



INSEKTIZIDE UND FUNGIZIDE IN FLIESSGEWÄSSERN

WICHTIG ZUR BEURTEILUNG DER GEWÄSSERQUALITÄT

Bisher haben Insektizide und Fungizide im Fließgewässermonitoring eine untergeordnete Rolle gespielt. Dieser Artikel beschreibt, wie und wo diese Substanzen angewendet werden, wie sie ins Gewässer gelangen, welche Exposition in einer schweizweiten Feldstudie bestimmt wurde und welche Auswirkungen auf Gewässerorganismen dadurch erwartet werden. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass mehr Insektizide und Fungizide mit tiefen analytischen Nachweisgrenzen in Routine-Monitoringprogramme aufgenommen werden müssen, um die Wasserqualität umfassender zu beurteilen.

Christoph Moschet, Irene Wittmer, Christian Stamm, Heinz Singer, Juliane Hollender*, Eawag*

RÉSUMÉ

INSECTICIDES ET FONGICIDES DANS LES COURS D'EAU - DONNÉES IMPORTANTES POUR L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Les insecticides et les fongicides sont des pesticides souvent négligés dans la surveillance de l'eau. Les principales raisons proviennent des concentrations attendues inférieures en comparaison avec les herbicides. Mais ce sont principalement les insecticides qui sont souvent blâmés pour l'absence d'invertébrés dans le milieu aquatique en raison de leur haute toxicité. L'article vise à donner un aperçu du type d'utilisation des classes de substances les plus importantes dans les cultures agricoles et en dehors de l'agriculture. D'autre part, l'objectif est d'évaluer la pertinence des insecticides et des fongicides sur la base d'une évaluation des résultats de mesures par une prise en compte globale des pesticides dans le projet NAWA SPEC, de sélectionner les substances les plus importantes de chaque catégorie et de montrer comment améliorer l'évaluation actuelle de la qualité.

Les insecticides sont utilisés principalement dans les cultures spécifiques de fruits et légumes. En outre, la plupart des semences de cultures agricoles (colza, betteraves à sucre, maïs, céréales) sont traitées avec des insecticides mordants. Leur pénétration dans les eaux est cependant encore mal comprise. L'utilisation de fongicides est très intense et, tout au long de la saison, un fongicide de contact rapidement dégradable est souvent combiné à un fongicide systémique dans la culture des fruits, des raisins et des pommes de terre. En outre, de

EINLEITUNG

Pestizide, angewendet als Pflanzenschutzmittel (PSM) in Landwirtschaft und Privatgärten sowie als Biozide in Siedlungsgebieten, können ins Gewässer gelangen und deren Qualität beeinträchtigen. In den letzten Jahren zeigten mehrere Publikationen – unter anderem zwei *Aqua & Gas*-Artikel von BAFU und Eawag [1, 2] –, dass ein breites Spektrum an Pestiziden – hauptsächlich PSM – in Schweizer Gewässern nachgewiesen werden kann und dass deren Belastung höher ist, als man bisher angenommen hat. Auch politisch ist das Thema sehr aktuell: Der Bundesrat hat am 21. Mai 2014 die Ausarbeitung eines nationalen Aktionsplans zur Risikominimierung und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln befürwortet [3]. Der Erfassung der Gewässerbelastung mittels Pestizidmonitorings (z. B. durch kantonale Gewässerschutzbehörden) kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Einige Kantone betreiben bereits heute ein grosses Pestizidmonitoring in Gewässern (z. B. [4-7]). Sie zeigen damit die Belastung der Gewässer und langzeitige Trends auf und können, wo möglich, Massnahmen ergreifen. Die Messdaten von früheren PSM-Untersuchungen in der Schweiz (Datensatz aus [1]) haben aufgezeigt, dass nicht alle Substanzklassen gleich gut durch das heutige Monitoring abgedeckt

* Kontakt: christoph.moschet@eawag.ch; juliane.hollender@eawag.ch

sind: Insektizide und Fungizide werden gegenüber Herbiziden deutlich weniger häufig analysiert. Von den 31 schweizweit am häufigsten untersuchten PSM waren neben 22 Herbiziden nur 5 Fungizide und 4 Insektizide. Auch wissenschaftliche Studien haben sich meistens mit Herbiziden befasst, 50% der bisher am häufigsten gemessenen PSM sind Herbizide, nur je 25% Fungizide oder Insektizide [8]. Hinzu kommt, dass Insektizide, die in internationalen Wissenschaftsstudien untersucht werden, meist heute nicht mehr zugelassene chlororganische Insektizide oder Organophosphate sind [9].

Der Hauptgrund, warum Insektizide und Fungizide in der Vergangenheit weniger häufig untersucht wurden, ist vermutlich, dass die Konzentrationen in Gewässern aufgrund geringerer Anwendungsmengen tiefer liegen als Herbizidkonzentrationen. Dadurch waren sie in der Vergangenheit messtechnisch schwierig zu erfassen und erst mit verbesserten analytischen Möglichkeiten können die Substanzen in den Gewässern überhaupt nachgewiesen werden.

Vergleicht man die effektbasierten, chronischen Qualitätskriterien (CQK) [10] der verschiedenen PSM-Klassen, zeigt sich klar, dass Insektizide häufig sehr toxisch sind (Fig. 1). Insektizide mit tiefem CQK sind zum einen Neonicotinoide, die auch in Verdacht stehen, Effekte auf Bienenpopulationen zu haben (z. B. [11]). Zum anderen sind Pyrethroide und unpolare Organophosphate extrem toxisch für aquatische Lebewesen (CQK häufig <1 ng/l). Das Vorkommen von Pyrethroiden wird sehr häufig verantwortlich gemacht für das Fehlen von Invertebraten wie z. B. Bachflohkrebsen in Fliessgewässern [12]. Aufgrund der zu hohen Nachweisgrenzen mit herkömmlichen Analysemethoden konnte ein Zusammenhang bisher nicht nachgewiesen werden. Für eine umfassendere Beurteilung der Wasserqualität ist es daher wichtig, dass analytische Nachweisgrenzen unterhalb der CQK-Werte liegen.

Fungizide scheinen aufgrund ihrer CQK-Werte deutlich weniger toxisch zu sein als Insektizide und Herbizide (Fig. 1). Leider besteht bei den Fungiziden in der Herleitung der Qualitätskriterien eine entscheidende Lücke: In ökotoxikologischen Studien werden meist nur Algen, Invertebraten und Fische berücksichtigt, nicht aber aquatische Pilze. Man muss davon ausgehen, dass Fungizide, die dafür bestimmt sind, Pilzkrankheiten zu bekämpfen, auch im Gewässer die stärkste Wirkung auf Pilze haben. Da Pilze eine besondere Funktion in der Nahrungskette einnehmen, ist unklar, welche Folgen es hat, wenn sich die Organismenzusammensetzung der Pilze im Gewässer ändert.

Ein kürzlich im Auftrag des BAFU erschienen Beurteilungskonzept für die Erfassung von diffusen Belastungen, das durch die Eawag und das Ökotoxzentrum erarbeitet wurde, hat sich zum Ziel gesetzt, das Pestizidmonitoring in Schweizer Gewässern zu harmonisieren und die Belastung möglichst repräsentativ abzudecken [16]. Darin werden unter anderem 42 PSM vorgeschlagen, die in Zukunft regelmässig untersucht werden sollen. Die Auswahl zielt darauf ab, für jede Kultur mindestens einen repräsentativen und relevanten Vertreter pro Substanzklasse zu definieren. Dazu wurde eine Vorauswahl aufgrund theoretischer Auswertungen getroffen, die mit Messdaten aus dem NAWA SPEZ-Screening [2] sowie in der Diskussion mit einer Expertengruppe abgeglichen wurde. Die Auswahl enthält neben 21 Herbiziden auch 11 Insektizide und 10 Fungizide. Die Umsetzung dieses Konzeptes würde bedeuten, dass den Insektiziden und Fungiziden in Zukunft mehr Bedeutung gegeben wird.

Ziel dieses Artikels ist es, einen Überblick über die Relevanz von Insektiziden und Fungiziden in Schweizer Fliessgewässern zu geben. Dazu wird im ersten Teil detailliert beschrieben, wo und zu welchen Zeitpunkten Insektizide und Fungizide in der Schweizer Landwirtschaft angewendet werden. Im zweiten Teil wird der Austrag von Insektiziden und Fungiziden in die Gewässer beschrieben. Mit Resultaten aus dem vollumfänglichen Pestizidscreening im NAWA SPEZ-Projekt [2, 13] wird verdeutlicht, wie gross die Exposition und das Risiko von Insektiziden und Fungiziden in mittelgrossen Schweizer Fliessgewässern tatsächlich ist und welches die relevantesten Substanzen sind. Zum Schluss wird aufgezeigt, wie sich die Beurteilung der Wasserqualität verbessert, wenn zusätzliche Insektizide und Fungizide in zukünftige Monitoringprogramme – wie im Beurteilungskonzept [16] vorgeschlagen – aufgenommen werden.

VERKAUFZAHLEN UND ANWENDUNGSMUSTER

VERKAUFSMENGEN VON PFLANZENSCHUTZMITTELN

In der Schweiz waren 2014 ca. 100 Herbizide, ca. 100 Fungizide sowie ca. 60 Insektizide als PSM in der Landwirtschaft und/oder in Privatgärten zugelassen [17]. Es handelt sich um ein sehr breites Spektrum an Substanzen mit sehr unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften (s. Kap. «Stoffeigenschaften»). Die pro Jahr verkaufte Gesamtmenge je Substanzklasse wird jedes Jahr im Agrarbericht des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) publiziert [18]. Die Gesamtzahlen zeigen, dass Herbizide in ähnlichen Mengen verkauft werden

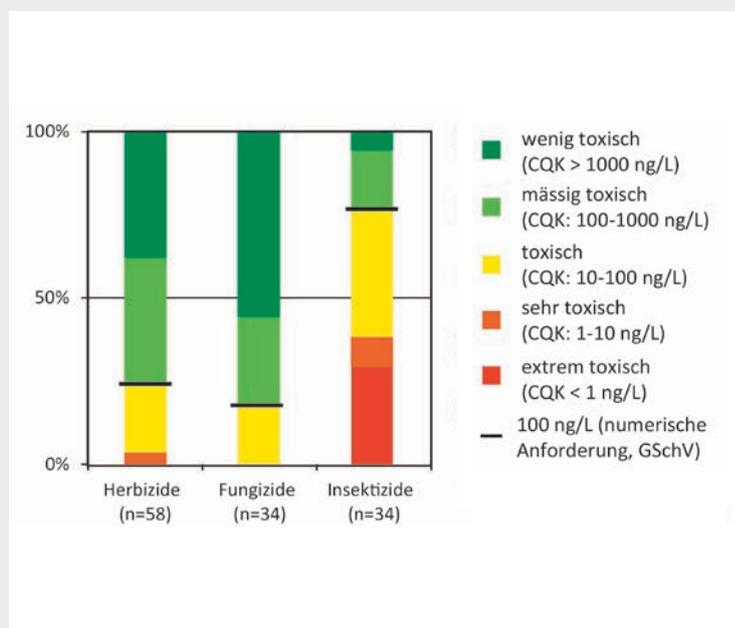


Fig. 1 Zusammenstellung der chronischen Qualitätskriterien (CQK) für Herbizide, Fungizide und Insektizide, die im NAWA SPEZ-Screening detektiert wurden [2, 13]. CQK wurden gemäss Leitfaden der EU-Wasserrahmenrichtlinie [14] durch das Ökotoxzentrum [15] hergeleitet oder aus der Literatur entnommen, Details s. [10]

Compilation des critères de qualité chroniques (CQC) pour les herbicides, les fongicides et les insecticides qui ont été détectés dans le screening NAWA SPEC [2, 13]. Les CQC ont été, conformément aux lignes directrices de la directive cadre sur l'eau de l'UE [14], tirés du Centre Ecotox [15] ou de la littérature; pour de plus amples détails, voir [10]

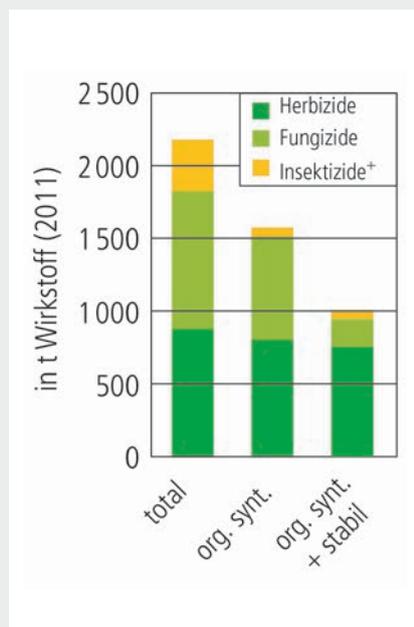


Fig. 2 Verkaufszahlen der wichtigsten PSM-Klassen im Jahr 2011. Links: alle zugelassenen Herbizide, Fungizide und Insektizide. Daten aus Agrarbericht (2013) [18]. Mitte: nur organisch-synthetische (org. synt.) PSM. Verkaufszahlen (Mittelwerte der Kategorie-Einteilung) aus [19]. Rechts: org. synt. PSM, die in Boden und Wasser stabil sind. Kriterium: Halbwertszeit Boden (Labor) und Wasser (Wasser-Sediment-System) >1 d. Daten aus der Footprint-Datenbank [23]. + In der Verkaufstatistik nicht aufgeführt ist das importierte gebeizte Saatgut (ca. 10 t, Box 1)

Chiffres de ventes des classes de produits phytopharmaceutiques les plus importantes en 2011. À gauche: tous les herbicides, fongicides et insecticides approuvés. Données du rapport sur l'agriculture (2013) [18]. Au centre: seuls les produits phytopharmaceutiques synthétiques organiques (synt. org.). Chiffres de ventes (valeurs moyennes de la classification en catégorie) [19]. À droite: produits phytopharmaceutiques synt. org. stables dans le sol et l'eau. Critère: demi-vie pour le sol (laboratoire) et l'eau (système eau - sédiments) >1 d. Base de données Footprint [23]. + Les semences traitées importées ne figurent pas dans les statistiques de vente (env. 10 t, encadré 1)

wie Fungizide und dass der Verkauf von Insektiziden etwa halb so gross ist (Fig. 2, links). Werden nur die organisch-synthetischen Substanzen berücksichtigt, fällt der grösste Teil der Insektizide (80%) und ca. ein Viertel der Fungizide weg (Fig. 2, Mitte). Bei den Insektiziden machen (ökotoxikologisch weniger relevante)

Mineralöle und Fettsäuren den grössten Anteil aus. Bei den Fungiziden handelt es sich hauptsächlich um anorganisches Kupfer und anorganischen Schwefel. Ein sehr grosser Anteil der organisch-synthetischen Fungizide ist im Boden oder Gewässer sehr schnell abbaubar, weshalb keine langfristige Belastung durch die Ausgangssubstanzen im Gewässer zu erwarten ist (Fig. 2, rechts). Dabei handelt es sich z.B. um das im Kartoffelbau häufig eingesetzte Fungizid Mancozeb oder die im Obst- und Rebbau eingesetzten Fungizide Captan und Folpet (Kap. «Applikation», Tab. 1). Dabei gilt es auch zu beachten, dass eventuell Transformationsprodukte entstehen, welche stabil und potenziell toxisch sein können.

Zusammenfassend folgt daraus, dass stabile, organisch-synthetische Fungizide und Insektizide im Jahr 2011 nur ca. 180 t bzw. 70 t am Verkauf ausmachten. Da die meisten Herbizide organisch-synthetisch und stabil sind, ist diese Zahl bei ca. 750 t ähnlich wie die Gesamtzahl. Die geringen Verkaufszahlen der verbliebenen Insektizide und Fungizide kommen durch tiefere Applikationsmengen (kg/ha) zustande (Tab. 1). Ausserdem werden Herbizide grossflächig auf Ackerkulturen (Getreide, Mais, Zuckerrüben) eingesetzt, was zu einer grösseren Gesamteinsatzmenge führt.

Bei den Insektiziden ist wichtig zu beachten, dass die effektiv eingesetzte Menge ca. 10 t höher ist als die Verkaufszahlen suggerieren. Dies resultiert aus dem Import von mit Insektiziden gebeiztem Saatgut in die Schweiz, das in der Verkaufstatistik nicht aufgeführt ist (Box 1). Für einzelne Substanzen (z.B. Imidacloprid) kann dieser Teil den Hauptanteil der Gesamtmenge ausmachen.

Exakte Verkaufszahlen zu einzelnen Wirkstoffen sind öffentlich nicht verfügbar. Zumindest ist aber eine Einteilung in Verkaufskategorien (Einteilung in Verkauf < 1 t, < 5 t, < 10 t etc.) teilweise öffentlich zugänglich (s. Zusammenstellung in Spycher und Daniel [19]).

Doppelzulassungen als PSM und Biozid

Von den in der Schweiz im Jahr 2014 als PSM zugelassenen Fungiziden und Insektiziden [17] waren ca. ein Fünftel der Fungizide und ca. die Hälfte der Insektizide zusätzlich als Biozid in Siedlungsgebieten zugelassen [20]. Über die Anwendungsmengen von Bioziden liegen keine genauen Verkaufszahlen vor, son-

SAATBEIZMITTEL

Das Saatgut von diversen Feldkulturen (z.B. Getreide, Mais, Raps, Zuckerrüben) und verschiedenem Gemüse wird mit Insektiziden oder Fungiziden behandelt. Der industrielle Beizprozess findet beim Getreide und zum Teil beim Mais in der Schweiz statt, bei den anderen Kulturen wird das Saatgut gebeizt importiert (z.B. Mais, Raps, Zuckerrüben, Gemüse). Die importierten PSM-Mengen werden dabei nicht in der PSM-Verkaufstatistik erfasst. Häufig angewendete Insektizidbeizmittel sind bzw. waren Neonicotinoide (Clothianidin, Imidacloprid, Thiamethoxam). Diese sind sehr polar und lange stabil im Boden (Tab. 1). Die Anwendungsmengen der Insektizidbeizmittel pro Hektar sind vergleichbar mit den gespritzten Insektizid-Anwendungsmengen (0,1-0,25 kg/ha). Häufig verwendete Fungizidbeizmittel sind dabei Thiram, Metalaxyl, Fludioxinil oder Azolfungizide. Die Anwendungsmengen der Fungizidbeizmittel sind hingegen um ca. Faktor zehn tiefer als gespritzte Fungizid-Anwendungsmengen.

Durch ihre systemische Wirkung werden Beizmittel über die Wurzeln in die Pflanzen aufgenommen und verteilen sich danach gleichmässig im Gewebe der Pflanzen. Aufgrund des Verdachts, dass über Pollen und Nektar aufgenommene Neonicotinoide Effekte auf Bienenpopulationen haben, wurde im Jahr 2013 für die drei Neonicotinoide ein zweijähriges Anwendungsmoratorium in der EU und der Schweiz für Raps und Mais festgelegt [29]. Die Ausbreitung im Boden sowie der Eintrag ins Gewässer sind noch wenig untersucht (s. Kap. «Eintragspfade»).

Box 1

dern nur grobe Abschätzungen [21, 22]. Diese Abschätzungen zeigen, dass für einige Azolfungizide sowie für das Fungizid Carbendazim die Biozidquelle mengenmässig nicht zu vernachlässigen ist. Die meisten Insektizide mit Doppelzulassung gehören in die Biozidhauptgruppe der Schädlingsbekämpfungsmittel. Für die gesamte Hauptgruppe wurde die Biozidmenge relativ gering, d.h. kleiner als 1 t, abgeschätzt [21]. Zudem sind einige Insektizide auch als Tierarzneimittel zu-

gelassen, zu denen weder Verkaufszahlen noch Abschätzungen vorliegen.

APPLIKATIONSMUSTER

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die räumlichen und zeitlichen Anwendungsmuster der Insektizide und Fungizide in der Schweiz. Die Zusammenstellung basiert auf eigens dafür durchgeführten Expertenbefragungen [24] sowie Informationen aus der *Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI)*, bei der die landwirtschaftliche Praxis von ca. 230 Landwirtschaftsbetrieben über zwei Jahre untersucht wurde [19].

Insektizide

Insektizide werden hauptsächlich in Spezialkulturen angewendet. Dabei ist insbesondere im Obst- und Gemüsebau die Anzahl der Applikationen hoch. Im Obstbau stellen Niederstamm-Äpfelplantagen den grössten Flächenanteil. Dort erfolgen zwischen den Monaten April und August durchschnittlich drei bis fünf Insektizidapplikationen mit Carbamaten, Organophosphaten, Diacylhydrazinen und Benzoylurea (Tab. 1). Hauptschädlinge sind Apfelwickler, Sägewespen und Läuse. Aufgrund der grossen Diversität im Gemüsebau war eine detaillierte Abschätzung weder mittels Expertenbefragung [24] noch mittels Zentraler Auswertung Agrarumweltindikatoren [19] möglich. Je nach Gemüsesorte sind durchschnittlich zwei bis fünf Applikationen zwischen den Monaten April und Oktober zu erwarten, wichtige eingesetzte Substanzklassen sind Pyrethroide, Carbamate, Organophosphate und Diacylhydrazine gegen diverse Läuse, Fliegen und Thripsen.

Im Weinbau ist der Einsatz von Insektiziden heute bedeutend geringer als noch vor zwanzig Jahren, was auf den erfolgreichen Einsatz der Verwirrungstechnik mittels Pheromonen [25] gegen den Traubenwickler zurückzuführen ist. Im Schnitt wird maximal eine Anwendung von Diacylhydrazinen getätigt. Dass solche Anwendungen trotzdem lokal zu hohen Konzentrationen führen können, zeigt das Beispiel eines kleinen Bachs in einem Genfer Rebbaugelände, in dem Methoxyfenozid in Konzentrationen bis zu 6 µg/l nachgewiesen wurde (Auswertung Datenbank aus [1]). Mit dem Auftreten der Kirschessigfliege in der Schweiz vor ca. drei Jahren könnte sich die Insektizid-Einsatzmenge im Weinbau wieder erhöhen. Bisher sind sechs zusätzliche Wirkstoffe mittels Sonderbewilligung zugelassen worden [26].

Im Feldbau ist beim Raps der Insektizideinsatz mit zwei bis drei Pyrethroid- oder Neonicotinoidapplikationen zwischen März und April gegen den Rapsglanzkäfer und den Stengelrüssler relativ intensiv. Gespritzte Applikationen bei Kartoffeln sind selten (max. eine Applikation pro Jahr), in den anderen Feldbaukulturen Getreide, Zuckerrüben und Mais sind synthetische Insektizide von geringer Bedeutung. Jedoch ist ca. 10% des Getreidesaatgutes, ca. 60% des Maissaatgutes und fast 100% des Zuckerrüben- und Rapssaatgutes mit Insektiziden gebeizt (Box 1). Interessanterweise werden Insektizide (Pyrethroide und Organophosphate) auch in der Forstwirtschaft im Wald bei liegendem Rundholz gegen Borckenkäfer angewendet. Für gewisse Pyrethroide entspricht dies bis zu 20% der gesamten Verwendungsmenge. Des Weiteren werden Insektizide häufig bei Zierpflanzen und in Privatgärten eingesetzt (z.B. Organophosphate, Neonicotinoide); eine Mengenabschätzung dabei ist aber schwierig, da der Einsatz sehr individuell und heterogen erfolgt [27, 28].

Substanzklasse (Anzahl Substanzen ¹)	Stellvertreter	logK _{ow} ²	DT ₅₀ Boden (d) ²	DT ₅₀ Wasser (d) ²	DT ₅₀ Photolyse (d) ²	Ø Anwendungsmenge (kg/ha) ³	Hauptanwendung ⁴
Insektizide							
Benzoylurea (4)	Diflubenzuron	3,9-5,1	3-92	5-110	1 - 80	0,09	Getreide, Obst
Carbamate (7)	Pirimicarb	1,2-7,4	1,4-86	4-200	0,6 - stabil	0,26	Obst, Gemüse
Diacylhydrazine (2)	Methoxyfenozid	3,7-4,2	26-720	150	stabil	0,16	Obst, Gemüse, Reben
Neonicotinoide (5)	Thiacloprid	-0,1-1,3	1,3-550	28-130	0,1-34	0,08	Raps, Privatgarten, Beizmittel Feldbau
Organophosphate (8)	Chlorpyrifos	0,7-4,7	2-76	0,2-40	3,8-180	0,46	Obst, Gemüse, Privatgarten
Pyrethroide (6)	Cypermethrin	4,6-6,9	16-100	12-160	6-48	0,03	Gemüse, Raps, Forstwirtschaft
Fungizide							
Anilinopyrimidine (3)	Cyprodinil	2,8-4,0	53-110	15-140	14-21	0,38	Obst, Reben, Getreide
Azole (12)	Tebuconazol	2,9-4,4	84-430	3-1050	4-70	0,14	Getreide, Obst, Zuckerrüben (+ Biozid)
Dithiocarbamate (6)	Mancozeb	-0,5-1,8	0,1-5	0,4-76	0,1 - stabil	1,72	Kartoffeln, Gemüse
Phthalimide (2)	Captan	2,5-3,0	0,8-5	0,02-1,0	stabil	1,2	Obst, Reben
Strobilurine (5)	Azoxystrobin	2,5-4,5	0,9-180	1,3-200	1,7 - 31	0,19	Getreide, Kartoffeln, Reben
Morpholine (3)	Dimethomorph	2,7-4,5	20-57	38-70	51 - stabil	0,45	Getreide, Kartoffeln

¹ zugelassen in der Schweiz im Jahr 2014; ² logK_{ow}: Verteilungskoeffizient Oktanol-Wasser, DT₅₀: Halbwertszeit. Daten aus der Footprint-Datenbank [23];

³ aus Moschet (2011) [24], Berechnungen aus dem Pflanzenschutzmittelverzeichnis des BLW [31]; ⁴ aus Moschet (2011) [24] und Spycher und Daniel (2013) [19]

Tab. 1 Substanzeigenschaften und Informationen zur Anwendung der wichtigsten Insektizid- und Fungizidklassen

Propriétés de substance et informations sur l'utilisation des classes d'insecticide et de fongicides principales

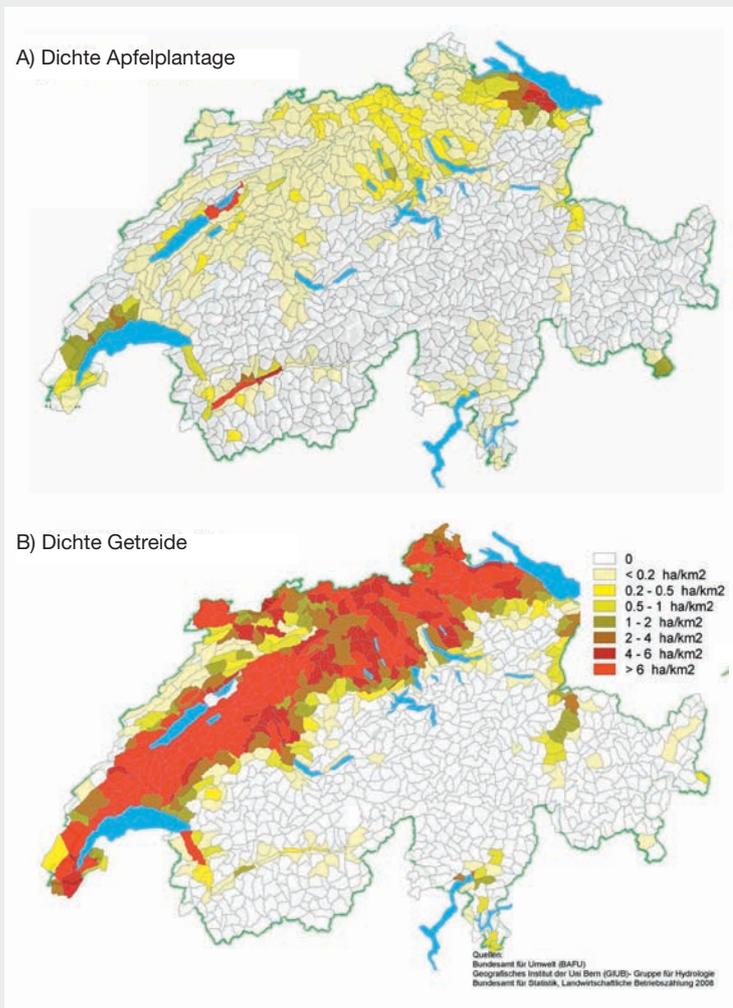


Fig. 3 Verteilung der Apfelplantagen (A) und der Getreideflächen (B) in der Schweiz im Jahr 2008

Répartition des vergers de pommiers (A) et des surfaces de céréales (B) en Suisse en 2008

Fungizide

Die fungizid-intensivsten Kulturen sind Obstbau, Weinbau und Kartoffeln. Im Obst- und Weinbau werden bis zu zwölf Spritzungen in einer Saison durchgeführt, oft wird alle zwei Wochen von März/April bis Juli/August gespritzt. Dabei wird meist ein schnell abbaubares Kontaktfungizid¹ (z.B. Captan, Folpet, Dithianon) mit einem wechselnden systemischen Fungizid² (z.B. Azol, Anilinopyrimidin, Strobilurin, Tab. 1) kombiniert. Bei Kartoffeln gibt es zwischen fünf und zehn Spritzungen von Mai bis September (Kontaktfungizide: z.B. Mancozeb, Chlorothalonil, systemische Fungizide: z.B. Morpholine, Strobilurine). Im Getreide (Ausnahme: Extensoproduktion, ca. 50% der Anbaufläche), bei den Zuckerrüben und im Raps erfolgen zwischen ein und drei Applikationen mit diversen Wirkstoffen im Frühling und teilweise im Herbst. Zudem sind 100% des Getreide- und Maissaatgutes sowie 90% des Kartoffelsaatgutes mit Fungiziden gebeizt.

¹ Kontaktfungizide dringen nicht ins Gewebe der Pflanzen ein, sondern wirken nur auf deren Oberfläche. Sie können daher leicht vom Regen abgewaschen werden. Die meisten Kontaktfungizide sind im Boden oder im Gewässer schnell abbaubar.

² Systemisches Fungizid: Der Wirkstoff wird über die Blätter oder die Wurzeln aufgenommen und in der Pflanze verteilt.

Wie bei den Insektiziden ist der Einsatz von Fungiziden im Gemüsebau, bei Zierpflanzen und in Privatgärten relativ intensiv, genaue Mengen sind aber schwer abschätzbar. Im Gemüsebau sind 60–70% vieler Kulturen (z. B. Kohl, Salat, Karotten) zusätzlich gebeizt.

Räumlicher und zeitlicher Einsatz schwierig abzuschätzen

Wie aus der Zusammenstellung zu entnehmen, ist das Applikationsmuster von Insektiziden und Fungiziden viel komplexer als für Herbizide, die hauptsächlich in grossen Feldkulturen eingesetzt werden. Die Auswertung der rund 230 Landwirtschaftsbetriebe in der ZA-AUI hat gezeigt, dass die Schätzungen auf Ebene der einzelnen Wirkstoffe noch mit grossen Unsicherheiten behaftet sind. Dies liegt vor allem daran, dass der Schaderregerdruck je nach Region unterschiedlich ist und im Fall der Spezialkulturen die Erhebungen nur bedingt repräsentativ waren [19]. Das bedeutet, dass die Abschätzung der Relevanz einer bestimmten Quelle sehr schwierig ist. Um ein detaillierteres Bild vom Anwendungsspektrum zu bekommen, sollten in Zukunft noch mehr Landwirtschaftsbetriebe erfasst werden und ein Fokus auf Spezialkulturen gelegt werden (s. auch [30]).

Für die Insektizide und Fungizide, die hauptsächlich in Spezialkulturen eingesetzt werden, ergibt sich, dass die räumliche Belastungssituation anders aussieht als für die Herbizide, die in grossen Feldkulturen eingesetzt werden. Dies ist in *Figur 3* illustriert, in der die Kulturdichten der Apfelplantagen in der Schweiz mit den Getreidedichten verglichen werden. Die Apfelplantagen haben klare Hotspots in der Region Bodensee, Bielersee und Rhonetal, während die Getreideflächen flächendeckend übers Schweizer Mittelland verteilt sind. Ähnliche Hotspots wie im Obstbau findet man im Weinbau und Gemüsebau.

EINTRAGSPFADE INS GEWÄSSER

STOFFEIGENSCHAFTEN

Das Wissen über die physikalisch-chemischen Eigenschaften der verschiedenen PSM ist erstens wichtig für die Abschätzung der erwarteten Exposition im Gewässer und zweitens für die Planung der Probenahme und Analytik (Probenlagerung, Messmethode, z. B. Flüssigchromatographie vs. Gaschromatographie). Wie aus *Tabelle 1* hervorgeht, sind die Substanzeigenschaften der verschiedenen Insektizid- und Fungizidgruppen sehr unterschiedlich. Vor allem die Insektizide decken einen sehr grossen Bereich von sehr polaren (Neonicotinoide) bis sehr unpolaren (Pyrethroide) ab. Auch von der Stabilität in Boden und Gewässer gibt es – vor allem bei Fungiziden – extreme Unterschiede, von sehr instabilen Substanzen (Phthalimide, Dithiocarbamate) bis sehr stabile Substanzen (Azole).

EINTRAGSWEGE INS GEWÄSSER

Der Eintrag von Insektiziden und Fungiziden in Fliessgewässer erfolgt analog zum Herbizideintrag über folgende wichtigsten drei Wege:

- durch oberflächliche Abschwemmung und via Drainagen nach Regenereignissen
- durch Abdrift während der Applikation
- über die Strassenentwässerung und die Siedlungsentwässerung (Kläranlagen, Regenüberlaufbecken, Mischwasserüberläufe) [32]

Im Unterschied zu Herbiziden werden Insektizide und Fungizide öfters in Raumbaukulturen (Obstbau, Weinbau) eingesetzt, bei denen das Driftpotenzial höher ist [33]. Dabei gilt es zu beachten, wie viele Obst- und Rebbaugelände tatsächlich in Gewässernähe liegen, sodass direkte Abdrift ins Oberflächengewässer überhaupt möglich ist. Was häufig nicht in Betracht gezogen wird, sind Rückstände, die auf

Feldwege gelangen und mit dem nächsten Regenereignis ins Gewässer abgeschwemmt werden können [34].

Der Eintrag von Beizmitteln in Fließgewässer ist noch kaum verstanden. Es wird erwartet, dass die gut löslichen Substanzen ins Grundwasser ausgewaschen werden können. Trotz des hohen theoretischen Potenzials wurden die Substanzen jedoch in Lysimeterstudien über Jahre

nicht gefunden (z.B. [35]). Eine Masterarbeit in Schweden konnte zum ersten Mal zeigen, dass Beizmittel über Drainagen – mit einer ähnlichen Eintragsdynamik wie gespritzte PSM – ins Fließgewässer gelangen können [36]. Eine Studie zum Austrag von Beizmitteln in drainierten Feldern läuft zurzeit bei Agroscope in Reckenholz (Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften).

PROBENAHE UND ANALYTISCHE METHODIK

Im NAWA SPEZ-Screening wurden in fünf mittelgrossen Fließgewässern (Furtbach ZH, Limpach SO, Mentue VD, Salmsacher Aach TG und Surb AG) zwischen März und Juli 2012 je neun zeitproportionale Zweiwochenmischproben genommen [2]. Die Proben wurden mittels Flüssigchromatographie gekoppelt an die hochauflösende Tandem-Massenspektrometrie (LC-HRMS/MS) auf 249 polare Pestizide untersucht, was 86% aller in den Jahren 2005–2011 zugelassenen organisch-synthetischen Pestiziden entspricht [2, 37]. Darunter waren 70 Fungizide und 31 Insektizide.

Mit dieser Methodik konnten unpolare Insektizide – Pyrethroide und einige Organophosphate – nicht oder nur unzureichend analysiert werden. Da für diese Substanzen CQK-Werte z.T. weit unterhalb von 1 ng/l liegen, wurde eine neuartige, extrem sensitive Probenahme- und Analysemethodik entwickelt [13]. Diese basiert auf der sogenannten passiven Probenahme, welche in der Forschung bereits häufig eingesetzt wird, in der Praxis aber noch kaum zum Einsatz kommt. Passivsammler sind Polymermaterialien, die für ein bis vier Wochen ins Gewässer ausgebracht werden (Fig. 4) [38]. Während dieser Zeit nehmen sie Substanzen auf, wobei die Aufnahme rate abhängig von physikalisch-chemischen Eigenschaften der Sammler, der Substanzen und der Umweltbedingungen ist. Im Idealfall geschieht die Aufnahme zu Beginn linear zur Konzentration im Gewässer. Diese Phase ist optimal für die Untersuchung von Mikroverunreinigungen in Fließgewässern, da der Sammler dann kontinuierlich sammelt. Aus der gemessenen Konzentration im Sammler ist eine Umrechnung in eine mittlere Wasserkonzentration möglich, wenn die Sammelrate bekannt ist. Diese Sammelrate wird entweder im Labor oder im Feld bestimmt [39, 40]. Da die Sam-

melrate aber auch abhängig von Umweltparametern (z. B. Fließgeschwindigkeit, Temperatur) ist, sind Unsicherheiten in der Quantifizierung grösser als bei normalen Wasserproben.

Für die Detektion von Pyrethroiden und Organophosphaten wurden Silikonmembrane als Passivsammler verwendet (Fig. 4). Die innerhalb von zwei Wochen gesammelten Mengen an unpolaren Substanzen entsprechen der Extraktion von ca. 500l Wasser [41]. Dadurch konnte eine Analysemethode mittels Gaschromatographie gekoppelt an die Tandem-Massenspektrometrie (GC-MS/MS) ent-

wickelt werden, die für die untersuchten unpolaren Insektizide Nachweisgrenzen weit unter 1 ng/l erreichte [13]. Die Passivsammler wurden zwischen März und Juli 2012 für je zwei Wochen an denselben Probenahmestandorten eingesetzt, an denen die Wasserproben im NAWA SPEZ-Projekt genommen wurden (im Limpach und Mentue nur März–Mai). Aufgrund der genannten schwankenden Sammelraten bei variablen Umwelteinflüssen konnten die gemessenen Konzentrationen nur mit einer grossen Unsicherheit (ungefähr ein Faktor drei in beide Richtungen) abgeschätzt werden.

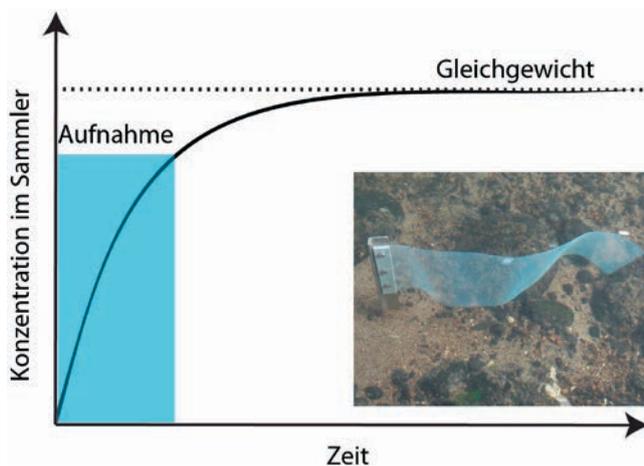


Fig. 4 Prinzip der Aufnahme von Substanzen in den Passivsammler bei Annahme einer konstanten Konzentration im Gewässer. Der blaue Bereich ist optimal für die Untersuchung von Mikroverunreinigungen im Fließgewässer. Auf dem Foto ist eine Silikonmembran zu sehen, welche im Gewässer ausgebracht ist (Foto: E. Vermeirssen, Oekotoxzentrum Eawag-EPFL)
Principe de l'inclusion de substances dans l'échantillonneur passif en supposant une concentration constante dans l'eau. La zone bleue est idéale pour l'étude des micropolluants dans les rivières et les ruisseaux. Sur la photo, on peut voir une membrane de silicone qui est appliquée dans l'eau

GEWÄSSERBELASTUNG VON INSEKTIZIDEN UND FUNGIZIDEN

PESTIZIDVOLLERFASSUNG IM NAWA SPEZ-SCREENING – ERGEBNISSE

Wie in der Einleitung aufgezeigt, wird im heutigen Routinemonitoring nur ein Bruchteil der zugelassenen PSM gemessen. Vor allem Insektizide und Fungizide sind dabei untervertreten. Um aufzuzeigen, wie die gesamte Pestizidbelastung in Schweizer Fließgewässern ist, wurde im Projekt NAWA SPEZ in fünf landwirtschaftlich und urban beeinflussten Fließgewässern zwischen März und Juli 2012 zum ersten Mal eine Vollerfassung der polaren Pestizide mittels LC-HRMS/MS durchgeführt (Box 2, Details in [2]). Zusätzlich wurde für unpolare Insektizide eine neue Methodik basierend auf passiver Probenahme und Detektion mittels GC-MS/MS entwickelt, welche Nachweisgrenzen weit unter 1 ng/l erreichte (Box 2, Details in [13]).

Die Vollerfassung hat aufgezeigt, dass die Gewässer mit einer Vielzahl von Pestiziden – hauptsächlich Pflanzenschutzmitteln – belastet sind [2]. Neben den 54 detektierten Herbiziden wurden auch 31 Fungizide und 23 Insektizide (17 polare und 6 unpolare Insektizide) mindestens in einer Probe detektiert. Die Konzentrationen der Fungizide und Insektizide waren dabei wie erwartet tiefer als die

Herbizidkonzentrationen (Maximal-/75-Perzentil-/Median-Konzentration: Herbizide: 1500/47/15 ng/l, Fungizide: 380/22/9 ng/l, Insektizide: 65/14/6 ng/l). Es gilt zu beachten, dass die Konzentrationen aus Zweiwochenmischproben in mittelgrossen Gewässern stammen und dass kurzzeitige Konzentrationen insbesondere in kleineren Fließgewässern höher liegen können. Eine Landnutzungsanalyse hat gezeigt, dass ähnlich hohe Belastungen auf weiten Strecken des Schweizer Gewässernetzes zu erwarten sind [42]. Im Folgenden werden die Insektizid- und Fungizidbefunde näher erläutert sowie die Substanzen nach deren Umweltrelevanz priorisiert.

Insektizide

In Tabelle 2 sind die zehn relevantesten Insektizide aufgrund der Befunde der Pestizidvollerfassung zusammengefasst. Dabei wurden die Kriterien Detektionshäufigkeit, Maximalkonzentration und Anzahl Überschreitungen der CQK-Werte analog zu [2] verwendet. Für Substanzen, die zusätzlich als Biozid zugelassen sind, kann die genaue Quelle nicht angegeben werden. Bei den Insektiziden haben Abschätzungen jedoch gezeigt, dass die Einsatzmengen von Insektiziden im Biozidbereich gering sind [21], sodass erwartet werden kann, dass der grösste Teil aus Landwirtschaft oder Privatgärten stammt.

Es fällt auf, dass die Hälfte der Top-10-Insektizide zu den Pyrethroiden und Organophosphaten gehören, die nicht mittels der sonst extrem breiten LC-MS/MS-Methodik analysiert werden können (Fig. 4, blauer Bereich). Chlorpyrifos-methyl, Cypermethrin, Deltamethrin und Lambda-Cyhalothrin hatten dabei in mehreren Proben Überschreitungen ihres CQK-Wertes (Tab. 2). Diese Überschreitungen waren selbst bei Berücksichtigung der Messunsicherheiten sehr deutlich. Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl und Cypermethrin sind auch aufgrund theoretischer Abschätzungen in die Auswahl für die in Zukunft zu untersuchenden Substanzen im Beurteilungskonzept gekommen [16]. Mit den jetzigen Befunden und den Vergleichen mit EQS-Werten sieht es so aus, dass Pyrethroide und unpolare Organophosphate trotz der tiefen Konzentrationen in Schweizer Gewässern sehr kritisch für aquatische Organismen sind. Da aber noch Unsicherheiten in der Bestimmung der exakten Wasserkonzentration vorliegen und auch EQS-Werte sich ändern können, wenn neue Daten vorliegen, ist es ganz wichtig, dass in Zukunft mehr Forschung zur Analytik und Ökotoxikologie dieser Substanzen getrieben wird. Wenn sich diese Ergebnisse bestätigen, bedeutet das aber auch, dass es für eine komplette Erfassung der Insektizidbelastung unumgänglich ist, in der Praxis routinetauglich

Substanzname	Substanzklasse	BG (ng/l) ³	CQK (ng/l) ⁴	Detektionshäufigkeit	Max. Konz. (ng/l)	Anzahl Überschreitungen CQK ⁵	Anzahl Standorte mit Detektion	Auswahl Beurteilungskonzept ⁶	Schweiz bisher häufig untersucht ⁷
Chlorpyrifos-methyl ¹	Organophosphat	0,02-0,18	0,2	48%	8	13	2	ja	
Diazinon ^{1,2}	Organophosphat	3	15	47%	43	8	5	ja	ja
Cypermethrin ¹	Pyrethroid	0,003-0,024	0,08	77%	0,2	7	4	ja	
Thiamethoxam ¹	Neonicotinoid	3	140	44%	47	0	5	ja	
Deltamethrin ¹	Pyrethroid	0,033-0,3	0,003	32%	2	10	2		
Lambda-Cyhalothrin ¹	Pyrethroid	0,033-0,3	0,02	23%	0,5	7	1		
Thiacloprid ¹	Neonicotinoid	4	10	22%	65	6	4	ja	
Chlorpyrifos ¹	Organophosphat	0,007-0,06	30	100%	10	0	5	ja	ja
Pirimicarb	Carbamat	0,4	90	33%	48	0	5	ja	ja
Pymetrozine	Pyridin	5	500	27%	54	0	4		

¹ zusätzlich als Biozid zugelassen; ² seit 2013 nicht mehr zugelassen; ³ Bestimmungsgrenze (BG), für Pyrethroide/Organophosphate wird Bereich angegeben, aufgrund der Unsicherheiten in der Quantifizierung (Box 2); ⁴ Herleitung Fig. 1; ⁵ zusätzlich hatten Carbofuran und Fipronil mindestens eine CQK-Überschreitung, da die Substanzen nicht mehr zugelassen sind und auch nicht in der Substanzauswahl im Beurteilungskonzept sind, sind sie in der Tabelle nicht aufgeführt. ⁶ ja: Substanz sollte in Zukunft regelmässig untersucht werden, s. [16]. ⁷ ja: gehört zu den 31 in der Schweiz bisher am häufigsten untersuchten Pestiziden (aus Datensatz von [1]).

Tab. 2 Top 10 der Insektizide aus den Ergebnissen der Pestizidvollerfassung im NAWA SPEZ-Screening 2012 [2] (inkl. Pyrethroide und unpolare Organophosphate [13], blau markiert). Sortiert danach, wie häufig die Substanz in den Top 5 (fett markiert) der drei Kategorien Detektionshäufigkeit, Maximalkonzentration und Anzahl Überschreitungen des chronischen Qualitätskriteriums (CQK) zu finden war

Top 10 des insecticides à partir des résultats de la couverture complète de pesticides dans le screening NAWA SPEZ 2012 [2] (dont des pyréthroides et des organophosphorés non polaires [13], indiqués en bleu). Triés en fonction de la fréquence à laquelle la substance est apparue dans le top (en gras) des trois catégories «fréquence de détection», «concentration maximale» et «nombre de dépassements du critère de qualité chronique (CQC)»

Substanzname	Substanzklasse	BG (ng/l) ²	CQK (ng/l) ³	Detektions-häufigkeit	Max. Konz. (ng/L)	Anzahl Überschreitungen CQK	Anzahl Standorte mit Detektion	Auswahl Beurteilungskonzept ⁴	Schweiz bisher häufig untersucht ⁵
Cyprodinil	Anilinopyrimidin	5	160	38%	330	1	4	ja	
Azoxystrobin	Strobilurin	1.0	950	76%	120	0	5	ja	
Metalaxyl-M	Anilid Fungizid	1.0	120 000	64%	380	0	5	ja	ja
Propamocarb	Carbamat	0.3	1 030 000	53%	160	0	5	ja	
Carbendazim ¹	Benzimidazol	5	340	69%	65	0	5	ja	
Dimethomorph	Morpholin	2	5600	62%	61	0	5		
Pencycuron	Urea Fungizid	3	1340	36%	160	0	4		
Cyproconazole ¹	Azol	0.5	18 900	47%	98	0	5	ja	
Pyrimethanil	Anilinopyrimidin	1.0	7000	22%	89	0	3	ja	
Tebuconazole ¹	Azol	2	1200	51%	86	0	5	ja	ja

¹ zusätzlich als Biozid zugelassen; ² Bestimmungsgrenze (BG); ³ Herleitung s. Fig. 1; ⁴ ja: Substanz sollte in Zukunft regelmässig untersucht werden, s. [16] ⁵ ja: gehört zu den 31 in der Schweiz bisher am häufigsten untersuchten Pestiziden [aus Datensatz von [1]]

Tab. 3 Top 10 der Fungizide aus den Ergebnissen der Pestizidvollerfassung im NAWA SPEZ-Screening 2012. Sortiert analog zu Tabelle 2. Die drei untersten Substanzen gehörten in keiner Kategorie zu den Top 5, wurden aber aufgrund der hohen Maximalkonzentrationen hinzugenommen
Top 10 des fongicides à partir des résultats de la couverture complète de pesticides dans le screening NAWA SPEZ 2012 (voir tab. 2). Les trois substances les plus basses n'entraient dans aucune catégorie dans le top 5, mais ont été néanmoins ajoutées en raison de leurs concentrations maximales élevées

che analytische Methoden zu haben, die Pyrethroide und Organophosphate bis unterhalb 1 ng/l detektieren können. Der Ansatz mittels passiver Probenahme [13] ist dabei vielversprechend.

Zusätzlich hatten vier Insektizide, die im NAWA SPEZ-Projekt mittels LC-HRMS/MS gemessen wurden, in mindestens einer Probe Konzentrationen über dem CQK (Diazinon, Carbofuran, Thiacloprid, Fipronil). Von diesen Substanzen ist nur noch Thiacloprid zugelassen, die anderen Substanzen wurden im Jahr 2013 bzw. 2014 als PSM verboten [17]. Diazinon ist trotz Verbots in der Auswahl des Beurteilungskonzeptes [16] geblieben, da es zum einen weiterhin als Tierarzneimittel zugelassen ist (unter dem Namen Dimpylat) und zum anderen als Erfolgskontrolle des Verbots als PSM und Biozid. Neue wichtige Insektizide, die in Zukunft regelmässig gemessen werden sollten, sind die Neonicotinoide Thiacloprid und Thiamethoxam aufgrund der relativ hohen Exposition sowie der hohen Toxizität gegenüber Gewässerorganismen (Tab. 2). Die Neonicotinoide können relativ einfach in eine bestehende Multimethode mittels LC-MS/MS mit tiefen Nachweisgrenzen integriert werden.

Neonicotinoide, die hauptsächlich als Beizmittel eingesetzt werden (Imidacloprid, Clothianidin), wurden in den SPEZ-Proben weniger regelmässig und in tieferen Konzentrationen gefunden als gespritzte Neonicotinoide. Es könnte sein, dass der Austrag von Beizmitteln in die Gewässer weniger gross ist, weil Abschwemmung als Eintragspfad weni-

ger relevant ist. Der Grund könnte jedoch auch der Untersuchungszeitraum von März bis Juli sein, denn Raps und Getreide werden oft im Herbst gesät. Imidacloprid, das hauptsächlich bei Zuckerrüben und Gemüse eingesetzt wird, wurde zwar häufig in gemüseintensiven Gebieten nachgewiesen (Furtbach, Surb); im intensivsten Zuckerrübengebiet (Limpach) hingegen nie gefunden. Der Feldversuch am Agroscope, Reckenholz, wird dazu helfen, ein besseres Verständnis über den Austrag von Beizmitteln zu kriegen. Aufgrund des hohen Einsatzes in Spezialkulturen sollten in Gebieten mit hohen Spezialkulturdichten weitere Insektizide untersucht werden, z. B. Methoxyfenozid und Tebufenozid in intensiven Obstbau-, Weinbau- oder Gemüsebaugebieten [16].

Fungizide

Die Fungizide stehen bezüglich der Exposition zwischen den Herbiziden und den Insektiziden. Ihre CQK-Werte sind meist relativ hoch (Fig. 1), aber wie in der Einleitung erwähnt, werden Pilze in der öko-toxikologischen Risikobewertung nicht explizit berücksichtigt, was zu einer Unterschätzung der Toxizität führen könnte. Deshalb ist eine Abschätzung der Relevanz von Fungiziden im Moment kaum möglich. Es ist daher zwingend nötig, mehr in die Forschung über die Wirkung von Fungiziden auf aquatische Pilze und dessen Einfluss auf die Veränderung der aquatischen Lebensgemeinschaften zu investieren. Zudem gilt es zu prüfen, ob Studien mit aquatischen Pilzen nicht im Rahmen von Zulassungsverfahren erho-

ben werden sollten. Im revidierten *Aquatic Guidance Document* der EFSA (Zulassungsstelle für PSM in der EU) wurde die Beurteilungslücke bereits erkannt [43]. Es fehlen jedoch noch geeignete Biotests. In den NAWA SPEZ-Proben wurde tatsächlich nur für ein Fungizid eine Überschreitung des CQK festgestellt und deshalb wurde die Auswahl der zehn relevantesten Fungizide (Tab. 3) hauptsächlich durch die Exposition bestimmt. Dabei rückt keine Substanzklasse in den Vordergrund. Es fällt auf, dass nur zwei Substanzen zu den bisher schweizweit am häufigsten gemessenen PSM gehören. Der Vorschlag im Beurteilungskonzept trägt dem Rechnung und nimmt weitere Fungizide in die Liste auf [16], deren Expositionsrelevanz auch durch die Ergebnisse des SPEZ-Screenings bestätigt werden. Sobald ein verbessertes Verständnis der Fungizidtoxizität vorhanden ist, müsste diese Liste gegebenenfalls angepasst werden.

In die Top 10 der Fungizide gehören auch zwei Vertreter (Carbendazim, Tebuconazol), welche laut Abschätzungen [21] einen hohen Einsatz als Biozid haben (Tab. 3). Aufgrund regelmässiger Befunde dieser Substanzen in Abwasserproben [44, 45] kann davon ausgegangen werden, dass für diese Substanzen die Siedlung eine wichtige Quelle ist.

VOLLERFASSUNG ÄNDERT INTERPRETATION VON MONITORINGDATEN DEUTLICH

Mit der Pestizidvollerfassung, die im NAWA SPEZ-Screening durchgeführt wurde, konnte auch beurteilt werden, wie stark die Exposition und das Risiko durch

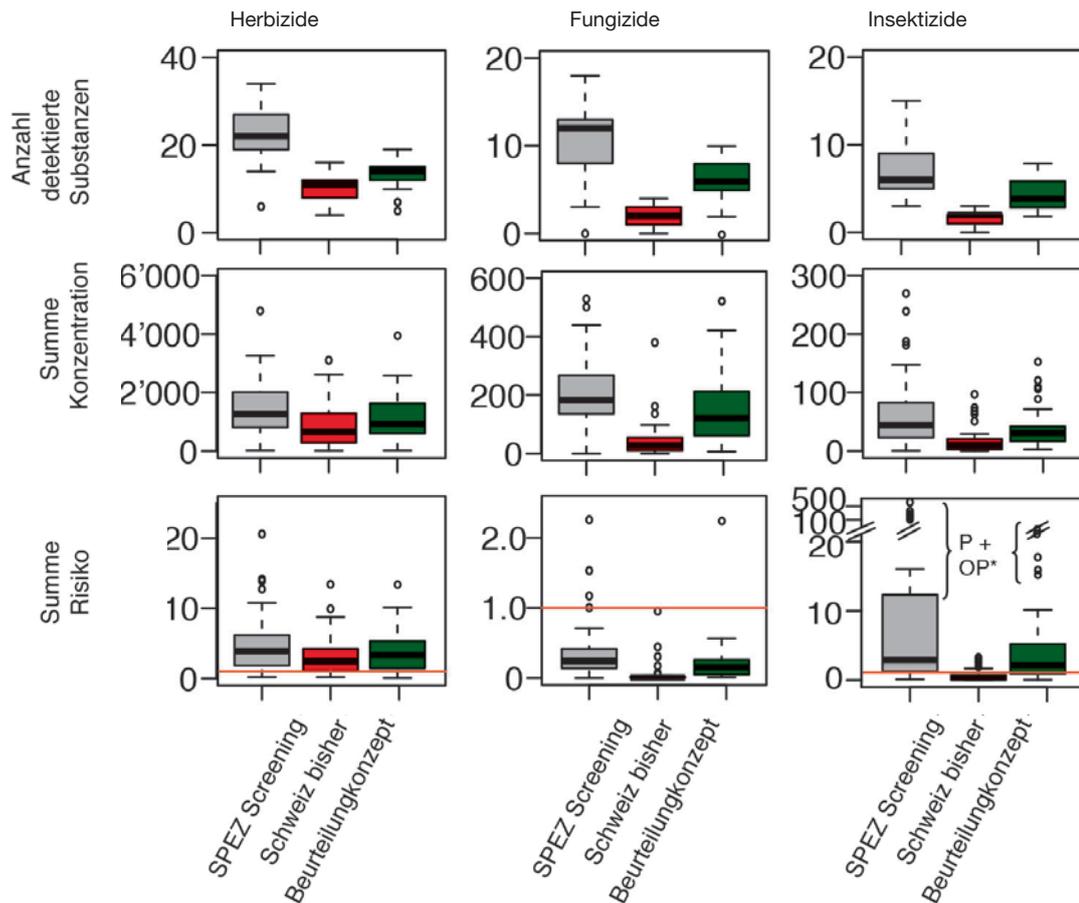


Fig. 5 Einfluss der Substanzauswahl auf das Ergebnis der Untersuchung (angepasst aus [8]). Boxplots mit Anzahl detektierte Substanzen (oben), Konzentrationssumme in ng/l (Mitte) und Summe der Risikoquotienten (unten) in den gemessenen 45 NAWA SPEZ-Proben für Herbizide (links), Fungizide (Mitte) und Insektizide (rechts). Für die Summe der Risikoquotienten wurden in jeder Probe alle Risikoquotienten derselben Substanzklassen addiert (Worst-Case-Berechnung). Grau: Pestizidvollerfassung inkl. Pyrethroide (P) und Organophosphate (OP) [2, 13]. Dabei wurden 99 Herbizide, 70 Fungizide und 39 Insektizide analysiert. Rot: Gleiche Auswertung der 45 Proben, wenn nur die 31 bisher am häufigsten in der Schweiz gemessenen Pflanzenschutzmittel berücksichtigt werden (aus Datenbank in [1]: 22 Herbizide, 5 Fungizide, 4 Insektizide). Grün: Gleiche Auswertung der 45 Proben, wenn alle 42 Substanzen, die im Beurteilungskonzept [16] vorgeschlagen werden, untersucht werden (21 Herbizide, 11 Fungizide, 10 Insektizide). * Die Konzentrationen der Pyrethroide und Organophosphate, die mittels Passivsammler analysiert wurden, unterliegen einer Unsicherheit von Faktor drei in beide Richtungen (s. Box 2). Unsicherheiten sind grafisch nicht berücksichtigt. Trotz der Unsicherheiten scheint es im Moment so, dass diese Substanzen in Schweizer Gewässern sehr kritisch sind

Influence du choix de la substance sur le résultat de l'analyse (adapté selon [8]). Boîte à moustaches reprenant le nombre de substances détectées (en haut), la somme des concentrations ng/l (au centre) et la somme des taux de risque (en bas) pour les 45 échantillons d'herbicide (à gauche), de fongicide (au centre) et d'insecticide (à droite) analysés dans le cadre du programme NAWA SPE. Pour calculer la somme des taux de risque, les taux de risque des mêmes classes de substances de chaque échantillon ont été additionnés (calcul de l'hypothèse la plus pessimiste). En gris: relevé complet des pesticides, y compris les pyrèthroïdes (P) et les organophosphorés (OP) [2, 13]. Un total de 99 herbicides, 70 fongicides et 39 insecticides ont ainsi été analysés. En rouge: analyse semblable des 45 échantillons; auparavant, seuls 31 produits phytosanitaires étaient communément pris en compte en Suisse (selon les données de [1]: 22 herbicides, 5 fongicides, 4 insecticides). En vert: analyse semblable des 45 échantillons et des 42 substances proposées dans le concept d'évaluation [16] (21 herbicides, 11 fongicides, 10 insecticides). * Les concentrations de pyrèthroïdes et d'organophosphorés, dont l'analyse a été effectuée au moyen d'un échantillonneur passif, se caractérisent par une incertitude de facteur trois dans les deux directions (voir box 2). Les incertitudes ne sont pas reprises dans le graphique, mais malgré celles-ci, il semble à l'heure actuelle que ces substances posent problème dans les eaux suisses

Pestizide mit heute gängigen Monitoringprogrammen unterschätzt wird (Details in [8]). Dabei wurden dieselben Auswertungen wie für die Pestizidvollerfassung gemacht, zum einen aber nur mit den 31

PSM, die bisher in der Schweiz am häufigsten untersucht wurden (Datensatz aus [1]), und zum anderen mit den 42 PSM, die im Beurteilungskonzept für diffuse Belastungen [16] vorgeschlagen werden (Fig. 5).

Das bisherige Herbizidmonitoring erfasst die komplette Herbizidbelastung bereits sehr gut und die angepasste Substanzauswahl im Beurteilungskonzept [16] kann die Beurteilung nur noch leicht

verbessern. Trotzdem werden in dieser spezifischen Studie auch bei den Herbiziden etwa die Hälfte der detektierten Substanzen und knapp die Hälfte des Risikos verpasst, wenn keine Vollerfassung durchgeführt wird (Fig. 5, linke Spalte).

Viel ausgeprägter ist die Situation jedoch für Insektizide und Fungizide. Die vier Insektizide, welche bisher am häufigsten in der Schweiz gemessen

werden (Chlorpyrifos, Pirimicarb, Dimehoate, Diazinon), wurden auch im Beurteilungskonzept in den Vorschlag der in Zukunft zu messenden Substanzen aufgenommen (Tab. 2). Diese Auswahl reicht aber bei Weitem nicht aus, um die Gesamtbelastung der Insektizide korrekt wiederzugeben (Fig. 5, rechte Spalte). Mit der Auswahl von nur diesen vier Insektiziden hätte man in 27 von 36 Proben interpretiert, dass kein Risiko für Gewässerorganismen aufgrund Insektiziden besteht, obwohl die Vollerfassung ein Risiko voraussagt. Zusätzliche Substanzen, die im Beurteilungskonzept vorgeschlagen werden, verbessern die Beurteilung deutlich. Dazu tragen nicht nur Pyrethroide und Organophosphate bei, für welche eine Spezialanalytik nötig ist, um auf die erforderlichen Nachweisgrenzen zu kommen (Box 2), sondern auch die im Beurteilungskonzept vorgeschlagenen Neonicotinoide Thiacloprid und Thiamethoxam, die relativ einfach in eine Routineanalytik eingebaut werden können.

Da sich bei den Fungiziden im bisherigen Monitoring nur fünf Substanzen befinden, erstaunt es nicht, dass die Beurteilung der Fungizidbelastung stark unterschätzt wird (Fig. 5, mittlere Spalte). Die Hinzunahme von neun neuen Fungiziden (z. B. Azoxystrobin, Carbendazim, Cyprodinil, Cyproconazole, Propamocarb) im Vorschlag vom Beurteilungskonzept verbessert die Beurteilung der Exposition deutlich.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse dieses Artikels zeigen deutlich, dass Insektizide aufgrund der vielen Überschreitungen von CQK-Werten für das Gewässer viel wichtiger sind, als bisher durch Monitoringprogramme bestätigt werden konnte. Es ist daher nötig, in Zukunft mehr Insektizide routinemässig zu analysieren. Neonicotinoide können dabei relativ einfach in bestehende analytische Methoden integriert werden. Für die Detektion von sehr toxischen Pyrethroiden und unpolaren Organophosphaten bis weit unter 1 ng/l braucht es eine Spezialanalytik. Die vorgeschlagene Methodik mittels Passivsammler bietet dazu einen guten Ansatz, muss aber automatisiert werden und Unsicherheiten in der Quantifizierung müssen verringert werden.

In einer anderen Studie (Vera Leib, s. S. 66) wird gezeigt, dass bei den Lebensgemeinschaften des Makrozoobenthos der kleinen Bäche im Schweizer Mittelland

grosse Defizite bestehen und dass der berechnete SPEARpesticide-Index negativ mit einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung im Einzugsgebiet korreliert. Ob zwischen dem Auftreten von Insektiziden und dem Fehlen von aquatischen Invertebraten in Bächen ein Kausalzusammenhang besteht, ist noch zu prüfen. Dies ist sehr wichtig für ein besseres Verständnis der Gewässerbelastung.

Auch für Fungizide ist es nötig, dass mehr Substanzen in die Routineanalytik aufgenommen werden. Aufgrund heutiger Befunde sind die meisten Fungizide zwar weitaus weniger toxisch als Insektizide, es bestehen aber noch sehr viele Wissenslücken, da bislang nur wenige ökotoxikologische Untersuchungen zur Wirkung von Fungiziden auf aquatische Pilze vorliegen. Die im Beurteilungskonzept für diffuse Belastungen [16] vorgeschlagenen Fungizide verbessern zumindest die Beurteilung der Fungizidexposition deutlich.

Die Ergebnisse des NAWA SPEZ-Screenings zeigten die Belastung von mittleren Fliessgewässern auf. Die Belastungssituation in kleinen Fliessgewässern, die 75% der Fliessstrecke in der Schweiz ausmachen [42], konnte damit aber nicht abgeschätzt werden. Es wird erwartet, dass die Konzentrationen in kleinen Gewässern deutlich höher sind und dadurch akute Effekte auf Gewässerorganismen nicht ausgeschlossen werden können. Eine Fortsetzung des NAWA SPEZ-Projektes im Jahr 2015 in fünf kleinen Gewässern wird dabei hilfreiche Informationen zur tatsächlichen Belastung von kleinen Gewässern mit PSM liefern.

Risikomindernde Massnahmen für Abschwemmung und Drift im Rahmen der Zulassung, wie in den Artikeln von *Hanke et al.* [46] bzw. *Schweizer et al.* [47] dargestellt, sind in Zukunft sicherlich notwendig. Es ist auch sehr wichtig, bei der Ausarbeitung des Nationalen Aktionsplans zur Risikominimierung und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln [3] Insektizide und Fungizide nicht zu vernachlässigen, sondern über weitere Massnahmen zur Verringerungen dieser Einträge zu diskutieren.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Munz, N. et al. (2012): Pestizidmessungen in Fliessgewässern. Schweizweite Auswertung. *AQUA & GAS*, 11: p. 10
- [2] Wittmer, I.K. et al. (2014): Über 100 Pestizide in Fliessgewässern. Programm Nawa Spez zeigt

DANK

Das NAWA SPEZ-Projekt sowie die Dissertation von *Christoph Moschet* wurden durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) finanziert. Ein sehr grosses Dankeschön geht an *Christian Leu* (BAFU) für die Koordination und die fachliche Begleitung dieser Projekte. Ein grosses Dankeschön auch an *Simon Spycher* (Agroscope, Wädenswil/Ö+L, Oberwil-Lieli), *Thomas Poiger* (Agroscope Wädenswil), *Thomas Bucheli* (Agroscope Reckenholz) sowie an die Agrarexperten *Markus Hochstrasser* (Strickhof, Lindau), *Urs Müller* (BBZ, Arenenberg), *René Steiner* (Inforama, Ins) und *Hanspeter Hug* (UFA Samen, Winterthur) für Informationen zum Pestizideinsatz in der Schweiz und für die Kommentierung des Manuskriptes. Danke an *Ivo Strahm* für die Auswertung aller GIS-Daten. Wir möchten uns bei allen beteiligten Kantonen des NAWA SPEZ-Projekts 2012 bedanken, insbesondere bei *Arno Stöckli* und *Martin Märki* (Kt. Aargau), *Thilo Arlt* und *Hansjörg Ryser* (Kt. Solothurn), *Heinz Ehmann* (Kt. Thurgau), *Philippe Vioget* (Kt. Waadt), *Pius Niederhauser* und *Christian Balsiger* (Kt. Zürich) sowie bei *Tobias Doppler* (Eawag). Ein grosser Dank auch an *Hildegard Pfefferli* (Interkantonales Labor, Schaffhausen) für die Unterstützung bei der Methodenentwicklung und die Messung der Passivsammlerproben. Für die Unterstützung im Labor möchten wir uns bei *Jelena Simovic*, *Alessandro Piazzoli*, *Philipp Longrée*, *Remo Seiz* (alle Eawag) bedanken. Ein herzlicher Dank an *Marion Junghans*, *Etienne Vermeirssen*, *Inge Werner* (alle Oekotoxzentrum Eawag/EPFL, Dübendorf), *René Gälli* (BMG Engineering AG, Schlieren), *Markus Zennegg* (Empa) und *Nicole Munz* (Eawag) für die vielen hilfreichen Diskussionen.

- die hohe Pestizidbelastung der Schweizer Fließgewässer auf. *AQUA & GAS*, 3: p. 32–43
- [3] Schweizerische Eidgenossenschaft (2014): Bedarfsabklärung eines Aktionsplans zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates Moser vom 16. März 2012 (12.3299): www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/34895.pdf, Zuletzt besucht: 19.07.2014
- [4] Amt für Umwelt Thurgau (2008): Pflanzenschutzmitteluntersuchungen. Bei Abwasserreinigungsanlagen und Fließgewässern im Kanton Thurgau in den Jahren 2005 und 2007. Abteilung Abwasser und Anlagensicherheit und Abteilung Gewässerqualität
- [5] AWEL (2010): Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach bei Würenlos, Glatt vor Rhein, Jonen nach ARA Zwillikon, Reppisch bei Dietikon in den Jahren 2007 bis 2009. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Baudirektion, Zürich
- [6] AFU SG (2003): Pestizide in St. Galler Fließgewässern und im Grundwasser. Umwelt Facts. 2
- [7] Ochsenbein, U. et al. (2012): Mikroverunreinigungen in Aaretalgewässern – Ein Risiko? *AQUA & GAS*, No. 11: p. 68–79
- [8] Moschet, C. et al. (2014): How a Complete Pesticide Screening Changes the Assessment of Surface Water Quality. *Environmental Science & Technology*, 48(10): p. 5423–5432
- [9] Schulz, R. (2004): Field studies on exposure, effects, and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution: A review. *Journal of Environmental Quality*, 33(2): p. 419–448
- [10] Junghans, M. et al. (2012): Qualitätskriterien für Pflanzenschutzmittel. Methode zur Herleitung von Qualitätskriterien für PSM in Schweizer Oberflächengewässern. *AQUA & GAS*, No. 11: p. 16–22
- [11] Whitehorn, P.R. et al. (2012): Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science*, 336(6079): p. 351–352
- [12] Fässler, S.; Stöckli, A. (2013): Das Fehlen von Bachflohkrebsen. In-Situ-Versuche in der Wyna im Kanton Aargau. *AQUA & GAS*, No. 5: p. 62–71
- [13] Moschet, C. (2014): Picogram per liter detections of pyrethroids and organophosphates in surface waters using passive sampling. *Water Research*, 66: p. 411–422
- [14] European Commission (2011): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) Technical Report – 2011 – 055 Guidance Document No. 27 Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards ISBN: 978-92-79-16228-2
- [15] Oekotoxzentrum (2014): Vorschläge für akute und chronische Qualitätskriterien für ausgewählte schweizrelevante Substanzen www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/ vorschlaege. Zuletzt besucht: 29.10.14
- [16] Wittmer, I. et al. (2014): Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf. Verfügbar unter: www.oekotoxzentrum.ch/dokumentation/berichte
- [17] SR916.161 (2013): Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV) vom 12. Mai 2010 (Stand am 1. Februar 2013)
- [18] Bundesamt für Landwirtschaft (2013): Agrarbericht. Bern
- [19] Spycher, S.; Daniel, O. (2013): Agrarumweltindikator Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Auswertungen von Daten der Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) der Jahre 2009–2010. Verfügbar unter: www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?lang=de&aid=33229&pid=33199
- [20] SR813.12 (2014): Verordnung über das Inverkehrbringen von und den Umgang mit Biozidprodukten (Biozidprodukteverordnung, VBP) vom 18. Mai 2005 (Stand am 15. Februar 2014)
- [21] FRIEDLPARTNER (2007): Projekt Biomik – Biozide als Mikroverunreinigungen in Abwasser und Gewässer. Im Auftrag des BAFU.: Verfügbar unter: www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716-/11216/?lang=fr&download=NHZLpZeg7t,Inp610NTU042I2Z61n1ae2Izn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpjCFeH16fmyml62epYbg2c_JJKbNokSn6A
- [22] Burkhardt, M.; Dietschweiler, C. (2013): Mengenabschätzung von Bioziden in Schutzmitteln in der Schweiz. Bautenfarben und -putze (PA 7), Holz (PA 8), Mauerwerk (PA 10) und Antifouling (PA 21). HSR Hochschule für Technik Rapperswil. Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC): Im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
- [23] University of Hertfordshire (2013): The Pesticide Properties DataBase (PPDB) developed by the Agriculture & Environment Research Unit (AERU), University of Hertfordshire, 2006–2013
- [24] Moschet, C. (2011): Insektizide und Fungizide aus landwirtschaftlichen Nutzflächen. Situationsanalyse: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU): Eawag, Dübendorf
- [25] Günter, M.; Pasquier, D. (2008): Verwirrungstechnik im Weinbau – eine Erfolgsgeschichte. *Schweizerische Zeitschrift für Obst-Weinbau.*, 21(4–6)
- [26] Strickhof (2014): *Drosophila suzukii* / Kirschessigfliege (KEF) im Rebbau. Lindau, ZH: <http://www.strickhof.ch/fachwissen/rebbaukommissariat/drosophila-suzukii-kirschessigfliege/> Zuletzt besucht 28.10.2014
- [27] Krebs, R. et al. (2011): Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Schweizerischen Gartenbau: Datenübersicht – indikatorbasierte Risikobeurteilung – Monitoringkonzept, in ZHAW Wädenswil. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Verfügbar unter: www.bafu.admin.ch/bodenschutz
- [28] Mahler, N.; Moschet, C. (2008): Pflanzenschutz in Privatgärten. Abschätzung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln im privaten Gebrauch, in Semesterarbeit, Eawag/ETH. Internes Dokument.
- [29] Bundesamt für Landwirtschaft (2013): Einschränkung der Bewilligung für einzelne Insektizide: www.blw.admin.ch/themen/00011/00075/01127/index.html. Zuletzt besucht: 28.10.2014
- [30] Spycher, S. et al. I (2013): Indikatoren für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz*, 4(4): p. 192–199
- [31] Bundesamt für Landwirtschaft (2014): Pflanzenschutzmittelverzeichnis. Verfügbar unter: www.blw.admin.ch/psm/
- [32] Braun, C. et al. (2015): Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen in Fließgewässern. *Umweltwissen (in Vorbereitung)*. Bundesamt für Umwelt, Bern
- [33] Ganzelmeier, H. et al. (1995): Untersuchungen zur Abdrift von Pflanzenschutzmitteln. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, Blackwell-Wissenschafts-Verlag-GmbH, Editor: Berlin/Wien ISBN 3-8263-3038-2
- [34] Lefrancq, M. et al. (2013): Kresoxim methyl deposition, drift and runoff in a vineyard catchment. *Science of the Total Environment*, 442: p. 503–508
- [35] DAR (2006): Imidacloprid Draft Assessment Report, in European Food Safety Authority (EFSA). Verfügbar unter: <http://dar.efsa.europa.eu/dar-web/provision>
- [36] Kuhlau, Å. (2008): Environmental fate of pesticides used as seed dressing: Master Thesis. Department of Soil Sciences. Swedish University of Agricultural Sciences. Division of Water Quality Management
- [37] Moschet, C. et al. (2013): Alleviating the reference standard dilemma using a systematic exact mass suspect screening approach with liquid chromatography-high resolution mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, 85(21): p. 10312–10320
- [38] Vermeirssen, E. (2012): Passiv Proben nehmen. *Eawag News* 73: p. 18–22
- [39] Vermeirssen, E.L.M. et al. (2012): Transfer Kinetics of Polar Organic Compounds over Polyethersulfone Membranes in the Passive Samplers Pocs and Chemcatcher. *Environmental Science & Technology*, 46(12): p. 6759–6766
- [40] Moschet, C. et al. (2015): Evaluation of in-situ calibration of Chemcatcher passive samplers for 322 micropollutants in agricultural and urban affected rivers. *Water Research*, 71(0): p. 306–317.
- [41] Smedes, F.; Booij, K. (2012): Guidelines for passive sampling of hydrophobic contaminants in water using silicone rubber samplers. *ICES techniques in marine environmental sciences*, 52
- [42] Strahm, I. et al. (2013): Landnutzung entlang des Gewässernetzes. *AQUA & GAS*, 5 (36–44)
- [43] EFSA (2013): Outcome of the public consultation on the draft PPR panel guidance document on tiered risk assessment for plant protection products for aquatic organisms in edge-of-field surface waters. Technical report EFSA supporting publication

- 2013: EN-460, Editor: Verfügbar unter: www.efsa.europa.eu/de/supporting/doc/460e.pdf
- [44] Götz, C. et al. (2010): Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser: Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf
- [45] Kahle, M. et al. (2008): Azole fungicides: Occurrence and fate in wastewater and surface waters. *Environmental Science & Technology*, 42(19): p. 7193–7200
- [46] Hanke, I. et al. (2014): Pflanzenschutzmitteleinsatz – Risikomindernde Massnahmen bezüglich Abschwemmung. *Agrarforschung Schweiz*, 5(5): p. 180–187
- [47] Schweizer, S. et al. (2014): Pflanzenschutzmitteleinsatz – Risikomindernde Massnahmen bezüglich Abdrift. *Agrarforschung Schweiz*, 5(5): p. 172–179

> SUITE DU RÉSUMÉ

1 à 3 applications ont lieu dans la culture de plein champ. En ce qui concerne les insecticides et les fongicides, les applications dans les jardins privés, dans l'horticulture commerciale et en tant que biocides ne sont pas à négliger, quoique les quantités soient difficiles à évaluer. Les types d'utilisation complexes ont une influence sur les sites et les périodes d'échantillonnage, et le choix des substances qui doivent être prises en compte dans les programmes de surveillance.

Dans le projet NAWA SPEZ, une couverture complète des pesticides polaires au moyen d'une chromatographie liquide couplée à une spectrométrie de masse en mode tandem à haute résolution a été réalisée dans cinq cours d'eau de mars à juillet 2012. Aux mêmes endroits et aux mêmes moments, des pyréthroides hautement toxiques et des orga-

nophosphorés non polaires bien au-dessous de 1 ng/L ont également été découverts pour la première fois au moyen d'un échantillonnage passif et de l'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en mode tandem. Les résultats de l'étude ont montré que l'exposition (fréquences de détection, concentrations) d'herbicides est la plus élevée et celle des insecticides la plus basse. Néanmoins, des concentrations au-dessus des critères de qualité chronique (souvent très bas) ont été mesurées pour huit insecticides; les classes de substances les plus pertinentes étaient les pyréthroides, les organophosphates et les néonicotinoïdes. Les fongicides avaient une exposition moyenne. La toxicité des fongicides est aujourd'hui considérée comme faible, bien qu'il y ait un écart important de

connaissances, étant donné que les champignons aquatiques ne sont généralement pas impliqués dans les études écotoxicologiques. Ainsi, il se peut que la toxicité des fongicides ait été très fortement sous-estimée.

Il a pu être démontré que l'exposition ou le risque des fongicides/insecticides associés aux produits phytopharmaceutiques les plus largement étudiés à ce jour est clairement sous-estimé. Les produits phytopharmaceutiques proposés pour la future surveillance des pesticides dans l'approche d'évaluation récemment apparue concernant la pollution diffuse aideront à combler cette lacune à l'avenir. Il est important que toutes les substances soient analytiquement mesurables selon les critères de qualité ci-dessous, ce qui représente un défi majeur, notamment pour les pyréthroides.