

PESTIZIDEINTRÄGE IN FLIESSGEWÄSSER

NAWA SPEZ 2023: WIRKSTOFFE, ÖKOTOXIKOLOGISCHES RISIKO, DIFFUSE EINTRAGSPFADE VS. EINTRÄGE AUS ARA

Fünf Schweizer Fließgewässer und die Ausläufe der einzigen Abwasserreinigungsanlage in ihren Einzugsgebieten wurden von März bis November 2023 auf Pestizide, mit Schwerpunkt auf Insektiziden, untersucht. Von 253 Substanzen wurden 135 nachgewiesen, wobei 23 – vor allem Insektizide – während mehrerer Wochen die ökotoxikologischen Qualitätskriterien überschritten. Die Einträge stammten sowohl diffus aus den Einzugsgebieten als auch punktuell aus den ARA.

*Johannes Schorr und Vera Ganz (Hauptautoren); Kim Luong; Elia Ceppi; Philipp Longree; Birgit Beck; Heinz Singer, Eawag
Sofia Barth; Tobias Doppler, VSA-Plattform «Wasserqualität»
Marion Junghans; Breanne Holmes, Oekotoxzentrum*

APPORT DE PESTICIDES DANS LES COURS D'EAU – NAWA SPEZ 2023

Dans cinq bassins versants (BV), les cours d'eau de taille moyenne et les effluents de la seule station d'épuration (STEP) de chaque BV ont fait l'objet d'une analyse approfondie visant à détecter la présence de pesticides. Les sites étudiés présentent une proportion relativement élevée de zones urbanisées et agricoles. De plus, les rivières échantillonnées étaient impactées de manière significative par les eaux usées sans qu'aucune des cinq STEP ne disposent d'étape de traitement permettant l'élimination de micropolluants. Sur les 253 substances actives analysées, 135 ont été détectées (en moyenne 32 substances par échantillon) dont 23 dépassant les critères de qualité écotoxicologiques chroniques dans au moins un échantillon. La plupart des dépassements étaient dus à des insecticides. Sur 4 des 5 sites, un risque élevé pour les organismes aquatiques a été constaté pendant plusieurs semaines. Dans l'ensemble, il est apparu clairement, et comme attendu, que les sources diffuses des BV contribuent de manière substantielle à la pollution des cours d'eau par les pesticides. En revanche, il est aussi apparu que les STEP contribuent de manière significative à l'apport de substances actives. A noter que les apports via les STEP peuvent provenir aussi bien des zones urbaines que de l'agriculture. Sur 109 substances, 81 provenaient à la fois des apports diffus et des rejets de STEP, tandis que seulement 28 étaient principalement associées à une seule de ces deux voies (>80 % de la charge totale de la substance).

HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG

Pestizide, die als Pflanzenschutzmittel (PSM), Biozide oder Tierarzneimittel (TAM) in der Landwirtschaft und/oder im Siedlungsbereich eingesetzt werden, können über verschiedene Transportprozesse/Eintragspfade in oberirdische Gewässer gelangen und so Gewässerorganismen und Trinkwasserressourcen gefährden. Studien zeigen, dass in der Landwirtschaft eingesetzte PSM sowohl diffus (z. B. regengetriebene Abschwemmung, Spraydrift) als auch aus Punktquellen (z. B. fehlangeschlossene Waschplätze von PSM-Spritzgeräten und anschliessend Abwasserreinigungsanlagen, ARA) in Gewässer gelangen [4-6]. Auch bei Bioziden, TAM und nicht-landwirtschaftlich eingesetzten PSM sind sowohl diffuse Einträge als auch Einträge über ARA möglich, z. B. aus Haushaltsabwässern, Materialabwaschungen (Dächer, Fassaden) oder Wassereinleitungen von Waschplätzen für PSM-Spritzgeräte ausserhalb der Landwirtschaft. Insgesamt bestehen weiterhin Wissenslücken, zu welchem Anteil verschiedene Pestizide über ARA bzw. diffus in die Gewässer eingetragen werden.

Dank der breiten untersuchten Substanzpalette konnte mit NAWA-Spezialkampagnen [4, 7-9] die Substanzliste des Routinemonitorings im Rahmen der Nationalen Beobachtung der

Kontakt: H. Singer, heinz.singer@eawag.ch

Oberflächenwasserqualität für Mikroverunreinigungen (NAWA Trend MV) auf dem neuesten Stand gehalten werden. Diese Liste beinhaltet aktuell 73 Pestizide und soll das durch Pestizide verursachte Risiko weitgehend abdecken. Verschiedene Untersuchungen zu Pyrethroiden und Organophosphaten zeigten, dass die Gewässerqualität insbesondere durch diese gering konzentrierten, aber hochtoxischen Insektizide, die mittels einer neuen, hoch-sensitiven Analyse-methode in ökotoxikologisch relevanten Konzentrationen nachgewiesen werden konnten, beeinträchtigt wird [2, 10, 11].

Unter anderem um zu prüfen, inwiefern neben Pyrethroiden und ausgewählten Organophosphaten weitere apolare Pestizide in ökotoxikologisch relevanten Konzentrationen in Schweizer Gewässern vorkommen, wurde für die hier präsentierte NAWA-Spez-Studie 2023 ein stark erweitertes Screening durchgeführt. Dafür wurden in fünf ausgewählten mittelgrossen Fließgewässern in der Schweiz von März bis November 2023 möglichst alle Pestizidwirkstoffe in 14-Tages-Mischproben erfasst. Mit diesen sollten ausserdem mittels einer Frachtanalyse zwischen diffusen Einträgen und Einträgen über die ARA unterschieden werden. Die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu beitragen, mögliche Lücken im Substanzportfolio im NAWA-Trend-Fließgewässermonitoring zu erkennen und damit die Bewertung ökotoxikologischer Risiken zu verbessern. Gleichzeitig liefert die parallele Probenahme im Fließgewässer und dem ARA-Auslauf Hinweise auf relevante Eintragungspfade und unterstützt die Entwicklung gezielter Reduktionsmassnahmen.

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

STANDORTE UND PROBENAHME

Für die Studie wurden fünf mittelgrosse Fließgewässer mit einer Einzugsgebietsgrösse von 10 bis 53 km² ausgewählt: Surb (Unterehrendingen, AG), Petite Glâne (Bussy, FR), Ron (Hochdorf, LU), Halb- ach (Hallau, SH) und Scairolo (Barbengo, TI). Um die Pestizidbelastung von sowohl landwirtschaftlich als auch siedlungsgeprägter Nutzflächen abzubilden, wurden Standorte gewählt, die folgende Kriterien erfüllen: a) nur eine einzige ARA im Einzugsgebiet (EZG), die keine Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen (MV-Stufe) aufwies, b) mehr

als 10% Abwasseranteil bei Trockenwetterabfluss im Fluss, c) ein erhöhter Anteil an Siedlung (>4%) und Landwirtschaft (>20% Ackerbau sowie Kulturen mit hohem Insektizideinsatz wie z.B. Zuckerrüben, Gemüse und Raps, Fig. 1). Als Vergleichsstandort ohne nennenswerte landwirtschaftliche Nutzflächen wurde der Standort Scairolo herangezogen.

Die Anteile der Siedlungsflächen bewegen sich zwischen 5% (Petite Glâne) und 31% (Scairolo) während sich die Landwirtschaftsflächen in einem Bereich von 6% (Scairolo) bis 80% (Halbach) bewegen. Die Ackerfläche macht stets den grössten Anteil der Landwirtschaftsfläche aus (Fig. 1). Als Spezialkulturen waren bspw. Freilandgemüse (Surb), Reben (Halbach), Tabak (Petite Glâne) und Obst (Ron) zu finden.

Im Vergleich zu allen Fließgewässern der Schweiz sind die Anteile der Siedlungsflächen in den untersuchten EZG hoch bis sehr hoch (Scairolo). Auch die Flächenanteile Ackerbau sind, ausser im EZG des Scairolo, vergleichsweise hoch.

Die untersuchten ARA verfügen über eine mechanisch-biologische Reinigung und eine Phosphat- und Stickstoffelimination, nicht aber über eine MV-Stufe. Seit 2016 werden in der Schweiz im Rahmen der Umsetzung der Gewässerschutzgesetzgebung bis zum Jahr 2040 rund 140 von insgesamt 700 ARA mit einer MV-Stufe ausgebaut. Die untersuchten ARA sind daher nicht mit ARA vergleichbar, die über eine MV-Stufe verfügen. Die betrachteten ARA entsprechen allerdings in Bezug auf die angeschlossenen Einwohner, von ca.

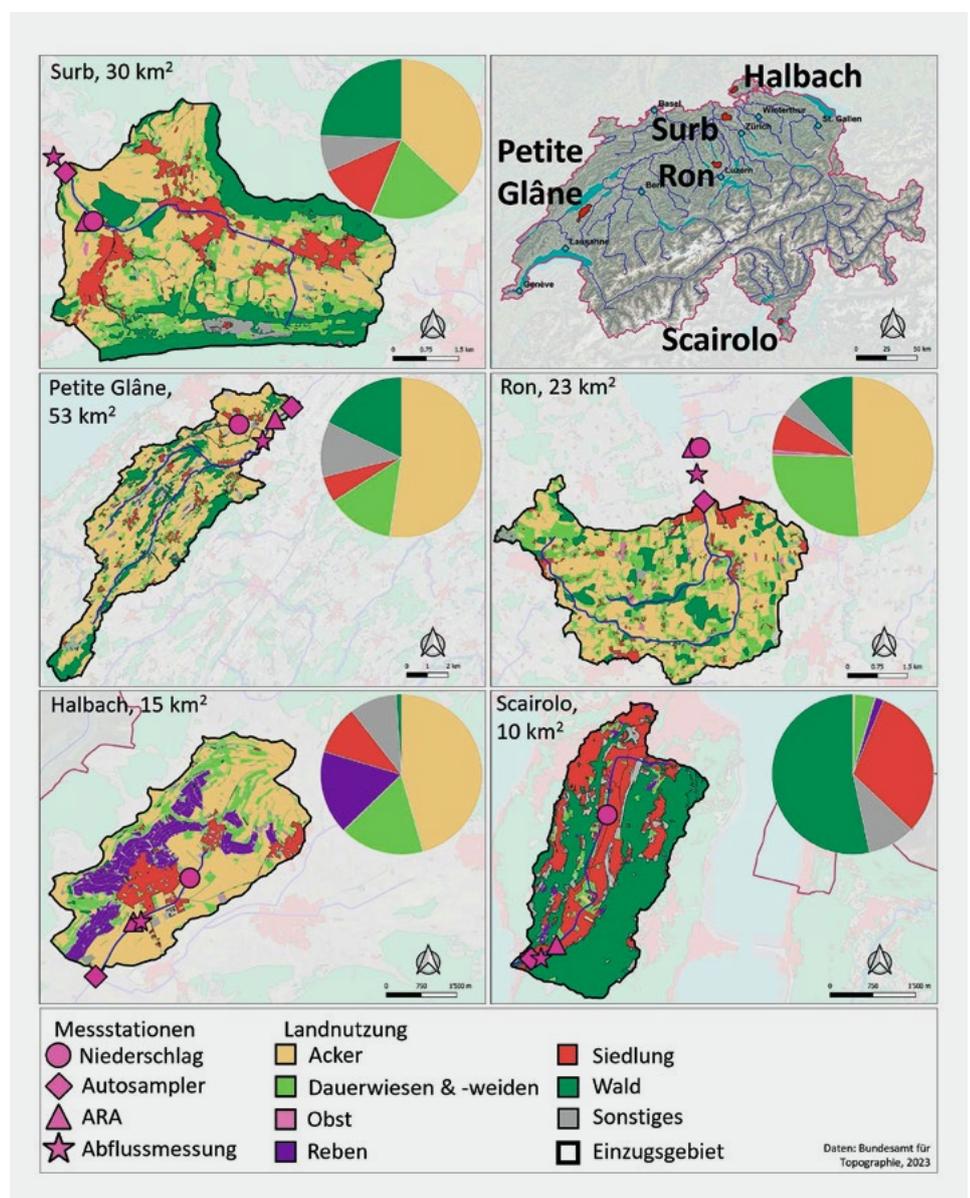


Fig. 1 Landnutzung in den fünf Einzugsgebieten. Die Kuchendiagramme enthalten die Flächenanteile der entsprechenden Landnutzungsarten.

5000 (Petite Glâne) und ca. 15 000 (Surb, Ron, Halbach, Scariolo), einem Grossteil der Schweizer ARA. Die Abwasseranteile bei Trockenwetterabfluss bewegen sich zwischen ca. 5% (Petite Glâne) und 80% (Halbach). Bis auf den Abwasseranteil an der Petite Glâne sind dies eher hohe Anteile, da nur rund ein Fünftel der Schweizer ARA zu Abwasseranteilen von über 10% in Fliessgewässern führt.

An den fünf Standorten wurden durchgehend von März bis November 2023 zeitproportionale 14-Tages-Mischproben sowohl aus den Flüssen als auch aus dem gereinigten Abwasser der ARA entnommen. Aufgrund der Nähe zum Baldeggersee wurde das Flusswasser an der Ron oberhalb der Abwassereinleitung beprobt, während an den übrigen Standorten das vollständig durchmischte Flusswasser ausreichend weit unterhalb der

Abwassereinleitung entnommen wurde. Um Frachten berechnen zu können, wurde an jedem Standort der Abfluss im Fluss und im ARA-Auslauf gemessen.

RISIKOBEWERTUNG

Zur Beurteilung des ökotoxikologischen Risikos wurden die Konzentrationen der 14-Tages-Mischproben mit chronischen Qualitätskriterien (CQK) verglichen. Hierzu wurden zum einen die ökotoxikologischen Grenzwerte für andauernde Belastung für Oberflächengewässer, die für 19 Pestizide in Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung (GSchV) festgelegt sind, herangezogen. Zum anderen wurden zusätzliche vom Oekotoxzentrum zur Verfügung gestellte CQK verwendet. Diese zusätzlichen CQK umfassten robuste CQK, die auf der Basis eines vollständigen Dossiers gemäss dem Leitfaden der

EU-Wasserrahmenrichtlinie entweder vom Oekotoxzentrum (Robustheit 1) oder von Behörden anderer Länder (Robustheit 2) erarbeitet worden sind [12, 13]. Ausserdem wurden zur Bewertung auch ad-hoc-CQK (Robustheit 3) verwendet, die aufgrund der eingeschränkten Datenbasis aus vorhandenen Zulassungsdaten anhand vereinfachter Regeln des Oekotoxentrums hergeleitet wurden [14]. Insgesamt liegen für 214 Substanzen CQK-Werte vor (Robustheit 1: 59; Robustheit 2: 26; Robustheit 3: 129). Trotz der reduzierten Datengrundlage lassen ad-hoc-CQK eine erste Einschätzung zum Risiko der betreffenden Substanzen zu, weshalb im Folgenden nicht weiter zwischen den Robustheitsklassen unterschieden wurde. Für die Risikobewertung wurde substanzspezifisch für alle Flussproben der Risikoquotient (RQ) aus gemessener

ANALYTIK

SUBSTANZAUSWAHL

Alle Wirkstoffe, die im Jahr 2023 oder bis zu zehn Jahre davor als PSM oder Biozid in der Schweiz zugelassen waren, wurden zunächst hinsichtlich ihrer Gewässerrelevanz (Persistenz und Mobilität) und ihrer Analysierbarkeit bewertet. Basierend auf dieser Bewertung wurden 253 Wirkstoffe (176 zugelassen, 77 verboten) zur Messung ausgewählt. Von den 176 zugelassenen Substanzen waren 125 nur als PSM, 36 rein als Biozide und 15 für beide Anwendungen zugelassen. Sechs der 15 waren zusätzlich auch als TAM registriert (Details der Substanzauswahl sind in der Onlinedatenbank der Eawag, ERIC, zu finden [1]).

MESSMETHODEN

Die Quantifizierung der 253 Substanzen erforderte aufgrund der grossen Polaritätsspanne eine Analyse mittels vier verschiedener Messmethoden (Fig. 2). Für apolare Substanzen ($\log P > 4$) wurde die partikelgebundene und die gelöste Fraktion als Totalkonzentration bestimmt. Hierzu wurden die apolaren Pestizide zunächst mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion (LLE) mit Cyclohexan aus der Wasserprobe extrahiert. Das eingedampfte Extrakt wurde aufgeteilt und die Extrakte anschliessend mit zwei unterschiedlichen Nachweismethoden auf die Totalkonzentration der Wirkstoffe hin untersucht:

- Gaschromatographische Trennung mit chemischer Ionisation unter Atmosphärendruck mit nachfolgender Detektion an einem Triple-Quadrupol-Massenspektrometer (APGC-MS; 43 Substanzen)
- Flüssigchromatographische Trennung mit Elektrospray-Ionisation und nachfolgender Detektion an einem Triple-Quadrupol-Massenspektrometer (LC-ESI-MS; 29 Substanzen) [2]

In der gelösten Fraktion wurden mittels vakuum-unterstützter Verdampfung und Flüssigchromatographie gekoppelt an Elektrospray-Ionisation und hochauflösende Massenspektrometrie

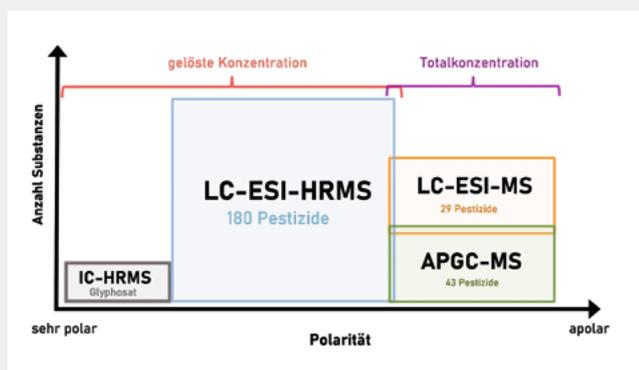


Fig. 2 Übersicht über den Polaritätsbereich, welche die vier Analysemethoden abdecken und wie viele Substanzen mit der jeweiligen Methode analysiert wurden.

(LC-ESI-HRMS) [3] weitere 180 Substanzen quantifiziert. Für die sehr polare Substanz Glyphosat wurde die Ionenchromatografie (IC) gekoppelt an die ESI-HRMS zur Bestimmung genutzt.

QUANTIFIZIERUNG

Die Quantifizierung erfolgte mittels Referenzstandards und 111 isotonenmarkierter interner Standards. Die erreichten Bestimmungsgrenzen (BG) lagen bei 50 ng/l (Glyphosat; IC-HRMS) und im Mittel bei 70 pg/l (LLE; APGC-MS), 400 pg/l (LLE; LC-ESI-MS) und 35 ng/l (LC-ESI-HRMS). Zu Qualitätssicherungszwecken wurde zudem ein extern hergestellter Referenzstandard mitgemessen und Wiederfindungsraten für die Analyten in Fluss- und Abwasserproben, welche mit bekannten Analytkonzentrationen aufdotiert wurden, berechnet. Für 72% der analysierten Substanzen lag die mittlere Wiederfindung zwischen 80 und 120%. Die relative Standardabweichung der Konzentration von der Dreifachanalyse einer aufgestockten Probe, lag für den Grossteil der Analyten zwischen 0,7 und 11%.

	Surb ARA / Fluss	Petite Glâne ARA / Fluss	Ron* ARA / Fluss oberhalb	Halbach ARA / Fluss	Scairolo ARA / Fluss	Gesamt ARA / Fluss
Anzahl nachgewiesener Pestizide	80 / 60	91 / 75	51 / 37	82 / 83	59 / 55	126 / 115
Median Anzahl nachgewiesener Pestizide pro Probe	35 / 23	44 / 22	23 / 9	38 / 36	18 / 14	35 / 22
Detektionsfrequenz (%)	17 / 11	21 / 13	11 / 4	17 / 16	12 / 10	15 / 10

Tab. 1 Anzahl der nachgewiesenen Pestizide pro Standort, Matrix und Probe zusammen mit der Detektionsfrequenz.

*An der Ron wurde im Fluss oberhalb der Abwassereinleitung beprobt, alle anderen Standorte unterhalb.

Konzentration und CQK gebildet, wobei ab einem Wert von 1 eine Beeinträchtigung der Wasserorganismen nicht mehr auszuschliessen ist [9]. Um den Standort Ron mit den übrigen Standorten vergleichen zu können, wurde dort je Probe die Mischkonzentration im Fluss unterhalb der Abwassereinleitung anhand der gemessenen Konzentrationen oberhalb der ARA und im ARA-Ablauf berechnet und zur Bewertung verwendet. Ausserdem wurden die RQ-Summen pro Probe gebildet, um den Beitrag einzelner Stoffe zum Gesamtrisiko beurteilen zu können.

KONZEPT DER EINTRAGSPFADANALYSE

Ein weiteres Ziel dieser Studie war die Relevanz der ARA als Eintragspfad für Pestizide in Gewässer zu beurteilen. Dazu wurde mittels einer frachtbasierten, substanzspezifischen Eintragspfadanalyse abgeschätzt, ob Wirkstoffe mehrheitlich

über die ARA (Punktquelle ARA) oder bereits über andere Eintragspfade im EZG oberhalb der ARA in die Gewässer gelangen (diffus EZG). Für diese Analyse wurden nur Wirkstoffe berücksichtigt, die mehr als zwei Detektionen (beide mind. zweifach über der BG) an mindestens einem Standort vorwies.

Dafür wurde pro Standort die Frachtsumme je Wirkstoff und Matrix (Fluss vs. Abwasser) über die gesamte Beobachtungsperiode gebildet. Falls die Fracht flussaufwärts bzw. im gereinigten Abwasser mind. 80% der Gesamtfracht (= Fracht flussabwärts der ARA) betrug, wurde für diesen Wirkstoff der entsprechende eindeutige Eintragspfad zugewiesen. Wirkstoffe mit Werten zwischen 20 und 80% und/oder nicht einheitlicher standortübergreifender Einstufung werden über beide Pfade eingetragen und erhielten die Eintragspfadbewertung «unklar». Zeigte

ein Wirkstoff an allen Standorten mit Detektionen denselben Eintragspfad, wurde ihm dieser Pfad auch insgesamt (also standortübergreifend) zugeordnet.

RESULTATE

DETEKTION EINER VIELFALT VON PESTIZIDEN

Gesamthaft wurden 135 Pestizide in 183 Proben über ihrer BG nachgewiesen (44 Fungizide, 55 Herbizide, 32 Insektizide und 4 anders klassifizierte Pestizide; Details in der Onlinedatenbank der Eawag, ERIC [1]). Dabei wurden 106 Wirkstoffe in Fluss- sowie ARA-Proben detektiert, jedoch nur 38 an allen fünf Standorten. Dies zeigt die grosse Standortabhängigkeit und Vielfalt der Pestizidbelastung auf. Die generell hohe Anzahl an nachgewiesenen Pestiziden mit Konzentrationen bis in den µg/l-Bereich ist typisch für

Substanz	Zulassung als PSM oder Biozid (2023)	Konzentration (ng/l)			Anzahl Detektionen Flüsse	CQK in ng/l (Robustheit)
		Min	Max	Median		
Metrafenon	P	0,01	45	0,19	89	2200 (3)
Pendimethalin	P	0,06	12	0,48	89	370 (3)
Propiconazol	B PX	0,49	7,7	2,2	89	1400 (2)
Trifloxystrobin	P	0,01	9,8	0,06	83	190 (2)
Cyflufenamid	P	0,01	29	0,06	72	2400 (3)
Difenoconazol	P	0,51	30	2,04	65	560 (2)
Tebufoenozid	P	0,10	0,9	0,23	32	750 (3)
Quinmerac	P	6,1	80	13	24	3100 (3)
Pencycuron	PX	0,03	3,6	0,24	22	1340 (2)
Amisulbrom	P	0,03	1,2	0,07	20	1390 (3)
Fluxapyroxad	P	17	200	28,5	15	3600 (3)
Fenpyrazamin	P	2,1	100	7,5	15	22000 (3)
Clomazon	P	7,1	120	15	13	3200 (3)
Orbencarb	PX	0,05	0,2	0,08	13	.*
Proquinazid	P	0,03	0,3	0,06	12	180 (3)
Icaridin	B	26	64	34	11	314000 (3)
Benalaxyl	P	5	110	13	10	3000 (3)
Pyriofenon	P	0,02	0,1	0,02	10	8990 (3)

Tab. 2 Substanzen, die im NAWA Spez 2023 mit mehr als zehn Detektionen gefunden wurden, jedoch nicht vom Routinemonitoring NAWA Trend erfasst werden.

Für diese Auswertung wurden alle 89 Flussproben der fünf Standorte berücksichtigt.

Blau: Fungizid; grün: Herbizid; orange: Insektizid; pink: Repellent; P: Zulassung als Pestizid; B: Zulassung als Biozid; PX: Zulassung als PSM erloschen.

* Orbencarb ist seit 2002 in der EU nicht mehr zugelassen, weshalb es keine Beurteilungen der EFSA (European Food Safety Authority) gibt, anhand derer ein ad-hoc-CQK hergeleitet werden könnte.

kleine bis mittelgrosse Fließgewässer mit Landwirtschaft im EZG [9, 16, 17]. Durchschnittlich wurden über den gesamten Beobachtungszeitraum 73 bzw. 62 Pestizide in ARA- bzw. Fluss-Proben pro Standort gefunden. Mit im Median bis zu 44 (Petite Glâne) bzw. 36 (Halbach) gefundenen Pestiziden im Ab- bzw. Flusswasser (Tab. 1) wurde auch je Probe eine grosse Vielfalt an Wirkstoffen festgestellt [18]. Generell ist die mittlere Zahl der nachgewiesenen Pestizide pro Probe mit der in den NAWA-Spez-Studien von 2012 und 2015 vergleichbar [4, 19] und veränderte sich nur geringfügig im Jahresverlauf.

An allen Standorten ausser am Halbach wurden im Abwasser mehr Pestizide gefunden als im Fluss (Tab. 1), was zum grössten Teil durch die Verdünnung des Abwassers im Fluss erklärbar ist. Die Detektionsfrequenz – definiert als das prozentuale Verhältnis der Anzahl der Detektionen an der Gesamtzahl an möglichen Detektionen – betrug in Abwasser- bzw. Flussproben standortübergreifend 15 bzw. 10%. An den Standorten einzeln betrachtet war die Detektionsfrequenz in Abwasserproben ebenfalls höher als in Flussproben (Tab. 1). Zusammen mit der hohen Zahl an gefundenen Pestiziden im Abwasser weist dies auf die Relevanz von ARA als Eintragspfad für Pestizide in Fließgewässern hin. Dass insgesamt nur neun Pestizide ausschliesslich im Flusswasser gefunden wurden (Amidosulfuron, Fenazaquin, Fluazinam, Fluopicolid, Fluopyram, Metobromuron, tau-Fluvalinat, Tembotrion, Trinexapac-ethyl), deutet auch darauf hin, dass sehr häufig beide Eintragspfade relevant sind. Weiter wird dies durch die Befundlage am Halbach bekräftigt: Dort fand sich die grösste Pestizidvielfalt und Anzahl an Detektionen in den Flussproben (Entnahme nach der ARA-Einleitung), was sowohl mit dem grossen Anteil an Landwirtschaft und der Vielfalt an Kulturen im EZG (Wein- und Ackerbau) sowie dem hohen Abwasseranteil an der Messstelle (bis zu 80%) zusammenhängt. Allgemein lassen Konzentrationen und Detektionszahlen allein jedoch noch keine Einschätzung darüber zu, welcher Eintragspfad dominanter ist, weshalb die Eintragspfadanalyse anhand der Frachten durchgeführt wurde (Kap. «Eintragspfadanalyse»).

Im Vergleich zum NAWA-Trend-MV-Substanzportfolio wurden in dieser Studie 182 Pestizidwirkstoffe zusätzlich analy-

siert. Dabei waren von den 115 in Flussproben detektierten Pestiziden (Tab. 2) 56 im NAWA Trend MV-Routinemonitoring enthalten – 59 wurden zusätzlich nachgewiesen. Von diesen 59 wurden 23 mit der Spezialanalytik (LLE-APGC- bzw. LC-ESI-MS/MS), die auch die partikelgebundene Fraktion berücksichtigt, bestimmt. Dies zeigt den Mehrwert dieser Analytik und des erweiterten Substanzportfolios auf. Von den zusätzlich zum NAWA-Trend-MV-Portfolio gefundenen Pestiziden wurden 18 in mehr als zehn Flussproben detektiert (Tab. 2).

INSEKTIZIDE SIND FÜR EINEN GROSSTEIL DES RISIKOS VERANTWORTLICH

Überschreitungen des chronischen Qualitätskriteriums

Die ökotoxikologischen Grenzwerte für andauernde Belastung für Oberflächengewässer (Anhang 2, GSchV) wurden von Cypermethrin, Imidacloprid, Metazachlor, Metribuzin, Nicosulfuron und Thiacloprid an je mindestens einem Standort überschritten. Insgesamt konnten 40 Grenzwert-Überschreitungen festgestellt werden, wobei ca. 50% auf den

Standort Scairolo entfielen. Die Grenzwert-Überschreitungen wurden dort von Cypermethrin und Imidacloprid verursacht – zwei Insektizide, die als Biozid und PSM (Cypermethrin) bzw. als Biozid und TAM (Imidacloprid) zugelassen sind. An den übrigen Standorten wurden zwischen einer (Ron) und acht (Petite Glâne) Grenzwert-Überschreitungen festgestellt, wobei Cypermethrin an vier, Metazachlor an drei, Imidacloprid und Nicosulfuron an zwei Standorten und Metribuzin und Thiacloprid an einem Standort mit Überschreitungen gefunden wurden (Zusatzinformationen in der Online-Datenbank der Eawag, ERIC [1]). Werden neben den ökotoxikologischen Grenzwerten (Anhang 2, GSchV) alle verfügbaren CQK herangezogen, ergeben sich für 17 weitere Wirkstoffe CQK-Überschreitungen, grösstenteils mit robustem CQK (Fig. 3). Dies zeigt, dass die 19 Pestizide, für die im Anhang 2 der GSchV ein ökotoxikologischer Grenzwert festgelegt ist, nicht alle Pestizide abdecken, die ein Gewässerrisiko darstellen.

Insgesamt wurden 23 Substanzen mit CQK-Überschreitungen gefunden (Fig. 3). Mit 149 von insgesamt 174 festgestellten

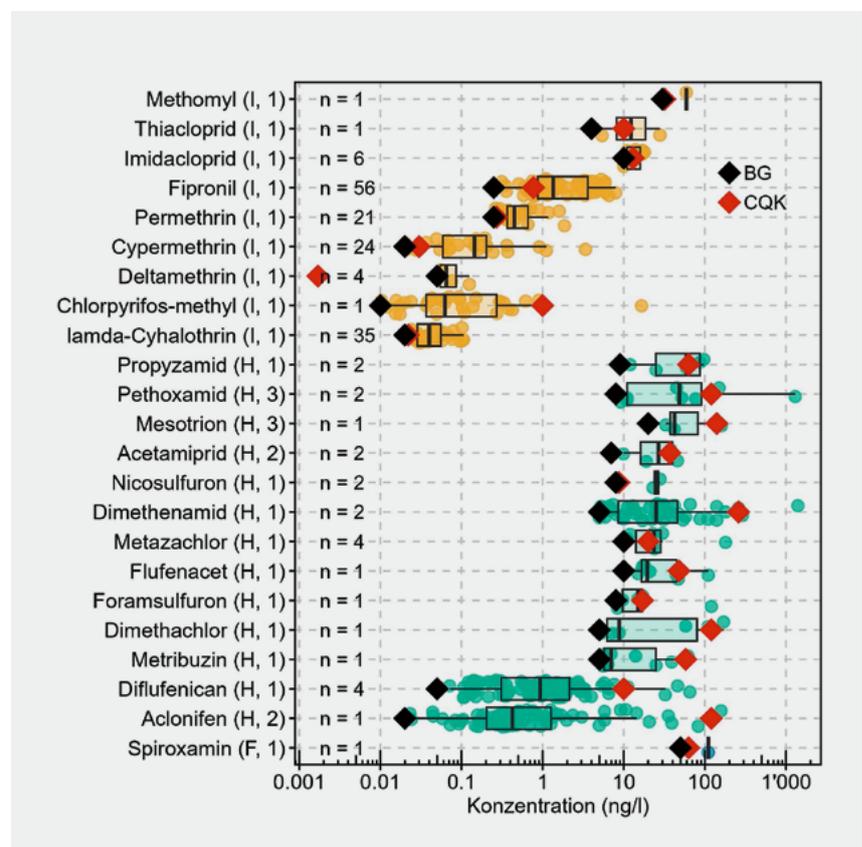


Fig. 3 Dargestellt sind CQK-überschreitende Substanzen zusammen mit dem Pestizid-Typ (F: Fungizid, H: Herbizid, I: Insektizid), der Robustheit in Klammern und der Anzahl der Überschreitungen (n). Hier wurden Daten aller Standorte aggregiert. BG: Bestimmungsgrenze.

CQK-Überschreitungen sind die neun Insektizide für den Grossteil verantwortlich. Insbesondere Pyrethroide (Cypermethrin, Deltamethrin lambda-Cyhalothrin, Permethrin) und Fipronil trugen mit 140 Überschreitungen massgeblich zum Gesamtrisiko in den untersuchten Fliessgewässern bei (vgl. Artikel zu Fipronil, S. 90 in diesem Heft [20]). Der Rest der CQK-Überschreitungen (25) wurde, bis auf eine des Fungizids Spiroxamin, von 13 Herbiziden verursacht. Dies zeigt eindrücklich, dass Herbizide, trotz teils hoher Konzentrationen im µg/l-Bereich und generell zahlreicher Detektionen, wesentlich weniger zum Gesamtrisiko in Oberflächengewässern beitragen als Insektizide.

Aufgrund der eingesetzten, äusserst nachweisempfindlichen Analysemethoden war es in der vorliegenden Untersuchung für 95% der Wirkstoffe möglich, eine BG unter dem substanzspezifischen CQK zu erreichen und damit auch ein zuverlässiges Gesamtrisiko für die bereits im pg/l-Bereich toxischen Insektizide zu ermitteln. Lediglich 5% der untersuchten Pestizide lagen im Median geringfügig (3-fach) über ihrem jeweiligen CQK (Bromazil, Coumatetralyl, Diazinon, Dimeturon, Fenoxycarb, Flurochloridon, Hexythiazox, Methiocarb, Terbacil, Thifensulfuron-methyl, Triasulfuron, Tribenuron-methyl). Nur für Dichlorvos, Deltamethrin und Diflubenzuron lag die BG 25-, 29- und 44-fach über dem jeweiligen CQK von 0,6, 0,0017 und 4 ng/l. Für eine sichere Bewertung müssen für den Nachweis dieser hochtoxischen Insektizide weitere Spezialmethoden zur Anwendung kommen. Allerdings sind insbesondere für Deltamethrin (CQK von 0,0017 ng/l) die technisch realisierbaren Grenzen für die Analyse vermutlich bereits erreicht. Diese Herausforderung ist im Gewässermonitoring bekannt und wurde kürzlich von Bub et al. [15] beschrieben.

Ausserdem existiert - im Vergleich mit der NAWA-Trend-MV-Substanzalette - für 45 der 59 zusätzlich nachgewiesenen Substanzen nur ein ad-hoc-CQK (Tab. 2), weshalb die ökotoxikologische Beurteilung für diese Substanzen mit einer grösseren Unsicherheit behaftet ist. Von den zusätzlich detektierten Substanzen, die nicht zum NAWA-Trend-Messprogramm gehören, überschritt lediglich Pethoxamid zwei Mal sein ad-hoc-CQK. Mit einer besseren Datengrundlage bei der CQK-Herleitung könnten für manche

Wirkstoffe die ad-hoc-CQK zukünftig jedoch auch niedriger ausfallen und damit zu mehr CQK-Überschreitungen führen.

Hohes, lang andauerndes Risiko in den untersuchten Gewässern

In *Figur 4* werden die RQ der risikobestimmenden Wirkstoffe einzeln und die aller anderen summarisch, standortspezifisch und je Probe dargestellt. Dies erlaubt es, den Beitrag einzelner Wirkstoffe am Gesamtrisiko je Standort über die Zeit zu bewerten sowie die Hauptrisikotreiber zu identifizieren. Die übrigen Substanzen können trotz geringer Einzelbeiträge in der Summe einen signifikanten Einfluss auf das Gesamtrisiko haben [18] und werden deshalb aufsummiert in den Kategorien «Sonstige mit CQK-Überschreitung» und «Sonstige ohne CQK-Überschreitung»

und «Sonstige ohne CQK-Überschreitung» gezeigt.

Insgesamt wurden sieben Insektizide und zwei Herbizide als besonders risikotreibend identifiziert, für die robuste CQK vorlagen (*Fig. 4*). An allen Standorten trugen Pyrethroide, Fipronil und Diflufenican zum Gesamtrisiko bei, wobei acht der zehn höchsten RQ-Einzelwerte am Scairolo gemessen wurden. Diese wurden beispielsweise von Cypermethrin (RQ = 112) und Deltamethrin (RQ = 33) verursacht. Imidacloprid wurde an allen fünf Standorten im Auslauf der ARA durchgehend nachgewiesen. Aufgrund der Verdünnung des Abwassers im Fliessgewässer resultierten daraus jedoch nur an zwei Standorten Überschreitungen des CQK im Gewässer (Halbach und Scairolo).

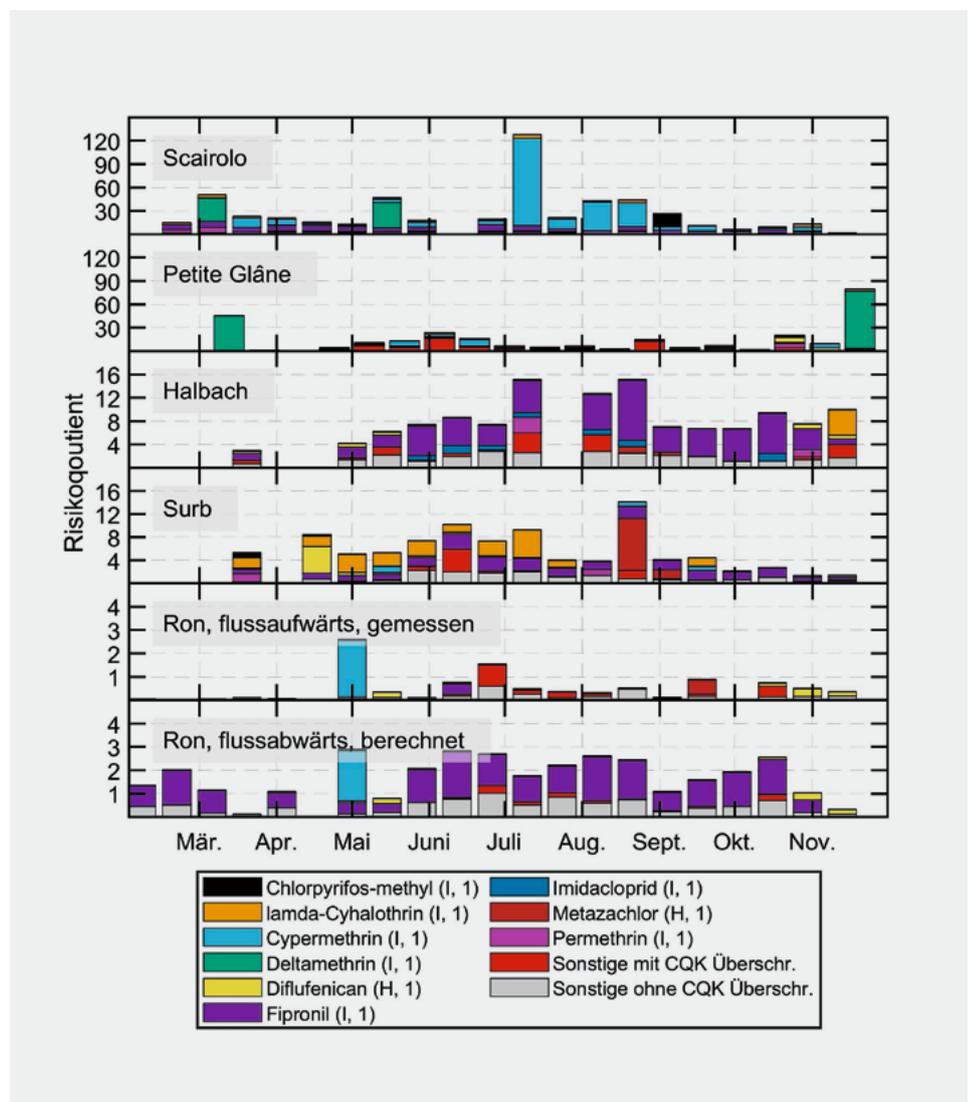


Fig. 4 Risikoquotienten über alle Substanzen pro Messstelle, jeweils für die Flussproben ermittelt. Die risikotreibenden Substanzen sind einzeln eingefärbt, während die restlichen Substanzen aufsummiert wurden und in die zwei Kategorien «Sonstige mit CQK-Überschreitung» und «Sonstige ohne CQK-Überschreitung» dargestellt wurden. Die y-Achsenkala ist je nach Belastungssituation unterschiedlich. In der Klammer ist die Substanzklasse (H: Herbizid, I: Insektizid) und die Robustheit des CQK aufgeführt.

Insgesamt wird deutlich, dass in allen untersuchten Gewässern eine dauerhafte Belastung durch Pestizide besteht.

Aus *Figur 4* wird ausserdem deutlich, dass alle CQK-überschreitenden Wirkstoffe zusammen betrachtet den überwiegenden Teil des Risikos erklären. Nur am Halbach, an der Ron flussabwärts und an der Surb trägt auch der Rest der nachgewiesenen Substanzen (solche ohne CQK-Überschreitung) noch erkennbar zum Gesamtrisiko bei (*graues Balkensegment, Fig. 4*). An der Ron zeigt sich darüber hinaus, dass sich durch den Eintrag des gereinigten Abwassers flussabwärts rechnerisch ein höheres Risiko ergibt, als flussaufwärts gemessen wurde. Dies wurde vor allem durch den ARA-Eintrag von Fipronil verursacht.

EINTRAGSPFADANALYSE

Rolle der ARA als Eintragspfad für Pestizide
Die frachtbasierte und substanzspezifische Zuordnung der Eintragspfade wurde für 109 der 135 detektierten Pestizide vorgenommen. Für die 26 übrigen Wirkstoffe wurden nur vereinzelte Befunde festgestellt, weshalb für diese Stoffe auf eine Eintragspfadanalyse verzichtet wurde. Insgesamt konnte für 28 Pestizide klar zwischen dem diffusen und dem Eintrag über die ARA unterschieden werden.

Beispielhaft werden die gemessenen Konzentrationsreihen, Niederschläge, Abflüsse und die dazu berechneten Frachten in *Figur 5* für die Substanzen Aclonifen und Imidacloprid am Standort Petite Glâne ge-

zeigt. Diesen zwei Wirkstoffen konnten anhand der Frachten (*Fig. 5, Grafik D*) an allen Standorten klar die Eintragspfade «diffus EZG» (Aclonifen) bzw. «Punktquelle ARA» (Imidacloprid) zugeordnet werden (jeweils >80% der Gesamtfracht). Neben diesen zwei Wirkstoffen wurde auch Fipronil an allen fünf Standorten der gleiche Eintragspfad (Punktquelle ARA) zugeordnet. Die anderen 25 Wirkstoffe mit klarem Eintragspfad (*s. Zusatzinformationen ERIC, [1]*) wurden an vier oder weniger Standorten nachgewiesen. Die starke Standortabhängigkeit der Pestizideinträge zeigt sich daran, dass je Standort zwar ca. 75% der gefundenen Pestizide einem klaren Eintragspfad zugeteilt werden konnten, standortübergreifend waren es aber bloss ca. 25%.

Von den 28 standortübergreifend klar einteilbaren Wirkstoffen wurde zehn Pestiziden der Eintragspfad «diffus EZG» und 18 Pestiziden der Eintragspfad «Punktquelle ARA» zugeordnet. Bei den zehn klar dem diffusen Eintragspfad zugeordneten Pestiziden fällt auf, dass diese 2023 – abgesehen von Etofenprox (Biozid und PSM) – nur als PSM (Aclonifen, Fluopicolid, Fluopyram, Metobromuron, Metribuzin, Propyzamid, Proquinazid) bzw. vor 2023 als PSM (Myclobutanil, tau-Fluvalinat) zugelassen waren. Für die 18 klar dem Eintragspfad ARA zugeordneten Pestizide (2-Methyl-4-isothiazolin-3-one, Ethyl-N-acetyl-N-butyl-beta-alanin, Carbendazim, Cycluron, Etoxadiazol, Fenamidon, Fenhexamid, Fenpropimorph, Fipronil, Flutolanil, Imidacloprid, Indoxacarb, Ioxynil, Metconazol, Piperonyl-butoxid, Spirodiclofen, Thiabendazol, Triclopyr) ist jedoch aufgrund der Zulassung nicht so klar, aus welcher Anwendung sie stammen. Diese Pestizide waren für verschiedene Anwendungen zugelassen: als Biozid, PSM, TAM bzw. manche auch mit bereits erloschener Zulassung. Davon wurden Carbendazim, Fipronil, Imidacloprid, Thiabendazol und Triclopyr an allen Standorten gefunden. Die restlichen Wirkstoffe wurden hingegen nur an einzelnen der fünf Standorte gefunden. Generell muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass ein Wirkstoff mit PSM-Zulassung, der über die ARA in den Fluss gelangt, auch landwirtschaftlichen Ursprungs sein kann, z.B. durch falsch angeschlossene Befüll- und Waschplätze, unsachgemässe Handhabung und Entsorgungen auf landwirtschaftlichen Betriebsflächen im EZG der ARA.

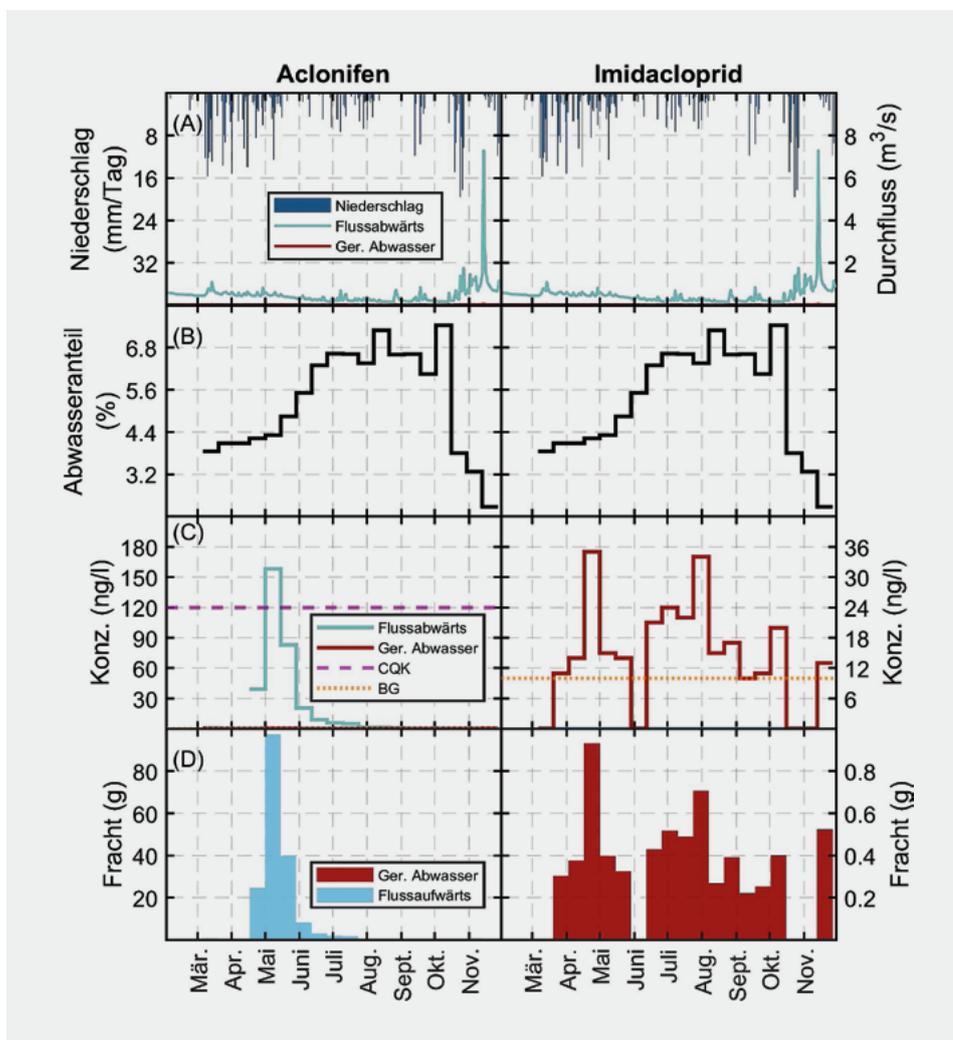


Fig. 5 Standort Petite Glâne, (FR): Vergleich von Aclonifen und Imidacloprid. Die oberste Grafik (A) zeigt den Niederschlag zusammen mit dem Abfluss an der Petite Glâne und des gereinigten Abwassers der ARA (sehr gering im Vgl. zum Abfluss der Petite Glâne, daher kaum erkennbar). Grafik (B) zeigt den Abwasseranteil in der Petite Glâne, berechnet als Durchschnitt über den Zeitraum je 2-Wochen-Mischprobe. Darunter sind die Konzentrationsdynamik der Stoffe über den Beobachtungszeitraum hinweg. Für Imidacloprid wird das CQK nicht gezeigt, da es keine Detektionen im Flusswasser gab (C) und die Frachten im gereinigten Abwasser und im Fluss, flussaufwärts der ARA visualisiert (D).

Substanz (Wirkstoffgruppe)	Zulassung (2023)	CQK in ng/l (Robustheit)	Eintragspfad pro Standort					Eintragspfad Gesamt (Anz. Standorte)
			Surb	Petite Glâne	Ron*	Halbach	Scairolo	
Methomyl	BX PX	32 (1)		***				***
Thiacloprid	BX PX	10 (1)						Unklar
Imidacloprid	B PX TA	13 (1)						Punktquelle ARA (5)
Fipronil	B PX TA	0,7 (1)						Punktquelle ARA (5)
Permethrin	B PX HA TA	0,27 (1)						Unklar
Cypermethrin	B P	0,03 (1)						Unklar
Deltamethrin	B P TA	0,0017 (1)						Unklar
Chlorpyrifos-methyl	BX PX	1 (1)						Unklar
λ -Cyhalothrin	B P	0,022 (1)						Unklar
Propyzamid	P	63 (1)						Diffus EZG (2)
Pethoxamid	P	120 (3)						Unklar
Mesotrion	P	140 (3)						Unklar
Acetamiprid	B P	37 (3)						Unklar
Nicosulfuron	P	8,7 (1)						Unklar
Dimethenamid	P	260 (1)						Unklar
Metazachlor	P	20 (1)						Unklar
Flufenacet	P	48 (1)						Unklar
Foramsulfuron	P	17 (1)						Unklar
Dimethachlor	P	120 (1)						Unklar
Metribuzin	P	58 (1)						Diffus EZG (3)
Diflufenican	P	10 (1)						Unklar
Aclonifen	P	120 (2)						Diffus EZG (5)
Spiroxamin	P	63 (1)						Unklar

Tab. 3 Resultate zur Eintragspfadanalyse für die 23 CQK-überschreitenden Pestizide.

Farbliche Kennzeichnung der Substanzgruppen: orange: Insektizide; grün: Herbizide; blau: Fungizide.

Farbliche Kennzeichnung der Eintragspfade: hellblau: diffus; hellgelb: ARA; grau: nicht detektiert.

B: Zulassung als Biozid; BX: Zulassung als Biozid erloschen; HA: Humanarzneimittel; P: PSM; PX: Zulassung als PSM erloschen; TAM: Tierarzneimittel.

*** Methomyl wurde zwar über dem CQK in der Petite Glâne gefunden, erfüllt jedoch nicht die Anforderungen, um die Eintragspfadanalyse vorzunehmen.

Eintragspfade toxischer Insektizide

Bei der ökotoxikologischen Bewertung der Befunde wurden Insektizide als Hauptrisikotreiber in den untersuchten EZG identifiziert. Um die Gewässerrisiken mit gezielten Massnahmen zu reduzieren, ist es also entscheidend, die Eintragspfade dieser Substanzen in Fließgewässer zu identifizieren. Die Ergebnisse aus der Eintragspfadanalyse sind für die CQK-überschreitenden Substanzen in Tabelle 3 zusammengestellt. Aclonifen, Fipronil und Imidacloprid wurden an allen Standorten detektiert und über alle Standorte hinweg diffus (Aclonifen), bzw. über die ARA (Fipronil, Imidacloprid) eingetragen. Eine detaillierte Untersuchung zur Belastung von Schweizer Fließgewässern mit Fipronil findet sich auf Seite 90-95 in diesem Heft [20].

Des Weiteren wurde den Herbiziden Propyzamid und Metribuzin an allen Standorten, an denen sie detektiert wur-

den, der Eintragspfad «diffus EZG» zugeordnet (je zwei Standorte). Dem Rest der CQK-überschreitenden Wirkstoffe konnte zwar zum Teil pro Standort ein klarer Eintragspfad zugewiesen werden, jedoch wurden sie standortübergreifend oft auch über beide Pfade eingetragen (Tab. 3). Somit wird deutlich, dass die Befunde an den jeweiligen Standorten sehr spezifisch sein können und eine Verallgemeinerung und damit eine gesamtschweizerische Einordnung basierend auf diesem Datensatz nicht uneingeschränkt möglich ist. Besonders deutlich wird die Standortabhängigkeit bei den nachgewiesenen Pyrethroiden. Beispielsweise wurde Cypermethrin zwar an allen Standorten gefunden, jedoch wurde für drei Standorte der Eintragspfad «diffus EZG» und für zwei der Eintragspfad «Punktquelle ARA» zugeordnet. Auch eine schweizweite Analyse zeigt, dass Pyrethroide sowohl diffus aus dem EZG

wie auch über ARA in die Gewässer eingetragen werden (s. S. 80, [21]).

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit 135 nachgewiesenen Pestiziden wurde eine Vielzahl an Wirkstoffen in sehr unterschiedlichen Konzentrationen in den untersuchten Fließgewässern gefunden. Nur ca. ein Viertel wurde an allen Standorten nachgewiesen, was den Einfluss von standortspezifischen Unterschieden auf die Pestizidbelastung widerspiegelt. Gegenüber der im NAWA-Trend-MV-Messnetz untersuchten Pestizidpalette wurden in dieser Studie mit dem stark erweiterten Analysenprogramm zusätzlich 59 Pestizidwirkstoffe über ihrer BG detektiert. Allerdings wies von diesen zusätzlich nachgewiesenen Wirkstoffen nur Pethoxamid Befunde über dem CQK auf. Damit deckt das derzeit bestehende Analysenprogramm des

DANKSAGUNG

Für die finanzielle Unterstützung möchten wir dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) danken. Besonderer Dank gilt hierbei *Nicole Munz* für die Koordination des Projektes auf BAFU-Seite und die wertvollen Beiträge. Ausserdem bedanken wir uns bei den kantonalen Fachstellen und Abwasserreinigungsanlagen für die Unterstützung, insbesondere bei *Martin Märki*, *Jennifer Schollée* (Kt. Aargau), *Thomas Schluemp*, *Charly Knopf* (ARA Unterehrendingen), Familie *Suter* (Strombezug und Platzierung Probennehmer an der Surb), *Elise Folly*, *Lionel Schouwey*, *Gabrielle Rotzetter*, *Catherine Folly* (Kt. Freiburg), *Cédric Papaux* (ARA Bussy), *Manuel Kunz* (Kt. Luzern), *Kurt Bürkli* (ARA Hochdorf), *Christoph Moschet*, *Christine Egli*, *Mareike Braun* (Kt. Schaffhausen), *Werner Bringolf* (ARA Hallau), *Antonio Pesina*, *Mauro Veronesi* (Kt. Tessin), *Christian Chiappa* und *Fabio Foletti* (ARA Barbengo).

ZUSATZINFORMATIONEN

Die detaillierten Messwerte sowie weitere Zusatzinformationen zur Studie finden sich auf ERIC, der Online-Datenbank der Eawag: <https://doi.org/10.25678/000FCB>

NAWA-Trend-MV-Messnetzes zwar die beobachtete Toxizität für Wasserorganismen gut ab, jedoch sollten die zusätzlich in dieser Studie detektierten 59 Wirkstoffe in Zukunft weiter beobachtet werden, da für diese bisher grösstenteils nur ad-hoc-CQK-Werte mit geringer Robustheit vorliegen.

Herbizide waren für ca. 15% der 174 Überschreitungen der CQK verantwortlich, während rund 85% von Insektiziden stammten, besonders von Pyrethroiden und Fipronil. Dabei war das Risiko für Gewässerorganismen langanhaltend und teilweise sehr hoch (z.B. Cypermethrin: 100-fache Überschreitung des CQK). Während bei den Pyrethroiden beide Eintragspfade relevant waren, konnten Fipronil und Imidacloprid eindeutig Einträgen über die Punktquelle ARA zugeordnet werden. Es muss davon ausgegangen werden, dass diese Wirkstoffe an diesen Standorten

ganzjährig eingetragen werden und die Gewässerqualität beeinträchtigen. Insgesamt wurde deutlich, dass der Eintrag über die ARA ohne MV-Stufe an den beprobten Standorten mit hohem Abwasseranteil substanziiell zur Pestizidbelastung der Fliessgewässer beiträgt. Dabei können die Einträge über die ARA ursprünglich sowohl aus dem Siedlungsgebiet als auch aus der Landwirtschaft stammen. Je Standort konnten etwa drei Viertel der nachgewiesenen Pestizide einem klaren Eintragspfad zugeordnet werden. Standortübergreifend konnten für insgesamt 28 Pestizide klare Eintragspfade zugewiesen werden (10 «diffus EZG» und 18 «Punktquelle ARA»), während für 81 Pestizide beide Eintragspfade infrage kommen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Schorr, J. et al. (2025): Data for: Pestizideinträge in Schweizer Fliessgewässer (Version 1.0). Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. <https://doi.org/10.25678/000FCB>
- [2] 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
- [3] Mechelke, J. et al. (2019): Vacuum-assisted evaporative concentration combined with LC-HRMS/MS for ultra-trace-level screening of organic micropollutants in environmental water samples. *Analytical and bioanalytical chemistry* 411(12): 2555–2567
- [4] Doppler, T. et al. (2017): Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen. NAWA-Spez-Kampagne untersucht Bäche in Gebieten intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. *Aqua & Gas* 4/2017: 46–56
- [5] 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
- [6] Doppler, T. et al. (2014): Critical source areas for herbicides can change location depending on rain events. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 192: 85–94
- [7] Wittmer, I. et al. (2014): Über 100 Pestizide in Fliessgewässern. Programm NAWA Spez zeigt die hohe Pestizidbelastung der Schweizer Fliessgewässer auf. *Aqua & Gas* 3/2014: 32–43
- [8] Langer, M. et al. (2017): Hohe ökotoxikologische Risiken in Bächen. NAWA Spez untersucht Bäche in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. *Aqua & Gas* 4/2017: 58–68
- [9] Spycher, S. et al. (2019): Anhaltend hohe PSM-Belastung in Bächen. NAWA Spez 2017: kleine Gewässer in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft verbreitet betroffen. *Aqua & Gas* 4/2019: 14–25
- [10] Rösch, A. et al. (2019): Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung. Nachweis von Pyrethroid- und Organophosphatinspektiziden in Schweizer Bächen im pg-l-Bereich. *Aqua & Gas* 11/2019: 54–66
- [11] Daouk, S. et al. (2022): Insektizide in Oberflächengewässern – Risiken von Pyrethroiden und Organophosphaten. *Aqua & Gas* 4/2022: 58–66
- [12] European Commission (2017): Technical guidance for deriving environmental quality standards
- [13] Oekotoxzentrum. Vorschläge des Oekotoxentrums für Qualitätskriterien für Oberflächengewässer. Zugriff: 08.08.2025; Link: <https://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/>
- [14] Oekotoxzentrum. Quality criteria used by oz for aquatic risk assessment. Zugriff: 08.08.2025; https://www.oekotoxzentrum.ch/media/rjwflzkv/quality-criteria-used-by-oz-for-aquatic-risk-assessment_20250610.xlsx
- [15] Bub, S. et al. (2025): Limitations of chemical monitoring hinder aquatic risk evaluations on the macroscale. *Science* 388(6753): 1301–1305
- [16] Spycher, S. et al. (2018): Pesticide Risks in Small Streams – How to Get as Close as Possible to the Stress Imposed on Aquatic Organisms. *Environmental Science & Technology* 52(8): 4526–4535
- [17] la Cecilia, D. et al. (2023): Continuous high-frequency pesticide monitoring in a small tile-drained agricultural stream to reveal diel concentration fluctuations in dry periods. *Frontiers in Water*. 4
- [18] Weisner, O. et al. (2021): Risk from pesticide mixtures – The gap between risk assessment and reality. *Science of The Total Environment* 796: 149017
- [19] Moschet, C. et al. (2014): How a Complete Pesticide Screening Changes the Assessment of Surface Water Quality. *Environmental Science & Technology* 48(10): 5423–5432
- [20] Barth, S. et al. (2025): Fipronil belastet Schweizer Fliessgewässer. *Aqua & Gas* 10/2025: 90–95
- [21] Barth, S. et al. (2025): Ursachen der Pestizidverunreinigung in Fliessgewässern. *Aqua & Gas* 10/2025: 80–88

13.11.2025

Palazzo
dei Congressi
Lugano

ACQUA 360

DER SCHWEIZER WASSERKONGRESS
LE CONGRÈS SUISSE SUR L'EAU
IL CONGRESSO SVIZZERO SULL'ACQUA

ACQUA360 2025: Wasser im Wandel – Schutz und Nutzung im Fokus
ACQUA360 2025 : l'eau en mutation – protection et utilisation au centre
ACQUA360 2025: L'acqua in trasformazione – Protezione e utilizzo al centro

Anmeldung / Inscription / Iscrizioni: www.acqua360.ch



ORGANIZZATORI / ORGANISATOREN / ORGANISATEURS



PARTNER / PARTNENAIRES



SPONSOR GOLD / GOLDSPONSOREN / SPONSOR OR

