

# Pflanzenschutzmittel im Feldbau: Einsatz und Gewässerrisiken von 2009 bis 2018

Laura de Baan, Judith F. Blom und Otto Daniel

Agroscope, 8820 Wädenswil, Schweiz

Auskünfte: Laura de Baan, E-Mail: [laura.debaan@agroscope.admin.ch](mailto:laura.debaan@agroscope.admin.ch)

<https://doi.org/10.34776/afs11-162g> Publikationsdatum: 10. August 2020



Oberflächengewässer bereichern die Agrarlandschaft. (Fotoquelle: [www.123rf.com](http://www.123rf.com))

## Zusammenfassung

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Feldbau wird im Rahmen des Agrarumweltmonitorings der Schweiz seit 2009 jährlich erfasst. Anhand dieser Daten wurde die applizierte Wirkstoffmenge pro Kultur von 2009 bis 2018 berechnet und mithilfe der kulturspezifischen Anbauflächen die schweizweit eingesetzte Wirkstoffmenge im Feldbau ermittelt. Die Risikopotentiale dieses PSM-Einsatzes für Oberflächengewässer wurden mit dem Modell SYNOPSIS analysiert. Der Einsatz von Herbiziden und Fungiziden im Feldbau nahm in diesem Zeitraum kontinuierlich ab. Bei den Insektiziden machte der auf Kartoffeln eingesetzte Wirkstoff Paraffinöl den Grossteil der Einsatzmenge aus. Ohne dessen Berücksichtigung nahm die eingesetzte Insektizid-Menge seit 2012 ebenfalls ab. Die Risikopotentiale zeigten bei Herbiziden einen konstanten, bei Fungiziden einen abnehmenden und bei Insektiziden einen ansteigenden Trend. Wurden in der Berechnung auch die Effekte der in der Zulassung verfügbaren Auflagen zur Risikominderung berücksichtigt, zeigte sich eine teils deutliche Reduktion aller

Risikopotentiale. Im Untersuchungszeitraum hat sich das Spektrum an PSM-Wirkstoffen, die im Feldbau zur Verfügung standen und angewendet wurden, verändert. Es zeigte sich, dass einige Wirkstoffe, obwohl in geringeren Mengen eingesetzt, Risiko-dominierend sein können, während andere zwar in grösseren Mengen eingesetzt werden, aber nur geringe Auswirkungen auf das Risikopotential für Oberflächengewässer haben. Die Studie zeigt, dass sich im Feldbau die Risikopotentiale für Oberflächengewässer im Untersuchungszeitraum hauptsächlich durch die Wahl der PSM-Wirkstoffe und die vermehrt verfügbaren Auflagen verändert haben. Eine Analyse der Risiken in Spezialkulturen bedarf einer grösseren Informationsbasis. Eine breitere Erfassung, verbesserte Zugänglichkeit und die zunehmende Digitalisierung in der Landwirtschaft könnten dazu beitragen, in Zukunft eine repräsentative Datenbasis für alle Kulturen zu schaffen.

**Key words:** use of plant protection products, aquatic risk, risk mitigation, time series.

## Einleitung

Pflanzenschutzmittel (PSM) werden zum Schutz von Nutzpflanzen vor Schadorganismen eingesetzt. Die meisten PSM sind «biologisch aktiv» und greifen in den Stoffwechsel und die Biologie von Organismen ein. Dadurch können auch Nebenwirkungen auf Mensch, Tier und Umwelt entstehen. Mit dem Ziel unerwünschte Nebenwirkungen zu verhindern, dürfen PSM erst verkauft und verwendet werden, wenn sie ein umfangreiches Zulassungsverfahren durchlaufen haben. Zudem wird durch agrarpolitische Massnahmen angestrebt, den Einsatz und die Risiken von PSM zu senken. Zulassungsverfahren und agrarpolitische Massnahmen wurden in den letzten Jahrzehnten laufend verfeinert und angepasst, aber eine Analyse der Auswirkungen auf den PSM-Einsatz in der Landwirtschaft und das damit verbundene Risikopotential der PSM für Oberflächengewässer fehlt. Die jährlich verkaufte Menge PSM, die vom Bundesamt für Landwirtschaft erfasst und veröffentlicht wird (BLW 2020a), zeigt eine allgemeine Entwicklung auf. Von 2008 bis 2018 war der Verkauf von Herbiziden abnehmend (–33 %), von Fungiziden leicht zunehmend (+6 %) und von Insektiziden (inklusive Mineralöle) über die Jahre schwankend ohne deutlichen Trend. Im Jahr 2018 wurden anteilmässig 28 % Herbizide, 49 % Fungizide, 14 % Insektizide und 9 % andere PSM verkauft. Die Angaben zu den Verkaufsmengen der PSM lassen aber keine Rückschlüsse auf den realen Einsatz in der Landwirtschaft zu, da PSM auch in anderen Anwendungsgebieten eingesetzt werden. Zudem fehlen mehrjährige Angaben darüber, welche Mengen an PSM in spezifischen landwirtschaftlichen Kulturen eingesetzt werden. Der Einsatz der PSM in landwirtschaftlichen Kulturen wird seit 2009 im Rahmen des Agrarumweltmonitorings erhoben (ZA-AUI 2020). Die Erhebungen gelten im Feldbau als repräsentativ, während bei anderen Kulturgruppen die Stichprobe grösser sein müsste, um regionale Unterschiede oder die grosse Variabilität der Kulturen und Anbauverfahren repräsentativ abbilden zu können (de Baan, Spycher und Daniel 2015). Da der Feldbau inklusive Wiesen und Weiden mit 83 % einen grossen Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmacht, ist zu erwarten, dass sich die Trends der Verkaufszahlen im Einsatz der PSM im Feldbau widerspiegeln, möglicherweise sogar auf der Ebene von einzelnen Kulturen. Bisher fehlt eine Analyse der langfristigen Entwicklung des PSM-Einsatzes in den Kulturen des Feldbaus und damit die Möglichkeit, den PSM-Einsatz im Kontext der Veränderungen von Zulassung und agrarpolitischen Massnahmen darzustellen.

Das Risikopotential von PSM ergibt sich aus der eingesetzten Menge, der modellierten Konzentration der PSM in Oberflächengewässern und der Ökotoxizität der eingesetzten PSM. Dank der Weiterentwicklung des Modells SYNOPSIS für Schweizer Umwelt- und Standortbedingungen (de Baan 2020) ist es basierend auf den Daten zum Einsatz der PSM im Feldbau nun möglich, die Risikopotentiale für Oberflächengewässer von 2009 bis 2018 darzustellen. Damit kann erstmals die wichtige Frage untersucht werden, ob sich durch die Veränderungen im Rahmen der Zulassung und der agrarpolitischen Massnahmen die Menge der eingesetzten PSM verändert hat, oder aber auch deren Risikopotential. Zudem kann aufgezeigt werden, wie gross der Beitrag der verschiedenen Kulturen an die Risikopotentiale war, und ob es Wirkstoffe gab, welche das Risikopotential dominierten.

Die Zulassung der PSM beeinflusst das Risikopotential für Oberflächengewässer durch die Bewilligung von PSM, aber auch durch Anwendungsvorschriften und Auflagen, welche den PSM-Eintrag via Drift und Abschwemmung in Oberflächengewässer reduzieren. Die wissenschaftliche Grundlage solcher Auflagen wurde kontinuierlich verbessert und seit 2011 werden solche Auflagen vermehrt im Rahmen der gezielten Überprüfung erlassen. Die Auflagen (beispielsweise unbehandelte Pufferzonen, Abstandsaufgaben) haben zum Ziel, das von einer PSM-Anwendung in einer Kultur ausgehende Risikopotential für Oberflächengewässer auf ein gemäss Pflanzenschutzmittelverordnung (PSMV 2020) akzeptables Risiko zu senken. Diese Auflagen werden als sehr wichtig für eine Reduktion der Risiken in den Oberflächengewässern betrachtet. Ihre Wirksamkeit ist in vielen Einzelstudien belegt, jedoch fehlt eine Analyse ihrer Wirksamkeit im Kontext der Veränderungen der Zulassung und der realen Pflanzenschutz-Praxis.

Auch im Hinblick auf den «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» (AP PSM) mit dem Ziel, das Risikopotential ausgehend von einer Referenzperiode bis 2027 um 50 % zu reduzieren (Bundesrat 2017), liefert diese Studie wichtige Erkenntnisse. Neben den kulturspezifischen Entwicklungen im PSM-Einsatz im Feldbau und deren Risikopotentiale für Oberflächengewässer, werden auch die Grenzen der Interpretation der Auswertungen ausgeleuchtet.

## Material und Methoden

Die Grundlage dieser Studie bilden die Feldkalender-einträge von Betrieben, die sich am Agrarumweltmonitoring beteiligen. Die Zusammensetzung der Betriebe änderte sich teilweise über die Zeit, da die Beteiligung zwar entschädigt wird, aber freiwillig ist. Anhand dieser Daten werden in der Zentralen Auswertung von Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) verschiedene Indikatoren berechnet, unter anderem zum PSM-Einsatz und zu den PSM-Risiken. Die Feldkalender enthalten pro Schlag (eine zusammenhängende Fläche, auf der jeweils nur eine bestimmte Kultur angebaut wird) Angaben zu den eingesetzten PSM, wie Produktname, Anwendungsmenge und Datum der Anwendung.

### Charakterisierung und Repräsentativität der AUI-Daten

Nicht alle Anbauregionen und alle Kulturgruppen sind im ZA-AUI-Datensatz gleichermassen gut abgedeckt. Sehr viele Betriebe liefern Daten für den Feldbau (inklusive Wiesen, Weiden und Brachen), während andere Kulturtypen (Obstbau und Reben) in einem etwas geringeren Umfang vertreten sind. Untervertreten sind Betriebe, die Daten zu Freilandgemüse (Salat, Kohl, Karotten, Zwiebeln, Spinat, Spargel etc.), anderen Kulturen wie z. B. Beeren oder Sonnenblumen, sowie Daten zum biologischen Anbau von Kulturen mit anspruchsvollem Pflanzenschutz (z. B. Obst, Reben, Gemüse, Kartoffeln, Raps) liefern. Ausserhalb der Kulturen im Feldbau ist unklar, wie repräsentativ die Daten für die durchschnittliche Schweizer Pflanzenschutzmittelpraxis sind.

Daher stammen alle in dieser Studie analysierten Daten (im Folgenden als AUI-Datensatz bezeichnet) aus dem Feldbau (inklusive Wiesen, Weiden und Brachen), wobei Betriebe mit biologischem Anbau nicht berücksichtigt wurden. Saatbeizmittel wurden wegen der lückenhaften Daten ebenfalls nicht analysiert. Im Untersuchungszeitraum 2009 bis 2018 gab es pro Jahr zwischen 231–276 Betriebe (durchschnittlich 254), welche auswertbare Daten für den Feldbau lieferten. Im AUI-Datensatz wurde während dieser Jahre durchschnittlich eine Fläche von knapp 6'500 ha im Feldbau erfasst. Das ist in etwa 0,74 % der gesamtschweizerischen Feldbau-Fläche (inklusive Wiesen, Weiden und Brachen). Für die Berechnung des Risikopotentials wurde durchschnittlich die folgende Anzahl an Betrieben pro Jahr und Kultur analysiert, wobei ein Betrieb meistens Daten zu mehreren Kulturen lieferte: Winterweizen 55,8 Betriebe pro Jahr, Winterweizen Extenso 94,6 Betriebe, Wintergerste 43,8 Betriebe, Wintergerste Extenso 45,4 Betriebe, Übriges Getreide

(Sommerweizen, Sommergerste, Hafer, Dinkel, Roggen, Triticale) 59,7 Betriebe, Mais 129,8 Betriebe, Raps 55,1 Betriebe, Raps Extenso 16,6 Betriebe, Kartoffeln 44,5 Betriebe, Zuckerrüben 55,9 Betriebe, Futterrüben 13,7 Betriebe, Hülsenfrüchte (Erbsen, Ackerbohnen, Lupinen) 30,5 Betriebe und Wiesen (Wiesen, Weiden, Brachen) 91,0 Betriebe.

### Berechnung PSM-Einsatz

Aus dem AUI-Datensatz wurden folgende Kennzahlen zum PSM-Einsatz im Feldbau berechnet:

Die **Wirkstoffmenge** erfasst pro Betrieb und Kultur die jährlich applizierte Wirkstoffmenge (in kg/ha) für Herbizide, Fungizide und Insektizide. Dabei wurde pro Betrieb, Kultur und Jahr die Summe aller eingesetzten Wirkstoffe pro Wirkstoffgruppe (in kg) berechnet und durch die Anbaufläche der jeweiligen Kultur auf dem Betrieb (in ha) dividiert. Für die Berechnung der Wirkstoffmenge wurden auch unbehandelte Schläge berücksichtigt. Die **flächengewichtete Wirkstoffmenge** ist eine Hochrechnung der schweizweit in einer Kultur eingesetzten Wirkstoffmenge (in Tonnen) für Herbizide, Fungizide und Insektizide. Dabei wurde der Mittelwert der Wirkstoffmenge über alle Betriebe (in kg/ha), die die jeweilige Kultur anbauten, gebildet und mit der gesamten Anbaufläche der Kultur in der Schweiz (BFS 2020; BLW 2019) multipliziert.

Die **Anzahl an Interventionen** gibt Auskunft darüber, wie häufig PSM eingesetzt werden. Für jeden Betrieb wurde berechnet, wie viele Spritz-Durchfahrten in einer Kultur pro Jahr für Herbizide, Fungizide und Insektizide stattfanden (z. B. die Anzahl an Interventionen für Fungizide im Winterweizen). Tankmischungen mit verschiedenen Wirkstoffgruppen (z. B. Insektiziden und Fungiziden) wurden getrennt gezählt und als zwei Interventionen behandelt. Für die Berechnung der durchschnittlichen Anzahl an Interventionen wurden unbehandelte Schläge berücksichtigt.

Der **Anteil von PSM-Anwendungen mit Auflagen** (in %) gibt an, bei wie vielen PSM-Anwendungen im AUI-Datensatz eines Jahres laut jeweiligem Stand der Zulassung eine Auflage verfügt worden ist. Hierfür wurden die PSM-Angaben im AUI-Datensatz mit den im Pflanzenschutzmittelverzeichnis aufgeführten Auflagen der Jahre 2009–2018 für Drift und Abschwemmung ergänzt, wobei jeweils der Stand der Zulassung am Anfang eines Kalenderjahres verwendet wurde (BLW 2020b). Falls ein PSM-Produkt in einer Kultur für verschiedene Indikatio-

nen (d.h. Schadorganismen) zugelassen war, wurde die jeweils maximal verfügbare Auflage berechnet. Schliesslich wurde pro Kultur, Jahr und Wirkstoffgruppe der Anteil an allen Wirkstoffapplikationen berechnet, bei denen das entsprechende Produkt laut PSM-Verzeichnis eine Auflage bezüglich Abschwemmung oder Abdrift hatte (z. B. der Anteil an PSM-Anwendungen mit Auflagen bei Insektiziden auf Raps).

### Berechnung des Risikopotentials für Oberflächengewässer

Die Berechnung des Risikopotentials für Oberflächengewässer erfolgte mit dem Modell SYNOPSIS (Gutsche und Strassemeyer 2007; Strassemeyer et al. 2017). Das Modell berechnete für jede Pflanzenschutzmittelanwendung aus dem analysierten AUI-Datensatz den potenziellen Eintrag aus einem behandelten Schlag in Oberflächengewässer (Exposition) über die vier Eintragspfade Drift, Abschwemmung, Erosion und Drainage. Anschliessend wurde das Risikopotential berechnet, welches mit der so modellierten Konzentration im Oberflächengewässer verbunden ist. Das heisst, dass das Risikopotential lokal das von einem behandelten Schlag ausgehende Risiko für Gewässerorganismen beschreibt. Für jede Applikation wurde das Risikopotential mit und ohne die verfügbaren spezifischen Auflagen für Drift und Abschwemmung berechnet.

In SYNOPSIS wurde das Risikopotential pro Wirkstoff als «exposure-toxicity-ratio» (ETR) berechnet, d.h. als der Quotient aus Exposition und Toxizität. Für die Toxizität wurden in standardisierten Laborexperimenten ermittelte toxische Konzentrationen von Stellvertreterorganismen verwendet (z.B.  $LC_{50}$ , d.h. die Konzentration bei der 50 % Mortalität beobachtet wurde; NOEC, d.h. die Konzentration, bei der keine chronischen Effekte festgestellt wurden). Als Stellvertreterorganismen für akute und chronische Effekte wurden Wasserflöhe, Fische und Sedimentorganismen, bei den akuten Effekten wurden zudem Algen und Wasserlinsen betrachtet. Die Daten zur Toxizität sowie zu den chemischen Eigenschaften stammen aus der *Pesticide Property Database* (PPDB: Lewis et al. 2016). Diese Daten wurden überprüft und teilweise korrigiert. Neben den Effekten von einzelnen Wirkstoffen, wurden auch Effekte von Mischungen von mehreren Wirkstoffen, welche auf dem gleichen Schlag appliziert wurden, berücksichtigt. Schliesslich wurde pro Spritzfolge (d.h. die Abfolge von PSM-Applikationen auf einem Schlag in einem Anbaujahr) der maximale ETR (akut und chronisch) über alle Wirkstoffe einer Wirkstoffgruppe und über alle Organismengruppen während eines Jahres ermittelt. Dabei wurden chronische

ETR durch zehn dividiert, um akute und chronische Effekte gleichwertig zu berücksichtigen. Die Risikopotentiale wurden getrennt berechnet für Herbizide, Fungizide und Insektizide.

Da der Eintrag von PSM in Gewässer von Umweltbedingungen (z. B. Hangneigung oder Klima) beeinflusst wird, wurden für die Schweiz repräsentative Umweltszenarien definiert. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden pro untersuchter Kulturgruppe 618–9193 verschiedene Umweltszenarien getestet und am Schluss eine Auswahl von einem repräsentativen Set an Umweltbedingungen pro Kultur definiert (de Baan 2020). Für den Feldbau wurden 79 Umweltszenarien definiert, mit denen jeweils die Risiken für jede Spritzfolge im AUI-Datensatz berechnet wurden. Für jede Spritzfolge wurde schliesslich das 90. Perzentil über die 79 errechneten Risikopotentiale ermittelt, wobei als Gewichtungsfaktor berücksichtigt wurde, wie häufig diese Umweltbedingungen jeweils in der Schweiz auftreten. Dem 90. Perzentil liegt eine bestimmte Kombination an Umweltbedingungen und Bodeneigenschaften zugrunde, die als realistisches *worst-case*-Szenario betrachtet wird. Für das Oberflächengewässer wurde ein 1 m breites und 30 cm tiefes Gewässer angenommen mit konstantem Gewässervolumen. Um die **Risiko-dominierenden Wirkstoffe** zu identifizieren, wurde jeweils pro Spritzfolge pro Schlag berechnet, welcher Wirkstoff die höchsten Risikopotentiale zeigte (ohne Berücksichtigung von Mischungseffekten).

Falls auf einem Betrieb mehrere Felder mit derselben Kultur bestellt wurden, wurde zuerst das **Risikopotential** pro Kultur, Betrieb und Wirkstoffgruppe berechnet. In einem weiteren Schritt wurde der Median der Risikopotentiale über alle Betriebe, die diese Kultur angebaut haben, ermittelt. Berechnet wurde demnach das mittlere Risikopotential einer Kultur über alle ZA-AUI Betriebe. Am Schluss wurde der Median-Wert pro Kultur mit der Anbaufläche der Kultur im jeweiligen Jahr (in ha) multipliziert (**flächengewichtete Risikopotentiale**). Um das Risikopotential von PSM zu senken, wurden im Rahmen der Zulassung von PSM für Anwendungen, bei denen allfällige Einträge via Drift und Abschwemmung ein Risiko für Wasserorganismen darstellen, ein Abstand zu Oberflächengewässern vorgeschrieben. Der Abstand für Drift variiert mit dem möglichen Risiko eines PSM-Einsatzes und kann je nach Produkt 6, 20, 50 oder 100 m betragen, in früheren Jahren gab es in einzelnen Fällen auch Abstandsaufgaben von 10 m. Gleichermassen gibt es Auflagen, um das Risiko von PSM durch allfällige Abschwemmungseinträge auf Parzellen, die weniger als 100 m von einem Oberflächengewässer entfernt sind,

zu mindern, wenn die PSM-Anwendung nicht auf einer ebenen Fläche mit <2% Neigung erfolgt, oder die Fläche niedriger liegt als das Oberflächengewässer. Bis 2018 wurden Produkte mit einem potentiellen Risiko wegen Abschwemmung mit der Auflage versehen, einen 6 m breiten bewachsenen und unbehandelten Pufferstreifen entlang von Gewässern einzurichten. Um den **Effekt von Risikominderungsmaßnahmen** auf die Risikopotentiale aufzuzeigen, wurden zwei separate SYNOPSIS-Berechnungen durchgeführt: einmal mit und einmal ohne Berücksichtigung der im PSM-Verzeichnis des jeweiligen Jahres festgelegten Auflagen zur Reduktion der Drift und Abschwemmung für die einzelnen PSM-Anwendungen. Dabei wurde angenommen, dass ein 6 m breiter bewachsener Pufferstreifen den Eintrag von Abschwemmung um 50 % reduziert (Weisung BLW 2020c; basierend auf Hanke *et al.* 2013). Der Driftreduzierende Effekt von unbehandelten Pufferstreifen wurde basierend auf den Drift-Messungen von Rautmann, Strelake und Winkler (2001) berechnet und lag je nach Distanz vom Feld zum Gewässer und Auflage zwischen 0 % und 94 %).

## Resultate

### Flächengewichtete Wirkstoffmengen

Die flächengewichteten Wirkstoffmengen im Feldbau (Abb. 1) unterscheiden sich stark je nach Kultur und Wirkstoffgruppe der PSM. Bei den Herbiziden wurden im Untersuchungszeitraum im Feldbau je nach Erhebungsjahr zwischen 328 und 476 t verwendet, wobei die eingesetzten Wirkstoffmengen kontinuierlich von 2012 bis 2018 um knapp 31 % sanken. Generell lässt sich eine Reduktion des Herbizideinsatzes in fast allen Kulturen beobachten, eine grössere Abnahme gab es zwischen 2009 und 2018 bei Wiesen und Weiden (-16,9t) und in den Kulturen Mais (-28,4t), Winterweizen (-20,1t) und Winterweizen Extenso (-19,8t). Bei den Fungiziden wurden im Feldbau pro Jahr zwischen 99 und 146t eingesetzt. Verglichen mit 2009 sank 2018 die eingesetzte Fungizid-Menge um knapp 27 %. Während der Fungizideinsatz beim Winterweizen trotz der jährlichen Schwankungen insgesamt um fast 19t rückläufig war, stieg der Fungizideinsatz bei Zuckerrüben während dieser Zeit

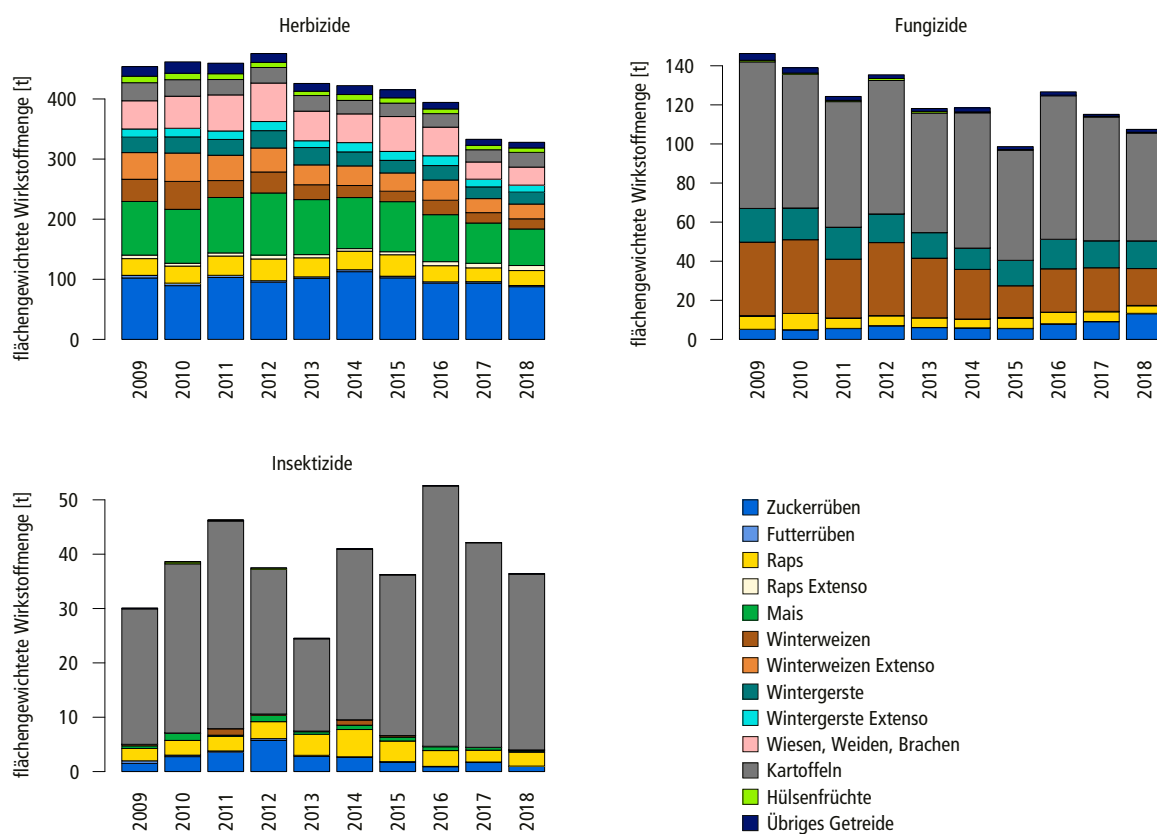
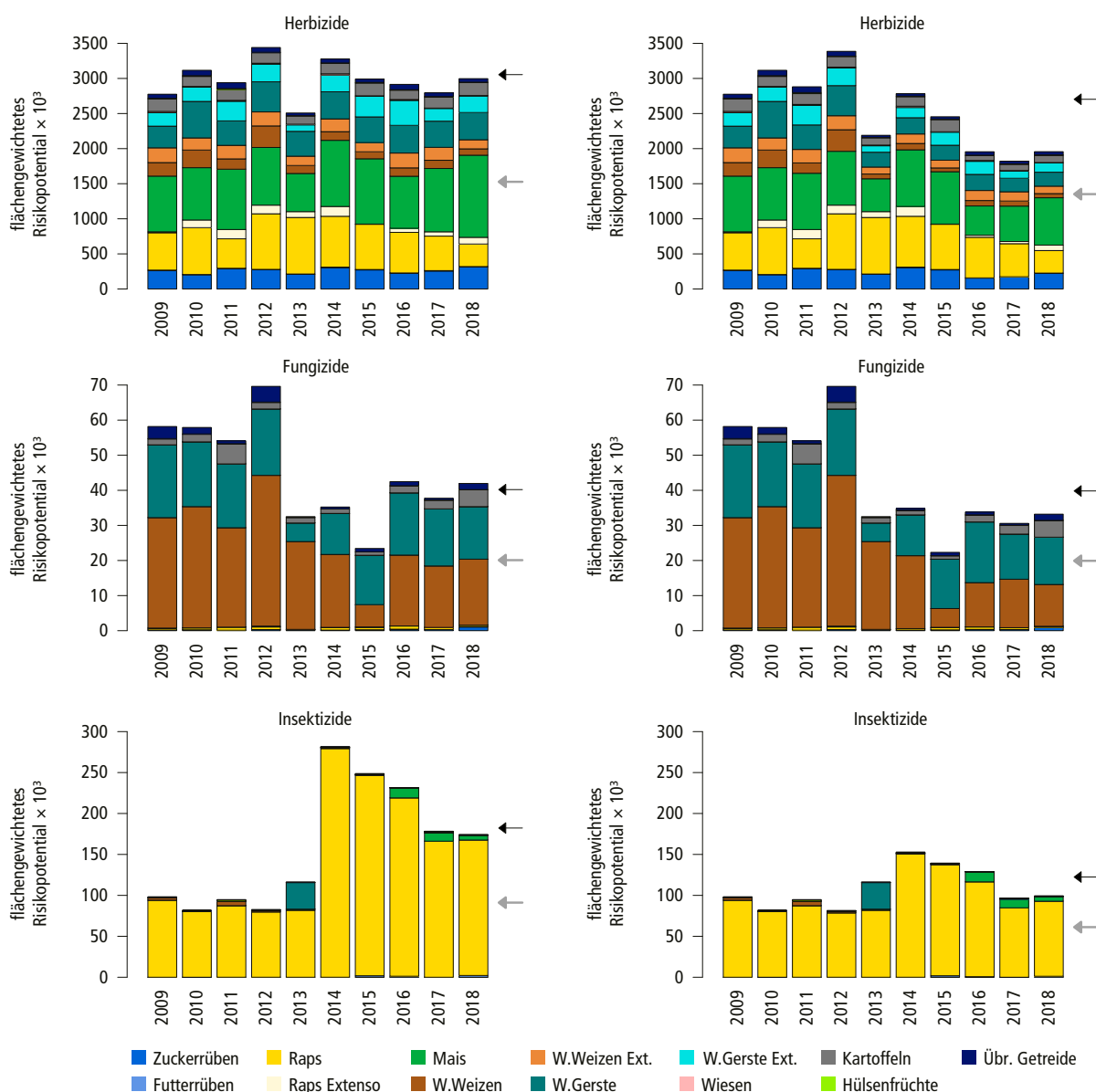


Abb. 1 | Flächengewichtete Wirkstoffmenge von 2009 bis 2018 im Feldbau, getrennt nach Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden.

kontinuierlich um über 8t an. Insektizide, die häufig schon in niedrigen Dosierungen hochwirksam sind, wurden in viel geringeren Mengen als Herbizide und Fungizide eingesetzt. Eine Ausnahme war der Einsatz von Paraffinöl im Kartoffelanbau, welches >99% der jährlich eingesetzten Wirkstoffmenge ausmachte. Abgesehen vom Insektizid-Einsatz in Kartoffeln (graue Farbe in Abb. 1), konnte über alle anderen Kulturen gesehen ein Anstieg des Insektizid-Einsatzes bis 2012 auf 10,8t und ein Rückgang bis 2018 auf 4,0t verzeichnet werden. Dies entspricht einer Reduktion von 63% seit 2012.

### Flächengewichtete Risikopotenziale von PSM in Oberflächengewässern

Die flächengewichteten Risikopotenziale (ETR x Flächen der Kulturen im Feldbau) zeigten, dass Herbizide grössere Risikopotenziale als Insektizide, und Insektizide grössere als Fungizide aufwiesen (Abb. 2). Bei den Herbiziden traten die höchsten flächengewichteten Risikopotenziale im Mais, Raps und Wintergerste (inklusive Extenso) auf. Dagegen führten Herbizidanwendungen in Wiesen und Weiden nur zu einem sehr geringen flächengewichteten Risikopotenzial. Bei den Fungiziden



**Abb. 2 |** Flächengewichtete Risikopotenziale für Oberflächengewässer von 2009 bis 2018, ausgehend von Herbizid-, Fungizid- und Insektizidanwendungen ohne Abstandsauflagen (links) und mit Abstandsauflagen (rechts). Der schwarze Pfeil zeigt den Mittelwert des Risikopotenzials zwischen 2012 und 2015, der graue Pfeil markiert 50% dieses Mittelwertes (W.Weizen = Winterweizen; W.Gerste = Wintergerste; Ext. = Extenso; Übr. Getreide = Übriges Getreide)

wurden in Winterweizen und Wintergerste die höchsten flächengewichteten Risikopotentiale beobachtet; einen eher geringen Anteil am Risikopotential hatte der Einsatz von Fungiziden in Kartoffeln und «Übrigem Getreide». Bei den Insektizidanwendungen wurde das flächengewichtete Risikopotential hauptsächlich durch die PSM-Applikationen im Raps verursacht. Die Insektizid-Applikationen in Kartoffeln und Zuckerrüben hatten nur sehr geringe Auswirkungen auf das flächengewichtete Risikopotential.

Ohne Berücksichtigung der Abstandsaufgaben der PSM-Zulassung (Abb. 2, links) blieb das Risikopotential durch Herbizide zwischen 2009 und 2018 relativ unverändert, jedoch mit jährlichen Schwankungen. Die Abstandsaufgaben der PSM-Zulassung zeigten eine deutliche risikomindernde Wirkung, das Risikopotential sank kontinuierlich seit 2012 mit einer grösseren Reduktion im Jahr 2013 bei fast allen Kulturen. Das Risikopotential konnte durch die Auflagen im Jahr 2018 bei Mais um 42 % gegenüber einer Berechnung ohne Auflagen gesenkt werden, bei Wintergerste und Wintergerste Extenso war das Risikopotential 2018 um 49 %, resp. 44 % und bei Kartoffeln um 44 % tiefer als ohne Auflagen (Abb. 2; rechts mit Auflagen). Bei den Fungiziden war kein eindeutiger Trend ersichtlich, auffällig war hier nur eine grössere Reduktion des Risikopotentials vom Jahr 2012 zum Jahr 2013, sichtbar sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der Abstandsaufgaben der PSM-Zulassung. Bei den Fungiziden verringerte sich das Risikopotential durch die Anwendung von Abstandsaufgaben vor allem beim Winterweizen um etwa 37 % im Jahr 2018 verglichen mit dem Risikopotential berechnet ohne Auflagen. Bei den Insektiziden war ein starker Anstieg des

Risikopotentials im Jahr 2014 im Vergleich zum Jahr 2013 zu verzeichnen. Dies war deutlich sichtbar ohne Berücksichtigung der Abstandsaufgaben, jedoch weniger stark mit deren Berücksichtigung, da sich beim Insektizideinsatz im Raps das Risikopotential durch die Auflagen der PSM-Zulassung stark reduzierte. Das Risikopotential berechnet mit Auflagen war im Raps im Jahr 2018 45 % tiefer als ohne Auflagen.

### Einsatz von PSM im Feldbau mit Abstandsaufgaben

Im Zeitraum von 2009 bis 2018 wurden viele neue Auflagen verfügt. Bei allen Kulturen nahm der Anteil der PSM-Anwendungen im AUI-Datensatz, bei welchen die eingesetzten PSM Abstandsaufgaben hatten, deutlich zu, so zum Beispiel auch bei den Insektiziden, welche in Raps eingesetzt wurden (Abb. 3). Der Anteil der Insektizid-Anwendungen in Raps mit Driftauflagen lag während 2009 bis 2012 zwischen 13,2–15,8 % (Abb. 3, links), der grösste Teil davon waren PSM mit 20m-Abstandsaufgaben. Ab 2013 stieg der Anteil der Anwendungen, die eine Drift-Abstandsaufgabe besaßen, stark an, seit 2015 lag deren Anteil zwischen 76,5 und 85,3 %. Seit 2015 wurden zudem viele Insektizide mit sehr hohen Abstandsaufgaben verwendet, knapp 20 % der 2015 und 2016 eingesetzten Insektizide hatten eine Abstandsaufgabe von 100m. Seit 2013 wurden bei der Behandlung von Raps Insektizide verwendet, bei denen eine 6m-Abschwemmungsaufgabe verfügt worden ist (Abb. 3, rechts). Zwischen 2013 und 2016 stieg deren Anteil von 19 % auf knapp 62 %. Im Jahr 2018 waren ca. 50 % aller verwendeten Produkte mit solch einer Auflage versehen.

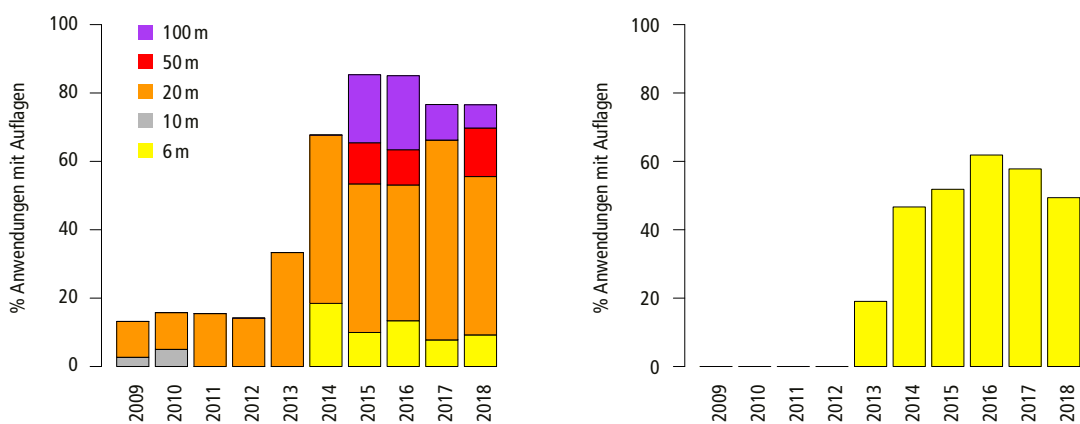


Abb. 3 | PSM-Anwendungen mit Abstandsaufgaben 2009–2018 am Beispiel des Insektizid-Einsatzes im Raps. links: Drift, rechts: Abschwemmung.

### Risiko-dominierende Wirkstoffe

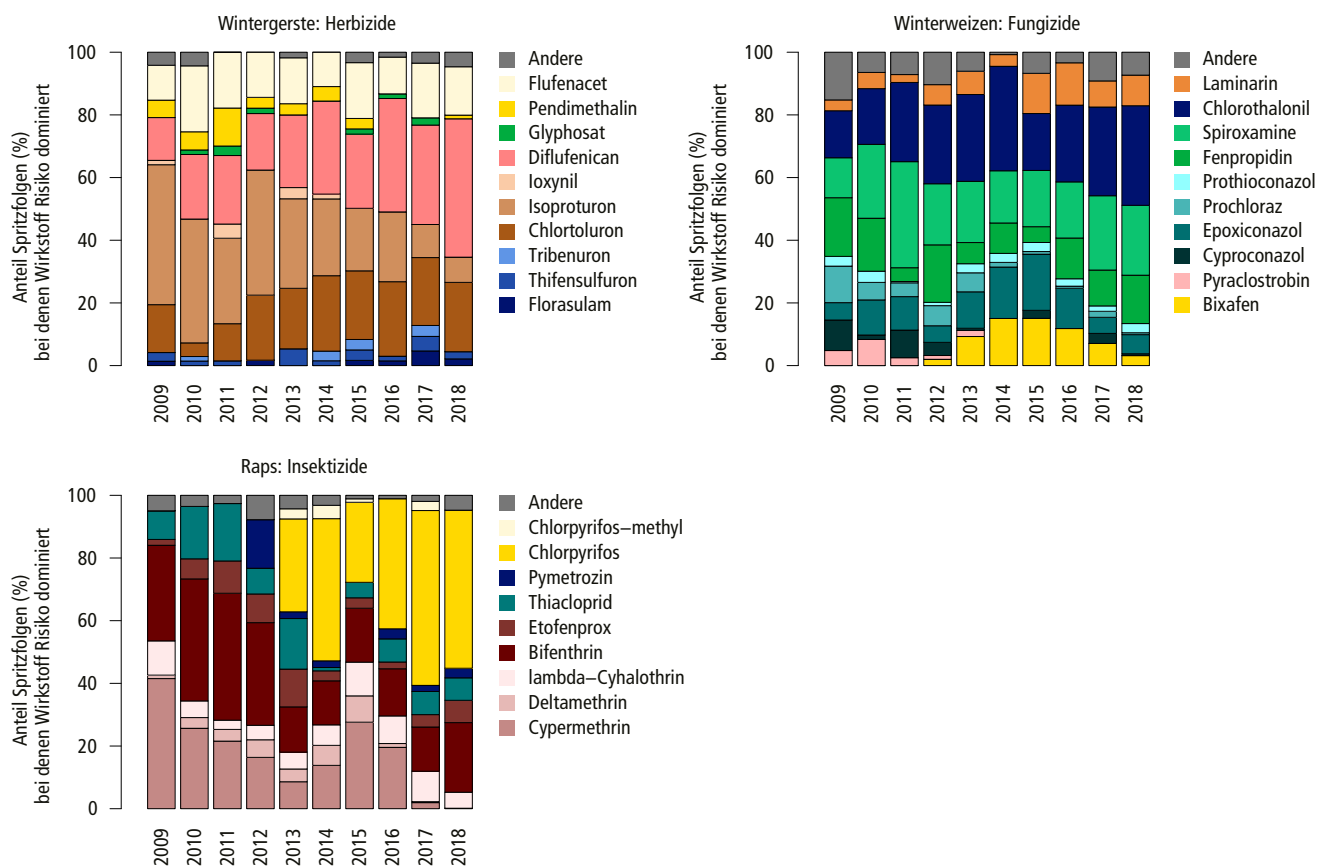
Eine Kultur kann mit einer unterschiedlichen Auswahl an PSM behandelt werden. Je nach Spritzfolge dominierten andere Wirkstoffe das Risikopotential. Welche Wirkstoffe Risiko-dominierend waren und wie sich der Anteil der von ihnen dominierten Spritzfolgen von 2009 bis 2018 veränderte, ist in Abbildung 4 anhand von drei Beispielen dargestellt.

Bei den Herbiziden für den Anbau von Wintergerste war zu Beginn des Untersuchungszeitraums das Harnstoffderivat Isoproturon der Risiko-dominierende Wirkstoff (maximal 44,7 % der Schläge in 2009, Abb. 4, oben links). Während dessen Anteil kontinuierlich kleiner wurde (8 % in 2018), stieg zeitgleich der Anteil an Spritzfolgen, der durch das Diflufenican, einem Pyridincarbonsäureamid, dominiert wurde (von 13,7 % in 2009 auf 44,2 % in 2018). Der Phenylharnstoff Chlorotoluron war in durchschnittlich 18,5 % der Spritzfolgen der dominierende Wirkstoff (minimal 4,3 % in 2010, maximal 24,1 % in 2014).

Die Risiko-dominierenden Fungizide im Winterweizen waren auf vielen Schlägen Chlorothalonil, welches zu den Chloronitrilen gehört (maximal 33,3% der Schläge

in 2014), Spiroxamine aus der Gruppe der Spiroketalamine (maximal 33,8 % in 2011), Fenpropidin aus der Gruppe der Piperidine (maximal 18,7% in 2009) und Prochloraz, welches zu den Imidazolen gehört (maximal 11,6 % in 2009; Abb. 4, oben rechts). In fast allen analysierten Jahren dominierten diese vier Wirkstoffe die Risiken auf 58 bis 70 % der Schläge im Winterweizen, im Jahr 2015 waren es dagegen nur 42 % der Schläge. Dagegen stieg im Jahr 2015 der Anteil Schläge, auf denen das Polysaccharid Laminarin die Risiken dominierte, von 3,7% (2014) auf 12,8 %.

Bei den in Raps eingesetzten Insektiziden waren bis 2011 am häufigsten die Pyrethroide Bifenthrin und Cypermethrin und das Neonikotinoid Thiacloprid Risiko-dominierend (Abb. 4, unten). Der Anteil von Schlägen, bei denen Bifenthrin das Risiko dominierte lag maximal bei 40,5 % (2011), der von Cypermethrin bei 41,5 % (2009) und der von Thiacloprid bei 18,3 % (2011). Ab 2013 waren die Organophosphate Chlorpyrifos und Chlorpyrifos-methyl als Insektizide im Raps zugelassen und dominierten oft das Risiko in den Spritzfolgen in den darauffolgenden Jahren (zusammen maximal bei 58,7 % in 2017).



**Abb. 4** | Anteil der Spritzfolgen (%) von 2009 bis 2018, bei denen der jeweilige Wirkstoff unter Berücksichtigung der Abstandsauflagen das Risiko dominierte, am Beispiel Herbiziden in der Wintergerste, Fungiziden im Winterweizen und Insektiziden im Raps.



### Variabilität von Einsatz und Risiko zwischen den Betrieben

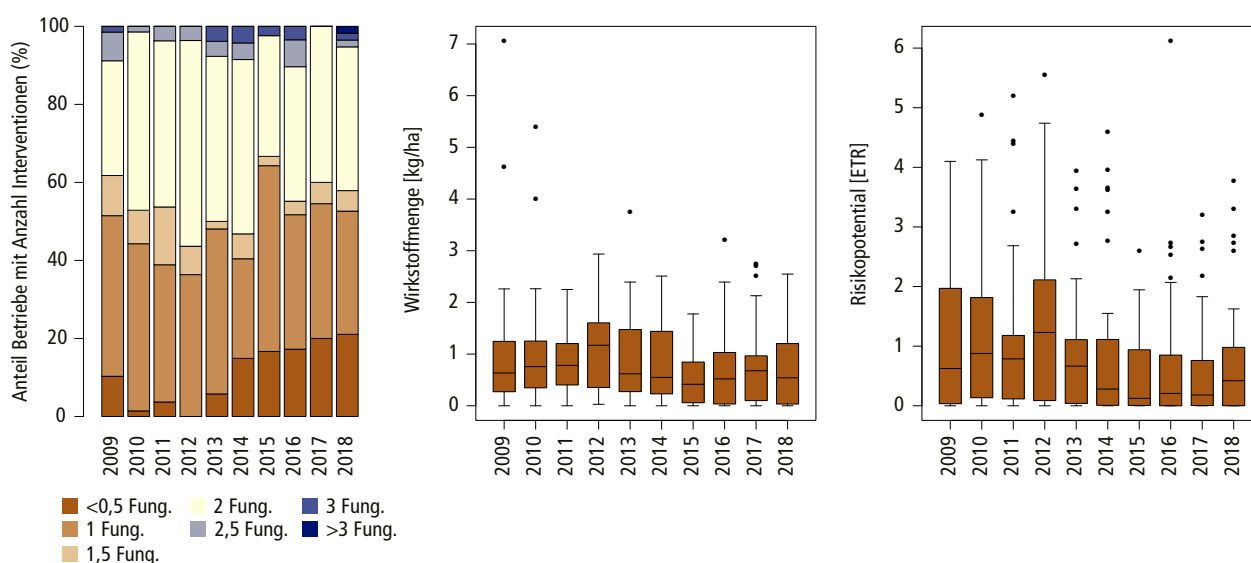
Sowohl der Einsatz als auch die Risiken von PSM schwanken nicht nur stark zwischen den Jahren, sondern auch zwischen den einzelnen Betrieben im gleichen Anbaujahr. Abbildung 5 zeigt dies am Beispiel vom Einsatz und Risiken von Fungiziden auf Winterweizen, wobei pro Jahr durchschnittlich 55,8 Betriebe ausgewertet wurden (42 bis 70 Betriebe, nur nicht-Extensio betrachtet). Die Häufigkeit des Einsatzes von Fungiziden auf den Betrieben im Weizenanbau reichte von 0 bis > 3,5 Interventionen pro Jahr. Am Häufigsten wurde 1–2 Mal pro Jahr mit Fungiziden behandelt. Im Zeitraum 2009–2018 hat sich die Häufigkeit der Fungizid-Anwendungen verändert: Der Anteil Betriebe mit  $\leq 0,5$  Interventionen stieg von wenigen Prozent in den Jahren 2010 bis 2012 auf über 20 % im Jahr 2018 (Abb. 5, links). In diesem Zeitraum haben auch die eingesetzten Wirkstoffmengen und die Risikopotentiale (Mediane pro Betrieb) abgenommen (Abb. 5, Mitte und rechts). Einzelne Jahre zeigten grössere Abweichungen. So lag der Anteil an Betrieben mit einer Anzahl von  $\geq 1,5$  Fungizid-Interventionen im Jahr 2012 bei 63,3 %, im Jahr 2015 aber nur bei 35,7 %. Im Jahr 2012 lag zudem der Median-Wert der aufgewendeten Wirkstoffmenge pro Betrieb bei 1,17 kg/ha und der des Risikopotentials bei 1,23, während im Jahr 2015 beide Werte sehr viel niedriger waren (0,42 kg/ha und Median-ETR von 0,13). Aber auch innerhalb eines Jahres schwankten die pro Betrieb eingesetzten Wirkstoffen-

gen und die durch den Fungizid-Einsatz resultierenden Risikopotentiale sehr stark. Die oberen Quartile (25 % der Daten liegen über diesem Wert) und die unteren Quartile (25 % der Daten liegen unter diesem Wert) in den Boxplots liegen teilweise sehr weit auseinander. Im Untersuchungszeitraum wurde durchschnittlich eine 11,7-mal höhere Wirkstoffmenge durch die Betriebe des oberen Quartils als durch die Betriebe des unteren Quartils eingesetzt. Das durch den Einsatz von Fungiziden verursachte Risikopotential schwankte ebenfalls zwischen den Betrieben eines einzelnen Jahres sehr stark. Zwischen 2009 und 2013, mit insgesamt höheren unteren und oberen Quartilen, lag das Risikopotential der oberen Quartile durchschnittlich 26,4-mal so hoch wie das der unteren Quartile. In den darauffolgenden Jahren sank das Risikopotential vor allem der unteren, aber auch der oberen Quartile. Durchschnittlich war das Risikopotential der Betriebe des oberen Quartils dadurch in den Jahren 2014 bis 2018 über 7500-mal so hoch wie das der Betriebe des unteren Quartils.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

### Einsatz von PSM

Bei den Herbiziden waren deutliche Abnahmen ab 2012 sowohl bei den Verkaufsmengen (BLW 2020a) als auch beim Einsatz von PSM zu verzeichnen. Da bei den Herbiziden der Feldbau ein wichtiges Anwendungsgebiet ist



**Abb. 5** | Relative Häufigkeit der Anzahl Interventionen (links), Wirkstoffmenge (Mitte) und Risikopotential (rechts) pro Betrieb für Fungizide im Winterweizenanbau. Die Boxplots zeigen den jeweiligen Median, das untere und obere Quartil (untere und obere Begrenzung der braunen Box, welche 50% der Betriebsdaten umfasst), die Antennen (1,5-facher Interquartilsabstand) und einzelne Punkte (Ausreisser mit > 1,5-fachem Interquartilsabstand).

(je nach Jahr wurden 50–60% der verkauften Herbizide im Feldbau eingesetzt), ist diese parallele Entwicklung plausibel. Die grösste Wirkstoffmenge an Herbiziden wurde in Zuckerrüben und Mais eingesetzt, es folgten Wiesen, Weiden und Brachen, Raps, Winterweizen Extenso und Kartoffeln. Ausser in Raps Extenso hat die Wirkstoffmenge bei den Herbiziden in allen Kulturen abgenommen.

Die im Feldbau eingesetzte Fungizid-Menge nahm ab, obwohl zeitgleich die verkauften Mengen anstiegen (BLW 2020a). Rund die Hälfte der im Feldbau eingesetzten Fungizide wurden in Kartoffeln eingesetzt. Die Wirkstoffmengen in Winterweizen und Wintergerste waren etwas geringer; jene in Zuckerrüben und Raps am geringsten. Es zeigte sich, dass innerhalb des Feldbaus neben den Kulturen mit einem vergleichsweise hohen Wirkstoffeinsatz pro Fläche (wie z. B. Kartoffeln) auch Kulturen mit einer grossen Anbaufläche (Winterweizen, Mais) für die Wirkstoffmenge relevant waren. Bei fast allen Kulturen war eine Abnahme der Wirkstoffmenge zu sehen, ausser bei Zuckerrüben. Diese Zunahme kann wahrscheinlich mit dem angestiegenen Schadensdruck der *Cercospora*-Blattfleckenkrankheit erklärt werden, deren Bekämpfung statt einer einzigen nun mehrere Fungizid-Behandlungen erforderte.

Bei den Insektiziden nahmen die eingesetzten Wirkstoffmengen mit Ausnahme des Kartoffelbaus bis 2012 zu und danach ab. Bei Kartoffeln, welche die Kultur mit dem grössten Einsatz von Insektiziden war, machte vor allem der Wirkstoff Paraffinöl einen Grossteil der eingesetzten Wirkstoffmenge aus. Paraffinöl, das auch im biologischen Anbau zugelassen ist, muss für eine wirksame Behandlung in hoher Dosierung eingesetzt werden. Obwohl nur in durchschnittlich 47 % der Insektizid-Interventionen pro Jahr Paraffinöl bei Kartoffeln eingesetzt wurde, lag dessen Anteil an der flächengewichteten Wirkstoffmenge aber durchschnittlich bei >99 %.

Neben Veränderungen in der Zulassung der PSM und der Umsetzung von agrarpolitischen Massnahmen (Zunahme der Anbaufläche von Bio- und Extenso-Getreide) war auch der Rückgang der gesamten Anbaufläche von Getreide zwischen 2009 und 2018 ein Grund für die Abnahme der flächengewichteten Wirkstoffmenge im Feldbau. Beim Bio-Getreide Anbau werden kaum PSM eingesetzt, beim Extenso-Anbau muss auf Insektizide und Fungizide verzichtet werden. Zudem werden beobachtete Trends oder Schwankungen der eingesetzten Wirkstoffmengen auch durch den Einsatz anderer PSM, beispielsweise den Ersatz von hochwirksamen PSM mit tiefen Anwendungsraten (z. B. Pyrethroide) durch weniger wirksame PSM mit hohen Anwendungsraten (z.B. Paraffinöl) verursacht.

Zwischen 2009 und 2018 sank die Verkaufsmenge der Herbizide, die der Fungizide nahm leicht zu. Bei den Insektiziden schwankten die verkauften Mengen stark zwischen den Jahren und wiesen keinen deutlichen Trend auf. Der Anteil der eingesetzten (flächengewichteten) Wirkstoffmenge von PSM im Feldbau (ohne biologischen Anbau) an der gesamthaft verkauften Menge machte im 2018 bei den Herbiziden 56 %, den Fungiziden 11 % und den Insektiziden 13 % aus. Bisher ist nicht bekannt, welcher Anteil die verschiedenen Anwendungsgebiete (konventioneller und biologischer Feld-, Obst-, Wein-, Gemüsebau sowie nicht-landwirtschaftliche Anwendungen) an den Verkaufsmengen ausmachen. Würde man nur landwirtschaftliche Anwendungen betrachten, wäre der Anteil der im Feldbau eingesetzten PSM noch höher. Während der Einsatz in den Spezialkulturen eher durch die Vielzahl an Interventionen geprägt ist, ist im Feldbau die vergleichsweise viel grössere Anbaufläche bestimmend.

Die detaillierte Analyse der eingesetzten Wirkstoffmengen im Feldbau erlauben es, den Beitrag der einzelnen Kulturen im Kontext des Pflanzenschutzes besser zu verstehen. Nicht alle Kulturen haben die gleichen Erfordernisse, eine Verringerung der eingesetzten Wirkstoffmenge ist teilweise nicht ohne Ertragseinbussen möglich, und durch gewisse Schadorganismen, die Bildung von Resistenzen, periodische klimatisch ungünstige Jahre und andere Faktoren kann die eingesetzte Wirkstoffmenge auch wieder ansteigen. Kulturen und deren Anbauflächen spielen demnach eine grosse Rolle, wenn Strategien zur Reduktion des PSM-Einsatzes gesucht werden, auch um zu verstehen, wie Reduktionsziele erreicht werden können. Dieses Verständnis, welches auch für Spezialkulturen wichtig wäre, erlaubt es, in Zukunft Massnahmen zielgerichtet weiterzuentwickeln und zu priorisieren.

### Risikopotential für Oberflächengewässer

Die Möglichkeit, Risikopotentiale für Oberflächengewässer basierend auf den in den Betrieben eingesetzten Wirkstoffmengen und dem für die Schweiz angepassten Modell SYNOPS zu berechnen, hat bisher gefehlt. Die bis anhin vorhandenen Daten zu den Mengen (Verkauf oder Einsatz) widerspiegeln meist nicht eine Ab- oder Zunahme von Risiken. Zwar gab es in unserer Studie gewisse Parallelen, indem beispielsweise die Herbizide die höchsten Verkaufsmengen und die höchsten Risikopotentiale aufwiesen. Mehrheitlich zeigten sich aber unterschiedliche Verläufe bei den eingesetzten Wirkstoffmengen und den Risikopotentialen. So war das Risikopotential bei den Insektiziden höher als bei den

Fungiziden, obwohl es bei der eingesetzten Wirkstoffmenge umgekehrt war. Auch zeigten sich bei den Risikopotentialen der Fungizide und der Insektizide von 2009 bis 2018 starke Ab- respektive Zunahmen, welche bei den eingesetzten Wirkstoffmengen nicht sichtbar waren. Deshalb ist es wichtig, nicht nur die Mengen zu betrachten, sondern explizit Risikopotentiale für die Beurteilung von Trends in der Umweltbelastung einzu beziehen.

Die Veränderung der flächengewichteten Risikopotentiale für Oberflächengewässer über die Zeit ist ein Zusammenspiel von mehreren Faktoren. Wichtige Eingangsgrossen für die Berechnungen sind neben der Anbaufläche die eingesetzten Wirkstoffmengen und die Wirkstoffwahl. Diese sind wiederum von der Wirksamkeit der PSM gegen Schadorganismen, der Kultur und der angebauten Sorte, Witterung, Schaddruck, Pflanzenschutzstrategie der Betriebe und den Vorgaben der Zulassung und der Agrarpolitik abhängig. Dazu liefert der AUI-Datensatz wichtige Grundlagen. Ein weiteres wichtiges Element ist die Berücksichtigung der für die Schweiz relevanten Standortfaktoren (Bodentyp, Temperatur, Neigung, Nähe zu Gewässern) zur Modellierung der PSM-Konzentrationen in Oberflächengewässern (de Baan, 2020). Zudem werden in der Zulassung Auflagen erlassen, welche den Austrag von PSM aus den behandelten Feldern, und damit den Eintrag in die Oberflächengewässer verringern. Letztendlich ist die Wahl der eingesetzten Wirkstoffe auch wichtig, weil diese ein unterschiedliches Verhalten in der Umwelt und eine unterschiedliche Ökotoxizität haben. Diese Faktoren spielen alle eine wichtige Rolle für das Verständnis der beobachteten Trends der Risikopotentiale für Oberflächengewässer.

Das Risikopotential für Oberflächengewässer hat bei den Herbiziden und den Fungiziden über die Zeit abgenommen. Der Einfluss der Auflagen der Zulassung war dabei sehr wichtig. Bei den Insektiziden hat das Risikopotential, vor allem wegen des Einsatzes der Insektizide im Raps, ab dem Jahr 2014 stark zugenommen. Diese Zunahme wurde durch die Auflagen der Zulassung jedoch stark gemindert. Für ein besseres Verständnis der Veränderungen der Risikopotentiale ist es notwendig, die Risikopotentiale für die Wirkstoffgruppen (Herbizide, Fungizide und Insektizide) für die verschiedenen Kulturen gesondert zu betrachten.

Bei den Fungiziden im Winterweizen beispielsweise lassen sich witterungsbedingte Schwankungen im Krankheitsdruck und deren Auswirkungen gut erkennen. Im Jahr 2012, welches ein feuchtes Jahr war, war sowohl der mengenmässige Einsatz als auch das Risikopotential

der eingesetzten Fungizide im Winterweizen sehr hoch; knapp 70 % der Spritzfolgen wurden durch Chlorothalonil, Fenpropidin, Spiroxamine und Prochloraz dominiert. Im Jahr 2015 wurde dagegen nur ein Drittel der Wirkstoffmenge im Vergleich zu 2012 eingesetzt, das Risikopotential war im 2015 sogar nur ein Zehntel so hoch. Das Spektrum der eingesetzten Wirkstoffe hat sich von 2009 bis 2018 teilweise verändert. Bei den Herbiziden in der Wintergerste gab es über die Jahre eine Verschiebung der Risiko-dominierenden Wirkstoffe von Isoproturon zum risikoärmeren Wirkstoff Diflufenican. Der steile Anstieg des Risikopotentials bei den Insektiziden im Raps ist auf die Wirkstoffe Chlorpyrifos und Chlorpyrifos-methyl zurückzuführen, die 2013 zur Bekämpfung des Rapsglanzkäfers im Raps zugelassen wurden, da dieser Resistenzen gegen Pyrethroide entwickelt hatte. Chlorpyrifos und Chlorpyrifos-methyl sind mittlerweile wegen Umweltbedenken zurückgezogen worden und dürfen ab Juli 2020 nicht mehr verwendet werden. Bei den Fungiziden wurde im 2015 ein relativ grosser Anteil an Spritzfolgen vom eher risikoarmen Laminarin dominiert, wobei gleichzeitig der Anteil an Spritzfolgen, in denen die um etwa 3 bis 4 Grössenordnungen risiko-reicheren Wirkstoffe Chlorothalonil, Fenpropidin, Spiroxamine und Prochloraz dominierten, um knapp 30 % niedriger lag als 2012. Der Einsatz von Chlorothalonil ist seit dem 1. Januar 2020 verboten. Die Zulassung der PSM hat somit einen grossen Einfluss auf das Spektrum der einsetzbaren Wirkstoffe. Dadurch werden die Risiken, u.a. auch für die Oberflächengewässer, stark beeinflusst. Fehlen geeignete Alternativen, kann dabei jedoch auch der Pflanzenschutz erschwert werden.

Auch die Auflagen, die in der PSM-Zulassung zur Reduktion von Drift und Abschwemmung erlassen werden, leisteten einen Beitrag zur Risikominderung, ohne Einschränkung des einsetzbaren Wirkungsspektrums. Durch die Auflagen wurde das Risikopotential für Oberflächengewässer bei Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden beträchtlich verringert. Sowohl die Berechnung der Risikopotentiale selbst als auch der Einbezug der Auflagen können aber nicht alle Details berücksichtigen. Für die Interpretation der Resultate ist es wichtig zu verstehen, dass bezüglich der Berechnung der Effekte von Auflagen einige Annahmen getroffen wurden, die zu Über- oder Unterschätzungen der Effekte führen können. Bei der Abschwemmung wurde zum Beispiel nicht berücksichtigt, dass die Auflagen nur Felder mit >2 % Hangneigung und <100 m Abstand zum Gewässer betreffen (BLW, 2020c). Andererseits werden Auflagen umgesetzt, die sich nicht auf spezifische PSM beziehen, dann aber auch die Risikopotentiale von PSM ohne Auf-

lagen reduzieren können (z. B. 6 m bewachsener Pufferstreifen). Teilweise wurden einzelne Massnahmen auch schon vor dem Erlass von Auflagen in der Zulassung umgesetzt. Generell würde eine bessere Kenntnis der effektiven Umsetzung der Auflagen und zusätzlichen risikomindernden Massnahmen, zum Beispiel via Umfragen bei den Betrieben oder Kantonen, oder via Luftbildauswertung helfen, die Wirksamkeit der Risikominderung besser zu beurteilen.

Am Beispiel der Fungizide im Winterweizen wurde gezeigt, dass es «Ausreisser»-Betriebe gibt. Bei diesen Betrieben lag die eingesetzte Wirkstoffmenge und die Risikopotentiale für Oberflächengewässer um ein Vielfaches höher als die Median-Werte aller analysierten Betriebe eines Jahres. Grund für die höheren Wirkstoffmengen der Ausreisser-Betriebe war der Einsatz von Wirkstoffen mit hohen Aufwandmengen pro ha (zum Beispiel Schwefel). Solche Wirkstoffe sind vergleichsweise wenig toxisch für Gewässerorganismen und haben nur einen geringen Einfluss auf das Risikopotential. Der Grund für die höheren Risikopotentiale der Ausreisser-Betriebe wird beim vereinzelt Einsatz von eher toxischen Wirkstoffen vermutet. Im Winterweizen waren Chlorothalonil, Prochloraz und Fenpropidin Risiko-dominierend, wobei Chlorothalonil inzwischen zurückgezogen wurde. Wir gehen davon aus, dass eine verbesserte Unterstützung der Betriebe (Aus- und Weiterbildung, Beratung, gezielte Entscheidungshilfen) hinsichtlich des Gebrauchs risikoärmerer Wirkstoffe die Höhe des Risikopotentials merklich beeinflussen könnte. Die Entwicklung von alternativen, nicht-chemischen Pflanzenschutzmassnahmen kann einen weiteren wichtigen Beitrag zu Reduktion des Risikopotentials bieten.

### Ausblick

Die detaillierten Analysen im Feldbau zeigen, dass es sehr wichtig ist, genau zu wissen, welche PSM in welcher Kultur und in welcher Menge eingesetzt werden. Bei anderen Kulturen fehlen noch zuverlässige Daten zum Einsatz der PSM. Im Rahmen des AP PSM sind verschiedene Massnahmen in Erarbeitung, um die Erfassung der PSM-Anwendungen zu verbessern. Unter anderem wird ein Verteilschlüssel entwickelt, mit dem Ziel, für jeden Wirkstoff die verkaufte Menge verschiedenen Anwendungsgebieten zuweisen zu können und die Relevanz dieser Anwendungsgebiete (sowohl in der Landwirtschaft als auch ausserhalb) genauer zu kennen. Zudem werden zusätzliche Daten für Gemüse- und Bio-Betriebe erhoben. In Zukunft könnten eine breitere Erfassung, verbesserte Zugänglichkeit und die zunehmende Digitalisierung in der Landwirtschaft dazu beitragen, dass

nicht nur im Feldbau, sondern auch bei den Spezialkulturen eine repräsentative Datengrundlage vorhanden ist. Der AP PSM sieht vor, das Risikopotential für Oberflächengewässer bis 2027 um 50 % gegenüber dem Mittelwert von 2012 bis 2015 zu reduzieren. In Abbildung 2 sind sowohl der Referenzwert (schwarzer Pfeil) als auch der Zielwert (grauer Pfeil) dargestellt. Nicht nur der Rückgang der Einsatzmenge, sondern vor allem die Zunahme an Auflagen ist ein bedeutender Faktor bei der Reduktion des Risikopotentials für Oberflächengewässer. Unter Berücksichtigung der Abstandsaufgaben der PSM-Zulassung war das Risikopotential der Herbizide im Jahr 2018 um 28 %, das Risikopotential der Fungizide um 17 % und jenes der Insektizide um 19 % niedriger als der Referenzwert (Abb. 2, rechts). Die Analysen der Trends von 2009 bis 2018 zeigen, dass sich die Risikopotentiale schon jetzt reduziert haben.

Die Risikopotentiale für Oberflächengewässer haben im Vergleich zu reinen Betrachtungen der Mengen (Verkauf, Einsatz) einen grossen Mehrwert. Unter anderem kann der Beitrag von risikomindernden Massnahmen, der Wirkstoffwahl und einer Reduktion im Einsatz besser verstanden werden. Mit einer grösseren Differenzierung der Risikopotentiale, beispielsweise einer separaten Darstellung der Risikopotentiale für Algen, Wasserpflanzen, Krebstiere, Insekten und Fische, oder auch dem Einbezug von terrestrischen Kompartimenten, können die Auswirkungen der PSM auf die Umwelt spezifischer analysiert werden.

Die Methode erlaubt es, nicht nur retrospektiv die Entwicklungen der Risikopotentiale mit kultur- und standortspezifischem Zusatzwissen (z. B. Schaderregerauftreten, Witterung) besser zu verstehen, sondern auch, die Wirkung einzelner Massnahmen im Gesamtkontext für die Zukunft besser abschätzen und neue Pflanzenschutzstrategien bezüglich der Optimierung des Schutzes der Umwelt zu beurteilen. ■

## Literatur

- BFS, 2020. Landwirtschaftliche Strukturerhebung Zugang: [https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0702000000\\_106/px-x-0702000000\\_106/px-x-0702000000\\_106.px](https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0702000000_106/px-x-0702000000_106/px-x-0702000000_106.px)
- BLW, 2019. Agrarpolitisches Informationssystem AGIS. Zugang: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/datenmanagement/agate/agis.html>
- BLW, 2020a. Verkaufsmengen der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe. Zugang: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/pflanzenschutzmittel/verkaufsmengen-der-pflanzenschutzmittel-wirkstoffe.html>
- BLW, 2020b. Pflanzenschutzmittelverzeichnis. Zugang: <https://www.psm.admin.ch/>
- BLW, 2020c. Weisungen betreffend die Massnahmen zur Reduktion der Risiken bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, Bern. Zugang: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/pflanzenschutzmittel/nachhaltige-anwendung-und-risikoreduktion.html>
- Bundesrat, 2017. Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bericht des Bundesrates. 6. September 2017.
- de Baan, L., Spycher, S. & Daniel, O., 2015. Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz von 2009 bis 2012. *Agrarforschung Schweiz* 6 (2), 48-55.
- de Baan, L., 2020. Sensitivity analysis of the aquatic pesticide fate models in SYNOPSIS and their parametrization for Switzerland. *Science of the Total Environment* 715, 136881.
- Gutsche, V. & Strassemeyer, J., 2007. SYNOPSIS – ein Modell zur Bewertung des Umwelt-Risikopotentials von chemischen Pflanzenschutzmitteln. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst* 59 (9), 197–210.
- Hanke, I., Balmer, M., Aldrich, A., Poiger T. 2013. Risikomindernde Massnahmen Pflanzenschutz, Runoff, Interner Bericht Januar 2013
- Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D. & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 22 (4), 1050–1064.
- PSMV 2020, Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV). Zugang: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20100203/index.html>
- Rautmann, D., Strelöke, M., Winkler, R., 2001. New basic drift values in the authorization procedure for plant protection products. In: Forster, R., Strelöke, M. (Eds.), Workshop on Risk Management and Risk Mitigation Measures in the Context of Authorization of Plant Protection Products (WORMM), Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem, Parey Buchverlag Berlin, pp. 133–141.
- Strassemeyer, J., Daehmlow, D., Dominic, A.R., Lorenz, S., Golla, B., 2017. SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. *Crop Protection* 97, 28–44.
- ZA-AUI 2020, Zentrale Auswertung von Agrarumweltindikatoren. Zugang: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/monitoring-analytik/za-aui.html>