutz *et al.* [9] und Spycher *et al.* [10] sehr gering sind. Metribuzin und Flufenacet waren in den betrachteten Untersuchungsjahren (2019–2023) noch als PSM zugelassen, die Zulassung wurde aber in der Zwischenzeit zurückgezogen (Ausverkaufsfrist 1. Januar 2026) [18].

Die vier Pyrethroid-Insektizide sind dagegen für vielfältige Anwendungen zugelassen (Tab. 1):

Als einziges der neun Pestizide wird Permethrin nicht als PSM eingesetzt. Für 2024 wurden 1500–2000 kg Permethrin als in Verkehr gebrachte Menge in Biozidprodukten gemeldet. Ein grosser Anteil davon entfällt auf *Pour-on*-Produkte für Nutz- und Weidetiere. Diese waren im Untersuchungszeitraum 2019–2023 als Biozid zugelassen, fallen seit 2019 aber unter die Heilmittelgesetzgebung und müssten neu als TAM zugelassen werden [17]. Ausserdem ist Permethrin als HAM sowie als TAM für Hunde zugelassen. Die Verkaufsmengen von Permethrin als TAM bei Hunden sind aber rund zehnmal tiefer als die als Biozid.

Auch Deltamethrin wird als TAM bei Hunden (nur Halsbänder) und Nutztieren eingesetzt, wobei hier auch die *Pour-on*-

	Pflanzenschutzmittel			Biozid		Tierarzneimittel		Human- arzneimittel
	Verkaufs- menge (2022/2023) ¹	Landwirtschaft ²	Nicht-Landwirtschaft ²	Gemeldete Verkaufs- menge (2024) ³	Produktart (PA) (8/18) ⁴	Produkte ⁵	Verkaufs- menge (2022/2023) ⁶	
Nicosulfuron	600/10 kg	^{7a} Mais						
Foramsulfuron	1390/2470 kg	Mais, Zuckerrüben						
Flufenacet	10 870/ 7400 kg	Mais, Kartoffeln, Getreide, weitere						
Metribuzin	5170/3380 kg	Kartoffeln, Karotte, Getreide, weitere						
Diflufenican	5260/4530 kg	Getreide	Zier- und Sportrasen, nicht-berufliche An- wendung					
Permethrin				1500–2000 kg	PA 8 – Holzschutz- mittel PA 18 – Mittel gegen Arthropoden ⁸ (u. a. für Einsatz im Stall oder zum Aufgiessen [Pour-on] bei Nutztieren) ⁹	Spot-on- Produkte für Hunde	165/151 kg	Salben gegen Krätze
Deltamethrin	110/120 kg	^{7b} Raps, Gemüse, Zuckerrüben, weitere	Zierpflanzen Lager- und Produktionsräume	10–20 kg	PA 18 – Mittel gegen Arthropoden ⁸ (keine für Einsatz im Stall)	Wirkstoff- haltige Hundehals- bänder Pour-on- Produkte für Nutztiere	33/32 kg 43/40 kg	
Cypermethrin	330/200 kg	^{7b} Raps, Gemüse, Zuckerrüben, weitere	Wald (Holzpolter) Zierpflanzen Nicht-berufliche An- wendung	300–500 kg	PA 8 – Holzschutz- mittel PA 18 – Mittel gegen Arthropoden ⁸ (u. a. für Einsatz im Stall)			
Lambda- Cyhalothrin	870/1330 kg	^{7b} Raps, Gemüse, Zuckerrüben, weitere	Zierpflanzen Nicht-berufliche An- wendung	0,001–0,005 kg	PA 18 – Mittel gegen Arthropoden ⁸ (keine für Einsatz im Stall)			

¹ Bundesamt für Landwirtschaft [8]
² PSM-Verzeichnis, [9, 10, 16]
³ Die Verkaufsmengen wurden aufgrund der für das Jahr 2024 gemeldeten in Verkehr gebrachten Mengen an Biozidprodukten berechnet und umfassen nicht alle zugelassenen Biozidprodukte [Art. 30c, Biozidprodukteverordnung (VBPI)] 14]
⁴ RPC-Verzeichnis [17]
⁵ Tierarzneimittelkompendium der Schweiz [18]
⁶ Swissmedic [15]
^{7a–b} Wirkstoff darf seit 2023 im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) nur (a) mit Sonderbewilligung (b) oder im Gemüsebau auch ohne Sonderbewilligung eingesetzt werden [Anhang 6.1, Direktzahlungsverordnung (DZV)].
⁸ Vollständige Bezeichnung: Produktart 18 – Insektizide, Akarizide und Produkte gegen andere Arthropoden
⁹ Permethrin-haltige Produkte zum Aufgiessen für Nutztiere (Pour-on-Produkte) fallen seit 2019 unter die Heilmittelgesetzgebung, waren bisher aber noch als Biozid zugelassen [19]

Tab. 1 Übersicht über die zugelassenen Anwendungen der neun Pestizide 2019–2023, sowie über die vorhandenen Verkaufsmengen.

Produkte für Nutztiere als TAM zugelassen sind (und nicht als Biozide wie bei Permethrin). Die verkauften Wirkstoffmengen als TAM für die Jahre 2022 und 2023 betrug für Nutztiere und Heimtiere je etwa 30–40 kg pro Jahr. Als Biozid wird Deltamethrin in Mitteln gegen Arthropoden eingesetzt, von denen keines einen offensichtlichen Bezug zur Nutztierhaltung hat. Die gemeldeten Mengen von Deltamethrin als Biozid sind eher tief (10–20 kg im Jahr 2024). Der grösste Teil der eingesetzten Deltamethrin-Menge entfällt auf die Anwendung als PSM (110 bzw. 120 kg),

wobei diese sowohl in landwirtschaftlichen Kulturen (z.B. Gemüsebau, Raps, Zuckerrüben) als auch in nicht-landwirtschaftlichen Bereichen (z.B. Zierpflanzen) eingesetzt werden. Der Einsatz von Cypermethrin als PSM ist in den letzten Jahren zurückgegangen und liegt nun bei 330 bzw. 200 kg pro Jahr. Mengenmässig am wichtigsten sind wahrscheinlich Anwendungen auf Holzpoltern im Wald, im Gemüsebau, und im Feldbau (Raps und Zuckerrüben) [9, 10]. Für Cypermethrin wurden für das Jahr 2024 ähnlich hohe Biozid-Mengen (300–

500 kg) gemeldet. Als TAM ist Cypermethrin nicht zugelassen. Lambda-Cyhalothrin ist das Pyrethroid mit den weitaus höchsten Verkaufsmengen als PSM für die Jahre 2022–2023 (870 bzw. 1330 kg pro Jahr). Nebst landwirtschaftlichen PSM-Anwendungen (z.B. Gemüsebau, Raps, Zuckerrüben) wird es auch im nicht-landwirtschaftlichen Bereich (z.B. Zierpflanzen) eingesetzt. Als Biozid ist Lambda-Cyhalothrin als Mittel gegen Ameisen und Spinnen zugelassen, allerdings ist die gemeldete Wirkstoffmenge (1–10 g im Jahr 2024) vernachläss-

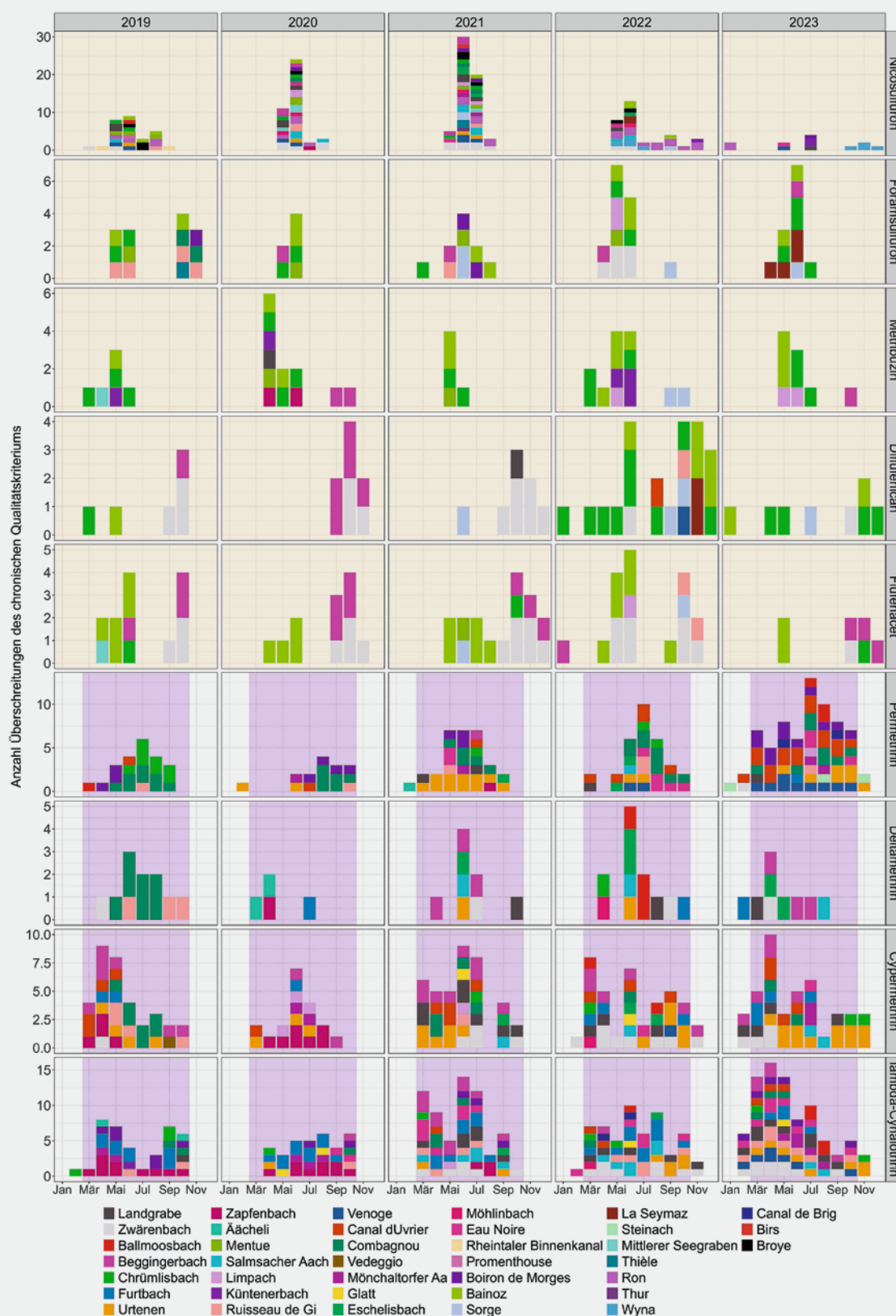


Fig. 2 Zeitpunkt der Überschreitungen des chronischen Qualitätskriteriums (CQK) in 2-Wochen-Mischproben pro Monat und Jahr. Die Überschreitung wurde dem Monat zugeordnet, in dem die Probenahme begonnen wurde.

Die Hintergrundfarbe zeigt Wirkstoffgruppe und Messperiode an. Gelb: Herbizide (ganzjährige Messung); Violett: Pyrethroid-Insektizide (Messung von März-Oktober, für einige Gewässer liegen auch vereinzelte Messdaten ausserhalb der Messperiode vor). Die Farben der Balken zeigen die Standorte, an denen die Überschreitungen auftraten.

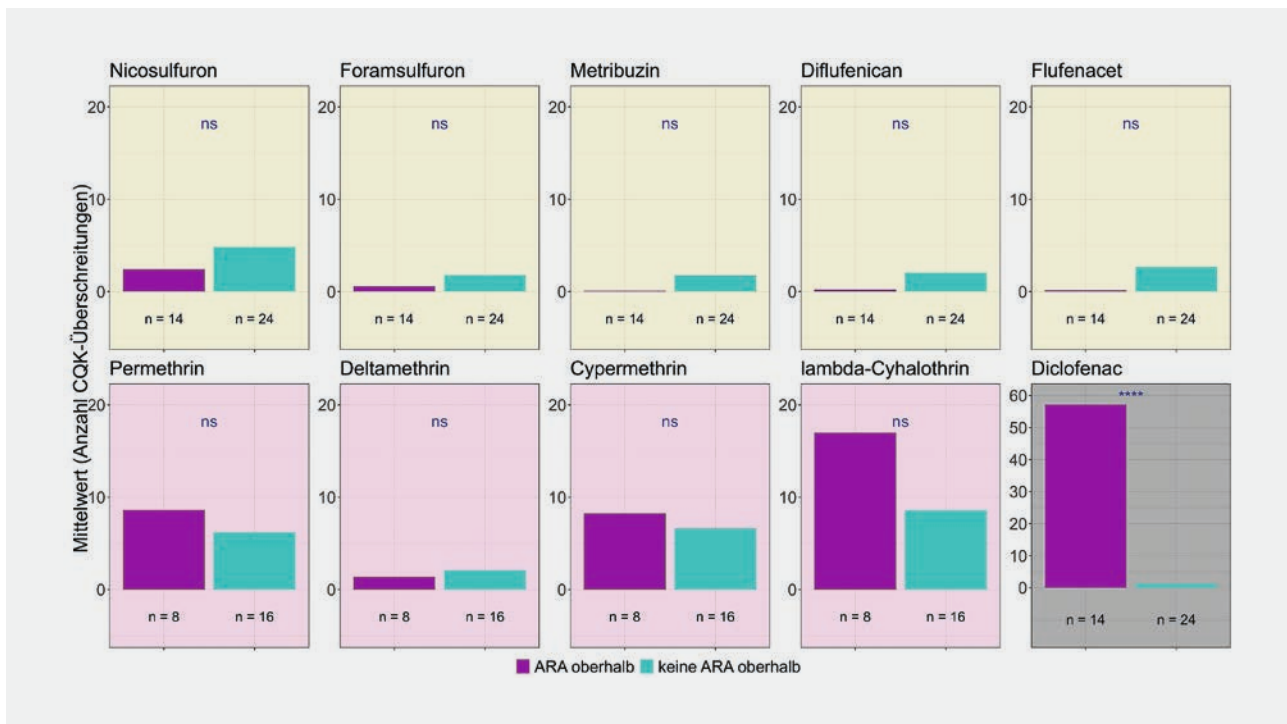


Fig. 3 Mittlere Anzahl Überschreitungen des chronischen Qualitätskriteriums (CQK) in Gewässern mit und ohne gereinigtes Abwasser aus Abwasserreinigungsanlagen (ARA) pro Standort über fünf Jahre (2019–2023).

n: Anzahl Gewässer. Hintergrundfarbe: gelb = Herbizide, violett = Pyrethroid-Insektizide, grau = Beispiel Arzneimittel. Die Signifikanz wurde mit einem Permutationstest ermittelt (Anzahl Permutationen = 50 000). ns: nicht signifikant auf einem 5%-Signifikanzniveau;

(****): P-Wert < 0,0001.

sigbar klein. Als TAM ist Lambda-Cyhalothrin nicht zugelassen.

ZEITPUNKT DER ÜBERSCHREITUNGEN

Um saisonale Eintragsmuster zu erkennen, wurde betrachtet, in welchen Monaten die Überschreitungen des CQK in Fließgewässern nachgewiesen werden (Fig. 2). Bei den ausschliesslich als PSM zugelassenen Herbiziden ist eine klare Saisonalität erkennbar, die mit den Applikationszeiträumen der landwirtschaftlichen Kulturen zusammenhängt. Besonders sichtbar ist dieses Muster bei den Wintergetreide-Herbiziden, bei denen sich die Überschreitungen im Herbst klar abheben (Metribuzin, Flufenacet, Diflufenican). Bei den Pyrethroid-Insektiziden ist hingegen gesamthaft keine eindeutige Saisonalität erkennbar. Die Überschreitungen treten in zahlreichen Gewässern und verteilt über die gesamte Messperiode auf (Fig. 2). Das passt zu den vielfältigen Anwendungsbereichen, deren Anwendungszeiträume sich überlappen und sich über den ganzen Messzeitraum erstrecken (s. Tab. 1).

EINFLUSS VON ARA

Um die Wichtigkeit von ARA als Eintragsweg abzuschätzen, wurde ausgewertet,

ob sich die Anzahl Überschreitungen in Gewässern, die gereinigtes Abwasser aus einer ARA enthalten (Gewässer mit ARA) und in Gewässern, die kein gereinigtes Abwasser enthalten (Gewässer ohne ARA) unterscheidet. Wenn Überschreitungen in Gewässern ohne ARA auftreten, muss es andere Eintragswege als die ARA geben. Umgekehrt bedeuten Überschreitungen in Gewässern mit ARA im Einzelnen nicht, dass der Eintrag über die ARA erfolgt ist. Gibt es allerdings über alle Gewässer hinweg signifikant mehr Überschreitungen in Gewässern mit ARA, deutet das darauf hin, dass ARA einen relevanten Eintragsweg darstellen. So führen Wirkstoffe, die über häusliches Abwasser in Fließgewässer gelangen fast nur in Gewässern mit ARA zu Überschreitungen. Dies ist in Figur 3 beispielhaft für das Arzneimittel Diclofenac dargestellt. Bei Pestiziden, die über die ARA eingetragen werden, ist die Zuordnung zur Eintragsquelle jedoch meist nicht eindeutig, da sie aus verschiedenen Anwendungen stammen können – unter anderem auch aus landwirtschaftlichen PSM-Anwendungen über fehlangeschlossene Befüll- und Waschplätze (Fig. 1).

Wie Figur 3 zeigt, unterscheiden sich alle neun untersuchten Wirkstoffe von

Wirkstoffen wie Diclofenac, die fast ausschliesslich über die ARA eingetragen werden. Es muss also in allen Fällen andere Eintragswege als die ARA geben. Zwischen den Herbiziden und den Pyrethroid-Insektiziden gibt es aber dennoch Unterschiede. Für Herbizide scheinen Einträge via ARA kaum relevant zu sein, da im Mittel mehr Überschreitungen in Gewässern ohne ARA nachgewiesen werden. Allerdings sind die Unterschiede nicht signifikant. In jenen Gewässern mit ARA, in denen es zu Überschreitungen kommt, kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass Einträge über die ARA stattfinden. Bei den Pyrethroid-Insektiziden gibt es im Mittel ähnlich viele Überschreitungen in Gewässern mit ARA wie in Gewässern ohne ARA, so dass wahrscheinlich sowohl Einträge über die ARA als auch Einträge, die nicht über die ARA erfolgen, eine Rolle spielen.

TYPISIERUNG DER EINTRAGSEREIGNISSE

Diese Analyse hatte zum Ziel herauszufinden, ob die Eintragswege der Pestizide regengetrieben oder regenunabhängig sind oder bei Trockenwetter stattfinden (Fig. 1). Für diese Analyse wurden die 3,5-Tages-Mischproben verwendet,

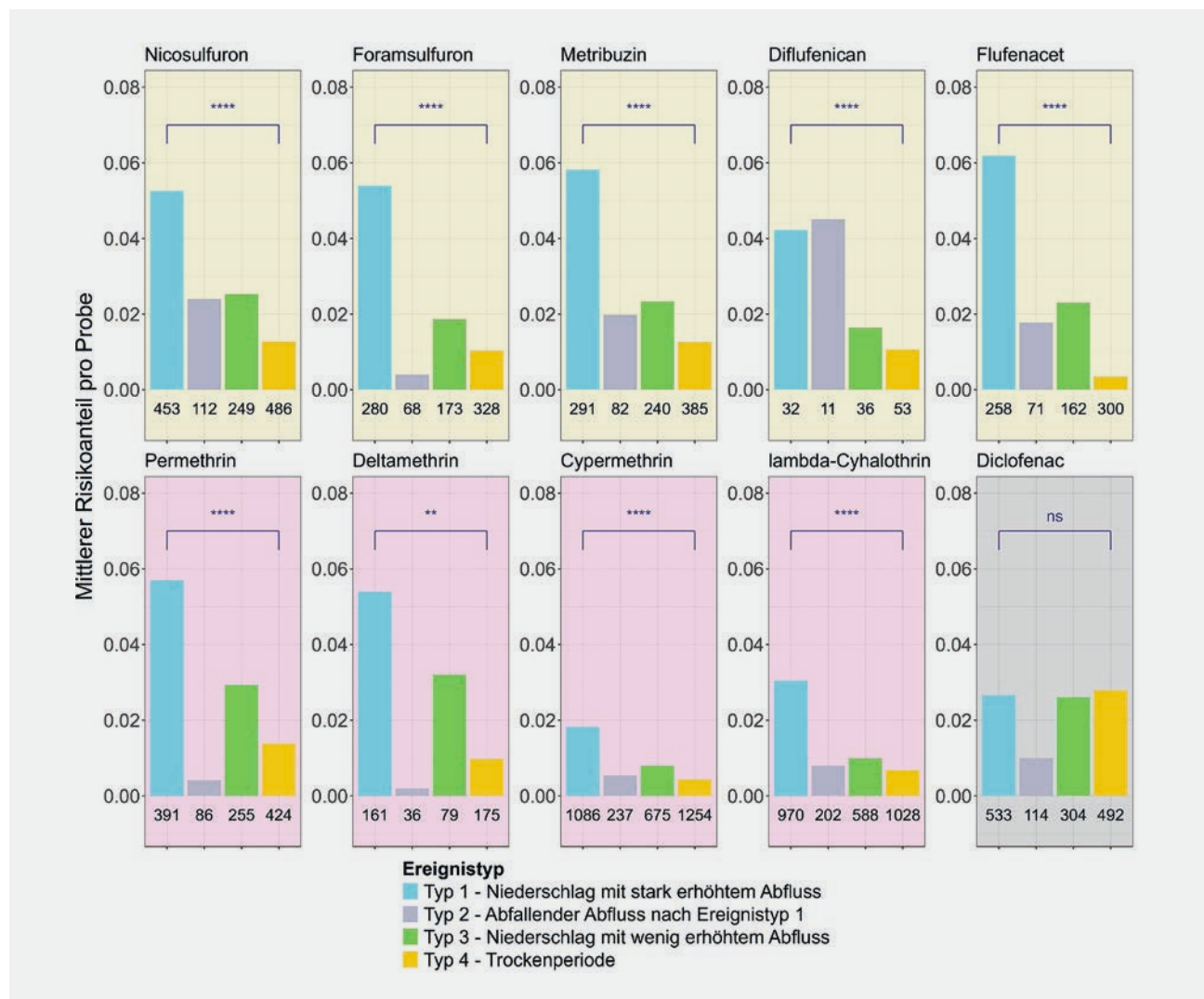


Fig. 4 Mittlerer Risikoanteil pro Probe am jährlichen Gesamtrisiko für die Ereignistypen 1-4. Messdaten 2019-2023.

Zahl unter Balken: Anzahl Proben pro Ereignistyp. Die Signifikanz wurde mit einem Permutationstest ermittelt. ns: nicht signifikant auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$; (*): P-Wert $< 0,01$; (****): P-Wert $< 0,0001$

die während der Monate April bis Juli entnommen wurden. Dafür wurden die einzelnen Proben anhand des Abflusses und des Niederschlags im Probeentnahmezeitraum in verschiedene Kategorien eingeteilt (Ereignistypen) [20, 21]. Unterschieden werden vier Ereignistypen:

- Typ 1: Niederschlagsereignis mit stark erhöhtem Abfluss
- Typ 2: Abfallender Abfluss nach Niederschlagsereignis von Typ 1
- Typ 3: Niederschlagsereignis mit wenig erhöhtem Abfluss
- Typ 4: Trockenperiode (kein Niederschlag)

Mit den so kategorisierten Proben wird anschliessend für jedes Pestizid und jeden Ereignistyp berechnet, wie viel eine einzelne Probe durchschnittlich zum Risiko in einem Gewässer beiträgt (mittlerer Risikoanteil pro Probe). Dafür werden

die folgenden zwei Rechnungsschritte durchgeführt:

1. Risikoanteil pro Probe = Risiko pro Probe/Gesamtrisiko pro Jahr und Gewässer
2. Mittlerer Risikoanteil pro Probe = Mittelwert der Risikoanteile aller Proben eines Ereignistyps

Ist der mittlere Risikoanteil pro Probe während Regenereignissen (Typ 1-3) signifikant höher als während Trockenperioden (Typ 4), kann eine regen- und abflussgetriebene Eintragsdynamik angenommen werden (Fig. 1). Unterscheiden sich die mittleren Risikoanteile pro Probe zwischen den Ereignistypen hingegen nicht signifikant, haben Regen und Abfluss insgesamt keinen starken Einfluss auf die Wirkeinträge. Es handelt sich dann um regenunabhängige Einträge, die sowohl bei Regen- wie auch bei Trocken-

wetter stattfinden. Dies ist zum Beispiel bei Wirkstoffen der Fall, die kontinuierlich über die ARA eingetragen werden, wie es in Fig. 4 am Beispiel von Diclofenac zu sehen ist.

In Fig. 4 ist für alle neun Pestizide ersichtlich, dass der mittlere Risikoanteil pro Probe während Regenereignissen mit stark erhöhtem Abfluss (Typ 1) im Schnitt signifikant höher ist als während Trockenperioden (Typ 4) (Fig. 4). Über alle Jahre und Gewässer hinweg dominieren also regen- und abflussgetriebene Eintragswege das Gewässerrisiko. Die betrachteten Pestizide unterscheiden sich damit auch in dieser Hinsicht von Wirkstoffen wie Diclofenac, die kontinuierlich über ARA ins Gewässer gelangen (Fig. 4). Wichtig ist, dass es sich dabei um einen Trend über alle Gewässer hinweg handelt, die Variabilität zwischen Jahren und Gewässern aber hoch ist. Die Eintragsdynamik

mik in einzelnen Gewässern und Jahren kann also von der Eintragsdynamik über alle Gewässer hinweg abweichen und in Einzelfällen können beispielsweise auch regenunabhängige Einträge wichtig sein. Das passt auch mit den Ergebnissen der NAWA-Spez-Messkampagne zusammen, in der belegt werden konnte, dass Wirkstoffe an unterschiedlichen Standorten über verschiedene Eintragswege in Gewässer gelangen (s. Artikel zu NAWA Spez S. 70 diese Ausgabe).

DISKUSSION

Die Auswertungen der Gewässerdaten sind im Kontext des jeweiligen Zulassungsstatus für die einzelnen Pestizide zu interpretieren. Weil die untersuchten Herbizide fast nur für Anwendungen in der Landwirtschaft zugelassen sind (Tab. 1), ist klar, dass PSM-Anwendungen in landwirtschaftlichen Kulturen die Eintragsquellen sind. Die Resultate zeigen, dass Einträge über ARA für das Gewässerrisiko eine untergeordnete Rolle spielen. Ausserdem zeigen sie, dass regengetriebene Einträge an den meisten Standorten und in den meisten Jahren für das Gewässerrisiko besonders relevant sind. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass die Eintragsdynamiken je nach Gewässer, Jahr und Wirkstoff variabel sind und in einzelnen Gewässern auch andere Eintragswege, wie regenunabhängige Einträge über fehlangeschlossene Befüll- und Waschplätze, eine wichtige Rolle spielen können. Auch für Lambda-Cyhalothrin ist aufgrund der Verkaufsmengen klar, dass

PSM-Anwendungen die Eintragsquelle sind. Die regengetriebenen Einträge, insbesondere in kleinen Gewässern ohne ARA im ländlichen Raum, deuten zudem auf diffuse Einträge aus der Landwirtschaft hin. Im Gegensatz zu den Herbiziden scheinen im Fall von Lambda-Cyhalothrin auch Einträge über die ARA nicht vernachlässigbar zu sein, die beispielsweise aus fehlangeschlossenen Befüll- und Waschplätzen stammen können. Das bestätigen auch die Resultate aus der NAWA-Spez-Messkampagne 2023 (s. Artikel zu NAWA Spez S. 70 diese Ausgabe). Für Permethrin zeigen die Ergebnisse, dass Überschreitungen häufig in Gewässern ohne ARA vorkommen, und dass gesamthaft eine fluktuierende, regengetriebene Eintragsdynamik vorliegt. Das spricht gegen Einträge aus TAM-Anwendungen bei Hunden, da dort keine regengetriebene Eintragsdynamik erwartet wird (vgl. Fig. 1 Artikel Fipronil, S. 90 diese Ausgabe). Hingegen gibt es verschiedene Anwendungen von Permethrin als Biozid im Aussenbereich, die mit dem Regen in Gewässer gelangen könnten, wie Holzschutzmittel, mit der Gülle ausgebrachte Schädlingsbekämpfung für den Stall, *Pour-on*-Produkte für Nutztiere und andere Anwendungen im Aussenbereich (Fig. 1). Dafür, dass solche Biozid-Anwendungen im Aussenbereich relevant sind für die Gewässerbelastung mit Permethrin, sprechen auch die Verkaufsmengen. Die gemeldeten Mengen sind für Biozide mit 1500–2000 kg mehr als zehnmal höher als die Verkaufsmengen von TAM bei Hunden. Besonders auffallend sind die *Pour-on*-Produkte für Nutz- und Weidetiere, auf die ein relevanter Anteil der gemeldeten Permethrin-Menge in Bioziden entfällt.

Bei Cypermethrin und Deltamethrin ist die Eingrenzung schwieriger. Die regengetriebenen Einträge weisen auch hier auf Anwendungen im Aussenbereich hin. Nebst Anwendungen als PSM, für die beide in relevanten Mengen eingesetzt werden, kommen sowohl aufgrund der Gewässerdaten wie auch aufgrund der Verkaufsmengen auch gewisse Anwendungen als Biozid (Cypermethrin) und TAM (Deltamethrin) als Quelle in Frage. Mögliche regen-exponierte Anwendungen von Cypermethrin wären etwa Holzschutzmittel oder mit der Gülle ausgebrachte Schädlingsbekämpfungsmittel für den Stall. Im Fall von Deltamethrin könnten auch Anwendungen

als *Pour-on*-Produkt bei Nutztieren zur vorliegenden Eintragsdynamik führen, allerdings sind PSM-Anwendungen aufgrund der höheren Verkaufsmenge als die relevantere Quelle einzuschätzen (Tab. 1).

FAZIT

Mit den hier präsentierten Auswertungen wurde untersucht, inwiefern die Eintragsquellen und Eintragswege der neun Pestizide mit den meisten Überschreitungen der chronischen Qualitätskriterien aufgrund der Daten des nationalen Fliessgewässermonitorings sowie den verfügbaren Angaben zu Verkaufsmengen eingegrenzt werden können. Für eine genaue Identifikation der Eintragsquellen wären detaillierte Informationen zur Anwendung (was, wie viel, wo, wann, wofür eingesetzt wird) nötig, die auch durch Gewässerdaten und jährliche Wirkstoff-Verkaufsmengen nicht ersetzt werden können. Trotzdem konnten wichtige Hinweise auf die relevanten Eintragsquellen und -wege gewonnen werden.

Insgesamt bestätigen die Auswertungen, dass sowohl die Reduktion von diffusen Einträgen als auch die Reduktion von Punktquellen, beispielsweise durch die Sanierung von Befüll- und Waschplätzen, zentral sind, um die Gewässerbelastung durch PSM zu reduzieren. Zudem verdienen Biozid- und TAM-Anwendungen von Pyrethroiden im Aussenbereich (z.B. Nutztierhaltung, Holzschutz) bei der Risikobeurteilung und Forschung künftig mehr Beachtung, da über deren Eintragswege in die Gewässer bisher wenig bekannt ist und sie neben der Anwendung als PSM ebenfalls relevante Quellen sein können. Schlussendlich ist es aus Sicht des Gewässerschutzes aber wichtig – gerade bei Wirkstoffen wie den Pyrethroid-Insektiziden, bei denen bereits kleinste Einträge zu hohen Gewässerrisiken führen – alle Anwendungen zu reduzieren und diese, wo immer möglich, zu vermeiden.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Braun, C. et al. (2015): Mikroverunreinigungen in Fliessgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Umwelt Zustand (1514)
- [2] Doppler, T. et al. (2012): Spatial variability of herbicide mobilisation and transport at catchment scale: insights from a field experiment. Hydrology and Earth System Sciences 16(7): 1947–1967
- [3] la Cecilia, D. et al. (2022): Transport von Pflanzen-

DANKSAGUNG

Wir bedanken uns beim BAFU für die Bereitstellung der Messdaten. Folgende Personen haben uns bei der Erarbeitung des Artikels unterstützt, vielen Dank für die wertvollen Diskussionen und die Zusammenarbeit: Irene Wittmer (Kt. BE), Christian Götz (Kt. ZH), Christoph Moschet (Kt. SH); Urs Schönenberger und Christian Leu (beide Bundesamt für Umwelt BAFU), Anne Dietzel und Ruth Scheidegger (beide VSA-Plattform «Wasserqualität»), Cedric Müntener und Nina Walser (beide Swissmedic); Heinz Singer, Vera Ganz, Johannes Schorr, Andreas Scheidegger und Kim Luong (alle Eawag). Ganz besonders bedanken wir uns bei Nicole Munz (Bundesamt für Umwelt BAFU), die uns bei der Erarbeitung dieses Artikels begleitet und mit ihrem grossen Fachwissen unterstützt hat.

schutzmitteln. Identifizierung von Transportprozessen in Gewässern anhand von Monitoringstudien. *Aqua & Gas* 102(4): 68–74

- [4] 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(14): 3827–3834
- [5] Munz, N. et al. (2012): Pestizidmessungen in Fließgewässern. *Aqua & Gas* 92(11): 32
- [6] Prasuhn, V. et al. (2018): Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung reduzieren. *Agrarforschung Schweiz* 9(2): 44–51
- [7] Schönenberger, U. et al. (2020): Hydraulische Kurzschlüsse. *Aqua & Gas* 100(11): 65–71
- [8] Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) (2025): Verkaufsmengen der Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe. Retrieved 19.08.2025 from <https://www.blw.admin.ch/de/verkaufsmengen-der-pflanzenschutzmittel-wirkstoffe>
- [9] Lutz, E. et al. (2023): Analyse zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz. *Agrosc. Sci.* 173(109): 10.34776
- [10] Spycher, S. et al. (2022): Bewertung agronomischer Massnahmen zum Schutz von Oberflächengewässern vor PSM. EBP. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/externe-studien-berichte/bewertung-agronomischer-massnahmen-zum-schutz-von-oberflaechengewassern-vor-pflanzenschutzmitteln.pdf>
- [11] Oekotoxzentrum (2025): Vorschläge des Oekotox-zentrums für Qualitätskriterien für Oberflächengewässer. Retrieved 25.08.2025 from <https://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum>
- [12] Wittmer, I. et al. (2024): Interkantonale Empfehlung, Methode zur Untersuchung und Beurteilung von Fließgewässern, Organische Mikroverunreinigungen – numerische Anforderungen Anhang 2 GSchV. Bern: Lab'Eaux Retrieved from <https://www.labeaux.ch/docs.php?viewmode=show&id=1189&lang=d>
- [13] Rösch, A. et al. (2019): Picogram per liter quantification of pyrethroid and organophosphate insecticides in surface waters: a result of large enrichment with liquid–liquid extraction and gas chromatography coupled to mass spectrometry using atmospheric pressure chemical ionization. *Analytical and bioanalytical chemistry* 411(14): 3151–3164
- [14] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2025): Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Biozide und Pflanzenschutzmittel. Persönliche Mitteilung
- [15] Swissmedic (2025): Persönliche Mitteilung
- [16] Spycher, S. et al. (2020): Evaluation von Massnahmen zum Schutz des Grundwassers vor PSM und deren Metaboliten. BAFU
- [17] Bundesamt für Gesundheit BAG (2025): Produktregister Chemikalien (RPC), Gemeinsame Anmeldestelle Chemikalien des BAFU – BAG – SECO, <https://www.gate.bag.admin.ch/rpc/ui/home>
- [18] Tierarzneimittelkompendium der Schweiz. http://www.vetpharm.uzh.ch/perldocs/index_t.htm
- [19] Gemeinsame Anmeldestelle Chemikalien (2019): Permethrinhaltige topische Insektizide. Retrieved 28.07.2025 from <https://www.anmeldestelle.admin.ch/de/permethrinhaltige-topische-insektizide>
- [20] Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) (2025): Wirkstoffanpassungen. Retrieved 28.08.2025 from <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/zulassung-pflanzenschutzmittel/anwendung-und-vollzug/wirkstoffanpassungen.html>
- [21] Dübendorfer, C. et al. (2023): Typisierung der PSM-Eintragsereignisse anhand von Monitoringdaten https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/externe-studien-berichte/psm-eintragstypen_20230613.pdf.download.pdf/psm-eintragstypen_20230613.pdf
- [22] Riedi, J. (2019): Identifikation der dominanten Eintragspfade von Pflanzenschutzmitteln ins Gewässer durch Kombination verschiedener Datenquellen. Masterarbeit, Universität Basel

> SUITE DU RÉSUMÉ

premier plan (par exemple, les produits pour-on pour les animaux d'élevage, les produits antiparasitaires appliqués dans les étables et épanchés avec le lisier ou les produits de protection du bois). Dans le cas de la cyperméthrine et de la deltaméthrine, les applications en tant que PPh et biocide (cyperméthrine) ou PPh et MédV (deltaméthrine) sont les principales sources possibles.