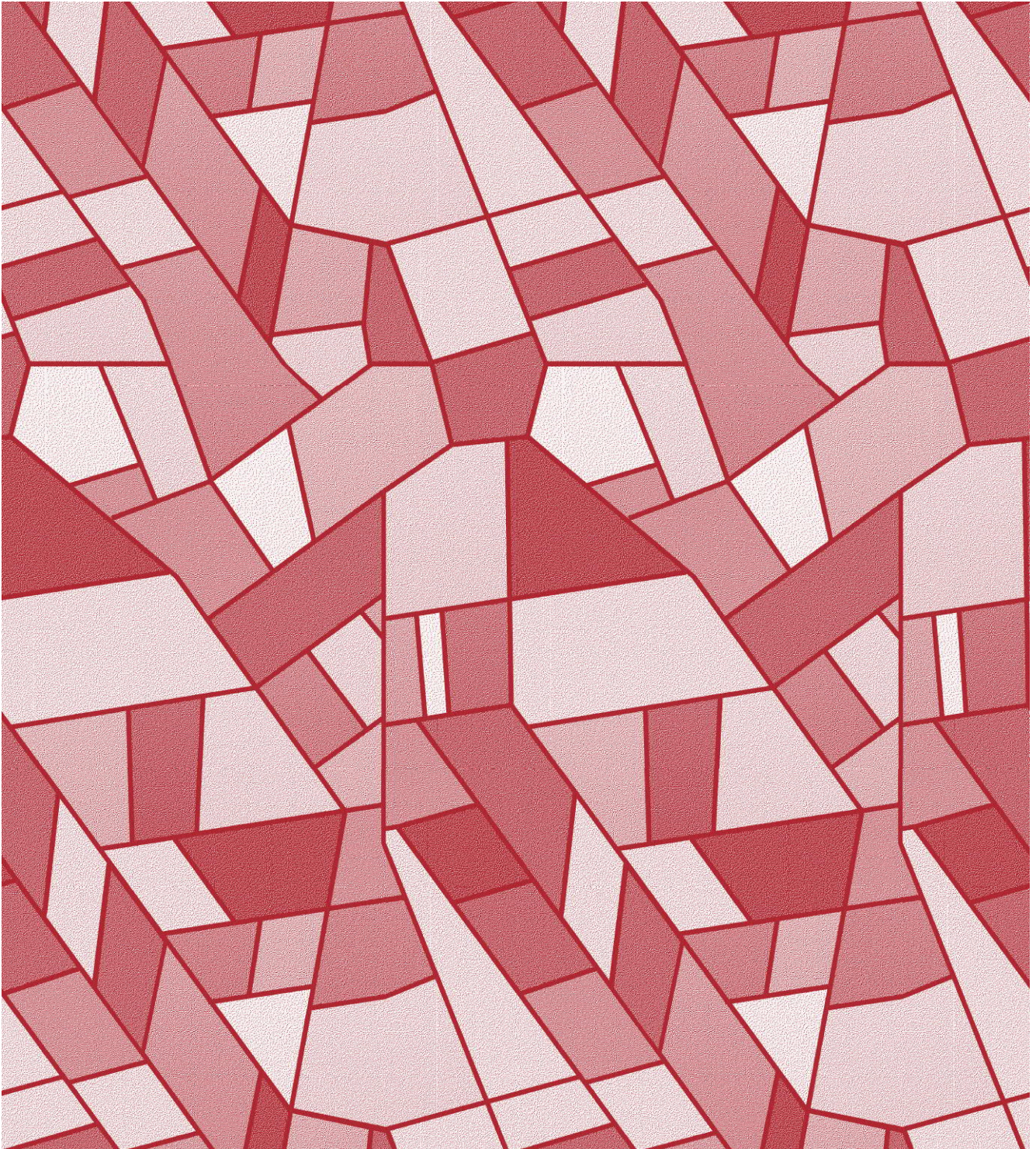


Bewertung agronomischer Massnahmen zum Schutz von Oberflächengewässern vor Pflanzenschutzmitteln

16. September 2022



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU

Impressum

Projektteam

Simon Spycher, EBP
Christina Dübendorfer, EBP
Rebecca Schneider, HAFL
Hans Ramseier, HAFL

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Berner Fachhochschule
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL)
Abteilung Agronomie
Länggasse 85
3052 Zollikofen

Begleitung seitens BAFU

Reto Muralt, Abteilung Wasser
Fabian Soltermann, Abteilung Wasser

Hinweis

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Ergebnisse in Kürze

Der Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (AP PSM) hat sich bezüglich Oberflächengewässern die Zwischenziele gesetzt, bis 2027 die Länge der Fliessgewässerabschnitte, in denen numerische Anforderungen an die Wasserqualität (Grenzwerte) für Pflanzenschutzmittel (PSM) überschritten werden, sowie die Risiken für die aquatischen Organismen zu halbieren. In der vorliegenden Studie wird untersucht, inwiefern Massnahmen zur Reduktion des PSM-Einsatzes, zur Substitution von PSM oder zur Verbesserung der Handhabung von PSM zur Erreichung dieser Ziele beitragen können und welche agronomischen Auswirkungen dies zur Folge hätte.

Die vorliegende Studie besteht aus vier Teilen: (i) Identifikation der prioritären Wirkstoffe, (ii) Bestimmung der für den Einsatz dieser Wirkstoffe relevanten Kulturen, (iii) qualitative und (iv) quantitative agronomische Bewertung möglicher Massnahmen.

(i) Identifikation der prioritären Wirkstoffe

Die Auswertung der bisher zur Verfügung stehenden Monitoringdaten zeigt, dass die als PSM eingesetzten Wirkstoffe in sehr unterschiedlichem Ausmass zu Überschreitungen der ökotoxikologisch begründeten numerischen Anforderungen bzw. zum Risiko für die aquatischen Organismen beitragen. In einem zweistufigen Vorgehen wurden Wirkstoffe identifiziert, deren Einträge mit erhöhter Priorität reduziert werden sollten: Im ersten Schritt wurde dafür eine umfassende Zusammenstellung von Monitoringdaten ausgewertet und 19 vertieft zu untersuchende Wirkstoffe identifiziert. Im zweiten Schritt wurden mit sogenannten Risikoscores berechnete Indikatoren beigezogen und 7 weitere Wirkstoffe identifiziert, die im Routinemonitoring bisher nicht gemessen wurden (i.d.R., weil eine Spezialanalytik nötig wäre), aber aufgrund der Risikoscores potenziell einen substanziellen Anteil des Risikos für Gewässerlebewesen durch PSM ausmachen.

(ii) Bestimmung der relevanten Kulturen

Die Wirkstoffauswahl umfasst 26 Wirkstoffe, bestehend aus 13 Herbiziden, 5 Fungiziden und 8 Insektiziden. Die meisten Wirkstoffe werden primär in *einer* Kultur eingesetzt, weshalb hier kulturspezifische Evaluationen möglicher Massnahmen zur Reduktion der Einträge zielführend sind. Bei den Herbiziden prägt der Anbau von Mais und Raps die Risiken für die Gewässer, aber auch Getreide und Kartoffeln sind relevant. Bei den Fungiziden scheinen vor allem Getreide und Reben eine Rolle zu spielen, während das Bild bei den Insektiziden komplexer ist und sich die Zuordnungen primär auf Raps, Obst und Gemüse verteilen.

(iii) Qualitative agronomische Bewertung

Für die in Schritt (ii) identifizierten Kulturen wurden die zur Verfügung stehenden Massnahmen (Reduktion des Einsatzes, Substitution durch andere Wirkstoffe, Optimierung des Einsatzes) qualitativ bewertet. Unter Optimierung wurden alle Massnahmen zur Reduktion der Verluste der eingesetzten

PSM zusammengefasst, d.h. Massnahmen auf dem Feld, am Feldrand und beim Befüllen und Transportieren der Spritzen. Bei der Substitution wurde besonders darauf geachtet, nur Wirkstoffe in die Auswahl zu nehmen, die in Bezug auf berechnete Indikatoren ein klar günstigeres Profil aufweisen, um so eine Problemverlagerung zu vermeiden.

(iv) Quantitative agronomische Bewertung ausgewählter Kulturen

Die quantitative Bewertung der Herbizidwirkstoffe wurde für die Kulturen Winterweizen, Wintergerste, die Sammelgruppe «übriges Getreide» und für Kartoffeln vorgenommen. Für die Kulturen Mais, Raps und Zuckerrüben wurde die Beurteilung bereits in Spycher et al. (2020) vorgenommen.

- **Winterweizen:** Sofern der Unkrautdruck auf einer Parzelle nicht zu hoch ist, ist dank der Prämien für den herbizidlosen Anbau heute die mechanische Unkrautregulierung wirtschaftlich. Für die Verbreitung der Prämien-Programme wäre es essenziell, dass die Massnahme pro Parzelle ergriffen werden kann und nicht auf allen Parzellen einer Kultur. Im Bereich Substitution gibt es für Anwendungen im Herbst keinen Spielraum. Für Anwendungen im Frühling stehen hingegen ausreichend Alternativen zur Verfügung. Bei der Optimierung ist v.a. die Mulchsaat als kulturspezifische, auf der Produktionsfläche ansetzende Massnahme zur Reduktion der Einträge zu nennen.
- **Wintergerste:** Die mechanische Unkrautregulierung ist bei der Wintergerste weniger geeignet als beim Winterweizen und schneidet auch schlechter bezüglich Wirtschaftlichkeit ab. Sie ist allenfalls bei günstigen Witterungsverhältnissen eine Option. Auch bei der Substitution ist der Handlungsspielraum gering. Bei der Optimierung gelten die gleichen Überlegungen wie beim Winterweizen.
- **Übriges Getreide:** In der Sammelgruppe «übriges Getreide» gibt es Spielraum für die mechanische Unkrautregulierung. Bei Dinkel und Roggen sind auch Untersaaten interessant. Bei der Substitution steht eine ausreichende Anzahl an alternativen Wirkstoffen mit günstigem Profil zur Verfügung. Bei der Optimierung gelten die gleichen Überlegungen wie beim Winterweizen.
- **Kartoffeln:** Eine rein mechanische Unkrautregulierung ist grundsätzlich möglich, aber in der Regel mit Mehrkosten verbunden. Die Substitution einzelner Wirkstoffe für Vorauflaufbehandlungen ist möglich, aber der Ersatz aller prioritären Wirkstoffe ist schwierig. Mit der Möglichkeit zwischen den Dämmen Querdämme anzulegen, besteht im Bereich Optimierung eine spezifisch für Kartoffeln effektive Massnahme.
- **Mais und Raps:** Mais und Raps sind für Oberflächengewässer und für das Grundwasser in hohem Masse relevante Kulturen. Mit der mechanischen Unkrautregulierung und den Untersaaten stehen wirtschaftliche Möglichkeiten zur Reduktion des PSM-Einsatzes zur Verfügung, deren Förderung für beide Gewässertypen einen grossen Mehrwert generieren (Spycher et al. 2020).

Die quantitative Bewertung der Fungizidwirkstoffe wurde für die Kulturen Winterweizen und für Reben vorgenommen.

- **Winterweizen:** Die Reduktion des Fungizideinsatzes erfolgt am besten über eine verstärkte Nutzung der bisherigen Instrumente, konkret der Berücksichtigung von Bekämpfungsschwellen und der Extenso-Programme inklusive flankierender Massnahmen. Dank ausreichender Alternativen ist die Substitution von Wirkstoffen, die beim Winterweizen eingesetzt werden, gut möglich.
- **Reben:** Bei den Reben ist die Reduktion des Kupfereinsatzes die grösste Herausforderung, insbesondere im Biolandbau. Mit pilzwiderstandsfähigen Sorten (Piwi) kann der Kupfereinsatz reduziert und die Anzahl Fungizidbehandlungen massiv gesenkt werden. Allerdings kommt dem Piwi-Anbau in der Schweiz mit 2.5% an der Gesamtrebbaufäche bislang keine grosse Bedeutung zu. Bei der Substitution sind für den konventionellen Anbau Alternativen vorhanden, allerdings zum Preis eines erhöhten Resistenzrisikos.

Die Massnahmen im Bereich Reduktion und Substitution von Insektizidwirkstoffen werden aufgrund noch laufender Forschungsprogramme an der HAFL nur qualitativ beschrieben. Bereits jetzt ist klar, dass der gleichzeitige europaweite Wegfall mehrerer Wirkstoffe seit 2021 einen massiven Umbruch darstellt, dessen Auswirkungen sich rasch zeigen dürften. Ebenfalls klar ist, dass das Vertrauen in die bestehenden Bekämpfungsschwellen durch eine Aktualisierung der Schwellen erhöht werden könnte. Mit wichtigen Schaderregern wie dem Rapsstengelrüssler betrifft dies auch Schädlinge, gegen die Insektizide eingesetzt werden, welche nachweislich zu Überschreitungen in Gewässern führen.

Die Studie zeigt, dass eine ganze Palette von Massnahmen zur Reduktion der Gewässereinträge zur Verfügung steht. Damit die Massnahmen ihre Wirkung entfalten, müssen sie gut aufeinander abgestimmt und entschieden vorangetrieben werden. Wichtig dabei ist jedoch die entsprechende Ausgestaltung und Kontinuität der finanziellen Unterstützung, um eine langfristige Änderung der Produktionssysteme zu erreichen. Weitere wirksame Hebel sind die Stärkung des Vollzugs, die Förderung von Piwi-Sorten, die Förderung der angewandten Forschung, die Nutzung von ökonomischen Instrumenten in preissensitiven Anwendungsgebieten und die Förderung gezielter Massnahmen im Bereich Optimierung. Ein derart ausgestalteter Schutz von Oberflächengewässern und Grundwasser beeinträchtigt weder die Rentabilität noch die Produktivität der Landwirtschaft, sondern ermöglicht es im Gegenteil, Fortschritte im Hinblick auf das Ziel einer vorrangigen Ausnützung natürlicher Regulationsmechanismen zur Reduktion des Hilfsstoffeinsatzes.

Inhaltsverzeichnis

Ergebnisse in Kürze	3
1. Ausgangslage und Auftrag	8
2. Auswahl vertieft zu untersuchender Wirkstoffe	9
2.1 Identifikation zu untersuchender Wirkstoffe anhand von Monitoringdaten	9
2.2 Identifikation zu untersuchender Wirkstoffe anhand von berechneten Indikatoren	13
2.3 Fazit Stoffauswahl	16
3. Verteilung der Wirkstoffe auf Kulturen	17
3.1 Abschätzungen anhand von Betriebsnetz-Daten	17
3.2 Ergänzende Abklärungen für Wirkstoffe mit Erhebungslücken	22
4. Auslegeordnung der möglichen Massnahmen	28
4.1 Reduktion des PSM-Einsatzes	28
4.2 Substitution	35
4.3 Optimierung	36
4.4 Generelle Beurteilung der Massnahmen	41
5. Agronomische Beurteilung der Massnahmen	44
5.1 Kriterien für die spezifische Beurteilung der Massnahmen	44
5.2 Unkrautregulierung in Winterweizen	46
5.3 Unkrautregulierung in Wintergerste	61
5.4 Unkrautregulierung im übrigen Getreide	65
5.5 Unkrautregulierung in Kartoffeln	68
5.6 Bekämpfung von Krankheiten im Winterweizen	75
5.7 Pilzbekämpfung in Reben	77
6. Gesamtbeurteilung und Empfehlungen	83
6.1 Ergebnisse der agronomischen Beurteilung	83
6.2 Ausblick und Empfehlungen	87
7. Literatur	90

1. Ausgangslage und Auftrag

Im vom Bundesrat am 6.9.2017 verabschiedeten Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (AP PSM) wurde bezüglich des Gewässerschutzes das Leitziel formuliert, dass die Anforderungen an die Wasserqualität der Gewässerschutzverordnung (GSchV) einzuhalten sind. Als Zwischenziel wurde festgehalten, dass bis 2027 die Länge der Fliessgewässerabschnitte, in denen die numerischen Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Anhang 2 GSchV durch PSM überschritten werden, halbiert wird. Zudem sollen die Risiken für die aquatischen Organismen bis 2027 halbiert werden.

Diese herausfordernden Zwischenziele lassen sich nur erreichen, wenn die im Aktionsplan formulierten Massnahmen gut aufeinander abgestimmt vorgeangetrieben werden. Es gilt dabei, Massnahmen im Bereich Reduktion des PSM-Einsatzes wie z.B. der Verzicht oder Teilverzicht auf Herbizide (Massnahme 6.1.1.1 des AP PSM), Massnahmen im Bereich Substitution wie z.B. die gezielte Auswahl von PSM im Rahmen der Direktzahlungen (Massnahme 6.1.1.5) und Massnahmen im Bereich der Handhabung wie z.B. Förderung emissionsarmer Spritzgeräte (Massnahme 6.1.2.4) in einer sich ergänzenden Weise einzusetzen.

Ob die Zwischenziele erreicht werden, zeigt sich primär daran, ob und in welchem Ausmass die Überschreitungen der ökotoxikologisch begründeten Grenzwerte in den Gewässern zurückgehen. Für das Ziel der Risikoreduktion ist zudem auch entscheidend, ob chronischen Qualitätskriterien (CQK) in den Gewässern überschritten werden (Details unter 2.1). Besonders wirksam sind Massnahmen, welche die Einträge von Wirkstoffen mit verbreiteten Überschreitungen reduzieren. Das BAFU hat EBP in Zusammenarbeit mit der HAFL beauftragt, zu untersuchen, in welchen Bereichen welche Massnahmen für die Praxis zur Verfügung stehen. Der vorliegende Bericht dokumentiert das Vorgehen und die Ergebnisse.

In einem ersten Schritt wurde bestimmt, welche Wirkstoffe nach derzeitigem Wissensstand am meisten zur Belastung von Oberflächengewässern beitragen (Kapitel 2). Die Auswahl basiert einerseits auf Monitoringdaten und ergänzend dazu auf berechneten Indikatoren. Im nächsten Schritt wurde bestimmt, in welchen Kulturen diese Wirkstoffe primär eingesetzt werden (Kapitel 3). Anschliessend wurde eine generelle Auslegeordnung möglicher wirksamer Massnahmen zum verstärkten Schutz von Oberflächengewässern vorgenommen (Kapitel 4). In einem nächsten Schritt wurden diese Massnahmen spezifisch für die identifizierten Kulturen beurteilt, d.h. die Wirksamkeit, die Kosten, die Akzeptanz und die ökologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen wurden für die als relevant eingestufteten Kulturen beschrieben und am Schluss auch aus betrieblicher Sicht diskutiert (Kapitel 5). Die quantitative Bewertung wurde für Herbizide und Fungizide durchgeführt. Um in Bezug auf Insektizide keinen Ergebnissen vorzugreifen, wurde wegen laufender Studien an der HAFL auf eine quantitative Bewertung dieses sehr relevanten Wirkstoffbereichs verzichtet.

Die Synthese der Auswertungen und Bewertungen liefert schliesslich konkrete Empfehlungen für einen verbesserten Schutz von Oberflächengewässern und zeigt die durch die betrieblichen Rahmenbedingungen gegebenen Möglichkeiten auf (Kapitel 6).

2. Auswahl vertieft zu untersuchender Wirkstoffe

Das Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen Stoffauswahl ist die Identifikation der Wirkstoffe, die am meisten zu Grenzwertüberschreitungen oder dem Risiko für die aquatischen Organismen in Oberflächengewässern beitragen. Es sind dies diejenigen Stoffe, die häufig in Konzentrationen oberhalb ökotoxikologischer Qualitätskriterien gemessen wurden (Abschnitt 2.1) oder die aufgrund chemisch-physikalischer Stoffeigenschaften gemäss theoretischen Überlegungen als besonders risikoreich einzustufen sind (Abschnitt 2.2).

Die Mehrheit der ökotoxikologisch relevanten PSM-Wirkstoffe lässt sich mit in den letzten Jahren entwickelten, analytischen Methoden messen (Huntscha 2012, Wittmer 2014 a, Spycher 2019). Eine Reihe von Wirkstoffen kann jedoch nur mit aufwändiger Spezialanalytik gemessen werden und wird daher nicht im regulären Monitoring erfasst. Anhand von berechneten Indikatoren, z.B. den kürzlich von der Agroscope publizierten Risikoscores (Korkaric 2020), lassen sich die nicht gemessenen Wirkstoffe im Ranking der gemessenen Wirkstoffe einordnen. Wirkstoffe, deren Indikatorwerte im Bereich von im Monitoring als problematisch erkannten Wirkstoffen liegen, wurden als untersuchungswert eingestuft (Abschnitt 2.2).

2.1 Identifikation zu untersuchender Wirkstoffe anhand von Monitoringdaten

Ausgewertet wurden die von der Plattform Wasserqualität des VSA aufbereiteten Monitoringdaten (VSA 2021). Diese umfassen Messungen aus der von Bund und Kantonen geschaffenen Nationalen Beobachtung der Oberflächengewässerqualität (NAWA) für die Jahre 2018 und 2019, Messungen aus den in den Jahren 2012, 2015 und 2017 durchgeführten umfassenden NAWA Spez-Studien (Wittmer 2014 b, Doppler 2017, Spycher 2019), zusätzliche Messungen der Kantone Bern, St. Gallen, Schaffhausen, Waadt und Zürich für die Jahre 2017 und 2018 und schliesslich die Ergebnisse einer im Jahr 2018 durchgeführten Messkampagne für Pyrethroide (Rösch 2019). Die anhand dieser Daten zusammengestellten Konzentrationsangaben wurden von der Plattform Wasserqualität mit ökotoxikologisch begründeten Grenzwerten und den aktuellen chronischen Qualitätskriterien (CQK) des Ökotoxizentrums (Stand April 2021) verglichen und so die Häufigkeit und die Höhe von Grenzwert- respektive CQK-Überschreitungen¹ bestimmt.

¹ Es ist zu beachten, dass nur ein Teil der auf der Homepage des Ökotoxizentrums aufgeführten CQK auch einem offiziellen Grenzwert der Gewässerschutzverordnung (GSchV) entspricht. Die in diesem Bericht aufgeführten Überschreitungen von CQK entsprechen daher nicht alle den Überschreitungen offizieller Grenzwerte. Für die Beurteilung, ob eine Gewässerverunreinigung im Sinne der GSchV vorliegt, können nur die in der GSchV aufgeführten Grenzwerte verwendet werden, welche in Tabelle 1 entsprechend gekennzeichnet sind.

Die Frage, ab wann man von häufigen und verbreiteten Grenzwert-Überschreitungen sprechen muss, wurde in dieser Studie nicht untersucht. Dies würde eine umfassende räumliche und zeitliche Analyse erfordern. Die in dieser Studie vorgenommene Aggregation über alle Jahre und Standorte ist für diese Fragestellung ungeeignet. Die Stoffauswahl in dieser Studie wurde zudem bewusst weit gefasst, um die Risiken für die aquatischen Organismen möglichst umfassend zu adressieren. Deshalb wurde mit einer einfachen, tiefen Schwelle gearbeitet, indem alle Wirkstoffe mit mehr als drei Grenzwert- bzw. CQK-Überschreitungen² berücksichtigt wurden. Dadurch bleibt eine spätere Priorisierung und weitere Eingrenzung der Wirkstoffe möglich.

Nicht berücksichtigt wurden Wirkstoffe, die bereits länger nicht mehr als PSM zugelassen sind, z.B. die früher verbreitet in Konzentrationen oberhalb der CQK gemessenen Insektizide Diazinon und Fipronil (siehe Anhang A1).

Von den insgesamt 47 Wirkstoffen, für die Konzentrationen oberhalb der CQK gemessen wurden, weisen 31 mehr als drei Überschreitungen auf. Die 16 Wirkstoffe mit einer bis drei Überschreitungen wurden mit Ausnahme von MCPA jeweils alle am gleichen Standort gemessen (MCPA hat je eine Überschreitung an zwei Standorten). Vor diesem Hintergrund erscheint es gerechtfertigt, die Überschreitungen durch diese Wirkstoffe im untersuchten Zeitraum als wenig prioritäre Einzelfälle einzustufen.

Von den verbleibenden 31 Wirkstoffen wurden insgesamt 12 Wirkstoffe, deren Aufbrauchsfrist in den letzten 18 Monaten abgelaufen ist oder in den nächsten Monaten ablaufen wird, von der Analyse ausgeschlossen (Bifenthrin, Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl, Dimethoat, Diuron, Fenoxycarb, Fenpropimorph, Imidacloprid, Methiocarb, Methomyl, Thiacloprid und Thiamectoxam).

Damit bleiben die 19 in Tabelle 1 aufgeführten Wirkstoffe, für die sich eine nähere Untersuchung anbietet. Es handelt sich dabei um 12 Herbizide, 3 Fungizide und 4 Insektizide. Vier dieser Wirkstoffe, nämlich Azoxystrobin, Cypermethrin, Deltamethrin und lambda-Cyhalothrin, sind nicht nur als PSM, sondern auch als Biozid und im Falle von Deltamethrin auch als Tierarzneimittel zugelassen. Alle übrigen Wirkstoffe werden ausschliesslich als PSM eingesetzt.

Für die weitere Entwicklung der Gewässerbelastungen mit den identifizierten Wirkstoffen ist zu beachten, dass deren acht (Cypermethrin, Deltamethrin, Dimethachlor, Lambda-Cyhalothrin, Metazachlor, Nicosulfuron, S-Metolachlor und Terbutylazin) ab 1.1.2023 im ÖLN nur noch mit Sonderbewilligung eingesetzt werden dürfen, woraus sich eine Reduktion der Überschreitungen durch diese Stoffe ergeben sollte.

Wichtig für den Vergleich der Risiken von Wirkstoffen sind nicht die absolute Anzahl an CQK-Überschreitungen, sondern deren Anteil an allen Messungen des jeweiligen Wirkstoffs (Tabelle 1). Für das Risiko ebenfalls wichtig ist einerseits, wie hoch die CQK-Überschreitungen sind und andererseits die räumliche Verbreitung, worauf aber in dieser breit gefassten Stoffauswahl

² Im Nachfolgenden wird nur noch von CQK-Überschreitungen gesprochen, unabhängig davon, ob zusätzlich ein Grenzwert in der GSchV festgelegt ist.

bewusst verzichtet wurde. Da sich aufgrund neu eingeführter Spezialanalytik die Anzahl untersuchter Standorte und die Anzahl Proben in den vorliegenden Daten noch stark zwischen den Wirkstoffen und den Probejahren unterscheiden, wurde keine Priorisierung anhand solcher Kennzahlen vorgenommen.

Ein spezieller Fall ist Deltamethrin, dessen CQK so tief liegt, dass die Bestimmungsgrenze höher als das CQK liegen kann, was zu nicht erfassten Überschreitungen führen kann. Für Deltamethrin dürfte also der tatsächliche Anteil an Proben mit CQK-Überschreitungen höher als der in Tabelle 1 angegebene Wert von 3.8% liegen.

Wirkstoffbereich	Wirkstoff	Informationen Recht	Anzahl Messungen	Anzahl CQK-Überschreitungen	Anteil Messungen mit CQK-Überschreitungen in %
Herbizide	2,4-D	P	1474	7	0.5%
	Diflufenican	P	942	31	3.3%
	Dimethachlor	P	1010	8	0.8%
	Dimethenamid	P	1010	10	1.0%
	Flufenacet	P	818	24	2.9%
	Foramsulfuron	P	808	22	2.7%
	Metazachlor	P GSchV	1489	106	7.1%
	S-Metolachlor ^[1]	P GSchV	1489	6	0.4%
	Metribuzin	P GSchV	1476	23	1.6%
	Nicosulfuron	P GSchV	1453	50	3.4%
	Propyzamide	P	968	63	6.5%
	Terbuthylazine	BX P GSchV	1479	29	2.0%
Fungizide	Azoxystrobin	B P GSchV	1489	27	1.8%
	Cyprodinil	P GSchV	1594	5	0.3%
	Spiroxamine	P	1036	8	0.8%
Insektizide	Cypermethrin ^[1]	B P GSchV	495	50	10.1%
	Deltamethrin ^[2]	B P TA	445	17	3.8%
	lambda-Cyhalothrin ^[3]	B P	370	37	10.0%
	Pirimicarb	P GSchV	1489	4	0.3%

Tabelle 1: Auswahl der vertieft zu untersuchenden Wirkstoffe anhand von Monitoringdaten. Die verwendeten Monitoringdaten umfassen verschiedene Untersuchungen aus den Jahren 2018 bis 2019 ergänzt um die drei NAWA Spez-Studien der Eawag (2012, 2015 und 2017). Sie zeigen daher nicht die Situation in einem Kalenderjahr.
Abkürzungen: B: Biozid, P: PSM, TA: Tierarzneimittel, X: Nicht mehr in dem entsprechenden Bereich zugelassen, GSchV: ökotoxikologischer Grenzwert in GSchV vorhanden. ^[1] Analytische Methode für Metolachlor und Cypermethrin misst die Summe aller Isomere, während für die agronomische Bewertung aufgeführt wurde, dass es sich um S-Metolachlor bzw. um Cypermethrin (Gemisch) und nicht um die von der Mengen her massiv weniger eingesetzten alpha-Cypermethrin und zeta-Cypermethrin handelt, ^[2] Deltamethrin kann Bestimmungsgrenzen oberhalb des CQK haben, ^[3] Analytische Methode nicht spezifisch für einzelne Isomere, aber lambda-Cyhalothrin ist einziges zugelassenes Isomer.

Die vollständige Tabelle mit den aggregierten Daten aus dem Monitoring ist in Anhang A1 zu finden.

Einige mittlerweile nicht mehr zugelassene Wirkstoffe wie z.B. Chlorpyrifos machten in den Erhebungsjahren noch einen substantziellen Anteil der Überschreitungen aus. Auch wenn deren Bewilligung in der Regel wegen der Risiken für Konsumenten oder für Bienen widerrufen wurde, wird deren Wegfall

in der Schweiz und in ganz Europa auch die Belastungssituation von Oberflächengewässern verändern.

2.2 Identifikation zu untersuchender Wirkstoffe anhand von berechneten Indikatoren

Eine Reihe von Wirkstoffen wird durch die gängige Analytik nicht erfasst. Bei den aufwändigen NAWA Spez-Studien, die Teil des ausgewerteten Datensatzes sind, wurden rund 25% der zugelassenen Wirkstoffe nicht bestimmt (Spycher 2019). In den vorliegenden Daten aus dem Routinemonitoring (NAWA 2018/2019) ist dieser Anteil deutlich höher. In den vorliegenden Daten dürfte dieser Anteil wegen der geringeren Anzahl der im Routinemonitoring erfassten Wirkstoffe etwas höher sein. Daher ist es sinnvoll, in Ergänzung zum Monitoring, berechnete Indikatoren, z.B. Risikoscores, beizuziehen. Die ergänzende Wirkstoffauswahl basiert auf zwei Schritten: Im ersten Schritt wurde für alle im Monitoring erfassten Wirkstoffe der Anteil CQK-Überschreitungen mit einem anhand von Stoffdaten und Verkaufsmengen berechneten Indikator verglichen und eine Schwelle bestimmt, unter der bisher kaum Überschreitungen beobachtet wurden. Anschliessend wurde untersucht, wie viele bisher nicht gemessene Wirkstoffe oberhalb dieser Schwelle zu liegen kommen. Auf diese Weise können zudem Prognosen vorgenommen werden, ob bei vermehrtem Einsatz gewisser Wirkstoffe neu mit Überschreitungen durch diese Wirkstoffe zu rechnen ist, was vor allem bei der Substitution relevant ist.

Für die vorliegende Auswertung wurden der Studie von Korkaric *et al.* (2020) folgende Kennzahlen entnommen bzw. in der hier beschriebenen Weise angepasst:

- **Risikoscore (RS):** Quotient aus der für Oberflächengewässer berechneten Konzentration (predicted environmental concentration PEC) und einer vereinheitlichten regulatorisch akzeptablen Konzentration (Tier 1-RAK), die eine mit Standardtests abgeleitete Quantifizierung des Risikos darstellt. Der PEC wurde dabei anhand einer mittleren typischen Aufwandmenge und für die Summe der Eintragspfade Drift und Runoff bestimmt.
- **Gewichteter Risikoscore (gRS):** Produkt des Risikoscores RS und der anhand der verkauften Mengen geschätzten behandelten Fläche. Wirkstoffe, die kaum verkauft werden, können daher trotz hohem RS einen tiefen gRS haben und umgekehrt.
- **Normierte Version des gewichteten Risikoscores (ngRS):** Für den Vergleich mit Monitoringdaten wurde der RS mittels CQK anstelle von Tier 1-RAKs berechnet und dann wiederum mittels aus den Verkaufsmengen abgeleiteten behandelten Flächen ein normierter gRS berechnet.

Die Auswertungen auf Wirkstoffebene zeigen, dass ein hoher Anteil gemessener CQK-Überschreitungen tendenziell mit hohen ngRS einhergeht (Abbildung 1). Die zwei vom linearen Trend abweichenden Wirkstoffe mit Anteil an Überschreitungen oberhalb von 6% trotz mässig hoher ngRS sind Metazachlor (ngRS = 2'138'902) und Propyzamide (ngRS = 487'564), was z.B. der Fall sein kann, wenn Wirkstoffe primär in Kulturen mit erhöhtem Abschwemmungsrisiko eingesetzt werden. Wichtiger als ein starker linearer

Zusammenhang zwischen berechnetem Indikator und Messungen ist, ob der Indikator ausreichend gut zwischen Wirkstoffen mit und solchen ohne Überschreitungen unterscheiden kann. Es zeigt sich, dass die Anzahl falsch positiver und falsch negativer Zuordnungen relativ tief ist (Abbildung 2).

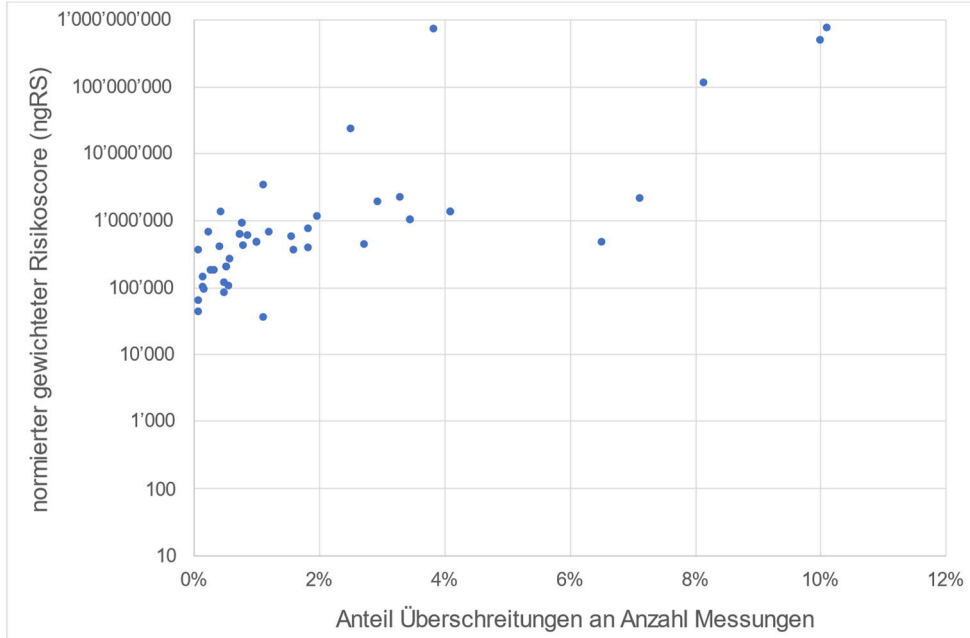


Abbildung 1 Vergleich des Anteils an Überschreitungen mit dem normierten gewichteten Risikoscore (ngRS) der Agroscope begrenzt auf Wirkstoffe mit gemessenen CQK-Überschreitungen

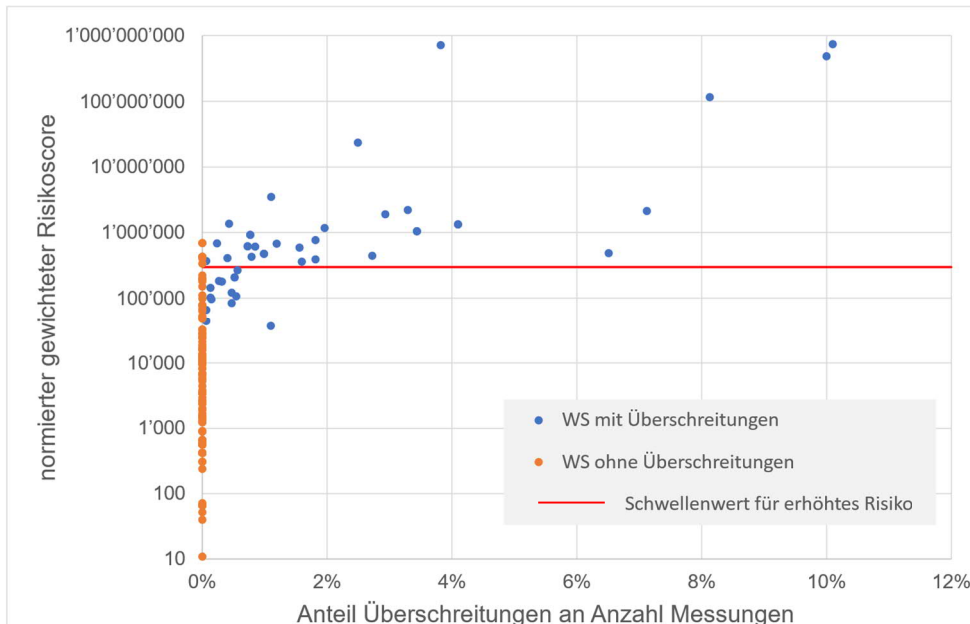


Abbildung 2 Vergleich des Anteils Überschreitungen mit dem normierten gewichteten Risikoscore (ngRS) der Agroscope für alle Wirkstoffe mit Messdaten. Orange sind Wirkstoffe ohne gemessene Überschreitung. Die rote Linie stellt die gewählte Schwelle dar, oberhalb welcher für die Wirkstoffe aufgrund des erhöhten Risikos für aquatische Organismen in dieser Studie Risikoreduktionsmassnahmen evaluiert wurden.

Vereinzelt auftretende CQK-Überschreitungen sind nicht notwendigerweise auf die Stoffeigenschaften eines Wirkstoffs zurückzuführen, sondern können auch durch gelegentlich auftretende Probleme bei der Handhabung verursacht sein. Das könnte vor allem Wirkstoffe im linken Bereich von Abbildung 2 betreffen und dazu führen, dass diese trotz günstiger physiko-chemischer Eigenschaften (schneller Abbau und starke Sorption) auch gelegentlich zu Überschreitungen führen. Aus diesem Grund wurde die Schwelle des Risikoscores, ab welcher in dieser Studie Risikoreduktionsmassnahmen untersucht werden, nicht beim tiefst möglichen Wert gewählt, sondern in einem Bereich, bei dem der Anteil CQK-Überschreitungen bis auf wenige Ausnahmen unter 0.5% liegt (rote Linie in Abbildung 2, welche einem Wert von 300'000 entspricht, Details im Anhang A2.1).

Wirkstoffbereich	Wirkstoff ^[1]	Informationen Recht	DT50 Wasser [d]	DT50 Boden [d]	KfOC [mL/g]	RS	gRS
F	Kupfer ^[3]	B P	n.d.	1000	10'000	38'862	1'865'375
F	Dithianon	P	0.05	33	3'627	31	1'840'689
F	Captan	BX P	0.6 ^[4]	7	97	35	849'033
F	Folpet	B P	0.02	4	304	12	652'628
I	Abamectin	B P	89 ^[5]	50	5'638	130	590'000
H	Phenmedipham	P	0.12	63	1'362	10	139'614
I	Emamectinbenzoat	P	>120 ^[5]	10	28'325	27	117'450
I	Pyrethrine	B P	3.7 ^[5]	2	35'171	8.4	67'200
H	Thifensulfuron-methyl	P	22	10	28	1.9	39'555
I	Spinetoram	P	5.1	2	2652	10	35'965
F	Dodine	P	0.18	11	4'236'500	70	11'484
F	Amisulbrom	P	6.7	13	8'156	2.9	5'559
I	Acequinocyl	P	0.5	0	123'000	23	5'204

Tabelle 2: Auswahl bisher nicht gemessener Wirkstoffe, die jedoch gemäss der Risikoscores ein erhöhtes Risiko aufweisen. Wirkstoffbereiche sind F: Fungizide, H: Herbizide und I: Insektizide. Grau schattierte Zeilen aufgrund extrem tiefer DT₅₀ nicht untersucht. Alle Werte aus Korkaric 2020, sofern nicht anders vermerkt. ^[1] Ohne Wirkstoffe die 2021 oder 2022 ihre Zulassung verlieren ^[2] Wert für DT₅₀ Wasser für Wasserphase in Sediment-Wasser-Studie in Pesticide Properties Database bzw. bei n.d. kein Wert angegeben. ^[3] Messwerte für Kupfer an sich vorhanden, aber Anteil PSM-Einsatz schwer zu quantifizieren da andere Quellen wie z.B. Strassenabwasser, Dachabwasser, Futtermittel einen grossen Anteil ausmachen dürften. DT₅₀ abhängig von Verlagerung im Boden bzw. dessen Erosion, da Kupfer nicht abbaubar ist. ^[4] Sehr schnelle Hydrolyse im basischen (6' bei pH = 9) und sauren Milieu (0.15 d bei pH = 5) und daher ebenfalls ausgeschlossen. ^[5] Pesticides Properties Database.

Im nächsten Schritt wurde die Schwelle des ngRS auf den von der Agroscope publizierten gRS übertragen (Anhang V in Korkaric 2020), welcher bei rund 5000 liegt. Insgesamt 90 zugelassene Wirkstoffe liegen oberhalb dieser Schwelle³. Da der gRS als Produkt von RS und geschätzter behandelte Fläche bestimmt wurde, können Wirkstoffe, von denen grosse Mengen verkauft werden, trotz tiefer RS hohe gRS erreichen. Ein Beispiel ist Rapsöl dessen RS als < 0.01 angegeben wurde, von dem aber in den Jahren 2015-19 im Durchschnitt 37 t verkauft wurden (BLW 2020c) und für das Korkaric *et al.* (2020) einen gRS von 11'325 berechnet haben. Solche Stoffe dürften zwar bei starker lokaler Konzentration zu Effekten führen, aber es kann angenommen werden, dass durch die starke räumliche Verteilung die Wirkung auf Gewässerorganismen im Vergleich zu anderen Wirkstoffen deutlich weniger relevant ist. Deshalb wurden 20 Wirkstoffe mit sehr tiefen RS von 1 oder weniger ausgeschlossen. Unter den übrigen 70 auf diese Weise eingegrenzten Wirkstoffen sind auch alle in Tabelle 1 aufgeführten 21 anhand der Monitoringdaten ausgewählten Wirkstoffe⁴. Das bedeutet, dass aufgrund der gRS keine falsch negativen Prognosen gemacht wurden, also keine Wirkstoffe, die im Monitoring zu Überschreitungen von Qualitätskriterien geführt haben, wurden anhand des gRS als unproblematisch eingestuft.

Insgesamt 13 zugelassene Wirkstoffe mit gRS über 5000 wurden bisher nicht gemessen und sind daher Kandidaten für eine vertiefte Untersuchung (Tabelle 2). Für die sechs in der Tabelle 2 grau schattierten Wirkstoffe wird in Sediment-Wasserstudien eine extrem schnelle Abnahme der Konzentration gemessen (Dissipation Time 50% < 0.5 Tage), weshalb diese nicht vertieft untersucht wurden. Die übrigen sieben Wirkstoffe, zwei Fungizide, ein Herbizid und vier Insektizide, wurden ergänzend zu den in Tabelle 1 aufgeführten Wirkstoffen in den folgenden Kapiteln vertieft untersucht.

Der zusätzliche Schritt über die Normierung des gewichteten Risikoscores ist klar angezeigt, denn die analog zu Abbildung 1 und Abbildung 2 vorgenommene Auftragung mit den nicht normierten Werten (Anhang A2), zeigt eine weniger gute Korrelation der gRS mit den Messdaten und vor allem eine deutlich schlechtere Klassifikationsleistung, wenn es um die Unterscheidung von Wirkstoffen mit und ohne CQK-Überschreitungen geht. Zusätzlich wurde auch der von der Eawag und der Plattform Wasserqualität des VSA entwickelte Eintragsindikator (Wittmer 2014) mit den Messdaten verglichen (Anhang A2). Es zeigte sich kein Mehrwert gegenüber dem ngRS. Deshalb basiert die Auswahl der in dieser Studie aufgrund von Berechnungen vertieft zu untersuchenden Wirkstoffe allein auf dem Risikoscore der Agroscope.

2.3 Fazit Stoffauswahl

Mit dem gewählten Vorgehen lassen sich die Wirkstoffe bezüglich der im Aktionsplan formulierten Ziele für Oberflächengewässer priorisieren. Die anhand von Monitoringdaten zusammengestellte Liste von nahezu 47 Wirkstoffen liess sich auf 19 Wirkstoffe eingrenzen. Diese wurde um 7 Wirkstoffe

3 Ohne Wirkstoffe die 2021 oder 2022 ihre Zulassung verlieren

4 Tefluthrin wurde in der Agroscope-Studie nicht untersucht und erscheint daher nicht in der Indikator-Auswahl

ergänzt, die anhand berechneter Risikoscores priorisiert wurden. Die auf diese Weise ausgewählten 26 Wirkstoffe setzen sich aus 13 Herbiziden, 5 Fungiziden und 8 Insektiziden zusammen.

3. Verteilung der Wirkstoffe auf Kulturen

Dieses Kapitel beschreibt, wie die Kulturen und Anwendungsbereiche identifiziert wurden, in denen die zuvor bestimmten 26 Wirkstoffe primär angewendet werden.

3.1 Abschätzungen anhand von Betriebsnetz-Daten

Bei den anhand von Monitoringdaten (Tabelle 1) und ergänzend mit Risikoscores (Tabelle 2) ausgewählten Wirkstoffen handelt es sich um insgesamt 13 Herbizide, 5 Fungizide und 8 Insektizide. Für die Bestimmung, welcher Anteil der eingesetzten Wirkstoffmenge auf die einzelnen Kulturen fällt, wurden die Daten der Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) genutzt, die mit einem von der Agroscope organisierten Betriebsnetz erhoben werden (de Baan 2015, Spycher 2013). Das Betriebsnetz deckt ungefähr 1% der landwirtschaftlichen Nutzfläche ab. Die im Folgenden als AUI-Datensatz bezeichneten Daten ermöglichen für die flächenmässig relevanten Kulturen Hochrechnungen auf Wirkstoffebene. Für den Gemüsebau ist die Datenlage vergleichsweise schwach, weil einerseits gewisse Arten des Anbaus im Betriebsnetz nicht vertreten sind und andererseits die Schätzungen zum Teil auf wenigen Datenpunkten beruhen, was im ersten Fall zu Unterschätzung des Anteils am Gesamtverbrauch führt und im zweiten Fall zu stark streuenden Werten. Nicht-landwirtschaftliche Anwendungen (z.B. im Garten- und Landschaftsbau, auf Zierpflanzen, Strassen, Schienen, in der Forstwirtschaft und durch Private) sind in den Erhebungen des Betriebsnetzes nicht enthalten.

Anhand der AUI-Daten und den Daten zur angebauten Fläche wurde für die Jahre 2017 bis 2019 berechnet, welchen Anteil die verschiedenen Kulturen durchschnittlich am Gesamtverbrauch haben (Tabelle 3 bis Tabelle 5). Die Variabilität der Schätzungen zwischen den drei untersuchten Jahren ist bei den Herbiziden meist gering (nur bei 2,4-D schwanken die Schätzungen bei Kernobst und Getreide in ausgeprägtem Mass mit Standardabweichungen > 25%).

Auch bei Fungiziden sind die Abweichungen nicht besonders ausgeprägt. Bei den Insektiziden wurde jedoch bei vier Wirkstoffen eine Standardabweichung > 25% beobachtet (Abamectin, Cypermethrin, Deltamethrin und Spinetoram). Die Gründe für die Schwankungen werden im Absatz 3.2 diskutiert.

	Metazachlor (7.1%)	Propyzamide (6.5%)	Nicosulfuron (3.4%)	Diflufenican (3.3%)	Flufenacet (2.9%)	Foramsulfuron (2.7%)	Terbuthylazine (2.0%)	Metribuzin (1.6%)	Dimethenamid (1.0%)	Dimethachlor (0.8%)	2,4-D (0.5%)	S-Metolachlor (0.4%)	Thifensulfuron-methyl (ohne Messung)
Anteil der Kulturen am landwirtschaftlichen Wirkstoff-Einsatz (in %)													
Hülsenfrüchte									2		0.7	0.2	
Kartoffeln					13			72					
Kernobst							0.4				29		
Mais			100		46	96	98		67			62	1
Raps	85	37									100		
Reben							1						
Steinobst												3	
Winterweizen				46	14			5			44		67
Wintergerste				43	22			2					16
Übriges Getreide				11	4			1			19		16
Zuckerrüben						4			26		4	34	
Weitere Kulturen (Angaben schwach abgestützt)													
Freilandgemüse	14	51						19					<1
Wiesen (ohne Weiden)				<1	<1				1		<1	<1	<1
Andere Nutzung	<1	12			<1		<1	1	4				3
Vergleich hochgerechnete Einsatzmengen in der Landwirtschaft mit Verkaufsmengen (2017-2019)													
Durchschnittliche verkaufte Menge [t]	4.2	2.8	1.0	3.8	8.6	0.8	22.1	4.0	14.3	5.8	8.0	24.5	0.6
Anteil an verkaufter Menge in %	59%	32%	91%	91%	97%	110%	85%	95%	80%	79%	11%	71%	116%
Zusätzliche Einsatzgebiete als Grund für Lücke		IG, ev. Be									Pr, GL		

Tabelle 3: *Oben:* Anteilsmässige Verteilung der Herbizid-Wirkstoffmenge in den verschiedenen Kulturen in % in den Jahren 2017 – 2019 (Datenquelle: Agroscope) sortiert nach absteigendem Anteil an Überschreitungen (%-Angabe unter Wirkstoffnamen). Zu den hellgrau schattierten Kulturen sind nur wenige Datenpunkte verfügbar und die Schätzungen daher schwach abgestützt. Anteile zwischen 10 und 50% sind gelb eingefärbt und Anteile > 50% orange. *Unten:* Vergleich Hochgerechnete Mengen zum PSM Einsatz und verkaufte Wirkstoffmengen. Abweichungen zwischen verkaufter und hochgerechneter Menge > 50% sind dunkelgrau eingefärbt. Abkürzung Einsatzgebiete: Be: Beerenbau, IG: Intensiver Gemüsebau, GL: Garten- und Landschaftsbau, Pr: Private.

Es zeigt sich, dass 10 der 13 untersuchten Herbizidwirkstoffe überwiegend oder sogar vollständig in einer Kultur eingesetzt werden (Tabelle 3) nämlich Nicosulfuron, Terbutylazine, Foramsulfuron, Dimethenamid und S-Metolachlor (alle Mais), Metribuzin (Kartoffeln) und Dimethachlor (Raps), Diflufenican und Thifensulfuron-methyl (Getreide). Bei Flufencacet verteilt sich der Einsatz auf primär zwei Kulturen (Mais und Getreide). Bei Propyzamide (Raps und Gemüse), bei 2,4-D (Kernobst und Getreide) und zu einem gewissen Grad auch bei Metazachlor (Raps und Gemüse) sind die Schätzungen für die Anteile der Kulturen aus den im nächsten Abschnitt erläuterten Gründen mit erhöhten Unsicherheiten behaftet.

Die zur Kontrolle durchgeführten Hochrechnungen der gesamthaft eingesetzten Menge stimmen bei den Herbiziden in 11 von 13 Fällen gut mit den zwischen 2017-2019 verkauften Mengen überein (zweitunterste Zeile Tabelle 3). Lediglich bei Propyzamide und 2,4-D wird die verkaufte Menge deutlich unterschätzt (siehe Diskussion in Absatz 3.2). Auch bei Metazachlor besteht eine beträchtliche Lücke zwischen hochgerechneter und verkaufter Menge, wobei der Raps, selbst wenn die Lücke komplett auf andere Kulturen wie Gemüsebau zurückzuführen sein sollte, bezüglich Metazachlor-Einsatz die bedeutendste Kultur darstellt. Zusammenfassend ergibt sich dadurch ein Schwerpunkt der vertieften Untersuchung der Unkrautregulierung in folgenden Kulturen: Getreide, Kartoffeln, Mais, Raps.

Bei den Fungiziden zeigt sich bei vier von fünf Wirkstoffen eine dominierende Kultur beim PSM Einsatz (Tabelle 4) und zwar in drei Fällen Reben (Cyprodinil, Kupfer und Amisulbrom) und in einem Fall Getreide (Spiroxamin). Das Gegenbeispiel stellt der aussergewöhnlich breit eingesetzte Wirkstoff Azoxystrobin dar. Der grösste Mengenanteil des Azoxystrobin-Einsatzes erfolgt im Gemüse, gefolgt von Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben, Reben und Raps.

Beim Vergleich der gesamthaft abgeschätzten mit der verkauften Menge zeigt sich für vier der fünf Fungizid-Wirkstoffe eine relativ gute Übereinstimmung. Für Amisulbrom ist die abgeschätzte Menge hingegen um einen Faktor 3 zu hoch. Da für diesen Wirkstoff aber nahezu ausschliesslich Anwendungen in Reben erfasst wurden, ist die geschätzte prozentuale Verteilung auf die Kulturen dennoch plausibel.

	Azoxystrobin (1.8%)	Spiroxamin (0.8%)	Cyprodinil (0.3%)	Kupfer (ohne Mes- sung)	Amisulbrom (ohne Mes- sung)
Anteil der Kulturen am landwirtschaftlichen Wirkstoff-Einsatz (in %)					
Hochstammobst				5	
Hülsenfrüchte	1		3		
Kartoffeln	15			2	1
Kernobst			18	11	
Mais					
Raps	3				
Reben	14	21	52	66	99
Steinobst			5	4	
Winterweizen	5	60	16	0.1	
Wintergerste	19	18	1		
Übriges Getreide	3	1			
Zuckerrüben	12			13	
Weitere Kulturen (Angaben schwach abgestützt)					
Freilandgemüse	28		5	< 1	
Wiesen (ohne Weiden)					
Andere Nutzung	< 1		< 1	< 1	
Vergleich hochgerechnete Einsatzmengen in der Landwirtschaft mit Verkaufsmengen (2017-2019)					
Durchschnittliche ver- kaufte Menge [t]	6.4	6.1	5.3	70.4	0.2
Anteil an verkaufter Menge in %	64%	84%	108%	57%	326%
Zusätzliche Einsatzge- biete als Grund für Lü- cke				Bioanbau	

Tabelle 4: *Oben:* Anteilsmässige Verteilung der Fungizid-Wirkstoffmenge in den verschiedenen Kulturen in % in den Jahren 2017 – 2019 (Datenquelle: Agroscope) sortiert nach absteigendem Anteil an Überschreitungen (%-Angabe unter Wirkstoffnamen). Zu den hellgrau schattierten Kulturen sind nur wenige Datenpunkte verfügbar und die Schätzungen daher schwach abgestützt. Anteile zwischen 10 und 50% sind gelb eingefärbt und Anteile >50% orange. *Unten:* Vergleich Hochgerechnete Mengen zum PSM Einsatz und verkaufte Wirkstoffmengen. Abweichungen zwischen verkaufter und hochgerechneter Menge > 50% sind dunkelgrau eingefärbt.

Bei den Insektiziden zeigt sich bei allen untersuchten Wirkstoffen eine, bzw. im Fall von Abamectin zwei, dominierende Kulturen beim PSM-Einsatz (Tabelle 5). Bei sechs von acht Wirkstoffen weichen die Hochrechnungen des PSM-Einsatzes stark von den verkauften Mengen ab. Da die Abweichungen primär auf Einsatz in nicht durch die AUI-Erhebungen erfassten Kulturen zurückzuführen sind (und nicht weil die AUI-Erhebungen systematisch zu tief wären), sind die in Tabelle 5 angegebenen prozentualen Anteile dieser sechs Wirkstoffe nur für die in der Tabelle angegebenen Kulturen gültig, z.B. gelten die 75% des Deltamethrin-Einsatzes im Raps nur für die 20% des

erklärten Anteils der verkauften Menge, während die übrigen 80% in anderen Kulturen wie intensiver Gemüsebau, Beeren- oder Gartenbau eingesetzt werden dürften. Das gleiche gilt für die wenigen in Tabelle 3 und Tabelle 4 aufgeführten Wirkstoffe mit substanziellen Abweichungen zwischen hochgerechneter und verkaufter Menge.

	Cypermethrin (10.1%)	lambda-Cyhalothrin (10.0%)	Deltamethrin (3.8%)	Pirimicarb (0.3%)	Abamectin (ohne Messung)	Emamectin-benzoat (ohne Messung)	Pyrethrine (ohne Messung)	Spinetoram (ohne Messung)
Anteil der Kulturen am landwirtschaftlichen Wirkstoff-Einsatz (in %)								
Hochstammobst		2						
Hülsenfrüchte		1	6	7				
Kartoffeln								
Kernobst				72	49	93		100
Mais								
Raps	33	22	75					
Reben								
Steinobst				12		4	99	
Winterweizen								
Wintergerste		0.6						
Übriges Getreide								
Zuckerrüben	3	5	7	0.2				
Weitere Kulturen (Angaben schwach abgestützt)								
Freilandgemüse	59	70	12	8	51	3		
Wiesen (ohne Weiden)								
Andere Nutzung	5			<1			<1	
Vergleich hochgerechnete Einsatzmengen in der Landwirtschaft mit Verkaufsmengen (2017-2019)								
Durchschnittliche verkaufte Menge	1.3	0.6	0.04	1.3	0.04	0.1	0.4	0.12
Anteil an verkaufter Menge	38%	22%	20%	48%	43%	66%	12%	76%
Zusätzliche Einsatzgebiete als Grund für Lücke	Fo, IG, ev. Zp	Be, IG	IG	IG	Be, IG, ev. Zp		Be, Bio,	

Tabelle 5: *Ober:* Anteilsmässige Verteilung der Insektizid-Wirkstoffmenge in den verschiedenen Kulturen in % in den Jahren 2017 – 2019 (Datenquelle: Agroscope) sortiert nach absteigendem Anteil an Überschreitungen (%-Angabe unter Wirkstoffnamen). Zu den hellgrau schattierten Kulturen sind nur wenige Datenpunkte verfügbar und die Schätzungen daher schwach abgestützt. Anteile zwischen 10 und 50% sind gelb eingefärbt und Anteile > 50% orange. *Unten:* Vergleich Hochgerechnete Mengen zum PSM Einsatz und verkaufte Wirkstoffmengen. Abweichungen zwischen verkaufter und hochgerechneter Menge > 50% sind dunkelgrau eingefärbt. Abkürzung Einsatzgebiete: Be: Beerenbau, Bio: Anbau nach Bio-Richtlinien, Fo: Forstwirtschaft, IG: Intensiver Gemüsebau, GL: Garten- und Landschaftsbau, Pr: Private, Zp: Zierpflanzen.

Die vier Wirkstoffe Cypermethrin, Deltamethrin, lambda-Cyhalothrin und Pyrethrine werden zusätzlich auch in Biozidprodukten eingesetzt. Dieser Einsatz wird nicht durch Verkaufsmengen des BLW abgedeckt (BLW 2020b). Die geschätzten als Biozid eingesetzten Mengen lagen bei den vier Wirkstoffen rund einen Faktor 3, 10, 50 und 2 unter der verkauften PSM-Menge und sind damit klar tiefer (Burkhardt 2013, Spycher 2021). Bei Deltamethrin ist eventuell der Einsatz als Tierarzneimittel das mengenmässig relevanteste Anwendungsgebiet. Neben der Menge ist die Art der Anwendung entscheidend. Alle in Innenräumen vorgenommenen Biozidanwendungen dürften eher tiefe Eintragsrisiken aufweisen. Welche Anwendungsarten für die Biozide gängig sind und ob solche mit erhöhten Eintragsrisiken dabei sind, ist nicht bekannt.

Werden alle 26 Wirkstoffe zusammen betrachtet, liegt die hochgerechnete Menge des PSM-Einsatzes für 17 Wirkstoffe innerhalb eines Faktors 2 der Verkaufsmenge. Mit einem Durchschnitt von 85% der Verkaufsmenge kann davon ausgegangen werden, dass auch die Anteile der Kulturen gute Schätzungen darstellen. Für acht Wirkstoffe wird der Einsatz hingegen unterschätzt und für einen überschätzt. Die naheliegendsten Gründe für die Unterschätzung sind in der letzten Zeile der entsprechenden Tabellen aufgeführt. Im Folgenden werden für die neun Wirkstoffe mit unsicheren Schätzungen die Ergebnisse ergänzender Abklärungen aufgeführt.

3.2 Ergänzende Abklärungen für Wirkstoffe mit Erhebungslücken

Die Gründe für die Abweichungen zwischen Verkaufsmengen und Hochrechnung sind spezifisch für die einzelnen Wirkstoffe und werden daher einzeln aufgeführt.

2,4-D: Für 2,4-D wurden in den AUI-Daten jährlich rund 20 Schläge in Obst, Getreide und marginal auch in Zuckerrüben erfasst. Die AUI-Daten weisen ungewöhnlich grosse Unterschiede zwischen den Jahren auf. So wurde z.B. für den Obstbau in den drei untersuchten Jahren 12, 0 und 20 Schläge mit 2,4-D-Anwendungen erfasst. Warum die AUI-Daten für diesen Wirkstoff so stark streuen, ist unklar. Die abgeschätzte Menge beträgt lediglich 11% der verkauften Menge von 8 t. Ein relevanter Anteil dürfte in den nichtgewerblichen Einsatz fliessen. In einer Studie aus dem Jahr 2008 wurde der Anteil des nichtgewerblichen Einsatzes mit 47% beziffert (Wittwer 2010). Auch im gewerblichen Garten- und Landschaftsbau spielt 2,4-D eine Rolle und wurde dort als fünfthäufigst eingesetzter Wirkstoff bestimmt (Krebs 2008), wenn auch bei insgesamt niedrigem abgeschätztem Anteil an der gesamten verkauften Menge. Eine weitere Anwendung dürfte der Einsatz auf Nichtkulturland, konkret Böschungen und Grünstreifen entlang von Verkehrswegen, sein (nicht aber auf Eisenbahntrassen, auf denen nur Glyphosat zugelassen ist). Für diesen Wirkstoff kann daher davon ausgegangen werden, dass der Einsatz in der Landwirtschaft maximal 50% oder auch weniger beträgt. Eine Aktualisierung der Daten zum nichtgewerblichen Einsatz könnte dies bestätigen.

Abamectin: Für das in zahlreichen Spezialkulturen zugelassene Insektizid lag die Hochrechnung bei 43% der verkauften Menge von durchschnittlich 44 kg. Bei einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 13 g/ha (Korkaric et

al. 2020) entsprechen die 44 kg einer behandelten Fläche von 3400 ha. Von der Zulassung her kommen primär der Beeren-, Zierpflanzen und Gemüsebau (Freiland und Gewächshaus) in Frage, allenfalls noch Obst (nur Birnen) und Reben. Als grobes Mass für die Relevanz auf dem Schweizer Markt wurde die Verfügbarkeit generell und die Anzahl zugelassene Kulturen im Zielsortiment der Landi untersucht. Abgesehen von den durch die Zielsortimente nicht abgedeckten Zierpflanzen sind für alle Spezialkultur-Zulassungen auch Produkte im Angebot. Daher ist anhand dieser Informationsquelle keine zusätzliche Gewichtung möglich.

Einen Hinweis zur Gewichtung der Anteile in den Spezialkulturen liefern die vom Vereinigten Königreich publizierten, sehr umfassenden Pesticide Usage Surveys. In den Erhebungen zeigt sich, dass Erdbeeren und Himbeeren mengenmässig den grössten Teil des Einsatzes ausmachen (Ridley 2018), wobei in der Schweiz nur der Einsatz in Erdbeeren zugelassen ist. Nur in sehr geringen Mengen wurde Abamectin auch in Gewächshäusern (Ridley 2019) und im Gemüsebau erfasst (Mace 2018). In Deutschland deuten ältere Erhebungen hingegen auf eine gewisse Relevanz des Gemüsebaus, wo es bei Gewächshausgurken das meisteingesetzte Insektizid darstellt (Rossberg 2005). Die Kultur wurde in neueren Erhebungen offenbar nicht mehr erfasst (Rossberg 2013). Zur Bedeutung des Einsatzes auf Zierpflanzen können keine Aussagen gemacht werden. Ein erhöhter Anteil am Gesamtverbrauch kann daher nicht ausgeschlossen werden.

Amisulbrom: Der Wirkstoff ist nur für Kartoffeln und Reben zugelassen. Er wurde als einziger Wirkstoff überschätzt. Auf die Schätzung der Relevanz der beiden Kulturen dürften die Unsicherheit der Mengenabschätzung jedoch kaum einen Einfluss haben und damit die Aussage bestehen bleiben, dass weit über 90% im Rebbau eingesetzt werden.

Cypermethrin: In den ausgewerteten AUI-Daten wurden im Durchschnitt weniger als 10 mit Cypermethrin behandelte Schläge erfasst. Die tiefe Anzahl erfasster Schläge führt zu einer hohen Streuung der Werte für die beiden in der Erfassung vorkommenden Kulturen Freilandgemüse und Raps. Die abgeschätzte Menge beträgt 38% der verkauften Menge von durchschnittlich 1.3 t/a (für alle Isomere zusammen). Bei einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 25 g/ha (Korkaric et al. 2020) entspricht die verkaufte Menge einer behandelten Fläche von 52'000 ha. Etwa 25% der verkauften Cypermethrin-Menge wird gemäss aktuellen Daten in der Forstwirtschaft eingesetzt (Schütze 2020), ein Wert, der gut mit dem mittels einer Auswertung von Daten der eidgenössischen Zollverwaltung bestimmten Wert übereinstimmt (Spycher et al. 2021). Die übrigen rund 40% müssen sich auf durch die AUI-Daten nicht erfasste Kulturgruppen verteilen. Bei Cypermethrin kommen hier der Beerenbau, durch die ZA-AUI nicht erfasste Ackerkulturen, Einsatz in Lagerhallen, der intensive Gemüsebau, die Produktion von Zierpflanzen und der Einsatz durch Private in Frage.

Die Auswertung der im wichtigsten Anbieterkatalog (Zielsortiment der Landi) aufgeführten Nennungen zeigt keine spezifischen Häufungen, sondern ein breites Angebot (Tabelle 6). Die qualitativ hochwertigen und nahezu alle Kulturen abdeckenden Daten aus dem Vereinigten Königreich (UK) sind im Fall

des Getreidebaus nicht mit der Schweiz vergleichbar, da in UK flächige Blattlausbehandlungen mit Pyrethroiden zur gängigen Praxis gehören. Aufschlussreich ist aber, dass der Cypermethrin-Einsatz in Lagerhallen mit wenigen Kilogramm pro Jahr angegeben wird, kein Einsatz im Beerenbau erfasst wurde und auch der Einsatz in Gewächshäusern in UK vernachlässigbar klein ist. In den bereits etwas älteren deutschen Erhebungen zum Gemüsebau spielt alpha-Cypermethrin in mehreren relevanten Freilandgemüse- und Gewächshauskulturen eine Rolle und macht in diesen Kulturen jeweils rund 10% aller Insektizidbehandlungen aus. In der letzten Erhebung wurde er aber nur noch der Einsatz in Kopf- und Blattsalaten erfasst (Rossberg 2017). Diese Angaben dürften näher an den Schweizer Verhältnissen sein. Diese Informationen weisen darauf hin, dass für die nicht durch die ZA-AUI bzw. durch den Einsatz im Forst erfassten 40% des PSM-Verkaufs vor allem der Gemüsebau in Frage, aber auch die Entwicklung im Feldbau sollte angesichts der steigenden Verkaufszahlen beobachtet werden.

Neben dem Einsatz als PSM, kommt bei Cypermethrin und alpha-Cypermethrin auch der Einsatz als Biozid infrage. Dieser wurde im Bereich Insektenbekämpfungsmittel (Produktart 18 gemäss VBP) auf 200 kg/Jahr geschätzt, könnte aber wegen der Lücken in den ausgewerteten Daten auch bis zwei Mal höher liegen (Spycher et al. 2021) und damit rund einen Drittel des Einsatzes in der Landwirtschaft erreichen.

Anwendungsgebiet	Zugelassene Kulturen	Nennungen in Zielsortiment Landi 2021	Einsatz in UK	Einsatz in DE
Beerenbau	1 Kultur (Erdbeeren)	2	– [2]	NA
Feldbau [1]	Insgesamt 31 Ackerkulturen	21	350'000 ha v.a. Getreide [3] Lagerhallen nur wenige Kilo [4]	Raps und Getreide [7]
Gemüsebau	Insgesamt 48 Gemüse- und Gewächshauskulturen	16	6'900 ha Freilandgemüse [5], <10 ha Gewächshäuser [6]	In Karotten, Kopf- und Blattsalaten, Spargeln, Weisskohl und Zwiebeln relevanter Wirkstoff [8] bzw. in Kopf- und Blattsalaten [9]
Forstwirtschaft	1 Kultur (Liegendes Rundholz)	NA	NA	NA
Zierpflanzenbau	3 Kulturen	NA	NA	NA

Tabelle 6: Qualitative und quantitative Hinweise zu möglichen, nicht durch ZA-AUI erfassten Anwendungsbereichen von Cypermethrin (alle Isomere zusammengefasst).

- [1] Feldbaukulturen mit ausreichendem Flächenanteil sind grundsätzlich gut durch ZA-AUI abgedeckt. Durch das ZA-AUI wenig abgedeckte Kulturen sind Hülsenfrüchte, Färberdistel, Grasbestände und Klee zur Saatgutproduktion, Hopfen, Lein, Lupinen, Sonnenblumen, Sorghum, Tabak und Trockenreis. Ausserdem zugelassen für Lagerhallen, Mühlen und Silgebäude. [2] Ridley 2018. [3] Garthwaite 2018. [4] Garthwaite 2008. [5] Mace 2018. [6] Ridley 2019. [7] Dachbrodt-Saaydeh 2017. [8] Rossberg 2013. [9] Rossberg 2017. NA: Nicht erfasst.

Es gilt zu beachten, dass sich der Einsatz von Cypermethrin als PSM von 2017-2019 verdreifacht hat. Der Wirkstoff dürfte daher auch für die Gewässerbelastung an Bedeutung gewonnen haben. Allerdings darf Cypermethrin ab 1.1.2023 im ÖLN nur noch mit Sonderbewilligung eingesetzt werden, was zu einer sinkenden Gewässerbelastung beitragen sollte.

Deltamethrin: Für das in zahlreichen Feldbau- und Gemüsekulturen, aber auch im Beeren- und Zierpflanzenbau zugelassene Insektizid lag die Hochrechnung bei 20% der verkauften Menge von durchschnittlich 44 kg. Bei einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 11 g/ha (Korkaric et al. 2020) entspricht die verkaufte Menge einer behandelten Fläche von 4'000 ha.

Die Auswertung der im wichtigsten Anbieterkatalog (Zielsortiment der Landi) aufgeführten Nennungen zeigt keine spezifischen Häufungen, sondern deckt sich weitgehend mit den Zulassungen. Daten aus dem Vereinigten Königreich (UK) zeigen, dass der Wirkstoff mit mehreren hunderttausend Tonnen behandeltem Getreide eine substantielle Bedeutung beim Einsatz in Lagerhallen haben kann (Garthwaite 2008). Im Ackerbau und im Beerenbau hat der Wirkstoff im Vereinigten Königreich eine eher untergeordnete Rolle (Garthwaite 2018, Ridley 2018). Dagegen weist er im Gemüsebau vor allem bei Karotten und Salat einen relevanten Anteil an der behandelten Fläche auf. In den deutlich weniger umfassenden deutschen Erhebungen wurde der Wirkstoff eher vereinzelt u.a. für Kohlkulturen erfasst (Rossberg 2013).

Neben dem Einsatz als PSM muss auch der Einsatz als Tierarzneimittel in Betracht gezogen werden. Gemäss Aussagen von Praktikerinnen und Praktikern wird das zum Übergiessen angebotene Deltamethrin-haltige Produkt Butox verbreitet auf Rindern eingesetzt. Eine Anfrage bei BLV zur Relevanz des Einsatzes als Tierarzneimittel ergab, dass die Erhebungen des BLV derzeit nur Antibiotika-Wirkstoffe abdecken. Auch der Einsatz als Biozid kann eine Quelle sein, da Stand 2020 insgesamt 12 Biozidprodukte mit diesem Wirkstoff zugelassen waren. Der Einsatz wurde auf <5 kg/Jahr geschätzt (Spycher et al. 2021).

lambda-Cyhalotrin: Für lambda-Cyhalotrin wurden im Betriebsnetz jeweils rund 30 Schläge für Freilandgemüse und Raps erfasst. Die abgeschätzte Menge beträgt 26% der verkauften Menge von 0.5 t. Bei einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 10 g/ha (Korkaric et al. 2020) entspricht die verkaufte Menge einer behandelten Fläche von 50'000 ha. Der Wirkstoff ist in zahlreichen Kulturen in allen Anwendungsgebieten also Beeren-, Gemüse-, Feld-, Obst- und Weinbau und auch für Zierpflanzen zugelassen. Vier Produkte sind auch für nichtberufliche Anwender zugelassen.

Die Auswertung der im wichtigsten Anbieterkatalog (Zielsortiment der Landi) aufgeführten Nennungen zeigt keine spezifischen Häufungen, sondern ein breites Angebot (Tabelle 7). Die Daten aus dem Vereinigten Königreich sind im Fall des Getreidebaus nicht mit der Schweiz vergleichbar, da in UK flächige Blattlausbehandlungen mit Pyrethroiden zur gängigen Praxis gehören. Aufschlussreich ist der substantielle Einsatz im Beerenbau auf Erdbeeren und im Gemüsebau vor allem auf Karotten, aber auch Erbsen und Kohlgewächsen. In den deutschen Erhebungen zum Gemüsebau war lambda-Cyhalothrin in Salaten, Karotten, Spargeln, Weisskohl und Zwiebeln jeweils

unter den Top 3 Insektiziden. Zum Einsatz im Feldbau enthalten die deutschen Untersuchungen keine Angaben, weshalb der Einsatz in diesem Anwendungsgebiet marginal sein dürfte.

Anwendungsgebiet	Zugelassene Kulturen	Nennungen in Zielsortiment Landi 2021	Einsatz in UK	Einsatz in DE
Beerenbau	2 Kulturen (Erdbeeren, Himbeeren)	2	6'500 ha ^[2] vor allem Erdbeeren	NA
Feldbau ^[1]	Insgesamt 23 Ackerkulturen	3	2'158'000 ha v.a. Getreide ^[3] Lagerhallen nur wenige Kilo ^[4]	– ^[7]
Gemüsebau	Insgesamt 54 Gemüsekulturen	22	110'000 ha Freilandgemüse ^[5] , 350 ha Gewächshäuser ^[6]	In Salaten, Karotten, Spargeln, Weisskohl und Zwiebeln relevanter Wirkstoff ^[8]
Forstwirtschaft	1 Kultur (Liegendes Rundholz)	NA	NA	NA
Zierpflanzenbau	4a Kulturen	NA	NA	NA

Tabelle 7: Qualitative und quantitative Hinweise zu möglichen, nicht durch ZA-AUI erfassten Anwendungsbereichen von lambda-Cyhalothrin.

^[1] Feldbaukulturen mit ausreichendem Flächenanteil sind grundsätzlich gut durch ZA-AUI abgedeckt. ^[2] Ridley 2018. ^[3] Garthwaite 2018. ^[4] Garthwaite 2008. ^[5] Mace 2018. ^[6] Ridley 2019. ^[7] Rossberg 2013. ^[8] Dachbrodt-Saaydeh 2017. NA: Nicht erfasst.

Auch der Einsatz als Biozid kann eine Quelle sein, da Stand 2020 insgesamt vier Biozidprodukte mit diesem Wirkstoff zugelassen waren. Der Einsatz wurde auf <5 kg/Jahr geschätzt (Spycher et al. 2021).

Pirimicarb: Für Pirimicarb wurden im Betriebsnetz jeweils zwischen 10 bis 40 Schlägen überwiegend im Obstbau aber auch in Hülsenfrüchten und Freilandgemüse erfasst. Die abgeschätzte Menge beträgt 48% der verkauften Menge von 1.3 t. Bei einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 221 g/ha (Korkaric et al. 2020) entspricht die verkaufte Menge einer behandelten Fläche von knapp 6'000 ha. Der Wirkstoff ist in zahlreichen Kulturen in den Anwendungsgebieten Beeren-, Gemüse-, Feld- und Obstbau und auch für Zierpflanzen zugelassen. Vier Produkte sind auch für nichtberufliche Anwender zugelassen.

Die Auswertung der im wichtigsten Anbieterkatalog (Zielsortiment der Landi) aufgeführten Nennungen zeigt eine gewisse Häufung von Nennungen im Bereich Beerenbau (Erdbeeren, Himbeeren und Brombeeren, Johannis- und Stachelbeeren und Heidelbeeren) und im Gemüsebau. Die Daten aus dem Vereinigten Königreich zeigen, dass der Wirkstoff sowohl im Feld- als auch im Freilandgemüsebau primär auf Erbsen und Bohnen eine gewisse Rolle spielt. In allen übrigen Anwendungsgebieten wie Obst- und Beerenbau und auch in Gewächshäusern wurde hingegen nur ein marginaler Einsatz erfasst. Gemäss den deutschen Erhebungen zum Gemüsebau hat Pirimicarb vor allem auf Kopf- und Blattsalaten bzw. auf Karotten (Platz 5 bzw. 4 im Ranking der Insektizidbehandlungen) eine Bedeutung (Rossberg 2017). In

den Erhebungen zum Apfelanbau war es das am zweithäufigsten eingesetzte Insektizid (JKI 2020). Zum Einsatz im Feldbau enthalten die deutschen Untersuchungen keine Angaben, weshalb der Einsatz in diesem Anwendungsgebiet marginal sein dürfte. Die verfügbaren Informationen deuten darauf hin, dass die Lücke in der ZA-AUI primär auf die Anwendungen im Gemüsebau zurückzuführen ist.

Propyzamide: Im Betriebsnetz wurden für diesen Wirkstoff jeweils zwischen 10 bis 12 Schlägen, davon am meisten in der Sammelgruppe «Andere Nutzungen» aber auch im Raps und Freilandgemüse erfasst. Die abgeschätzte Menge beträgt 32% der verkauften Menge von 2.8 t. Bei einer geschätzten durchschnittlichen Aufwandmenge von 1'623 g/ha (Korkaric et al. 2020) entspricht die verkaufte Menge einer behandelten Fläche knapp 1'750 ha. Der Wirkstoff ist in allen Anwendungsgebieten zugelassen, wenn auch jeweils in relativ wenigen Kulturen.

Die Auswertung der im wichtigsten Anbieterkatalog (Zielsortiment der Landi) ermöglicht keine Eingrenzung. In den im Vereinigten Königreich durchgeführten Erhebungen wurde der Wirkstoff primär im Feldbau (Raps und Bohnen) sowie im Gemüsebau (Kohl, Salat, Kürbisse) und im Beerenbau erfasst (Mace 2018, Garthwaite 2018, Ridley 2018). Gemäss den deutschen Erhebungen zum Gemüsebau ist Propyzamid bei der Produktion von Kopf- und Blattsalaten das am häufigsten eingesetzte Herbizid (Rossberg 2017). Zum Einsatz im Feldbau enthalten die deutschen Untersuchungen keine Angaben, weshalb der Einsatz in diesem Anwendungsgebiet marginal sein dürfte. Propyzamide ist nur als PSM und nicht als Biozid zugelassen. Warum der Wirkstoff, bei der niedrigen behandelten Fläche von wenigen tausend Hektar, dennoch vergleichsweise verbreitet nachgewiesen wird, ist unklar. Die hohe Persistenz des Wirkstoffs könnte dabei eine Rolle spielen (Labor DT₅₀ 13.9–271.3 Tage und im Feld DT₅₀ von 233 Tagen gemäss Pesticides Properties DataBase).

Pyrethrine: Im Betriebsnetz wurden für diesen Wirkstoff jeweils zwischen 2 bis 6 Schläge, alle in der Kultur Steinobst erfasst. Die abgeschätzte Menge beträgt 12% der durchschnittlich verkauften Menge von 0.365 t/a. Bei einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 55 g/ha (Korkaric et al. 2020) entspricht die verkaufte Menge einer behandelten Fläche knapp 6'600 ha. Der Wirkstoff ist in allen Anwendungsgebieten und auch in Lager- und Produktionsräumen zugelassen, im Feldbau aber begrenzt auf Tabak.

Die Auswertung der im wichtigsten Anbieterkatalog (Zielsortiment der Landi) aufgeführten Nennungen zeigt mit 16 Nennungen eine deutliche Häufung im Bio-Sortiment. Im konventionellen Anbau kommen lediglich 3 Nennungen im Beerenbau und eine im Weinbau vor. In den im Vereinigten Königreich durchgeführten Erhebungen spielt der Wirkstoff ausschliesslich im Beerenbau eine gewisse Rolle (Ridley 2018), in allen anderen Anwendungsgebieten hingegen nur eine marginale Rolle, ebenso in Lager- und Produktionsräumen (Garthwaite 2008). Neuere Erhebungen auf diesem Anwendungsgebiet liegen jedoch nicht vor. In den deutschen Erhebungen gibt es in keinem Anwendungsgebiet eine Nennung dieses Wirkstoffs. Die verfügbaren Informationen deuten darauf hin, dass sich die Lücke in der ZA-AUI primär auf die

Anwendungen im Bio-Anbau und auf den Beerenbau zurückzuführen sein dürfte. Von den 32 auf dem elektronischen PSM-Verzeichnis aufgeführten Produkten sind bis auf zwei alle auch für nichtberufliche Anwender zugelassen.

Der Wirkstoff ist zudem in über 100 Biozidprodukten zugelassen. Die eingesetzte Menge wurde auf rund 150 kg geschätzt, könnte aber wegen der Lücken in den ausgewerteten Daten bis zwei Mal höher liegen, wodurch der Einsatz als Biozid ungefähr dem Einsatz als PSM entsprechen würde (Spycher et al. 2021).

Analytische Daten zur Verbreitung dieses Wirkstoffs bzw. der wichtigsten Isomere des Wirkstoffgemischs in Gewässern liegen derzeit noch nicht vor.

4. Auslegeordnung der möglichen Massnahmen

Wenn in belasteten Einzugsgebieten die Einträge ausgewählter Wirkstoffe reduziert werden müssen, stehen den Betrieben verschiedene Massnahmen für eine angepasste Bewirtschaftung zur Verfügung. In diesem Kapitel wird eine generelle Auslegeordnung möglicher wirksamer Massnahmen zum Schutz von Oberflächengewässern vorgenommen. Die Unterkapitel sind gemäss der in der FAO Guidance on Pest and Pesticide Management (FAO 2010) verwendeten Einteilung von Handlungsansätzen gegliedert und zwar in

- Reduktion des PSM-Einsatzes
- Substitution von Wirkstoffen mit Überschreitungen
- Optimierung des Anbaus und der Handhabung

Nach der Beschreibung der Massnahmen werden diese in Kapitel 4.4 einerseits auf ihre Anwendbarkeit in den verschiedenen Kulturen eingestuft (Relevanzmatrix) und andererseits qualitativ bewertet (Bewertungsmatrix).

4.1 Reduktion des PSM-Einsatzes

Wie in Kapitel 2 hergeleitet, handelt es sich bei den Wirkstoffen sowohl um Herbizide als auch um Fungizide und Insektizide. Daher werden im Folgenden auch sowohl Massnahmen aus dem Bereich Unkrautregulierung, Reduktion des Krankheitsdrucks aber auch des Schädlingsbefalls diskutiert.

4.1.1 Massnahmen im Bereich Unkrautregulierung

Folgende Massnahmen kommen in Frage:

- **Mechanische Unkrautregulierung – Hacken:** In Reihenkulturen kann der Unkrautbestand mit Hilfe von Hackgeräten reguliert werden. Beim Hacken wird der Boden zwischen den Reihen einer Kultur mechanisch so bearbeitet, dass der Unkrautbestand ausreichend reduziert wird, ohne die angebaute Kultur zu beschädigen. Bei Kulturen mit guter Eignung, z.B. beim Mais, kann unter günstigen Bedingungen vollständig auf den Ein-

satz von chemischen Wirkstoffen verzichtet werden, während bei Kulturen mit bedingter Eignung, z.B. bei Zuckerrüben, sich eher eine partielle Reduktion des Herbizideinsatzes anbietet. Neben der Kultur sind vor allem die pedoklimatischen Bedingungen entscheidend, wie geeignet ein Standort für die mechanische Unkrautregulierung ist. Das zeigt sich z.B. in den Erhebungen zum Anteil der mechanischen Unkrautregulierung in Frankreich (Agreste 2014), die im Süden und im Westen des Landes deutlich häufiger praktiziert wird als im Norden. Versuche in der Schweiz zeigten ebenfalls einen Einfluss des Bodentyps auf die Wirtschaftlichkeit dieser Massnahme (Keiser 2016).

- **Mechanische Unkrautregulierung – Striegeln:** In Flächenkulturen kann der Unkrautbestand mit Hilfe eines Striegels reguliert werden. Beim Striegeln wird das Unkraut mit den nach unten zeigenden Metallhaken des Striegels ausgerissen und es vertrocknet oder es wird verschüttet. Bei Kulturen mit guter Eignung, z.B. Getreide, kann unter günstigen Bedingungen vollständig auf den Einsatz von chemischen Wirkstoffen verzichtet werden, wobei bei gewissen Vorkulturen (z.B. Kunstwiese) in gewissen Jahren sogar auf die mechanische Unkrautregulierung verzichtet werden kann, was vor allem auf Getreideflächen in Südfrankreich relativ häufig ist (Agreste 2014).
- **Bandspritzung:** Diese ebenfalls in Reihenkulturen anwendbare Technik besteht darin, den chemischen Pflanzenschutz nur in einem Band statt auf der ganzen Fläche einzusetzen. Das Herbizid wird hierbei ausschliesslich in die Reihe appliziert, während die Unkrautregulierung zwischen den Reihen in der Regel zusätzliche Durchgänge mit Hackgeräten erfordert. Die eingesetzte Wirkstoffmenge lässt sich so um 1/3 bis 2/3 reduzieren.
- **Unkrautunterdrückende Untersaat zu Saat:** Hierbei handelt es sich um mit der Kultur ausgesäte Pflanzen, welche das Unkraut aber nicht die Kultur unterdrücken sollen. Dieses Verfahren wird seit einigen Jahren erfolgreich im Rapsanbau eingesetzt und wird in der Schweiz gemäss einer Erhebung von 2017/2018 mittlerweile auf etwas mehr als 10% der Rapsflächen eingesetzt (Beaux 2019). Durch die andauernde und weitgehend flächige Bodenbedeckung werden auch weniger Nährstoffe ausgewaschen, was auch die Nitratauswaschung reduzieren kann, wodurch eine Synergie mit dem Grundwasserschutz besteht.
- **Unkrautunterdrückende Untersaat in bestehende Kultur:** Bei dieser Massnahme werden nach dem Auflaufen der Kultur zu geeignetem Zeitpunkt Pflanzen ausgesät, welche das Unkraut aber nicht die Kultur unterdrücken sollen. Die Untersaat in die bestehende Kultur trägt insbesondere im Maisanbau stark zur Reduktion der Nitratauswaschung bei.
- **Mulchsysteme:** Bei dieser Variante wird das Unkrautwachstum durch eine pflanzliche Mulchschicht unterdrückt. Es bestehen zwei Ansätze:
 - a) Einsaat in eine auf der Parzelle angesäte Gründüngung: Dazu werden Gründüngungspflanzen mit ausreichender Bildung von Biomasse wie zum Beispiel Roggen angesät und im Frühling mit einer Messerwalze plattgewalzt, sodass eine einheitliche Mulchschicht entsteht.

Die Hauptkultur wird anschließend durch die Mulchschicht hindurch in den darunterliegenden Boden gesät. Die Unkrautregulierung erfolgt einerseits dadurch, dass das Unkraut beim Walzen der Deckfrucht ebenfalls erfasst wird und andererseits reduziert die Mulchschicht das Wachstum von neuem Unkraut.

- b) Einsatz von Transfermulch: Bei diesem System wird der Mulch ausserhalb der Parzelle produziert und im Frühling auf die Parzelle transportiert und dort verteilt. Dieses System wird in der Schweiz auf kleinen Flächen in Kartoffeln und im Feldgemüse praktiziert. Die Mulchschicht hat auch bei diesem System einen Einfluss auf das Auflaufen der Unkräuter. Im Kartoffelbau kann damit ein Hackdurchgang eingespart werden und die Spätverunkrautung wird reduziert.

- **Kulturwechsel:** Verzicht auf Anbau der Kultur im belasteten Einzugsgebiet. Dabei muss unterschieden werden zwischen dem Verzicht auf eine einzelne Kultur, in der ein für das Einzugsgebiet problematischer Wirkstoff eingesetzt wird, und dem kompletten Verzicht auf Feldbau und Spezialkulturen, also der ausschliesslichen Nutzung als Grünland. Der Verzicht auf eine einzelne Kultur mag die Konzentration des darin eingesetzten Wirkstoffs senken, birgt aber das Risiko, dass andere Wirkstoffe in erhöhten Konzentrationen auftreten.
- **Verstärkte Anwendung von Prinzipien der integrierten Produktion (IP)** mit folgenden Teilkomponenten, die auch zur Reduktion des Krankheitsdrucks und Schädlingsbefalls beitragen können und je nach Ausgestaltung deutlich über das gemäss DVZ obligatorische Minimum hinausgehen:
 - Fruchtfolge: Optimierung der Fruchtfolge im Hinblick auf Unkraut- und Krankheitsdruck (siehe Kapitel 4.1.2)
 - Mechanische Unkrautkur: Striegeln vor Saat der neuen Kultur
 - Blindstriegeln: Striegeln zwischen Saat und Auflauf der Saat
 - Sortenwahl: Wahl geeigneter Sorten (siehe Kapitel 4.1.2)
 - Bekämpfungsschwellen (BKS): Bestimmung und Einhalten von BKS (siehe Kapitel 4.1.2)

4.1.2 Massnahmen zur Reduktion des Krankheitsdrucks

Folgende Massnahmen tragen zur Reduktion des Fungizideinsatzes bei:

- **Sortenwahl:** Beim **Weizen** sind die meisten Sorten auf der Liste der empfohlenen Sorten Schweizer Züchtungen. In der Schweiz sind Agroscope und die Firma Delley Samen und Pflanzen AG für die Brotweizenzüchtung zuständig. Die drei Oberziele in der CH-Züchtung sind Qualität, Resistenz und Ertrag. Das heisst, dass die meisten Sorten der Sortenliste eine gute Resistenz gegenüber Krankheiten aufweisen und das durchschnittliche Resistenzniveau hoch ist (Schaad 2021). Dies ist wichtig, weil mehr als die Hälfte der Brotgetreidefläche in der Schweiz nach Extenso-Richtlinien angebaut wird, die keinen Einsatz von Fungiziden und Insektiziden erlauben. In letzter Zeit wieder etwas zugenommen haben Sortenmischungen. Durch eine geschickte Kombination von zwei oder gar drei Sorten kann

die Resistenz gegenüber Krankheiten nochmals verbessert werden. Allerdings gilt es auch weitere Kriterien bei den Mischungen zu berücksichtigen. So sollten die ausgewählten Sorten in etwa die gleiche Halmlänge aufweisen und aus der gleichen Qualitätsklasse stammen. IP-Suisse-Produzenten können die Sortenmischungen Isuela, Isafir und Iskor anbauen. Allerdings ist die mit Sortenmischungen angesäte Fläche noch klein.

Züchterisch nicht bearbeitet in der Schweiz werden **Gerste, Roggen** und **Hafer**. Hier stehen nur ausländische Züchtungen zur Verfügung und im umgebenden oder angrenzenden Ausland wird der Resistenzzüchtung weniger Beachtung geschenkt. Allerdings kann festgestellt werden, dass sich die Situation bei den Gerstensorten in den letzten Jahren deutlich verbessert hat.

Bei den **Kartoffeln** bestimmt im Moment noch stark der Markt die Sortenwahl. Beim grössten Problem, der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*), sind die Hauptsorten mittel- bis hochanfällig. Es gibt zwar bereits einzelne Sorten wie Vitabella und SH C 1010, die recht gute Resistenzen besitzen, die aber bis jetzt nur auf kleinen Flächen angebaut werden (Schwärzel 2020). Wirklich sehr gut resistente und robuste Sorten wie zum Beispiel «Twinner» sind in der Pipeline, doch wird es noch einige Jahre dauern, bis grössere Flächen mit solchen Sorten im konventionellen Anbau angepflanzt werden.

Beim **Raps** weisen heute alle Sorten der Sortenliste eine gute bis sehr gute Resistenz gegenüber Wurzelhals- und Stängelfäule (*Phoma lingam*) auf. Für Standorte mit Kohlhernieproblemen steht zudem die tolerante Sorte Croozer zur Verfügung (Laurent 2021).

Bei den **Reben** sind alle klassischen Europäer-Rebsorten, welche auch den Hauptteil der Anbaufläche ausmachen, anfällig auf die Hauptkrankheiten Echter Mehltau (*Erysiphe necator*), Falscher Mehltau (*Plasmopara viticola*) und Grauschimmel (*Botrytis cinera*). Aus Kreuzungen von europäischen Sorten mit wilden amerikanischen und/oder asiatischen Sorten sind pilzwiderstandsfähige Sorten (Piwis) entstanden. Diese sind gut resistent gegenüber den Hauptkrankheiten und benötigen viel weniger Fungizidbehandlungen als die klassischen Europäer. Allerdings sind die Anbauflächen in der Schweiz auf einem sehr bescheidenen Niveau und die Fläche wird sich in den nächsten Jahren nur langsam erhöhen. (Holzwarth 2016).

Bei den **Zuckerrüben** stehen die Blattflecken (*Cercospora beticola*) im Zentrum. Es bestehen ziemlich grosse Unterschiede in der Anfälligkeit der Sorten und die Landwirtinnen und Landwirte haben die Wahl, mit einer resistenteren Sorte eine Fungizidbehandlung einzusparen.

Insgesamt sind die Spielräume bezüglich Sortenwahl bei Weizen gefolgt von Raps und Zuckerrüben am grössten. Bei Kartoffeln, als bisher für Pilzkrankheiten besonders allfällige Kultur, bestehen mittelfristig gute Aussichten auf eine massive Reduktion des Fungizid-Einsatzes.

— **Zuchtprogramme:** Die Zucht krankheitstoleranter Sorten stellt eine grosse Herausforderung dar, die nur im internationalen Verbund zu be-

wältigen ist. In einer anfangs der 1990er Jahre vorgenommenen Ausle-geordnung der für die Schweiz relevanten Kulturen wurde ein eigenes nationales Zuchtprogramm für folgende Kulturen empfohlen: Weizen, Re-ben und Äpfel (Fried 1993). Die heute noch laufenden nationalen Zucht-programme decken genau diese Kulturen ab.

- **Fruchtfolge:** Die Fruchtfolge ist bei einjährigen Kulturen die beste Mög-lichkeit, die Nachteile von Reinkulturen zu mildern, insbesondere den Krankheitsdruck durch Fusarien. Mit einem guten Fruchtwechsel werden sowohl bodenbürtige Krankheiten unterdrückt wie auch die Weitergabe von Krankheiten über Ernterückstände gebremst respektive verhindert. Weitere Vorteile sind die Abwechslung der Bodenbearbeitung und der Durchwurzelung des Bodens (räumlich und zeitlich). Zudem können nach humuszehrenden wieder humusmehrende Kulturen angebaut werden und durch die Einarbeitung von Mist, Stroh oder Gründüngung kann der Hu-musgehalt im Boden gestützt oder sogar gehoben werden. Nicht wirksam ist die Fruchtfolge bei der Kontrolle von Schaderregern, welche sich ober-irdisch verbreiten.

Fehler im Fruchtwechsel können hingegen zu grösseren Problemen füh-ren, so kann zum Beispiel eine getreide-maislastige Fruchtfolge gröss-ere Probleme mit Fusarien mit sich bringen, insbesondere wenn zum Beispiel nach Körnermais ohne Pflugfurche Futterweizen angebaut wird.

- **Prognosesysteme (PhytoPre und FusaProg):** Den Schweizer Landwir-tinnen und Landwirten steht seit mehr als 25 Jahren das von Agroscope entwickelte Prognosesystem PhytoPRE zur Verfügung, welches über die aktuelle Krautfäule-Befallslage und das witterungsbedingte Infektionsri-siko auf Kartoffelparzellen informiert (Forrer 1993, Steenblock und Forrer 2002). Die hohen Qualitätsanforderungen und das Risiko eines mögli-chen Ertragsverlusts respektive einer grossen finanziellen Einbusse auf-grund einer Phytophthora-Infektion führen dazu, dass Pflanzenschutzmit-tel-Behandlungen routinemässig «auf Sicherheit» appliziert werden und das Vertrauen in die Prognose zurückgegangen ist. Ähnliches gilt für das Prognosesystem Fusaprog. Verstärkte Investitionen in die Prognosesys-teme selbst und in die Kommunikation ihrer Vorteile könnten das Ver-trauen wieder erhöhen. Ist dies erreicht, muss auch der Vollzug der Di-rektzahlungsverordnung (DZV) angegangen werden (z.B. indem die Phy-toPRE-Prognose zum Zeitpunkt einer Behandlung im Feldkalender abzu-legen ist).
- Ein bereits jetzt etablierter Nutzen ist, dass kantonale Pflanzenschutz-dienste die beiden Prognosesysteme verwenden, um Empfehlungen über die Fachpresse oder SMS-Warndienste abzugeben.
- **Bekämpfungsschwellen:** Bekämpfungsschwellen (BKS) werden sehr unterschiedlich angewendet. Bei einer in den Jahren 2013-14 durchge-führten Umfrage unter fast 500 Landwirten und Lohnunternehmern hat sich gezeigt, dass BKS besonders häufig erhoben werden, wenn
 - a) ein hohes Schadenpotenzial vorhanden ist
 - b) die BKS einfach und präzise erhoben werden kann
 - c) für die Erhebung wenig Zeit investiert werden muss und
 - d) regelmässige Aufrufe der Warndienste erscheinen

Diese Voraussetzungen sind häufig nicht erfüllt und so werden die BKS bei Unkräutern und Ungräsern nur noch sehr bedingt angewendet (Ramseier 2016). Als Gründe wurden die fehlende Zeit und eine bekannte Verunkrautung angegeben. Deutlich besser sieht die Situation bei den Krankheiten aus. Am häufigsten wird die BKS bei den Blattflecken in Zuckerrüben angewendet. 81% der Landwirte gaben an, die BKS immer oder häufig anzuwenden. Am wenigsten Beachtung findet die BKS von *Rhizoctonia* bei Kartoffeln. 47% der Befragten wenden die Schwelle nie oder selten an. Bei den Schädlingen wird die BKS am häufigsten angewendet (ebd.). Ein Problem bei den BKS ist, dass viele veraltet sind (aus den 1980er und 1990er Jahren) und unbedingt wissenschaftlich überprüft respektive angepasst werden sollten. So konnten von insgesamt 70 BKS bisher die von drei Schädlingen (Getreidehähnchen, Rapsglanzkäfer und Kartoffelkäfer) überarbeitet und in zwei Fällen auch nach oben angepasst werden, also dahingehend, dass erst ein stärkerer Befall als bisher angenommen aus ökonomischer Sicht eine Behandlung rechtfertigt. Es wäre aber dringend nötig, weitere BKS wissenschaftlich zu überprüfen und eventuell auch zu vereinfachen. Im Vordergrund stehen BKS von wichtigen Schaderregern, welche mit hohem Einsatz von PSM reguliert werden und bei welchen PSM mit erhöhtem Risiko zum Einsatz kommen. So fehlt z.B. eine aktuelle BKS für den Rapsstengelrüssler, der als derzeit wichtigster Rapsschädling ausschliesslich mit Pyrethroiden bekämpft wird. Leider wurden vom Bund bisher keine Ressourcen für weitere Anpassungen reserviert, obwohl die Einhaltung von BKS sowohl im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit sinnvoll als auch in der DZV als Pflicht verankert ist.

- **Neue Chancen durch Sensortechnik:** Mit Luft- und Satellitenbildern können Pflanzenkrankheiten schon seit geraumer Zeit erkannt und kartiert werden. Während der Vegetationsperiode aufgenommene Bilder können nicht nur zur Früherkennung und zum saisoninternen Management einiger Pflanzenkrankheiten verwendet werden, sondern auch zur Kontrolle wiederkehrender Krankheiten für die folgende Zeit. Mit der «Variable rate technology» (VRT) in der Präzisionslandwirtschaft kann eine standortspezifische Fungizidanwendung auf befallene Flächen erfolgen. VRT kombiniert sowohl physische als auch digitale Technologien, indem Daten von landwirtschaftlichen Maschinen, Drohnen und Satelliten mit künstlicher Intelligenz, maschinellem Lernen und hyperspektraler Bildgebung ausgewertet und für die Bewertung genutzt werden. Krankheiten mit deutlich unterschiedlichen spektralen Signaturen können leicht unterschieden werden, aber viele Krankheiten sind schwer zu erkennen, insbesondere wenn mehrere biotische und abiotische Bedingungen mit ähnlichen spektralen Eigenschaften innerhalb des Feldes existieren. In Mittel- und Osteuropa ist die Firma «Agricon» im Bereich von Precision farming führend. Im Zeitraum von 2014-2017 fanden über 80 Versuche zu sensorgestützten Fungizidapplikationen mit Agricon-Algorithmen statt. Die Versuche zu Fungiziden in Winterweizen und Raps wurden in Deutschland, Grossbritannien und Frankreich mit teilflächenspezifischer, variabler Applikation mit folgenden Ergebnissen durchgeführt (Agrar heute 2018):

- Winterweizen: 1.7% Mehrertrag bei 12% Fungizideinsparung

— Winterraps: 4% Mehrertrag bei 18% Fungizideinsparung.

Bei der Übertragung auf Schweizerhältnisse gilt es zu beachten, dass die Einsparung von Fungiziden mit grosser Wahrscheinlichkeit tiefer ausfallen würde. Dies aus dem Grund, dass die durchschnittliche Schlaggrösse in der Schweiz viel kleiner ist und damit auch die Heterogenität innerhalb der Schläge. Als Folge davon dürfte auch die Variation der Biomasse und damit auch das Einsparpotenzial tiefer sein. Auch der Digitalisierungsspezialist der HAFL schätzt die Möglichkeiten in der Schweiz als recht bescheiden ein. Nach seiner Kenntnis gibt es zwar wissenschaftliche Ansätze und Projekte, in welchen die Eignung von Multispektralbildern zur Krankheitsdetektion eingesetzt wurden, jedoch ist noch kein kommerzielles Produkt für den Endanwender auf dem Markt (Gfeller 2021).

— **Landschaftselemente:** Es gibt zahlreiche Untersuchungen von Landschaftselementen wie Hecken auf das Auftreten und die Verbreitung von Krankheiten. Durch die leicht höhere relative Luftfeuchte in Bodennähe (Bargfrede 2018) ist der Krankheitsdruck tendenziell höher. Zusätzlich ist die kurzweilige Globalstrahlung vor allem auf der Ostseite deutlich tiefer (ebd.). Trotzdem können bestimmte Kulturpflanzen unter diesen Bedingungen auch besser wachsen und mehr Biomasse produzieren. Gewisse Krankheiten können direkt durch einzelne Baum- respektive Straucharten gefördert werden wie zum Beispiel Kronenrost (*Puccinia coronata*) durch Faulbaum (*Rhamnus frangula*) und Kreuzdorn (*Rhamnus alaternus*) (Häni 2018). Bargfrede (2018) ist in einer Literaturstudie von 22 Quellen zum Schluss gekommen, dass Hecken zwar den Landschaftswasserhaushalt und seine verschiedenen Komponenten beeinflussen, aber dass kein allgemein gültiger Rückschluss gezogen werden kann, ob sich Hecken in Bezug auf die Hydrologie positiv oder negativ auf die landwirtschaftliche Nutzung und die Ernteerträge auswirken.

4.1.3 Massnahmen zur Reduktion des Schädlingsbefalls

Folgende Massnahmen kommen in diesem Bereich in Frage:

— **Bekämpfungsschwellen:** Siehe Abschnitt 4.1.2.

— **Sortenwahl:** Die Sortenwahl hat bei den meisten Ackerkulturen keinen oder einen relativ geringen Einfluss auf den Schädlingsbefall. Bekannt ist, dass frühblühende Rapssorten weniger durch den Glanzkäfer befallen werden als spätblühende (Häni 2018). Für die gegenwärtig auf 30% der Fläche angebauten HOLL-Rapssorten steht dieser Hebel jedoch nicht zur Verfügung, denn die zwei auf der Sortenliste stehenden HOLL-Rapssorten haben beide einen mittelfrühen Blühbeginn (Laurent 2021). Bei anderen Schädlingen spielt die Sorte kaum eine Rolle. Aus Beobachtungen ist bekannt, dass Getreidehähnchen nicht behaarte Sorten gegenüber behaarten bevorzugen. Bei der Sortenwahl wird in der Schweiz aber nicht auf diesen Umstand geachtet, weil das Getreidehähnchen nur alle paar Jahre behandelt werden muss.

- **Pheromone in Reben:** Beim Traubenwickler kann dank der Entwicklung der Verwirrungstechnik, welche bewirkt, dass männliche Falter die Weibchen nicht finden und somit die Paarung verhindert wird, auf Insektizide verzichtet werden. Diese alternative, biologische Bekämpfungsmassnahme wird heute im schweizerischen Weinbau auf über 70% der Anbaufläche umgesetzt und kann angesichts des früher intensiven Insektizideinsatzes als Erfolgsgeschichte des integrierten Pflanzenschutzes bezeichnet werden (Günter und Pasquier 2008, Spycher et al. 2015).
- **Pheromone im Obstbau:** Im Obstbau hat sich die Verwirrungstechnik sehr gut durchgesetzt und leistet im konventionellen Abbau einen Beitrag zur Reduktion des vergleichsweise häufigen Insektizideinsatzes. Gegen verschiedene Wicklerarten (Apfelwickler, Schalenwickler, Kleiner Fruchtwickler, Pfirsichwickler, Pflaumenwickler) sowie Apfelglasflügler und Blausieb kann heute erfolgreich gegen die genannten Schädlinge vorgegangen werden (Andermatt Biocontrol 2021).
- **Zuchtprogramme:** Die Zucht von Sorten mit erhöhter Schädlingstoleranz ist schwierig. In einer anfangs der 1990er Jahre vorgenommenen Analyse wurde empfohlen, den Fokus der nationalen Zuchtprogramme stattdessen auf die Krankheitstoleranz zu legen (Fried 1993).
- **Landschaftselemente:** Ein Landschaftselement mit direkten Auswirkungen auf die Nützlingspopulationen sind Blühstreifen. Mit geeigneten Mischungen wurden auf angrenzenden Getreidefeldern 40 bis 53% weniger Getreidehähnchen und in Kartoffeln 75% weniger Blattläuse gefunden. Dieser Effekt beschränkt sich aber leider auf relativ kleine Distanzen (Tschumi 2016). Entsprechende Samenmischungen sind in der Schweiz erhältlich.

4.2 Substitution

Unter der Substitution von Wirkstoffen wird der Ersatz von Wirkstoffen durch alternative Wirkstoffe mit günstigerem Umweltprofil verstanden. Der ursprüngliche Wirkstoff wird dabei um bis zu 100% reduziert, wird aber durch einen anderen Wirkstoff ersetzt. Wichtig ist, dass Probleme nicht verlagert werden. Mit robusten Indikatoren lässt sich das vermeiden, indem nur Wirkstoffe als Ersatzkandidaten eingesetzt werden, die nicht erhöhte Risikoscores haben. Deshalb wird in Kapitel 5 für jede Kultur und jeden Wirkstoffbereich angegeben, welchen Risikoscore die alternativ zur Verfügung stehenden Wirkstoffe haben. Dies gilt nicht nur für den Schutz von Oberflächengewässern, sondern auch für den Grundwasserschutz und erhöhtes Risikopotential gemäss Anhang 9.1 des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel (BLW 2020b). Auf Anhang 9.1 sind Wirkstoffe, die entweder Substitutionskandidaten gemäss PSMV sind oder sich durch eine hohe Persistenz auszeichnen.

Die Verfügbarkeit alternativer Wirkstoffe unterscheidet sich stark von Kultur zu Kultur bzw. Wirkstoffbereich zu Wirkstoffbereich und sollte auch im Hinblick auf das Resistenzmanagement beurteilt werden. So zeigte sich bei einer Analyse von Massnahmen zum Schutz des Grundwassers, dass es bei Herbiziden im Mais für viele Wirkstoffgruppen kaum noch Alternativen gibt,

während bei den Zuckerrüben durchaus Spielräume vorhanden waren (Spycher 2020).

4.3 Optimierung

Unter Optimierung fallen alle Massnahmen, die dazu führen, dass die applizierten PSM nur zu einem möglichst geringen Anteil in die Gewässer gelangen. Es wird dabei zwischen Massnahmen auf dem Feld, Massnahmen am Feldrand und Massnahmen bei der Handhabung (z.B. Reinigung der Spritzen auf dem Feld oder kontinuierliche Innenraumreinigung) unterschieden. Während beim Grundwasser im Fall ungünstiger Stoffeigenschaften ausser Reduktion bzw. Substitution kaum Massnahmen der Optimierung möglich sind, können diese bei Oberflächengewässern sehr wirksam sein. Im Bereich Optimierung liegen mehrere umfassende Zusammenstellungen vor (z.B. TOPPS 2011, TOPPS 2014, Alix 2017, Prasuhn 2019). Ein Bericht spezifisch zur Reduktion der Einträge durch Abschwemmung wird 2022 erscheinen (Klein 2022). Im Folgenden werden Anmerkungen zu den wichtigsten Massnahmen angebracht.

4.3.1 Massnahmen auf dem Feld

Konservierende Bodenbearbeitung: Es gibt viele, auch schon ältere Studien die belegen, dass mit einer konservierenden Bodenbearbeitung die Wasser-Infiltrationsfähigkeit durch einen höheren Anteil Makroporen zunimmt und dementsprechend der Oberflächenabfluss und die Erosionsanfälligkeit abnehmen (Erlach 2002, Dieckmann 2004, Schmidt ohne Datum, Zimmermann 2003, Brunotte 2007). Wenn weniger Wasser oberflächlich abfließt, reduziert sich auch das Risiko, dass Pflanzenschutzmittel direkt in Oberflächengewässer transportiert werden. Durch das reduzierte Erosionsrisiko sinkt zudem die Wahrscheinlichkeit, dass an Bodenpartikel gebundene Wirkstoffe in Oberflächengewässer gelangen.

Die verschiedenen Varianten konservierender Bodenbearbeitung sind unterschiedlich effektiv bei der Reduktion von PSM-Verlusten. Klein *et al.* (2022) halten in ihrer Evaluation z.B. fest, dass in Deutschland gemäss dem statistischen Bundesamt zwar rund 40% der Ackerfläche mit konservierender Bodenbearbeitung bearbeitet werden, detailliertere Untersuchungen im Rahmen des Erosionsmonitorings aber gezeigt haben, dass die Bodenbedeckung meistens unter 10% liegt, was sehr tief ist. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass trotz verbreitetem Verzicht auf den Pflug die gegenwärtig in Deutschland praktizierten Formen (v.a. Mulchsaat) wenig zur Reduktion von PSM-Verlusten beitragen. Durch klarere Vorgaben z.B. eine minimale Bodenbedeckung von 30% und deren Kontrolle liesse sich hingegen eine effektive Reduktion erreichen.

Die konservierende Bodenbearbeitung stellt in zweifacher Hinsicht eine Chance für Synergien dar. Erstens besteht die Möglichkeit Boden- und Gewässerschutz zu verbinden. Zweitens sind Pufferstreifen potenziell wirksamer, weil ihre Wirksamkeit direkt von der sie überfließenden Wassermenge abhängt (Reichenberger 2019) und diese bei einer effektiv gestalteten konservierenden Bodenbearbeitung tiefer ist.

Eine sehr effektive Massnahme stellt die Streifenbearbeitung («Strip Till») oder die in der Schweiz verbreitete Streifenfrässaat dar. Bei der Streifenfrässaat von Mais werden nur ca. 40-50% der Bodenoberfläche bearbeitet. Durch diese vorhandene stabile Teil-Bodenbedeckung kann daher eine überproportionale Abflussverzögerung in der Fläche erzielt werden.

Veränderung der Oberflächenstruktur: Die Reduktion der Fliessgeschwindigkeit und damit auch eine erhöhte Infiltration des Wassers kann über viele verschiedene Massnahmen gefördert werden. Ein zentraler Ansatzpunkt ist die Erhöhung und Stabilisierung der «Bodenrauheit» respektive «Oberflächenrauheit». Eine Möglichkeit diese zu erhöhen, ist die höhenlinienparallele Bewirtschaftung. Dadurch entstehen quer zur Gefällerrichtung Rillen- oder kleine Muldenstrukturen. Diese bilden Widerstände für den Oberflächenabfluss, was die Infiltration erhöht und die Strecke des flächenhaften Fliessens verlängert. Die Oberfläche muss aber ausreichend rau sein, also Höhenunterschiede von mehreren Zentimetern über die gesamte Vegetationsperiode aufweisen (Seibert und Auerswald 2020). Bereits ein grobes Saatbett trägt zur Reduktion von PSM-Verlusten bei, weshalb es äusserst wichtig ist, das Saatbett nur so fein wie für die entsprechende Kultur und Bodenart nötig für die Saat vorzubereiten (Prasuhn 2018).

Sittig et al. (2020) konnten mit Feldversuchen aufzeigen, dass mit Mikrodämmen, welche durch einen angepassten Scheibenpflug oder eine umgeänderte Rohrstabwalze produziert wurden, eine konsistente Abnahme der gemessenen Mengen an Abfluss, Erosion und PSM-Transport erreicht wurde. Dieser Ansatz, der zum Beispiel im Mais angewendet werden kann, ist in der Schweiz noch gar nicht bekannt.



Abbildung 3 Modifizierter Scheibenpflug (oben) und umgebaute Rohrstabwalze (unten) und die dazugehörigen bearbeiteten Bodenoberflächen (rechts). Quelle: Sittig *et al.* 2020.

Vermeiden von Bodenverdichtung: Bodenverdichtung ist ein wichtiger Grund verminderter Wasseraufnahme durch den Boden sowie für Sättigungsüberschuss (Prasuhn 2018). Damit steigt das Risiko eines vermehrten oberirdischen Wasserabflusses respektive erhöhter Erosion. Es gilt mit allen

zur Verfügung stehenden Massnahmen Verdichtung zu verhindern. Das Reduktionspotenzial durch Verhinderung von Bodenverdichtung wird als sehr gut eingestuft (ebd.).

4.3.2 Massnahmen am Feldrand

Pufferstreifen: Ein hoher Anteil der schweizerischen Agrarlandschaft ist direkt oder indirekt an Oberflächengewässer angeschlossen. Besonders grosse Mengen an PSM können in Oberflächengewässer gelangen, wenn zum Beispiel nach einem stärkeren Regen Oberflächenwasser direkt von Feldern über Schächte in Bäche geleitet wird. Untersuchungen von Schönenberger et al. (2020) im Mittelland und Jura haben gezeigt, dass 55 Prozent der untersuchten Ackerflächen über einen Kurzschluss darstellende Schächte mit einem Bachlauf verbunden sind. Demzufolge ist auch das Potenzial hoch, durch auf diesen Eintragsweg abzielende Massnahmen die PSM-Belastung zu reduzieren. Eine wichtige Massnahme dazu sind Pufferstreifen entlang von Wegen und Strassen mit hydraulischen Kurzschlüssen. Es ist aber wichtig, dass die Pufferstreifen am richtigen Ort und in der richtigen Breite angelegt werden. In dem seit dem Jahr 2017 laufenden Berner Pflanzenschutzprojekt wurde deshalb zusätzlich zu den gesetzlich vorgeschriebenen Pufferstreifen neben Gewässern die Möglichkeit eingeführt, auch an anderen geeigneten Orten Pufferstreifen (Querstreifen) anzulegen. Der Streifen muss mindestens 3m breit sein und unerwünschte Beikräuter dürfen nur mechanisch oder durch Einzelstockbehandlung bekämpft werden. Der Querstreifen wird zur entsprechenden Ackerkultur gerechnet und wird mit CHF 2.00 pro Laufmeter und Jahr entschädigt (LANAT 2021). Anfänglich wurden im Projekt CHF 1.00 pro Laufmeter und Jahr entschädigt. Die Beteiligung war schwach. Nach der Erhöhung der Entschädigung und einer Intensivierung der Beratung haben die Pufferstreifen stark zugenommen und wurden konsequent ausgestaltet (Abbildung 4).

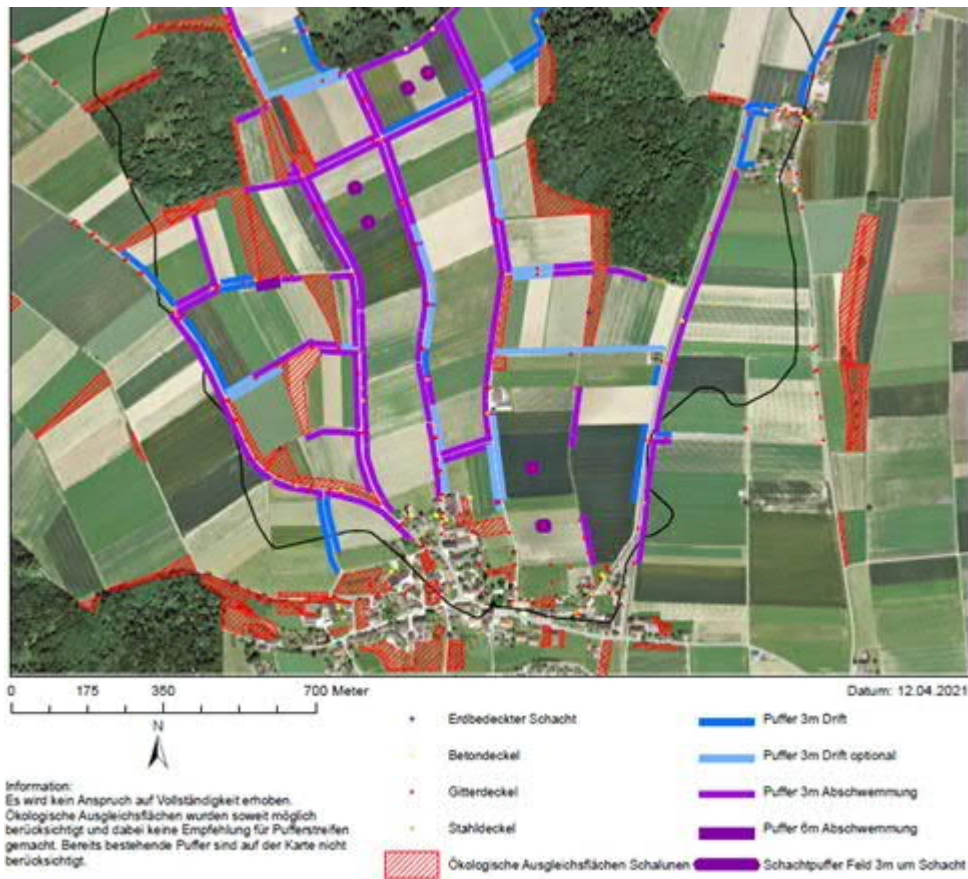


Abbildung 4 Ausschnitt aus dem Einzugsgebiet Schalunen mit den im Rahmen des Berner Pflanzenschutzprojektes konzipierten Vorschlägen zur Anlegung von Pufferstreifen im Jahr 2021.

In der folgenden Abbildung 5 ist in einem Ausschnitt sichtbar, wie die konkrete Umsetzung der Pufferstreifen im Jahr 2021 aussieht.



Abbildung 5 Ausschnitt aus dem Einzugsgebiet Schalunen mit der Umsetzung von Pufferstreifen im Jahr 2021.

Mit Pufferstreifen kann ein wesentlicher Beitrag zur Verhinderung von Einträgen geleistet werden, wenn sie am richtigen Standort in der richtigen Breite angelegt werden. Allerdings zeigt das Berner Pflanzenschutzprojekt auch, dass eine angemessene Entschädigung und eine gute Beratung nötig sind, damit die Landwirtinnen und Landwirte diese Massnahme auch umsetzen. Auch Prasuhn *et al.* (2018) folgern, dass Massnahmen, welche die Produktionsfläche verkleinern im Allgemeinen auf geringe Akzeptanz stossen. Was die Wirksamkeit von Pufferstreifen betrifft, haben Reichenberger *et al.* (2019) in ihrer umfassenden, ereignisbasierten Auswertung (n = 244) deren grundsätzliche Wirksamkeit belegt und gezeigt, dass diese nicht primär von der Breite des Pufferstreifens abhängt, sondern durch andere Faktoren wie z.B. den Bodentyp beeinflusst wird und dass die Vorhersage der Wirkung eine mechanistische Modellierung erfordert.

4.3.3 Massnahmen der Handhabung

Es besteht heute Einigkeit darin, dass Punktquellen einen wesentlichen Teil der Gewässerbelastung verursachen. Bach und Frede (2008) halten fest, dass die Wirkstofffrachten über Punkteinträge sehr grosse Schwankungen aufweisen und folgern daraus, dass es nicht gerechtfertigt ist, einen allgemein gültigen Durchschnittswert für PSM-Einträge aus Punktquellen anzugeben. Zwei an der HAFL durchgeführte Studien erlauben Rückschlüsse darüber, welche Schritte bei der Handhabung besonders kritisch sind (Daten bisher noch nicht veröffentlicht). Die Studie erfasst insgesamt 116 Landwirtschaftsbetriebe über die ganze Schweiz. Vertreten sind alle Betriebstypen von reinen Ackerbaubetrieben über gemischte Betriebe bis hin zu reinen Obst- respektive Weinbaubetrieben.

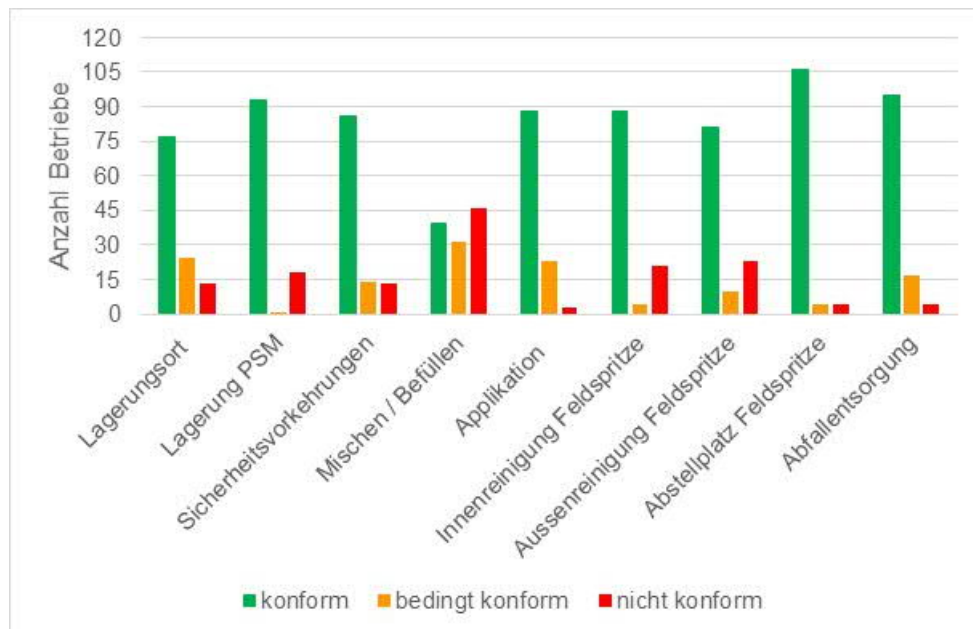


Abbildung 6 Zusammenzug aller Betriebsaudits (116 Betriebe) in den Jahren 2019/2020. Die Beurteilung bezieht sich auf die potenziellen Risiken einer Gewässerbelastung. Konform: kein Risiko bzw. keine Mängel; bedingt konform: kein direktes Risiko aber es bestehen kleinere Mängel; nicht konform: Risiko für Einträge bzw. klare Mängel vorhanden.

Insgesamt werden viele Punkte gut erfüllt. Es fällt aber auf, dass im Bereich Mischen / Befüllen am meisten Mängel festgestellt wurden. Dies ist der Bereich, wo ein erhöhtes Risiko besteht, dass Einträge in Oberflächengewässer passieren können. Mittels Beratung, Kontrollen und einer finanziellen Unterstützung bei der Sanierung respektive dem Neubau von Befüll- und Waschplätzen kann dieses Risiko vermindert werden.

4.4 Generelle Beurteilung der Massnahmen

Für die generelle Beurteilung der Massnahmen wird in einer Relevanzmatrix die generelle Anwendbarkeit der Massnahmen in den verschiedenen Kulturen ausgewiesen. Daneben werden die Massnahmen in einer Bewertungsmatrix, angelehnt an das Vorgehen von Prasuhn *et al.* (2018), mittels einer Expertenbeurteilung anhand verschiedener Kriterien qualitativ nach folgenden Kriterien bewertet:

- Unter «Wissensstand» wird der Stand der Agrarforschung und der praxisnahen Beratung verstanden. Dies umfasst auch Daten zu betriebswirtschaftlichen Auswirkungen für den Betrieb.
- Die «pedoklimatische Anwendbarkeit» beschreibt räumliche und klimatische Abhängigkeiten, z.B. bei den Krankheiten, in wie vielen Jahren aufgrund der meteorologischen Bedingungen eine Reduktion oder gar ein Verzicht auf Fungizide als die wirtschaftlichere Strategie eingestuft werden kann. Bei der mechanischen Unkrautregulierung beschreibt das Kriterium, in wie vielen Jahren die Bedingungen dafür trocken genug sind, und auf welchem Anteil der Bodentypen die Massnahme tendenziell gut funktioniert.
- Die «Akzeptanz» beschreibt die grundsätzliche Bereitschaft die Massnahme umzusetzen. Hoch eingestufte Risiken wie z.B. ein über die Jahre akkumulierter Vorrat von Unkrautsamen im Boden führen zu reduzierter Akzeptanz einer Massnahme.

Auf die qualitative Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde bei der untenstehenden kulturübergreifenden Bewertung verzichtet, denn dieser Aspekt hängt sehr stark von der Kultur ab. Dieser Aspekt wird in der detaillierten agronomischen Beurteilung vertieft untersucht (Kapitel 5).

Die Bewertung erfolgte für den flächenmässig nach wie vor vorherrschenden konventionellen Anbau und berücksichtigt, dass die Bedingungen für die einzelnen Massnahmen je nach Jahr unterschiedlich günstig sind. Im Biolandbau sind keine Herbizide zugelassen und die Unkrautregulierung erfolgt bereits heute ausschliesslich ohne chemisch-synthetische Wirkstoffe. Die dadurch bedingten Ertragsverluste und der zusätzliche Arbeitsaufwand lassen sich durch die höheren Preise von Bioprodukten und höheren Direktzahlungen decken. Zur Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen werden im Biolandbau in begrenztem Mass anorganische Fungizide (Speiser 2015) bzw. mineralische oder aus Pflanzen gewonnene Insektizide eingesetzt.

Die folgende Tabelle fasst die Relevanzmatrix und die Bewertungsmatrix (farbig markiert) zusammen und zeigt damit die generelle Beurteilung der Massnahmen.

Massnahme	Anwendbarkeit nach Kultur ^[1]							Wissensstand ^[2]	pedoklimatische Anwendbarkeit ^[3]	Akzeptanz ^[4]	
	Hülsenfrüchte	Kartoffeln	Mais	Raps	Getreide	Zuckerrüben	Gemüsebau				Reben
Mechanische Unkrautregulierung - Hacken		■	■	(■)	(■)	■	(■)	■	+	0	+
Mechanische Unkrautregulierung - Striegeln		(■)	(■)	(■)	■				+	0	+
Unkrautunterdrückende Untersaat zu Saat			-	■	-	-	-		0	+	0
Unkrautunterdrückende Untersaat in bestehende Kultur			■		(■)				-	0	-
Mulchsysteme		(■)				(■)	(■)	■	-	+	-
Bandspritzung		(■)	■	(■)	-	■	(■)		+	+	-
Kulturwechsel	■	■	■	■	■	■	■	■	+	+	--
Fruchtfolge ^[5]	■	■	(■)	(■)	(■)	(■)	■	-	0	+	0
Mechanische Unkrautkur ^[5]	■	■	■	■	(■)	(■)	■	-	+	0	0
Blindstriegeln ^[5]	■	(■)	■	-	(■)	(■)	■	-	+	0	-
Sortenwahl (Krankheiten) ^[5]		■		(■)	■	■	■	■	+	+	0
Schadschwellen (Krankheiten) ^[5]					■	■		■	0	+	0
Prognosesysteme (Krankheiten)		■			■			(■)	+	+	0
Sensortechnik				(■)	(■)				-	0	0
Sortenwahl (Schädlinge)				(■)			(■)		-	0	0
Schadschwellen (Schädlinge)		(■)	(■)	■	■	(■)		■	0	+	0
Prognosesysteme (Schädlinge)								(■)	0	+	-
Pheromone							(■)	■	+	+	+

Tabelle 8: Beurteilung der Massnahmen im Bereich Reduktion. Massnahmen im Bereich Substitution werden im Kapitel 5 substanzspezifisch diskutiert, Massnahmen im Bereich Optimierung sind (abgesehen von Massnahme auf dem Feld) kulturübergreifend wirksam. Erläuterung Relevanzmatrix: ■ in Kultur anwendbar, (■) in Kultur zum Teil anwendbar, - nicht anwendbar, keine Farbe: keine Angaben. Erläuterung Bewertungsmatrix: ++ = sehr gut, + = gut, 0 = mittel, - = gering, -- = sehr gering

[1] Obst nicht berücksichtigt

[2] Agronomischer Wissensstand zu Machbarkeit und Kosten der Massnahmen

[3] Anteil der Böden und klimatischen Verhältnisse bei der Massnahme wirtschaftlich ist

[4] Reduzierte Umsetzung aufgrund hoch eingestufte Risiken oder niedrig eingestufte Praktikabilität

[5] In der integrierten und der biologischen Landwirtschaft generell wichtige Massnahme

Tabelle 8 zeigt auf, dass die Massnahmen spezifisch für die dafür anwendbaren Kulturen diskutiert werden müssen. Nur die mechanische Unkrautkur ist generell im Ackerbau anwendbar. Zum günstigen Zeitpunkt eingesetzt, ermöglicht diese Massnahme eine Reduktion des Herbizideinsatzes, aber für sich allein meistens noch keinen Verzicht auf Herbizide. Für die im Kapitel 5 folgende spezifische Bewertung sind nur die Massnahmen relevant, für die in der entsprechenden Wirkstoff-Kultur-Kombination auch eine Anwendbarkeit identifiziert wurde. Massnahmen wie geeignete Fruchtfolgen oder Sortenwahl sind nicht isoliert zu betrachten, sondern entfalten ihr volles Potenzial, wenn sie nach den Prinzipien der integrierten Produktion kombiniert werden (Häni 2018).

In der qualitativen Bewertung schneiden viele Kulturen bezüglich Wissensstand, pedoklimatischer Anwendbarkeit und Akzeptanz neutral oder positiv ab, was bedeutet, dass Verschiebungen bei der Wirtschaftlichkeit (z.B. durch Prämien) dazu führen können, dass diese Massnahmen eine erhöhte Verbreitung finden.

Die in den Abschnitten 4.1 bis 4.3 vorgestellten Massnahmen sind mehrheitlich etablierte und in der Regel auch in der Direktzahlungsverordnung verankerte Massnahmen. Deren Nutzen ist unbestritten, aber ihre Umsetzung sollte von Fall zu Fall überprüft und den heutigen Realitäten angepasst werden. Dies betrifft in hohem Masse die Bekämpfungsschwellen, wo Vereinfachungen und Aktualisierungen eine Chance darstellen, dem Konzept wieder zu mehr Verbreitung zu verhelfen (Ramseier 2016). Bei den Prognosesystemen müsste das Vertrauen durch Weiterentwicklung der Modelle, der praktischen Anwendbarkeit und weiteren geeignete Massnahmen wie z.B. Publikation von Daten von Beobachtungspartzen wieder gesteigert werden. Massnahme 6.2.3.4 des AP PSM enthält in diese Richtung gehende Umsetzungsziele, welche die nötigen Voraussetzungen schaffen würden. Bei der schonenden Bodenbearbeitung sollte abgestimmt mit den Zielen des Bodenschutzes eine genauere Spezifizierung der Massnahmen erfolgen. Bei den Pufferstreifen können die Lehren aus dem Berner Pflanzenschutzprojekt dazu dienen, deren Einsatz effektiver zu machen.

5. Agronomische Beurteilung der Massnahmen

5.1 Kriterien für die spezifische Beurteilung der Massnahmen

Die Beurteilung der Massnahmen auf der Ebene der einzelnen Kulturen erfolgt jeweils im Vergleich zum chemischen Pflanzenschutz. Es wurden folgende Kriterien beigezogen:

- Wirksamkeit: Die Wirksamkeit im Vergleich zur derzeit üblichen chemischen Unkrautregulierung wurde primär anhand der Auswirkungen auf den Ertrag beurteilt. Im Fall der Unkrautregulierung wurden, falls vorhanden, auch Daten zu den Auswirkungen auf die Bestände von Problemunkräutern verwendet. Es wird von einem mittleren Grad der Anwendbarkeit ausgegangen, also weder von besonders günstigen noch besonders ungünstigen Verhältnissen.
- Kosten: Es wurden jeweils die Verfahrenskosten der chemischen und der alternativen Unkrautregulierung verglichen. Dabei wurden die Kosten für Maschinen und Arbeit und die Einsparungen durch reduzierten PSM-Einsatz bestimmt. Die Kosten basieren wo nicht anders vermerkt auf den 2020-21 bestehenden Produzentenpreisen und agrarpolitischen Rahmenbedingungen wie den REB-Beiträgen für schonende Bodenbearbeitung oder reduzierten Herbizideinsatz. Da ab 2023 die REB durch in der Direktzahlungsverordnung verankerte Produktionssystembeiträge ersetzt werden, werden diese ebenfalls diskutiert.
- Wirtschaftliche Auswirkungen: Sofern vorhanden, wurden die wirtschaftlichen Auswirkungen durch den Deckungsbeitrag quantifiziert, also durch die Differenz von Erlös und Kosten. Der Erlös setzt sich aus dem Verkauf der je nach Anbausystem unterschiedlichen Erträge und den Beitragszahlungen für die Kultur und das Anbausystem zusammen. Die Kosten umfassen alle Arbeitsgänge von der Vorbereitung der Saat bis zur Ernte inklusive der Amortisationskosten der Maschinen. Die Deckungsbeiträge können sich aufgrund externer Faktoren verändern, namentlich durch Schwankungen von Weltmarktpreisen, die auch in der Schweiz zu höheren Produzentenpreisen aber auch zu höheren Kosten für Produktionsmittel (insbesondere Diesel, Mineraldünger, PSM) führen können. Höhere Produzentenpreise führen dazu, dass Ertragseinbussen stärker ins Gewicht fallen und die entsprechenden Anbausysteme entsprechend weniger wirtschaftlich abschneiden.

Es sind derzeit noch weitere Faktoren nur zum Teil bekannt, konkret der betroffene Anteil der Anbaufläche (auf dem z.B. ein bestimmtes Problemunkraut vorkommt), der Anteil der Anbaufläche, auf dem die Massnahmen geringeren oder zusätzlichen Aufwand bedeuten und die Verteilung der angebauten Flächen pro Betrieb. Deshalb wurden die wirtschaftlichen Auswirkungen als Bereichsangabe und nicht als fixe Zahl angegeben.

Für die agronomische Beurteilung der Massnahmen wurde zudem die Akzeptanz berücksichtigt, denn diese hängt auch von der Struktur des Betriebs ab und nicht nur von der einzelnen Kultur.

— Akzeptanz: Mit der Akzeptanz ist die Bereitschaft gemeint, den Aufwand für die Umstellung und das Risiko für die Anwendung einer alternativen Anbaumethode auf sich zu nehmen. Gewisse Massnahmen haben trotz ausreichender Wirksamkeit und Kostenneutralität eine tiefe Akzeptanz, z.B. weil die Anbaumethode eine gewisse Erfahrung oder eine zusätzliche Ausbildung erfordert oder im Fall der Unkrautregulierung, weil gewisse Vorstellungen bezüglich akzeptabler Verunkrautung bestehen.

Falls die nötige Information vorhanden war, wurden auch die weiteren in Kapitel 4 aufgeführten Kriterien Wissensstand und pedoklimatische Anwendbarkeit qualitativ beurteilt. Beim Vergleich der verschiedenen Verfahren nicht berücksichtigt wurden ausserhalb der Gewässer stattfindende ökologische Effekte wie z.B. Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen, Humusabbau, Erosion. Einige Überlegungen dazu finden sich in der ähnlich aufgebauten Studie zur Reduktion der Einträge ins Grundwasser (Spycher *et al.* 2020). Ebenfalls nicht bewertet wurden ökologische Mehrwerte für terrestrische Organismen z.B. durch erhöhten Samenvorrat im Boden oder vermehrte Ackerbegleitflora, die sich stark auf Insekten und Vögel auswirken kann.

Im Fall der Substitution wurden für alle bis 2019 zur Verfügung stehenden Wirkstoffe zusätzliche, durch die Eigenschaften der Stoffe bedingte Kriterien berücksichtigt. Sie können wie folgt beschrieben werden:

— Resistenzgruppe: Die Resistenzgruppe gemäss dem Herbicide Resistance bzw. Fungicide Action Committee wurde als Mass für die Ähnlichkeit des Substituenten (Ersatzwirkstoffs) mit dem zu ersetzenden Wirkstoff angegeben. Für ein effektives Resistenzmanagement ist es unabdingbar, über Wirkstoffe verschiedener Gruppen zu verfügen. Die Wahrscheinlichkeit einer Resistenzbildung ist je nach Resistenzgruppe unterschiedlich hoch. Bei den Herbiziden haben insbesondere die beiden Gruppen A (Acetyl-CoA-Carboxylase-Hemmer) und B (Acetolactat-Synthase-Hemmer) ein erhöhtes Resistenzrisiko. Entscheidend ist aber schlussendlich die Anzahl respektive die Häufigkeit der Anwendungen von Wirkstoffen aus der gleichen Resistenzgruppe. So sind gerade in der Schweiz nach wie vor Resistenzen gegenüber Wirkstoffen aus der Gruppe C1 (Photosystem II-Hemmer (Serin 264 bindend)) vorhanden.

— Grundwasserscore: Dieser basiert auf den Agroscope-Modellrechnungen zur Grundwasser-Eintragswahrscheinlichkeit von Metaboliten (Korkaric 2020). Als Vorschlag für die qualitative Einstufung der quantitativen Angaben wurden Wirkstoffe mit einem oder mehreren Metaboliten-Scores > 10 als mit mobilen Metaboliten, Wirkstoffe mit Scores zwischen 5 und 10 als mit Metaboliten im Übergangsbereich und Wirkstoffe mit einem Score < 5 als mit nicht mobilen Metaboliten eingestuft (Herleitung in Spycher 2020). Gemäss dieser Einstufung gibt es insgesamt 15 Wirkstoffe mit mobilen Metaboliten, wobei bei der derzeitigen Verbrauchslage nicht alle zu umfangreicheren Überschreitungen im Grundwasser führen können. Entsprechend geht es nicht um einen Verzicht, sondern darum, einen starken Anstieg des Verbrauchs solcher Wirkstoffe zu verhindern.

- Risiko für Oberflächengewässer: Das Risiko für Oberflächengewässer wurde anhand des von der Agroscope publizierten Risikoscores quantifiziert (Korkaric 2020). Wie im Abschnitt 2.2 beschrieben, wurde dieser zuerst auf die CQK normiert. Anschliessend wurden anhand eines Vergleichs mit den Überschreitungshäufigkeiten des Oberflächengewässermonitorings Schwellenwerte für den normierten gewichteten Risikoscore (ngRS) gewählt und zwar so, dass unterhalb der Schwellenwerte die Wahrscheinlichkeit von CQK-Überschreitungen nur noch mittel bzw. tief ist. Der auf diese Weise abgeleitete ngRS ist für eine erste Abschätzung einsetzbar, liesse sich mittelfristig aber noch verfeinern, indem die gewählten Schwellenwerte durch vertiefte Vergleiche mit Monitoringdaten besser abgestützt werden. Für die Bewertung der für die Substitution zur Verfügung stehenden Wirkstoffe wurde der ngRS wieder auf einen normierten RS (nRS) rücktransformiert. Dadurch ist der Score unabhängig von der derzeit verkauften Menge. So soll verhindert werden, dass durch die Substitution alternative Wirkstoffe mit ungünstigerem Umweltprofil zum Einsatz kommen, die bisher wegen tiefer Verkaufsmengen noch nicht zu Überschreitungen im Monitoring geführt haben. Die für den normierten RS gewählten Schwellen lagen bei $nRS > 200$ für hohes Risiko und zwischen $nRS 20$ und 200 für mittleres Risiko für Überschreitungen chronischer Qualitätskriterien.
- PSM mit besonderem Risikopotential: Es wurde abgeklärt, ob der Substituent auf der Liste der PSM mit besonderem Risikopotenzial gemäss Anhang 9.1 des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel ist (BLW 2020b). Die dort aufgelisteten Wirkstoffe erfüllen zwar die Kriterien für die Zulassung, aber falls Alternativen verfügbar sind, sollte auf sie verzichtet werden. Der Aktionsplan gibt für diese Wirkstoffe das quantitative Ziel einer Reduktion von 30% bis im Jahr 2027 vor.

5.2 Unkrautregulierung in Winterweizen

Die durchschnittliche Anbaufläche von 2017-2019 liegt inkl. Futterweizen bei 81'526 ha und macht 29.8% der offenen Ackerfläche aus. Innerhalb des Getreides macht die Anbaufläche des Weizens rund zwei Drittel (64.2%) aus und ist damit die wichtigste Getreideart. Ein kleiner Teil der gut 81'000 ha ist zudem Sommerweizen. Die Weizenfläche blieb in den letzten 6-8 Jahren stabil. Auch in Zukunft wird die Fläche stabil bleiben, da in normalen Jahren der Bedarf an Brotweizen gedeckt ist (in guten Jahren muss sogar ein Teil des Brotweizens zu Futterweizen deklassiert werden).

Getreide zeichnet sich durch eine schnelle Jugendentwicklung und eine hohe Pflanzdichte aus. Deshalb ist Getreide generell gegen Unkräuter gut konkurrenzfähig. Je nach Getreideart gibt es Unterschiede. Hafer und Roggen besitzen die grösste Konkurrenzkraft. Weizen ist hingegen weniger konkurrenzfähig, wobei es deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Sorten gibt (Halmlänge, Blattstellung). Kurzhalmigere Sorten haben eine geringere Konkurrenzkraft als langhalmige Sorten. Das gilt sinngemäss auch für Getreidebestände, die mit Halmverkürzungsmitteln behandelt wurden. Zudem konkurrenzieren Sorten mit einem breiten und flachen Fahnenblatt deutlich besser als Sorten mit einem kleinen, schmalen und steilen Fahnenblatt.

In der ersten Entwicklungsphase nach der Saat ist im Weizen genügend Raum und Licht vorhanden. Ein normaler Unkrautbesatz stört die Anfangsentwicklung nicht. Das empfindliche Stadium ist vom Dreiblattstadium (DC13) bis Ende Bestockung (DC29), wenn das Getreide die gesamte Bodenoberfläche ausfüllen soll. Spätestens bis zur Hauptbestockung sollten Behandlungen zur Ertragssicherung ausgeführt sein. Behandlungen zur Ernteerleichterung, Verhinderung von Problemunkräutern und Ausschaltung von Fruchtfolgeunkräutern sind auch später noch möglich und sinnvoll.

Im Weizenanbau hat die pfluglose Bestellung, vor allem die Mulchsaat mit Grubber und Zinkenrotor oder Kreiselegge, in den letzten Jahren zugenommen, ausser wenn Weizen direkt nach Kunstwiese angebaut wird. Die Direktsaatfläche hat sich kaum verändert.

Gemäss Agrarbericht ist die Fläche mit Mulchsaaten von 2014-2019 jedes Jahr gestiegen (Tabelle 9). Allerdings wird nicht zwischen den auf der Fläche angebauten Kulturen unterschieden. Es betrifft also nicht nur die Getreiderespektive die Weizenfläche. Erfahrungsgemäss dürfte aber die Weizenfläche den grössten Teil der Mulchsaaten ausmachen. Interessant sind die Angaben über die Fläche für den Zusatzbeitrag für Herbizidverzicht. Nachdem zwischen 2014 und 2018 jedes Jahr eine Zunahme zu verzeichnen war, fiel sie im Jahr 2019 fast wieder auf das Niveau von 2016 zurück und hat sich auch im Jahr 2020 nur unwesentlich erholt. Ein wesentlicher Grund könnte die erste Hälfte des Monats März 2019 gewesen sein. Von Anfang bis nach Mitte März hat es mit Ausnahme von 3 Tagen in Zollikofen (und im Mittelland allgemein war es kaum anders) jeden Tag geregnet (Meteo Schweiz 2019). Somit konnte der Boden vermutlich kaum genügend abtrocknen, um mit dem Striegel eine erfolgreiche Bearbeitung zu machen, weshalb die Landwirte die Fläche abgemeldet und ein Herbizid gespritzt haben.

Jahr	Gesamtfläche Mulchsaaten [ha]	Mit Zusatzbeitrag für Herbizidverzicht [ha]	Quelle
2014	9'719	817	Agrarbericht 2015
2015	34'060	2'894	Agrarbericht 2016
2016	45'001	4'232	Agrarbericht 2017
2017	50'643	5'563	Agrarbericht 2018
2018	56'182	7'069	Agrarbericht 2019
2019	61'153	4'605	Agrarbericht 2020
2020	55'261	4'825	Agrarbericht 2021

Tabelle 9: Gemeldete Fläche für den Bezug von Ressourceneffizienz-Beiträgen für Mulchsaaten 2014-2019 und für den Zusatzbeitrag zum Herbizidverzicht (keine Angaben zur geförderten Kultur vorhanden aber Anteil Weizen vermutlich sehr hoch)

Gemäss Agrarbericht 2021 (BLW 2021a) wurden im Jahr 2020 zudem für 8'924 ha Ressourceneffizienzbeiträge für Herbizidreduktion auf der offenen Ackerfläche ausgerichtet. Eine Zuordnung auf einzelne Kulturen ist nicht

möglich, doch dürfte der grösste Teil der Fläche Getreide sein. Zählt man die Gesamtfläche der mit den Förderinstrumenten erfassten Ackerfläche zusammen, kommt man auf rund 5% der offenen Ackerfläche, die im Jahr 2020 keine Herbizidapplikation erhalten haben. Dazu kommen noch die 7% der offenen Ackerfläche, die biologisch bewirtschaftet werden (SBV 2022).

Gemäss der in Kapitel 2 und 3 vorgenommenen Auswahl vertieft zu untersuchender Wirkstoffe und Kulturen stehen beim Winterweizen die zwei Wirkstoffe Diflufenican (46% des Einsatzes im Winterweizen) und Thifensulfuronmethyl (67% der eingesetzten Menge) im Vordergrund (Tabelle 3). Flufenacet spielt zwar im Getreideanbau eine gewisse Rolle, aber der Anteil des Winterweizens ist mit 14% eher klein. Für 2,4-D ist innerhalb der durch die AUI abgedeckten Kulturen Winterweizen zwar mit 44% eine relevante Kultur, da aber fast 90% in nicht durch die AUI erfasste Kulturen fliessen, scheint dieser Wirkstoff im durch die AUI-Daten sehr gut abgedeckten Getreidebau generell nicht so relevant zu sein.

5.2.1 Mechanische Unkrautregulierung

Striegeln ist im Moment die am weitest verbreitete Methode der mechanischen Unkrautbekämpfung im Weizen. Hacken verlangt eine breite Saatreihendistanz (16-24 cm), was anbautechnisch eher unerwünscht ist und die Verunkrautungsgefahr verstärkt. Hackbürsten (werden wenig eingesetzt) benötigen Drillweiten von 17 cm. In letzter Zeit etwas vermehrt zum Einsatz kommt die Amerikanische Sternhacke. Auf einem tiefen Niveau zugenommen hat in den letzten Jahren der Einsatz von Rollstriegel.

— Hackstriegel

Mit dem Hackstriegel werden Unkräuter ausgerissen und vertrocknen an der Oberfläche oder sie werden mit Erde zugeschüttet. Der Hackstriegel kann im Weizen nach der Saat und vor dem Auflaufen eingesetzt werden (Blindstriegeln). Allerdings ist der Effekt im Winterweizen (> 90% des Weizens in der Schweiz ist Winterweizen) beschränkt. Wenn Winterweizen in der zweiten Oktoberhälfte gesät wird, herrschen meist nicht mehr hohe Temperaturen und/oder die Luftfeuchtigkeit ist hoch (z.T. auch Nebel), so dass die Unkräuter weniger gut vertrocknen. Der Haupteinsatzzeitpunkt ist deshalb im frühen Frühling. Der Striegel sollte wenn möglich zu Beginn der Bestockung eingesetzt werden. In diesem Entwicklungsstadium sind die Unkräuter noch klein und wenn das Wetter stimmt, ist die Wirkung dementsprechend hoch. Mit dem Striegel werden Klebern und andere tiefwurzelnde Unkräuter wie Hohlzahn und Kamille nicht oder ungenügend erfasst. Klebern können auch im Schossen noch ausgekämmt werden. Allerdings bedingt dies im Gegensatz zu einer Herbizidbehandlung eine Durchfahrt mehr und einen deutlich geringeren Bekämpfungserfolg.

— Hackgerät

Hackgeräte kommen vor allem auf Biobetrieben mit hohem Getreideanteil in der Fruchtfolge und Problemunkräutern wie Klebern, Kamille und Disteln zum Einsatz. Hacken ist zeitaufwändiger und kostenintensiver (teure Anschaffung des Hackgerätes, geringe Arbeitsleistung, langsamere Fahrweise als das Striegeln). Dafür werden Unkräuter auch in späteren Stadien oder in schwereren Böden besser bekämpft. Allerdings arbeiten die

Hackgeräte nur zwischen den Reihen. Die Fläche auf der Getreidereihe wird nicht bearbeitet.

— **Hackbürste**

Betriebe, welche auch Feldgemüse anbauen, brauchen die Hackbürste teilweise auch im Getreide. Auf einer Welle befestigte runde Bürsten mit Kunststoffborsten bearbeiten die Erde intensiv. Die Wirkung ist mit Ausnahme von mehrjährigen Unkräutern und Ungräsern hoch, aber die Bodenoberfläche wird sehr fein und verschlämmt gerne. Die Arbeitsleistung ist im Vergleich zum Striegel klein. Hackbürsten arbeiten wie die Hackgeräte nur zwischen den Reihen.

— **Amerikanische Sternhacke**

Auf einer Achse sind sternförmig angeordnete löffelartige Werkzeuge vorhanden, welche in den Boden eindringen und die Erde mit den Unkräutern hochwerfen. Die Fahrgeschwindigkeit ist hoch (ca. 15 km/h) und damit auch die Flächenleistung. Die Wirkung ist vergleichbar mit dem Hackstriegel. Die amerikanische Sternhacke arbeitet reihenunabhängig (ganzflächig).

— **Rollhacke**

Schräg gestellte Scheiben mit leicht abgewinkelten Zinken greifen in den Boden ein und reissen das Unkraut aus. Dies hat eine gute Wirkung auf Unkräuter im Keimblattstadium bis 2-Blattstadium. Die Wirkung ist vergleichbar mit dem Hackstriegel. Die Rollhacke kann auch in Mulchsaaten mit höherem Mulchanteil eingesetzt werden. Die Fahrgeschwindigkeit ist ca. 10 km/h.

Genauere Zahlen zur Verbreitung der verschiedenen Techniken liegen auch für die mit REB-Beiträgen unterstützten Flächen keine vor. Mit Abstand am meisten eingesetzt wird aber der Hackstriegel.

Wirksamkeit

Wenn das Unkraut noch klein (Keimblatt- bis 2-Blattstadium) ist, der Boden genügend abgetrocknet ist und nach dem Striegeldurchgang das Wetter stimmt (ideal mindestens zwei Tage kein Regen), wird je nach vorhandenen Unkrautarten etwa die Hälfte bis zwei Drittel der Unkräuter vernichtet. Bei einer Unkrautregulierung mit einem gut auf die Unkrautpopulation abgestimmten Herbizid wird über 90% Wirkung erwartet. Ungenügend wirkt der Striegel auf Unkräuter wie Klebern, Kamille, Hohlzahn und Wicken. Falls ein Betrieb z.B. viele Klebern oder Kamille hat, kann es kurz- und mittelfristig zu einer Vermehrung dieser Pflanzen kommen.

Kosten

Mittels einer Modellvergleichsrechnung wurden die Verfahrenskosten bei rein chemischer, rein mechanischer oder einer kombinierten Variante bestimmt (Tabelle 10). Kombinierte Varianten sind nötig, wenn man nach dem ersten Striegeldurchgang realisiert, dass die Wirkung ungenügend war. Wenn man mit einem einzigen Striegeldurchgang die Unkrautkontrolle machen kann, ist es günstiger als mit einer Herbizidbehandlung. Bei der rein chemischen Variante wurde mit einem Durchschnittspreis des Herbizidproduktes gerechnet. Je nachdem, welches Herbizid man wählt, sind die Pro-

duktekosten zwischen gut CHF 30 und CHF 120/ha. Wenn ein Striegeldurchgang nicht reicht und eine zweite Durchfahrt gemacht werden muss (was in der Mehrheit der Parzellen der Fall sein dürfte), sind die Kosten in etwa vergleichbar wie mit einer Herbizidbehandlung. Deutlich teurer wird es, wenn man nach einem Hackstriegeldurchgang trotzdem noch chemisch eingreifen muss.

		1 Durchgang (chemisch)	1 Durchgang (mechanisch)	2 Durchgänge (mechanisch)	2 Durchgänge (Kombination: mechanisch + chemisch)
		Herbizideinsatz mit Anbaufeldspritze (15m Balken)	Striegeln (6m Hackstriegel)	Striegeln (6m Hackstriegel)	Striegeln (6m Hackstriegel) + Herbizideinsatz mit Anbaufeldspritze (15m Balken)
	Quelle:				
Arbeitszeitbedarf (Akh)	Labourscope	0.86	0.72	1.44	1.58
Arbeitsaufwand Lohn (Fr/ha)	ART-Bericht 2021	24.08	20.16	40.32	44.24
Fixe Maschinenkosten Traktor (60kW) (Fr/ha)	ART-Bericht 2021	4.66	4.17	8.33	8.83
Variable Maschinenkosten Traktor (60kW/h) (Fr/ha)	ART-Bericht 2021 (Reparatur/ Unterhalt) + KTBL (Treibstoffverbrauch)	3.04	5.71	11.42	8.75
Dieselbedarf (l/ha)	KTBL	1.08	2.78	5.56	3.86
Kosten Herbizid (Fr/ha)	DB-Katalog 2021	61.00	0.00	0.00	61.00
Entschädigungsansatz Anbaufeldspritze (12m) (Fr/ha)	ART Bericht 2021	24.00	0.00	0.00	24.00
Maschinenkosten Striegel (Fr/ha)	ART Bericht 2021	0.00	22.00	44.00	22.00
Kosten/ha (Fr.)		116.79	52.04	104.07	168.82

Tabelle 10: Verfahrenskosten bei verschiedenen Unkrautregulierungssystemen im Getreide.

Szenarienrechnung

Grundsätzlich sind die Maschinenkosten für den Striegel deutlich tiefer als für das Herbizid und die Flächenleistung ist hoch. Der Erfolg einer rein mechanischen Regulierung hängt aber stark vom Jahr, vom Boden und dessen Zustand (Befahrbarkeit), den Witterungsbedingungen, vom allgemeinen Unkrautdruck und der Zusammensetzung der Unkrautpopulation ab. Wenn man annimmt, dass in zehn Jahren 4-mal günstige Voraussetzungen (1 Striegeldurchgang reicht), 3-mal mittelmässige (2 Striegeldurchgänge nötig) und 3-mal ungünstige Voraussetzungen (1 Striegeldurchgang und 1 Herbizidbehandlung) vorkommen, ergeben sich durchschnittliche Kosten von CHF 102.68/ha. Somit liegen die Kosten um CHF 12/ha unter der rein chemischen Variante. Bei 5-mal günstigen, 3-mal mittelmässigen und 2-mal ungünstigen Voraussetzungen liegen die durchschnittlichen Kosten bei CHF 92/ha.

Wirtschaftliche Auswirkungen

Die wirtschaftlichen Auswirkungen im Schweizer Extensio-Winterweizenanbau wurden von Böcker und Finger (2018) mit einem räumlich aufgelösten bio-ökonomischen Modell bewertet, das die abhängig von Bodentyp und Anbauverfahren möglichen Erlöse und Kosten schätzt und so Aussagen zu den Deckungsbeiträgen ermöglicht. Es werden zwei Szenarien berücksichtigt. Im ersten Fall geht man davon aus, dass auf einem Teil der Fläche (50%) gepflügt werden muss, um den *Fusarium*-Befall und die Belastung mit Mykotoxinen (Deoxynivalenol) niedrig zu halten (wenn Mais oder Triticale als Vorfrucht angebaut werden). Dies widerspiegelt auch die Empfehlungen von IP-Suisse und dürfte in der Mehrheit der Fälle zutreffen. Im zweiten Fall gehen die Autoren davon aus, dass nicht gepflügt werden muss.

Wenn ohne Beiträge für schonende Bodenbearbeitung gearbeitet wird, liegen die Deckungsbeitragseinbussen im Median zwischen CHF 56 und CHF

107 (Abbildung 7). Die Einbussen trotz niedrigerer Kosten sind dabei durch die von Böcker und Finger abgeschätzten niedrigeren Erträge bedingt. Die Mediane der Ertragsreduktion liegen zwischen 1.6 und 2.7 dt/ha, was 3-5% tiefer ist als ein durchschnittlicher Ertrag von 60 dt/ha. Da die Ertragsreduktion vergleichsweise gering ist, haben auch die im Jahr 2022 in noch nicht genau bekanntem Ausmass höheren Produzentenpreise dennoch nur begrenzten Einfluss auf das Gesamtergebnis. So würde ein Anstieg der Schweizer Produzentenpreise um 20% bei einer Ertragseinbusse von 3 dt/ha zu einer weiteren Reduktion der Deckungsbeiträge von rund 30 CHF/ha im Vergleich zum Preisniveau der Studie von Böcker und Finger (2018) führen. Weil gleichzeitig die Düngerpreise gestiegen sind, dürften sich im Jahr 2022 bei den Deckungsbeiträgen der meisten Kulturen weitere Verschiebungen ergeben.

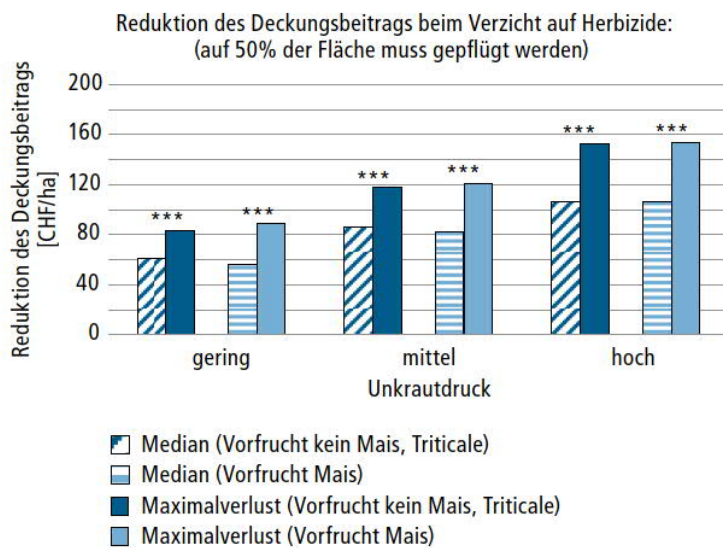


Abbildung 7 Mittlerer und maximaler Verlust des Deckungsbeitrags durch einen Herbizidverzicht ohne Berücksichtigung der schonenden Bodenbearbeitung (*, **, *** und n.s. kennzeichnen die Signifikanzniveaus 1%, 0.1% und nicht signifikant mit Wilcoxon-Mann-Whitney-Test). Abbildung aus Böcker und Finger (2018).

Wenn die Ressourceneffizienzbeiträge für schonende Bodenbearbeitung berücksichtigt werden (ab 1.1.2023: Produktionssystembeiträge), ändern sich die Resultate je nach Szenario stark. Wenn auf Mais oder Triticale als Vorfrucht verzichtet werden kann, ist ein Herbizidverzicht unter den bestehenden Bedingungen in den meisten Regionen lohnenswert.

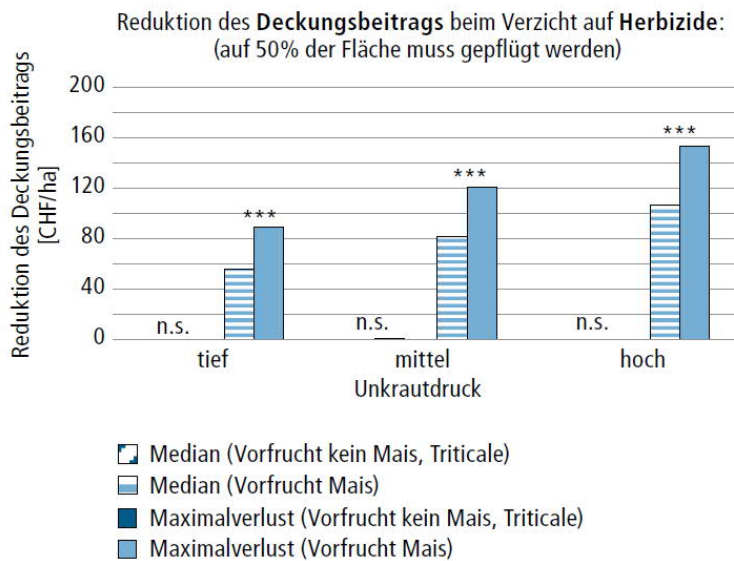


Abbildung 8 Mittlerer und Maximaler Verlust des Deckungsbeitrags durch einen Herbizidverzicht mit Berücksichtigung der schonenden Bodenbearbeitung (*, **, *** und n.s. kennzeichnen die Signifikanzniveaus 1%, 0.1% und nicht signifikant mit Wilcoxon-Mann-Whitney-Test). Abbildung aus Böcker und Finger (2018).

Unter schwierigen Voraussetzungen gibt es aber auch bei diesem Szenario noch Maximalverluste von bis über CHF 150/ha (Abbildung 8). Den in Abbildung 7 bzw. Abbildung 8 dargestellten Verlusten stehen ab 1.1.2023 Prämien für Herbizidverzicht von CHF 250/ha (PSB Herbizidverzicht auf der offenen Ackerfläche) und bei schonender Bodenbearbeitung noch einmal CHF 250/ha gegenüber. Bei den bis Ende 2022 gültigen REB-Beiträgen für schonende Bodenbearbeitung gab es ja nach Verfahren noch unterschiedliche Prämien welche für Direktsaat, Streifenfrässaat und Mulchsaat 250, 200 und 150 CHF/ha ausmachten.

Die Autoren gehen auch noch der Frage nach, warum nur wenige landwirtschaftliche Betriebe die zur Zeit der Studie bereits verfügbaren Ressourceneffizienzbeiträge für Herbizidverzicht in Anspruch nahmen und orten mehrere Gründe. Ein erhöhtes Ertragsausfallrisiko auf einzelnen Flächen und die Sorge einer zu starken Verunkrautung in der Folgekultur könnten Gründe sein, aber auch hohe Investitionskosten für die Anschaffung spezieller Maschinen. Ein nicht unwesentliches Hindernis könnten auch Politikrisiken sein, zum Beispiel das zum Zeitpunkt der Studie noch zeitlich beschränkte Bundesprogramm zur Herbizidreduktion im Rahmen von Ressourceneffizienzbeiträgen. Diese Unsicherheit machte Investitionen in Maschinen unattraktiv. Deshalb sollten Beiträge zur schonenden Bodenbearbeitung mehr Planungssicherheit beinhalten und länger als 5 Jahre zugesichert sein (Böcker 2018). Mit der Umwandlung der bisherigen befristeten Ressourceneffizienzbeiträge in unbefristete Produktionssystembeiträge (PSB) per 1.1.2023 wird dieses Problem beseitigt. Eine gezielte Investitionsförderung, um die Ausstattung mit Maschinen zur mechanischen Unkrautkontrolle zu erhöhen, wie dies z.B. in Frankreich der Fall ist, könnte ebenfalls sinnvoll sein (ebd.).

Akzeptanz

Die rein mechanische Unkrautregulierung im Weizen nimmt zu. Dies könnte einerseits auf die verstärkte Sensibilisierung der Landwirte, entsprechende Beratung und die Ressourcen-Effizienzbeiträge zurückzuführen sein (siehe auch Tabelle 9). Andererseits spielt sicher auch das Pestizidfrei-Programm von IP-Suisse eine Rolle. Wenn der Landwirt IP-Suisse-Getreide pestizidfrei, also auch ohne Herbizide anbaut, bekommt er eine Zusatzprämie von 10.00 CHF/dt produziertes Getreide. Beim Start des Programms 2019-20 wurden 1'775 ha für das Programm angemeldet. Im Jahr 2020-21 waren es bereits 4'985 ha (Ryser 2021, persönliche Mitteilung). Ebenfalls eine Rolle spielt das Berner Pflanzenschutzprojekt. Mit der Massnahme 5 verpflichtet sich der Landwirt zu einem Herbizidverzicht auf der offenen Ackerfläche von der Ernte der Vorkultur bis zur Ernte der Hauptkultur und erhält dafür eine Prämie von CHF 400/ha/Jahr. Parzellen, welche die Kriterien für die Ressourceneffizienzbeiträge (REB) erfüllen, müssen dort angemeldet werden, um Doppelzahlungen zu verhindern. Die angemeldete Fläche betrug bei Projektbeginn 2017 683 ha, im Jahr 2021 waren es 1'396 ha. Die Fläche hat sich also verdoppelt. (Gygax 2021). Allerdings kann auch hier nicht unterschieden werden, in welcher Kultur der Verzicht erfolgt ist.

Um erfolgreich mit rein mechanischen Verfahren arbeiten zu können, sind gute Kenntnisse des vorhandenen Unkrautbestandes und eine dementsprechende allgemeine Einschätzung der Situation erforderlich. Gerade im Jahr 2021 hat sich bei einigen Landwirten, welche im IP-Suisse-Programm auf Herbizide verzichtet haben, gezeigt, dass die Unkrautsituation nicht richtig eingeschätzt wurde und das Unkraut überhandgenommen hat. Zudem spielen der Boden, das Wetter und die Verfügbarkeit und die Einstellung der Geräte ebenfalls eine wichtige Rolle.

Oft werden von Landwirtinnen und Landwirten Bedenken betreffend Anreicherung von Samen im Boden und der Zunahme von Problemunkräutern geäussert. Wenn über eine längere Zeit mit rein mechanischen Verfahren das Unkraut reguliert wird, nimmt der Samenvorrat im Boden und damit der allgemeine Unkrautdruck zu. Dies ist hinlänglich bekannt von Betrieben, welche auf Bio umstellen. Auf der anderen Seite sagt der Samenvorrat im Boden alleine noch wenig aus. Kritisch wird es, wenn gewisse mechanisch schwer bekämpfbare Unkräuter wie zum Beispiel Klebern, Kamille, Wicken oder auf schweren Böden Ackerfuchsschwanz stark zunehmen. Detaillierte Untersuchungen zur Entwicklung des Samenvorrats in verschiedenen Anbausystemen findet man in den Berichten von Emmenegger (2005) und Streit *et al.* (2004) und einen Überblick zum Thema in Spycher *et al.* (2020).

5.2.2 Untergaaten

Früher wurde verbreitet im frühen Frühling in die stehende Winterweizenkultur eingesät, mit der Absicht, nach der Ernte eine bereits installierte Kunstwiese oder Zwischenkultur zu haben. Das Verfahren ist zeitweise fast verschwunden und nur noch einige, vor allem biologisch wirtschaftende Betriebe, haben das Verfahren weiter angewendet.

Auch die HAFL hat im Rahmen von verschiedenen Projekten wieder Versuche mit Untergaaten in Weizen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der

Frühling für den Erfolg entscheidend ist. Einerseits sollte man so früh wie möglich eine Unkrautbekämpfung und Saatbettvorbereitung für die Untersaat machen, andererseits muss eine genügende Bodenfeuchte nach der Saat vorhanden sein, damit die Untersaat rasch und gut aufläuft. Leider haben in den letzten Jahren die Wetterextreme zugenommen. Wenn der Frühling nass ist, muss zu lange zugewartet werden, bis in den Bestand gefahren werden kann, wodurch die Konkurrenz durch den Weizen für das Auflaufen und die Entwicklung der Untersaat bereits zu gross ist. Wenn der Frühling trocken ist (wie z.B. 2017), kann man zwar früh in die Bestände fahren, Striegeln und einsäen, jedoch keimt die Untersaat nicht und wenn dann die Feuchte kommt, ist der Weizen bereits zu gross und die Untersaat hat kaum eine Chance, sich zu entwickeln. Die Saat des Winterweizens sollte eher spät erfolgen. Damit ist einerseits der generelle Unkrautdruck tiefer als bei Fröhsaaten und andererseits besteht so im Frühling etwas mehr Flexibilität mit der Installation der Untersaat.

Wenn die Untersaat zum richtigen Zeitpunkt gemacht werden kann und genügend Feuchtigkeit da ist, kann sie sich jedoch gut entwickeln. In diesem Fall wurden auch positive und ermutigende Resultate erzielt, wie folgendes Resultat eines Versuches der HAFL aus dem Jahr 2020 zeigt.

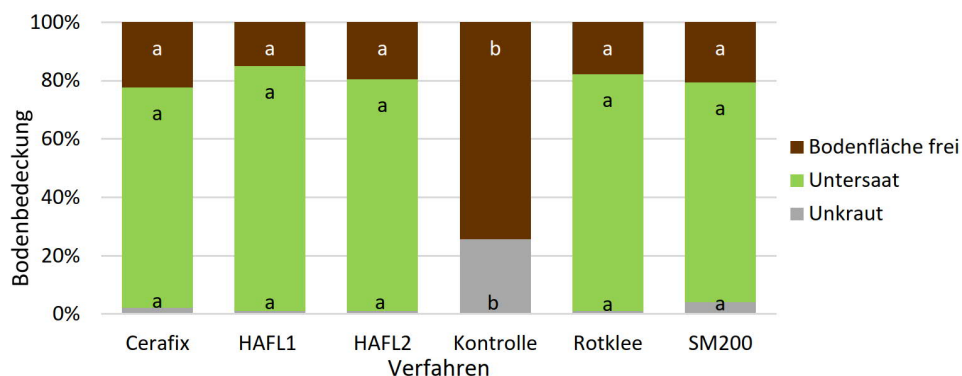


Abbildung 9 HAFL-Untersaatenversuch 2020, Praxisbetrieb, Standort Grafenried: Aufnahme der prozentualen Bodenbedeckung am 02.09.2020, 5 Wochen nach Ernte des Winterweizens. Das Verfahren hat einen signifikanten Einfluss auf die Zusammensetzung der Bodenbedeckung (Dirichlet Mixed Modell). Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Kategorie weisen auf statistisch signifikante Unterschiede hin (n=4, Kontrolle: Hackstriegeleinsatz).

Alle Untersaatverfahren wiesen signifikant weniger Unkraut auf als die Kontrolle mit Hackstriegeleinsatz (Abbildung 9). Zwischen den verschiedenen Untersaatmischungen gab es keine signifikanten Unterschiede.

Verfahren	Ertrag [dt/a]	TKG [g]	hl-Gewicht [kg]	Protein in %
Cerafix	78.6	42.3	83.5	14.1
HAFL 1	74.4	42.5	82.7	13.8
HAFL 2	75.1	41.1	83.2	13.6
Kontrolle	72.1	41.9	83.8	13.7
Rotklee	75.2	41.3	83.0	13.9
SM 200	74.1	42.0	84.1	13.7
Mittelwert über alle Verfahren () = Wert Swissgra- num	74.5	41.8	83.4 (82.8)	13.8 (12.0)

Tabelle 11: Resultate Untersaatversuch in Grafenried BE 2020 in Winterweizen, Ertrag und Qualität. Blockversuch mit 4 Wiederholungen. Ertrag auf 14.5% Feuchte standardisiert. Kontrolle: nur Hackstriegel.

Es gab keine signifikanten Unterschiede bei allen untersuchten Ertrags- und Qualitäts-Parametern. Dies zeigt, dass in einem günstigen Frühjahr eine Untersaat gut funktionieren kann. Nach der Ernte konnten sich die Untersaaten gut entwickeln (Abbildung 10).



Abbildung 10 Gut entwickelte Untersaatmischungen 5 Wochen nach der Ernte des Weizens. Zu sehen sind die Untersaatmischungen Cerafix, HAFL1 und HAFL2 (von links nach rechts). Untersaatversuch in Grafenried BE 2020 in Winterweizen.

Eine Biomasse-Erhebung 6 Wochen nach der Weizenernte hat Frischsubstanz-Erträge der Untersaaten zwischen 84 und 99 dt/ha ergeben, was einem Futterwert von ca. CHF 150.00 bis 200.00/ha entspricht (Agridea 2020). Um der Problematik der Frühlingswitterung auszuweichen, wurde im Herbst 2021 an der HAFL ein Blockversuch angelegt, bei welchem die Untersaat vor der Weizensaat gemacht wurde, das heisst, der Weizen wird in die bereits aufgelaufene Untersaat eingesät.

Das Resultat konnte, wenn auch etwas weniger deutlich, 2021 wiederholt werden.

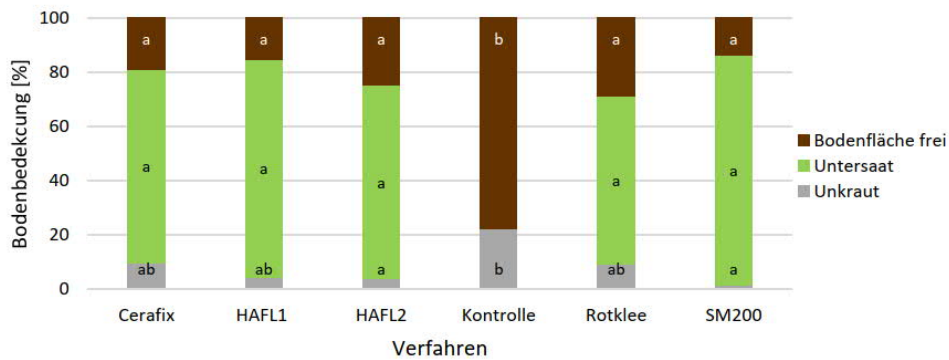


Abbildung 11 HAFL-Untersaatenversuch 2021, Praxisbetrieb, Standort Utzenstorf: Aufnahme der prozentualen Bodenbedeckung (BB) am 26.08.2021, 5 Wochen nach Ernte des Winterweizens; BB durch Unkraut, $p=0.01768$ (Buchstaben basieren auf den transformierten Daten mit log); BB durch Untersaat, $p=0.08669$; Bodenfläche frei, $p=0.000028$.

Wirtschaftliche Auswirkungen

Für die zweijährigen Versuche wurden die vergleichbaren Deckungsbeiträge (DB) pro Hektare berechnet. Diese liegen bei den untersuchten Verfahren zwischen CHF 2'537 für die Kontrolle und CHF 2'701 für das Verfahren Cerafix (Abbildung 12). Als Vergleich wurde zudem der DB für die Bewirtschaftung mit Herbizid gerechnet (geschätzt). Hierfür wurde der Mittelwert des Winterweizen-Ertrages über alle Verfahren der Jahre 2020 und 2021 eingesetzt (aufgrund der verbleibenden Restverunkrautung im Verfahren Hackstriegel kann davon ausgegangen werden, dass mit einem Herbizideinsatz kaum ein Mehrertrag erreicht worden wäre). Mit diesem durchschnittlichen Ertrag von 74.5 dt/ha im Jahr 2020 und 60.0 dt/ha im Jahr 2021 würde das Herbizid-Verfahren mit CHF 2'184 schliesslich den tiefsten DB erreichen. So müsste im Verfahren mit Herbizid ein Winterweizen-Mehrertrag von ca. 5 dt/ha erwirtschaftet werden, um den ab 1.1.2023 gültigen Beitrag für den herbizidfreien Anbau von CHF 250 auszugleichen. Diese Zahl müsste wieder neu gerechnet werden, weil der Richtpreis für Brotweizen für die Ernte 2023 angehoben wird wegen den deutlich höheren Kosten (Dünger, Diesel). Wie viel der Richtpreis steigen wird, ist aktuell noch nicht bekannt, aber der zu produzierende Mehrertrag für das Herbizidverfahren wird abnehmen. Nicht zu vergessen ist hingegen, dass der Bewirtschaftungsaufwand im herbizidfreien Anbau mit Untersaat eines klar höheren Arbeitsaufwands und entsprechender mechanischer Geräte bedarf.

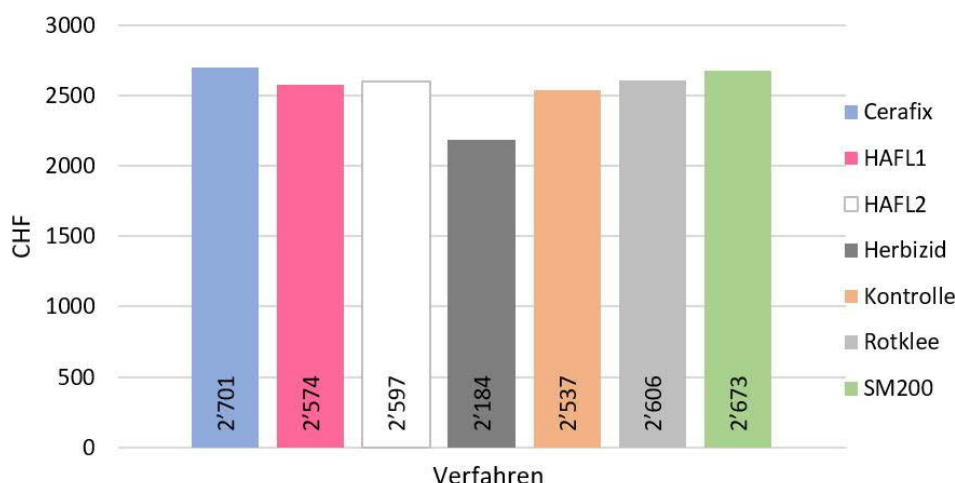


Abbildung 12 Vergleichbarer Deckungsbeitrag für Winterweizen mit und ohne Untersaaten. Untersuchungen der HAFL, Mittelwerte der Jahre 2020 und 2021 (Berechnung gemäss Agridea, 2021).

Zwischen den herbizidfreien Verfahren ergeben sich die Unterschiede hauptsächlich aufgrund der variierenden Winterweizen-Erträge. Bei den Untersaat-Verfahren decken die berücksichtigten Leistungen des Futters meist nur gerade die Kosten für das Saatgut der Untersaat-Mischung. Allerdings bieten Untersaaten zusätzliche positive Aspekte, die in der Berechnung des DB nicht zu Buche schlagen, wie beispielsweise bessere Tragfähigkeit des Bodens bei der Ernte, konstante Bodenbedeckung nach der Ernte des Weizens, die Einsparung der Bodenbearbeitung für Ansaaten von Kunstwiese im August oder die N-Fixierung durch Leguminosen in der Untersaat für Folgekulturen. Je nach Mischung könnte allenfalls eine grössere Wertschöpfung durch die Weiterverarbeitung der Untersaat zu Graswürfeln erreicht werden.

Untersaaten, die nicht zu Futterzwecken dienen, bieten einen raschen Bodenschutz und verbessern schliesslich langfristig gesehen den Humusgehalt des Bodens durch Einarbeiten.

Akzeptanz

Untersaaten im Getreide haben eine schlechte Akzeptanz und sind nicht weit verbreitet. Dies dürfte in erster Linie an den Unsicherheiten bei der Anlage und einer noch fehlenden breiteren Palette von angepassten und sicheren Mischungen liegen. Es braucht sicher noch weitere ermutigende Versuchsergebnisse, welche auch die positiven Nebeneffekte wie verbesserte Tragfähigkeit des Bodens bei der Ernte und N-Fixierung noch besser aufzeigen. Zudem muss auch noch die Beratung von Untersaaten im Getreide überzeugt werden.

Fazit Untersaaten

Die an der HAFL durchgeführten Versuche zeigen, dass mit zum guten Zeitpunkt angelegten Untersaaten gute Erträge möglich sind. Diese liegen höher als die der Kontrolle mit mechanischer Unkrautregulierung und haben den Vorteil eines zusätzlichen Futterwerts. Damit leisten sie auch im Sinne einer ökologischen Intensivierung (MacLaren 2022) einen Beitrag zur Erhöhung der Selbstversorgung.

5.2.3 Substitution

Im Mittel der Jahre 2017-2019 machten die drei für Winterweizen relevantesten Wirkstoffe folgenden Anteil an allen Herbizidbehandlungen des Winterweizens aus: Diflufenican 10%, Thifensulfuron-methyl 5% und Flufenacet 2% (Tabelle 12). Das nicht weiter untersuchte 2,4-D machte 0.5% der in den AUI-Daten erfassten Behandlungen im Winterweizen aus.

Da bei der Substitution der Zeitpunkt der Wirkstoffanwendung eine grosse Rolle spielt, wird im Folgenden zwischen der Anwendung im Herbst und im Frühling entschieden.

Anwendungen im Herbst: Mit den Wirkstoffen Flufenacet und Diflufenican sind viele Produkte betroffen, welche im Herbst im Voraufbau oder frühen Nachaufbau eingesetzt werden, wohingegen Thifensulfuron in keinem herbiziden Produkt für die Anwendung im Herbst enthalten ist. Flufenacet ist immer in Mischung mit anderen Wirkstoffen, relativ häufig mit Diflufenican. Diflufenican ist als Einzelwirkstoff in verschiedenen Produkten erhältlich, hat aber bei keinem wichtigen Unkraut eine volle Wirkung. Diflufenican ist aber sehr häufig in Mischung mit anderen Wirkstoffen eingesetzt. Wenn man «nur» die drei oben erwähnten Wirkstoffe ausschliesst, verschwinden etwas mehr als die Hälfte der heute eingesetzten Produkte (fenaco 2021). Die Regulierung von schwer bekämpfbaren Unkräutern wie Klebern, Kamille und Stiefmütterchen wird schwieriger und anspruchsvoller. Wenn man die herbiziden Produkte mit Wirkstoffen mit besonderem Risikopotenzial gemäss BLW-Liste (BLW 2020b) und Produkte mit erhöhtem Risiko für das Grundwasser und die Oberflächengewässer (Tabelle 12) ausschliesst, verbleibt für die Herbstanwendung gerade noch der Wirkstoff Prosulfocarb (in verschiedenen Produkten als Einzelwirkstoff enthalten). Die Produkte mit dem Einzelwirkstoff Prosulfocarb haben jedoch nur eine Teilwirkung gegen Kamille, Stiefmütterchen und nicht eine volle Wirkung gegen Gräser. Die Tatsache, dass nur noch ein einziger Wirkstoff übrigbleibt, ist für die Resistenzsituation natürlich ungünstig.

Wirkstoff	Anteil aller Herbizid-behandlungen	Kumulativer Anteil	Resistenz-gruppe	Grundwasser-Score (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächen-gewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
Iodosulfuron-methyl-Na	15%	15%	B	0.37	1.5	
Mesosulfuron-methyl	13%	28%	B	1.11	3.3	
Florasulam	10%	38%	B	0.79	0.4	
Diflufenican	10%	48%	F ₁	4.45	54.0	X
Metsulfuron-methyl	7%	55%	B	0.40	4.3	X
Pyroxsulam	6%	61%	B	0.92	2.3	
Tribenuron-methyl	5%	66%	B	1.67	0.9	
Glyphosat ^[1]	5%	71%	G	0	0.2	
Thifensulfuron-methyl	5%	75%	B	6.02	22.5	
Fluroxypyr	4%	79%	O	0	0.0	
Pinoxaden	3%	82%	A	5.47	kein CQK, aber RS < 1	
Amidosulfuron	3%	85%	B	1.91	0.2	
Chlorotoluron	2.5%	87.9%	C ₂	0	26.8	X
Flufenacet	2.1%	90.0%	K ₃	5.40	51.5	X
Pendimethalin	1.5%	91.5%	K ₁	0.08	48.0	X
Isoproturon ^[2]	1.5%	93.0%	C ₂	Kein Wert	NA	X
Fenoxaprop-P-ethyl	1.1%	94.1%	A	0	kein CQK, aber RS < 1	
Clopyralid	1.0%	95.1%	O	0	6.0	
Mecoprop-P	0.9%	95.9%	O	0	4.4	
Tritosulfuron	0.8%	96.7%	B	10.4	0.6	
Metribuzin	0.5%	97.2%	C ₁	9.66	36.8	X
Flupyrsulfuron-methyl ^[2]	0.5%	97.7%	B	Kein Wert	NA	
2,4-D	0.5%	98.1%	0	0	6.6	
Dicamba	0.4%	98.5%	0	0	2.0	
Prosulfocarb	0.3%	98.9%	N	0	35.7	

Tabelle 12: Prozentuale Verteilung der in den Jahren 2017-2019 im Anbau von Winterweizen eingesetzten herbiziden Wirkstoffe (Quelle: Agroscope). Wirkstoffe bis zum kumulativen Anteil von 99% aufgeführt. Die Grundlagen der Beurteilungskriterien gemäss Abschnitt 5.1. Blaue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit erhöhter Anzahl CQK-Überschreitungen und dunkelgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren mobilen Metaboliten bzw. erhöhter nRS (normalisierter Risikoscore für Oberflächengewässer). Hellgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren Metaboliten im Übergangsbereich zwischen mobil und nicht mobil bzw. mittlerer nRS, NA: Fehlende Angaben zur Berechnung des nRS. ^[1] Nicht in Kultur eingesetzt, sondern nach der Ernte z.B. für die Queckensanie- rung ^[2] Mittlerweile nicht mehr zugelassener Wirkstoff.

Anwendungen im Frühling: Die Auswahl an Wirkstoffen und Produkten ist in den Anwendungen im Frühling viel höher. Wenn die drei Wirkstoffe Diflufenican, Thifensulfuron-methyl und Flufenacet nicht mehr zur Verfügung stehen, ist eine Bekämpfung auch für eher schwierig zu bekämpfende Unkräuter von der Seite der Wirkung her noch problemlos möglich. Es findet aber eine Einschränkung bezüglich Resistenzgruppen statt, was heisst, dass das Resistenzrisiko steigen würde. Bei den Produkten für die Frühlingsanwendung stehen deutlich weniger Wirkstoffe auf der Liste der PSM mit besonderem Risikopotenzial (BLW 2020b). Wenn die Produkte mit Wirkstoffen mit erhöhtem Risiko und solche mit erhöhtem Risiko für Grundwasser und Oberflächengewässer (Tabelle 12) ausgeschlossen werden, verringert sich die Anzahl möglicher Produkte zwar um rund die Hälfte, es stehen aber von der Wirkungsseite her noch genügend Produkte für eine gute Wirkung zur Verfügung. Auch bei den Gräsern Windhalm und Ackerfuchsschwanz gibt es noch gute Möglichkeiten. Das Hauptproblem ist die Resistenzfrage. Die verbleibenden Wirkstoffe beschränken sich auf die Resistenzgruppen B (hauptsächlich), A und O (wenige). Alle Produkte aus anderen Gruppen verschwinden.

5.2.4 Fazit Winterweizen

Die Wirkung und die Kosten der mechanischen Unkrautregulierung im Winterweizen sind stark abhängig von den Witterungsbedingungen des jeweiligen Jahres und dem Unkrautdruck auf der jeweiligen Parzelle. Zwei Durchfahrten zur mechanischen Unkrautregulierung liegen in der Kostenrechnung leicht unter einer rein chemischen Behandlung. Die rein mechanische Unkrautregulierung wird durch das Labelprogramm «herbizidlos» von IP-Suisse sicher zunehmen, weil die Mehraufwände und eventuelle Mindererträge durch die Labelprämie ausgeglichen werden. Wirtschaftlich gesehen schreiben Böcker und Finger (2018) dem herbizidlosen Anbau dank den Bundesbeiträgen ein gutes Potenzial zu. Für die noch relative schwache Beteiligung bei den bisherigen Ressourceneffizienzbeiträgen orten sie einerseits ein erhöhtes Ertragsausfallrisiko auf einzelnen Flächen und die Sorge einer zu starken Verunkrautung in der Folgekultur. Leider ist in der Direktzahlungsverordnung ab 1.1.2023 (Umsetzung der Parlamentarischen Initiative Pa.Iv.19.475) beschlossen, dass Beiträge nicht mehr pro Parzelle, sondern nur pro Kultur ausgerichtet werden. Dies dürfte zu einem klaren Rückgang der Flächen mit Herbizidverzicht bei den bisherigen Ressourceneffizienzbeiträgen des Bundes führen. Wenn ein Betriebsleiter 5 Parzellen Getreide hat und eine davon mit Kleberbesatz, wird er nicht mitmachen. Der weitere Hinderungsgrund der beschränkten Dauer des Ressourceneffizienzprogramms des Bundes fällt hingegen per 1.1.2023 mit dessen Umwandlung in zeitlich nicht beschränkte Produktionssystembeiträge dahin. Dadurch ist die Abschreibung der nötigen Investitionen deutlich besser planbar. Eine Untersaat in Winterweizen könnte in Zukunft interessant sein. Hier müssen aber noch weitere Versuche gemacht werden und die Beratung muss helfen, die Untersaat mit ihren Vorteilen in die Praxis zu tragen.

Bei der Substitution der drei untersuchten Wirkstoffe muss zwischen Anwendungen im Herbst und Anwendungen im Frühling unterschieden werden. Während es bei ersteren keine Spielräume gibt, stehen für Anwendungen im

Frühling ausreichend Alternativen zur Verfügung, deren Profil nicht nur in Bezug auf Oberflächengewässer aber auch Grundwasser und generelle Risiken günstiger erscheint. Allerdings steigt das Resistenzrisiko, weil noch stärker auf die bereits gefährdete Resistenzgruppe der Sulfonylharnstoffe (B) gesetzt werden muss.

Bei der Optimierung ist vor allem die konservierende Bodenbearbeitung ein potenziell wirksamer Hebel. Winterweizen ist für Mulchsaaten geeignet, was einen Mehrwert zur Reduktion von Abschwemmung darstellt, sofern auf eine ausreichende Bodenbedeckung und eine geringe Bodenbearbeitungsintensität geachtet wird. Die übrigen risikomindernden Massnahmen wie Pufferstreifen oder Reduktion von Punktquellen sind nicht spezifisch für diese Kultur.

5.3 Unkrautregulierung in Wintergerste

Gerste ist nach Weizen die zweitwichtigste Getreideart. Die durchschnittliche Anbaufläche von 2017-2019 liegt bei 27'613 ha, was 10.1% der offenen Ackerfläche entspricht. Innerhalb des Getreides macht die Anbaufläche der Gerste 21.8% aus, wobei überwiegend Wintergerste angebaut wird. Die Gerstenfläche hat in den Jahren 2017-2019 leicht abgenommen. Die Gerstenfläche dürfte in Zukunft in etwa auf dem aktuellen Niveau stabil bleiben.

Gerste zeichnet sich wie Weizen ebenfalls durch eine schnelle Jugendentwicklung aus, tendenziell sogar noch etwas schneller, da der Saatzeitpunkt der Wintergerste vor dem Saatzeitpunkt des Weizens liegt und der Boden noch etwas wärmer ist. Der wesentliche Unterschied zum Winterweizen ist bei der Wintergerste, dass sie das empfindliche Entwicklungsstadium vom 3-Blatt-Stadium bereits im Herbst erreicht und somit bei Normalsaaten die Unkrautregulierung auch im Herbst erfolgen muss und im Frühling nur noch Korrekturbehandlungen zum Beispiel gegen später aufgelaufene Klebern angezeigt sind.

Wie beim Weizen hat die pfluglose Bodenbearbeitung, in erster Linie die Mulchsaat klar zugenommen. Die Direktsaatfläche dürfte sich kaum verändert haben.

Die nahezu vollständig dem Getreideanbau zuzuordnenden Wirkstoffe sind Diflufenican und Thifensulfuron-methyl. Auf die Wintergerste entfallen 43 bzw. 16% der eingesetzten Menge (Tabelle 3). Bei Flufenacet sind es 22% Anteil an der insgesamt eingesetzten Menge und damit trotz kleinerer Fläche ein höherer Anteil als der des Winterweizens. Dies dürfte auf die Herbstanwendungen im frühen Nachauflauf zurückzuführen sein.

5.3.1 Mechanische Unkrautregulierung

Die Verfahren in der Gerste unterscheiden sich nicht zu den Verfahren im Weizen (Kapitel 5.2.1). Der wesentliche Unterschied liegt in der Tatsache, dass die Unkrautregulierung in der Wintergerste im Herbst erfolgen muss.

Wirksamkeit

In einem normalen Herbst sind die Bedingungen für die mechanische Regulierung weniger gut als im Frühling. Die Böden trocknen nach Niederschlägen weniger rasch ab und die Luftfeuchtigkeit ist deutlich höher, insbesondere bei Nebel. Damit ist die Wirkung weniger gut, weil die Unkräuter auf der Bodenoberfläche schlecht vertrocknen. Hingegen herrschen in der Regel noch gute Bedingungen für einen Herbizideinsatz, insbesondere für den am weitesten verbreiteten Einsatz im frühen Nachauflauf. Dann ist noch kaum mit Frost zu rechnen, die Tagestemperaturen sind nicht zu hoch, hingegen ist die Luftfeuchtigkeit genügend hoch. Da viele Herbizide eine Blatt- und Bodenwirkung aufweisen, kann im Normalfall von einer sicheren und guten Wirkung ausgegangen werden.

Kosten

Die Kosten sind analog zum Winterweizen. Allerdings dürfte das Risiko, dass die Parzelle schlechter befahrbar, die Witterung weniger günstig und die Wirkung schlechter ist, höher sein als im Winterweizen. Im Langzeitversuch vom Institut Agricole de Grangeneuve IAG von 1989 bis 2004 wurden die Unkrautregulierungsverfahren rein chemisch, integriert und rein mechanisch untersucht (Emmenegger 2005). Im integrierten Verfahren wurden die Unkrautbestände wenn möglich mechanisch reguliert, aber bei hohem Unkrautdruck, Problemunkräutern oder wenn die Bedingungen für die mechanische Unkrautregulierung nicht gegeben waren auch chemisch. In den Versuchsjahren gab es zweimal deutliche Ertragseinbussen im rein mechanischen Verfahren. In beiden Jahren handelte es sich um Wintergerste, weil das Wetter respektive die Bodenbedingungen für eine rein mechanische Unkrautregulierung schlecht waren (ebd.).

Wirtschaftliche Auswirkungen

Bei den wirtschaftlichen Auswirkungen gelten die gleichen Überlegungen wie von Böcker und Finger (2018) beim Weizen beschrieben. Die Reduktion der Deckungsbeiträge dürfte aber noch etwas ausgeprägter ausfallen.

Akzeptanz

Die rein mechanische Unkrautregulierung nimmt auch in der Wintergerste zu, allerdings nicht in gleichem Ausmass wie im Winterweizen. Dies hängt damit zusammen, dass das Risiko für einen Misserfolg aus den oben erwähnten Gründen höher ist und nebst den REB bzw. ab 1.1.2023 den Produktionssystembeiträgen keine weiteren wirtschaftlichen Anreize wie zum Beispiel bei IP-Suisse Weizen vorhanden sind. Wie beim Weizen sind auch bei der Gerste gute Kenntnisse des vorhandenen Unkrautbestandes und der allgemeinen Einschätzung der Situation (Boden, Witterung, Zustand Kultur) nötig.

5.3.2 Untersaaten

Untersaaten werden in der Wintergerste nur selten angewendet. Dies hängt damit zusammen, dass man im Frühling in praktisch jedem Fall mit der Untersaat zu spät kommt, weil der Bestand bereits zu weit fortgeschritten ist (meist Ende Bestockung), zu wenig Licht vorhanden ist und die Untersaat kaum eine Chance hat sich zu entwickeln. Eine Untersaat im Herbst hat ebenfalls nicht sehr gute Aussichten, weil sich die Untersaatpflanzen zu wenig gut entwickeln können und dann auswintern.

5.3.3 Substitution

Da in der Wintergerste in den allermeisten Fällen eine Herbstanwendung praktiziert wird, gelten die gleichen Aussagen wie bei Herbstanwendung im Winterweizen. Wenn auf die Wirkstoffe Diflufenican, Thifensulfuron-methyl und Flufenacet verzichtet werden soll, fallen etwa die Hälfte der Produkte weg. Mit den verbleibenden Wirkstoffen wird es schwieriger und anspruchsvoller die Unkräuter zu kontrollieren, weil mehr Teilwirkungen und Wirkungslücken vorhanden sind. Insbesondere wird es schwierig, wenn breitblättrige Unkräuter und Ungräser erfasst werden sollen. Eine Lösung könnten eventuell Tankmischungen oder Zweitbehandlungen sein, was aber die Kosten und den Arbeitsaufwand erhöht. Klebern müssen eventuell im Frühling nachbehandelt werden. Das Resistenzrisiko steigt, weil Wirkstoffgruppen wegfallen. Wenn keine Pflanzenschutzmittel mit besonderem Risiko gemäss Liste BLW und keine Wirkstoffe mit erhöhtem Risiko für Grundwasser und Oberflächengewässer (Tabelle 13) eingesetzt werden sollen, verbleibt auch bei der Wintergerste nur noch der Wirkstoff Prosulfocarb (in verschiedenen Produkten als Einzelwirkstoff enthalten).

Im Mittel der Jahre 2017-2019 machten die drei Wirkstoffe folgenden Anteil an allen Herbizidbehandlungen der Wintergerste aus: Diflufenican 21%, Flufenacet 10% und Thifensulfuron-methyl 3% (Tabelle 13).

Wirkstoff	Anteil aller Herbizidbehandlungen	Kumulativer Anteil	Wirkung gegen Gräser X = gute Wirkung, (X) = Teilwirkung	Resistenzgruppe	Grundwasser-Score (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächengewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
Diflufenican	21%	21%		F ₁	4.45	54.0	X
Chlorotoluron	13%	34%	X	C ₂	0.00	26.8	X
Flufenacet	10%	44%	(X)	K ₃	5.4	51.5	X
Glyphosat ^[1]	7%	52%	X	G	0.00	0.2	
Pendimethalin	7%	59%	(X)	K ₁	0.08	48.0	X
Florasulam	7%	66%		B	0.79	0.4	
Pinoxaden	6%	72%	X	A	5.5	kein CQK, aber RS < 1	
Metsulfuron-methyl	5%	77%		B	0.40	4.3	X
Isoproturon ^[2]	4%	81%	X	C ₂	Kein Wert	NA	X
Tribenuron-methyl	4%	85%		B	2	0.9	
Fluroxypyr	3%	88%		O	0.00	0.0	
Thifensulfuron-methyl	3%	91%		B	6.0	22.5	
Mecoprop-P	1.1%	91.9%		O	0.00	4.4	

Wirkstoff	Anteil aller Herbizidbehandlungen	Kumulativer Anteil	Wirkung gegen Gräser X = gute Wirkung, (X) = Teilwirkung	Resistenzgruppe	Grundwasser-Score (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächengewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
Amidosulfuron	0.9%	92.8%		B	1.91	0.2	
Iodosulfuron-methyl-Natrium	0.8%	93.6%	X	B	0.37	1.5	
Metribuzin	0.7%	94.3%	(X)	C ₁	9.7	36.8	X
Tritosulfuron	0.7%	94.9%		B	10.4	0.6	
Dicamba	0.7%	95.6%		O	0	2.0	
Clopyralid	0.6%	96.2%		O	0	6.0	
Fenoxaprop-P-ethyl	0.6%	96.8%	(X)	A	0.0	kein CQK, aber RS < 1	
Flupyrsulfuron-methyl ^[2]	0.4%	97.2%	X	B	Kein Wert	NA	
Carfentrazone-ethyl	0.3%	97.5%		E	8.0	kein CQK, aber RS < 1	
Prosulfocarb	0.3%	97.9%	(X)	O	0	35.7	
MCPA	0.3%	98.1%		O	0	22.3	
Mesosulfuron-methyl	0.14%	99.0%	X	B	1.11	3.3	

Tabelle 13: Prozentuale Verteilung der in den Jahren 2017-2019 im Anbau von Wintergerste eingesetzten herbiziden Wirkstoffe (Quelle: Agroscope). Wirkstoffe bis zum kumulativen Anteil von 99% aufgeführt. Die Grundlagen der Beurteilungskriterien gemäss Abschnitt 5.1. Blaue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit erhöhter Anzahl CQK-Überschreitungen und dunkelgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren mobilen Metaboliten bzw. erhöhter nRS (normalisierter Risikoscore für Oberflächengewässer). Hellgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren Metaboliten im Übergangsbereich zwischen mobil und nicht mobil bzw. mittlerer nRS, NA: Fehlende Angaben zur Berechnung des nRS.

^[1] Nicht in Kultur eingesetzt, sondern nach der Ernte z.B. für die Queckensanie-
^[2] Mittlerweile nicht mehr zugelassener Wirkstoff.

5.3.4 Fazit Wintergerste

Die mechanische Unkrautregulierung ist bei der Wintergerste weniger geeignet als beim Winterweizen. Als Folge davon ist auch die Wirtschaftlichkeit tiefer, zumal es bisher keine Labelprämien für herbizidlose Gerste gibt. In günstigen Jahren ist sie aber dennoch eine Option.

Da die Unkrautregulierung in der Wintergerste normalerweise im Herbst geschehen muss, gibt es bei der Substitution wenig Spielraum. Diflufenican und Flufenacet machen aktuell einen Drittel aller Behandlungen aus (Tabelle 13). Mit den verbleibenden Wirkstoffen wird die Mittelwahl recht stark eingeschränkt, und vor allem wird es schwierig mit einem Einzelprodukt eine gute

Wirkung auf wichtige Unkräuter und Ungräser zu erreichen, was zu Tankmischungen oder Zweitbehandlungen führen wird. Das Resistenzrisiko steigt.

Bezüglich der Optimierung kommen die gleichen Massnahmen wie beim Winterweizen in Frage also primär die Optimierung der Mulchsaat im Hinblick auf die Reduktion des Oberflächenabflusses.

5.4 Unkrautregulierung im übrigen Getreide

Die durchschnittliche Anbaufläche der Sammelgruppe «übriges Getreide», also aller Getreidearten ausser Weizen und Gerste, liegt für die Jahre 2017-2019 bei 17'874 ha (6.5% der offenen Ackerfläche). Innerhalb des Getreides macht die Anbaufläche der übrigen Getreidearten 14.1% aus. In dieser Sammelgruppe hat die Fläche von Roggen und Triticale in den letzten Jahren kontinuierlich abgenommen, während die Fläche von Dinkel zugelegt hat. Insgesamt blieb die Fläche in den letzten Jahren bei ca. 18'000 ha stabil. Die Fläche von Dinkel dürfte in Zukunft weiter zulegen, weil der Absatzmarkt sehr gut ist und die Richtpreise leicht erhöht wurden. Ob Triticale weiter an Fläche verlieren wird, ist schwierig zu sagen. Die Kultur Roggen dürfte die Fläche halten können. Die Kultur Hafer könnte auf tiefem Niveau zulegen (Hafermilch). Zulegen werden die Getreidearten Emmer, Einkorn und Rispenhirse, jedoch bewegen sich diese auf einem sehr niedrigen Flächenniveau.

Die Mulchsaat hat auch in der Gruppe «übriges Getreide» zugenommen. Beim Hafer dürfte die Zunahme der Mulchsaaten gegenüber den übrigen Getreidearten etwas tiefer sein. Der grösste Teil des Hafers wird als Sommerform im frühen Frühling ausgesät, was den kleineren Teil der Mulchsaat erklären könnte. Bei der Rispenhirse wird auf Biobetrieben meist gepflügt, da so für die anspruchsvolle Unkrautregulierung möglichst gute Bedingungen geschaffen werden.

Die nahezu vollständig dem Getreideanbau zuzuordnenden Wirkstoffe sind Diflufenican und Thifensulfuron-methyl. Auf das übrige Getreide entfallen 11 bzw. 16% der eingesetzten Menge (Tabelle 3). Flufenacet spielt beim übrigen Getreide mit 4% Anteil an der insgesamt eingesetzten Menge nur eine marginale Rolle.

5.4.1 Mechanische Unkrautregulierung

Die Verfahren in der Gruppe der «übrigen Getreide» unterscheiden sich nicht zu den Verfahren im Weizen (Kapitel 5.2.1). Die Unkrautregulierung wird beim Roggen in der Regel im Herbst gemacht, bei allen anderen Getreidearten im Frühling.

Dinkel eignet sich grundsätzlich gut für eine rein mechanische Unkrautregulierung. Dinkel ist gut spätsaatverträglich und damit ist der allgemeine Unkrautdruck tiefer. Zudem hat Dinkel eine grosse Pflanzenhöhe, was weniger Licht an den Boden lässt, und Dinkel darf nur moderat gedüngt werden, weil er sonst lagert, was ebenfalls vorteilhaft ist bezüglich Verunkrautung.

Auch Roggen hat in der mechanischen Unkrautregulierung Vorteile gegenüber den Getreidearten Weizen und Gerste, weil er relativ rasch den Boden

bedeckt und wie Dinkel ebenfalls lange Halme entwickelt. Auch Hafer hat eine recht gute Unkrautkonkurrenz durch eine relativ rasche Bodenbedeckung und gute Beschattung. Triticale ist mit Weizen zu vergleichen. Hirse wird fast ausschliesslich auf Biobetrieben angebaut und ist eine recht herausfordernde Kultur bezüglich rein mechanischer Unkrautregulierung. Hirse wird im späteren Frühling ausgesät und sobald die Temperaturen etwas kühl werden, wird das Wachstum stark verlangsamt oder für eine gewisse Zeit gar eingestellt.

Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der mechanischen Regulierung lässt sich vergleichen mit der Wirksamkeit beim Weizen (Kapitel 5.2.1).

Kosten

Auch die Kosten sind vergleichbar mit den Kosten im Weizen

Akzeptanz

Die Akzeptanz der rein mechanischen Unkrautregulierung ist bei den übrigen Getreidearten ausser bei Hafer und Triticale eher höher einzuschätzen als bei Weizen und Gerste. Dies dürfte auf die oben beschriebenen Eigenschaften der Pflanzen (bessere Unkrautunterdrückung als Weizen), die extensive Kulturführung und den höheren Bioanteil zurückzuführen sein.

5.4.2 Untersaaten

Untersaaten sind im Dinkel recht verbreitet. Weil die Getreideart in der Regel extensiv angebaut wird, hat eine Untersaat recht gute Chancen. Weil Dinkel häufig eher spät gesät wird, ist die Entwicklung der Pflanzen im Frühling noch klein, was der Etablierung der Untersaat entgegenkommt. Bei den übrigen Getreidearten sind Untersaaten eher selten anzutreffen, bei der Hirse sind sie kaum realisierbar.

Wirksamkeit, Kosten, Wirtschaftliche Auswirkungen, Akzeptanz

Den Autoren liegen keine Studien zur Wirksamkeit, Kosten, wirtschaftlichen Auswirkungen und Akzeptanz von Untersaaten in dieser sehr heterogenen Sammelgruppe verschiedener Getreidearten vor.

5.4.3 Substitution

Im Mittel der Jahre 2017-2019 machten die zwei relevanten Wirkstoffe folgenden Anteil an allen Herbizidbehandlungen der Sammelgruppe übriges Getreide aus: Diflufenican 9% und Thifensulfuron-methyl 5% (Tabelle 14). Flufenacet, dessen Anteil am Gesamteinsatz marginal ist (Tabelle 3), hat in der Sammelgruppe einen Anteil von 2.6%. Das nicht weiter untersuchte 2,4-D machte 0.8% der in den AUI-Daten erfassten Behandlungen im übrigen Getreide aus.

Wirkstoff	Anteil aller Herbizidbehandlungen	Kumulativer Anteil	Wirkung gegen Gräser X = gute Wirkung, (X) = Teilwirkung	Resistenzgruppe	Grundwasser-Score (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächengewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
Metsulfuron-methyl	11%	11%		B	0.40	4.3	X
Florasulam	10%	22%		B	0.79	0.4	
Diflufenican	9%	30%		F ₁	4.5	54.0	X
Pyroxulam	8%	39%	(X)	B	0.92	2.3	
Glyphosat ^[1]	7%	46%	X	G	0	0.2	
Tribenuron-methyl	7%	53%		B	1.67	0.9	
Fluroxypyr	6%	59%		O	0	0.0	
Chlorotoluron	5%	64%	X	C ₂	0	26.8	X
Iodosulfuron-methyl-Natrium	5%	69%	X	B	0.37	1.5	
Thifensulfuron-methyl	5%	74%		B	6.0	22.5	
Mesosulfuron-methyl	3%	78%		B	1.11	3.3	
Pendimethalin	3%	81%	(X)	K ₁	0.1	48.0	X
Flupyr-sulfuron-methyl ^[2]	2.7%	83.4%	X	B	Kein Wert	NA	
Flufenacet	2.6%	86.0%	(X)	K ₃	5.4	51.5	X
Isoproturon ^[2]	1.9%	87.9%	X	C ₂	Kein Wert	NA	X
Mecoprop-P	1.6%	89.5%		O	0.0	4.4	
Tritosulfuron	1.5%	91.0%		B	10.4	0.6	
Fenoxaprop-P-ethyl	1.5%	92.5%	(X)	A	0	Nicht auf Liste VSA	
Pinoxaden	1.4%	93.9%	X	A	5.5	kein CQK, aber RS < 1	
Amidosulfuron	0.8%	94.7%		B	1.9	0.2	
2,4-D	0.8%	95.5%		O	0.0	6.6	
Metribuzin	0.6%	96.0%	(X)	C ₁	9.7	36.8	X
Carfentrazone-ethyl	0.6%	96.6%		E	8	kein CQK, aber RS < 1	
Clopyralid	0.5%	97.1%		O	0	6.0	
Dicamba	0.5%	97.6%		O	0	2.0	

Wirkstoff	Anteil aller Herbizidbehandlungen	Kumulativer Anteil	Wirkung gegen Gräser X = gute Wirkung, (X) = Teilwirkung	Resistenzgruppe	Grundwasserscore (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächengewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
MCPB	0.4%	98.0%		O	0	40.0	
MCPA	0.4%	98.5%		O	0	22.3	
Bentazon	0.34%	98.8%		C3	NA ^[3]	<0.1	X

Tabelle 14: Prozentuale Verteilung der in den Jahren 2017-2019 im Anbau von übrigem Getreide eingesetzten herbiziden Wirkstoffe (Quelle: Agroscope). Wirkstoffe bis zum kumulativen Anteil von 99% aufgeführt. Die Grundlagen der Beurteilungskriterien gemäss Abschnitt 5.1. Blaue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit erhöhter Anzahl CQK-Überschreitungen und dunkelgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren mobilen Metaboliten bzw. erhöhter nRS (normalisierter Risikoscore für Oberflächengewässer). Hellgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren Metaboliten im Übergangsbereich zwischen mobil und nicht mobil bzw. mittlerer nRS, NA: Fehlende Angaben zur Berechnung des nRS.
^[1] Nicht in Kultur eingesetzt, sondern nach der Ernte z.B. für die Queckensanierung. ^[2] Mittlerweile nicht mehr zugelassener Wirkstoff. ^[3] Grundwasserscore Metaboliten < 0.1, aber Wirkstoff mehrfach über numerischen Anforderungen für Grundwasser gemessen

5.4.4 Fazit übriges Getreide

In der Sammelgruppe übriges Getreide gibt es durchaus Spielraum für die mechanische Unkrautregulierung vor allem bei Dinkel und Roggen. Beim Dinkel sind auch Untersaaten interessant.

Bei der Substitution ist die Bedeutung der beiden zu ersetzenden Wirkstoffe im Wirkstoffranking etwas kleiner und es steht auch eine ausreichende Anzahl an alternativen Wirkstoffen mit günstigem Profil zur Verfügung. Bezüglich der Optimierung kommen abgesehen vom Hafer die gleichen Massnahmen wie beim Winterweizen in Frage.

5.5 Unkrautregulierung in Kartoffeln

Die durchschnittliche Kartoffelanbaufläche von 2017-2019 liegt bei 11'121 ha (4.1% der offenen Ackerfläche). Die Anbaufläche war in den letzten Jahren stabil und wird auch in den nächsten Jahren stabil bleiben. Der Anteil der Kartoffeln, welche mit einem Anbauvertrag angebaut werden, ist relativ hoch.

Die Kartoffeln gehören zu den Hackfrüchten und haben gegenüber Unkräutern je nach Sorte eine mehr oder weniger gute Konkurrenzkraft, benötigen aber bis zum Schliessen der Reihen immer eine Unkrautkontrolle. Untersuchungen in Bayern haben gezeigt, dass Kartoffeln ohne Unkrautregulierung im Vergleich zu Herbizideinsatz rund 40% weniger Ertrag ergeben (Gehring 2008). Eine besondere Rolle spielt bei den Kartoffeln die Ernteerschwerung durch Unkräuter.

Bei der Grundbodenbearbeitung für das Pflanzen der Kartoffeln ist der Pflug sicher immer noch weit verbreitet, weil Kartoffeln häufig nach Wintergetreide angebaut werden und dazwischen ein Zwischenfutter angesät wird. Auf mittelschweren oder leichten Böden werden nach einer abfrierenden Zwischenkultur in den letzten Jahren aber auch vermehrt pfluglose Systeme wie zum Beispiel Grubber oder sogar nur Zinkenrotor eingesetzt. Ein neuer Ansatz ist der Einsatz des Geohobels. Der Geohobel «fräst» die oberste Bodenschicht ab und die Grünmasse wird in die oberste Bodenschicht eingearbeitet. Damit können geschlossene Pflanzenbestände (Zwischenfutter, Wiese) ohne Pflug und ohne Herbizide für die Kartoffelpflanzung vorbereitet werden. Mit dem Geohobel braucht es aber zwei Durchgänge und damit die Grünmasse nicht zu faulen beginnt, sollte ein Rottelenker (Kräuterfermente und Bakterien) eingesetzt werden.

Gemäss Tabelle 3 ist der Kartoffelanbau die wichtigste Kultur für Metribuzin mit 71% der eingesetzten Menge. Für Flufenacet stellen Kartoffeln eine begrenzt relevante Kultur dar.

5.5.1 Vollständig mechanische Unkrautregulierung

Die Kartoffel ist eine Hackfrucht und wird in Dämmen angebaut. Das sind grundsätzlich sehr gute Voraussetzungen für eine mechanische Unkrautregulierung. Klassisches Vorgehen bei rein mechanischer Unkrautregulierung (siehe Tabelle 15):

- Flaches Zudecken beim Pflanzen (der Damm soll sich rasch erwärmen und dadurch die Kartoffeln rasch auflaufen)
- Striegeln mit dem Hackstriegel, wenn die ersten Unkräuter gekeimt haben (hohe Flächenleistung, gute Wirkung auf dem Damm)
- Kurz nach dem Striegeln aufhäufeln
- Vorgang je nach Wetter und Temperatur nach ca. 2 Wochen wiederholen
- Eventuell kurz vor dem Schliessen der Reihen noch einmal häufeln respektive Durchgang mit dem Dammformer

Wichtig ist der kontinuierliche Dammaufbau. Anstelle des Hackstriegels können auch Kammstriegel mit dem Hackgerät eingesetzt werden. Diese arbeiten jedoch je nach Bodenart und Fabrikat zu wenig intensiv, so dass auf den Furchenkämmen die Unkräuter zu wenig bekämpft werden.

Bei der Hackarbeit ist es wichtig, dass nicht zu tief gearbeitet wird (Verletzung der Stolonen) und nur der genügend abgetrocknete Boden bearbeitet wird, damit keine Schollen entstehen, welche dann die Ernte erschweren.

In Saatkartoffeln können durch mechanische Pflegearbeiten nach dem Auflaufen der Kartoffeln mechanisch übertragbare Viren (Mosaik X und S) übertragen werden. Dieser Effekt darf aber nicht überschätzt werden.

Ein neues Verfahren ist sogenannter Transfermulch. Dazu wird nach dem Striegeldurchgang und dem anschliessenden Aufhäufeln bereits der Enddamm geformt und dann wird eine 6-7cm dicke Schicht von Gras- oder Strohmulch über die Furchen gestreut. Die HAFL macht seit einigen Jahren Versuche zu diesem System. Die Vorteile dieses Systems sind folgende:

- Die Dämme sind bei Starkregen vor Erosion geschützt, bevor die Kartoffeln den Boden bedecken
- Durch den Mulch sind die Schwankungen der Tages- und Nachttemperaturen im Furchendamm geringer. So wachsen die Knollen gleichmässiger und die Bodenmikroorganismen haben weniger Stress
- In den Versuchen der HAFL konnte signifikant weniger Spätverunkrautung festgestellt werden
- In trockenen Jahren wurden auf Standorten, die nicht bewässert werden können, deutliche Mehrerträge vermarktbarer Ware gemessen.
- Strohmulch bindet den im Boden vorhandenen Stickstoff nach der Ernte, so dass weniger ausgewaschen wird.
- Mit Strohmulch ist die Aktivität der Mikroorganismen im Boden signifikant höher als ohne Mulch.
- In der Folgekultur Winterweizen mit Grasmulch wurden höhere Erträge festgestellt



Abbildung 13 Versuch mit Transfermulch in Kartoffeln an der HAFL 2020. Zu sehen sind verschiedene Mulchmaterialien.

Leider ist das Verfahren insgesamt arbeits- und kostenintensiv. In trockenen Jahren hat aber der Mehrertrag die Kosten des Mulchens deutlich übertroffen, in feuchten Jahren wie 2021 wurden die Kosten klar nicht gedeckt.

Wirksamkeit

Eine rein mechanische Unkrautregulierung bedingt entsprechendes Wetter. Wenn das einigermaßen gegeben ist, lässt sich das Unkraut in den Kartoffeln erfolgreich regulieren und auch schwieriger bekämpfbare Unkräuter wie Klebern lassen sich recht gut regulieren. Im nassen Jahr 2021 hat man aber teilweise stark verunkrautete Kartoffelfelder angetroffen. Die Zeitfenster, zwischen der Befahrbarkeit des Bodens und dem nächsten Regen waren

teilweise sehr eng. Wenn Problemunkräuter zur Versamung kommen, kann dies natürlich in den Folgekulturen Probleme verursachen.

Kosten

Im ÖLN-Anbau wird der grösste Teil der Kartoffelfläche mit Herbiziden behandelt. Die Gründe sind im ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Bereich zu suchen. Aufgrund der verfügbaren Herbizide hat sich eine Vorauflaufbehandlung mit breit wirksamen Bodenherbiziden als Standard etabliert. Die rein mechanische Unkrautregulierung ist zeit- und kostenaufwändiger als eine einmalige Behandlung mit einem Herbizid (Tabelle 15). Der Unterschied macht gut CHF 160/ha aus. Der ab dem 1.1.2023 vom Bund verfügbare Produktionssystembeitrag für Herbizidverzicht von CHF 600/ha gleicht diese Lücke mehr als aus. Ab 1.1.2023 ist gemäss Direktzahlungsverordnung in Kartoffeln beim Beitrag für den Verzicht auf Herbizide die chemische Krautvernichtung zulässig. Damit entfällt die bisher wichtige Hürde der obligatorischen nichtchemischen Krautvernichtung. So war gemäss IP-Suisse in den letzten drei Jahren ein kompletter Herbizidverzicht mit maximal 30 ha relativ selten, während ein Teilverzicht auf bis zu 700 ha praktiziert wurde, was rund 6% der Schweizer Kartoffelfläche entspricht (Ryser 2022). Grundsätzlichen stünden für die nichtchemische Krautvernichtung folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Thermische Krautvernichtung: Mit dieser Methode werden die Kartoffelstauden durch Hitze zerstört. Dabei wird mit Gas eine Flamme erzeugt, welche das Kartoffelkraut abtötet. Diese Methode funktioniert rückstandslos, braucht aber enorm viel Energie und ist aus dieser Sicht zu hinterfragen. Wenn viel Kraut vorhanden ist, kann es vorgängig abgeschlegelt werden. Dies bedingt aber eine weitere Durchfahrt und zusätzliche Kosten
- Abschlegeln: Mit einem mechanischen Gerät wird das Kartoffelkraut abgeschlagen. Nachteil: je nach Sorte und Zustand der Pflanzen treiben diese wieder aus. Damit ist unter Umständen die Qualität gefährdet
- Zupfen: Seit zwei Jahren werden in der Schweiz Versuche gemacht mit einer Zupfmaschine aus Holland. Diese Maschine reisst die Kartoffelstauden aus dem Boden und eliminiert damit die Nachteile des Abschlegelns. Die besten Resultate wurden erreicht, wenn die Kartoffeln vorgängig geschlegelt wurden. Dies bedingt jedoch eine zusätzliche Durchfahrt mit dem Schlegler und damit Mehrkosten
- Elektrische Krautvernichtung: Die Firma Crop Zone hat ein Gerät entwickelt, welches mit sehr hoher elektrischer Spannung arbeitet. Die Pflanzen werden mit einer leitfähigen Flüssigkeit besprüht und dann mit der hohen elektrischen Spannung vernichtet.

Massnahmen		Quelle	Mechanische Unkrautregulierung	Klassische Herbizidbehandlung
			2x Hackstriege1 + 3 Hackdurchgänge	1x Fläche nbehandlung
Maschinenkosten Traktor (60kW) (Fr./ha)	Fixe Maschinenkosten	ART-Bericht 2021	CHF 70.81	CHF 20.83
	Kosten Reparatur	ART-Bericht 2021	CHF 19.13	CHF 5.63
	Kosten Treibstoff	KTBL	CHF 44.22	CHF 2.02
Maschinenkosten 15m Anbaufeldspritze (Fr./ha)		ART-Bericht 2021	CHF -	CHF 24.00
Maschinenkosten 6m Hackstriege1 (Fr./ha)		ART-Bericht 2021	CHF 42.00	CHF -
Maschinenkosten Kartoffelhack und -häufelgerät, 4 reinig (Fr./ha)		ART-Bericht 2021	CHF 162.00	CHF -
Arbeitsaufwand Lohn (Fr./ha)		ART-Bericht 2021	CHF 154.56	CHF 38.08
Kosten PSM (Fr./ha)		Zielsortiment 2021	CHF -	CHF 130.00
TOTAL (Fr./ha)			CHF 358.56	CHF 192.08
Feldarbeitszeit (h/ha)			4.25	1.25
Gesamte Arbeitszeit (inkl. Stör und Rüstzeit) (h/ha)			5.52	1.36

Tabelle 15 Verfahrenskosten bei verschiedenen Unkrautregulierungssystemen in den Kartoffeln.

Wirtschaftliche Auswirkungen

Neben den Kosten der Unkrautregulierung und der Krautvernichtung sind auch Auswirkungen auf den Ertrag zu berücksichtigen. Da keine aktuellen Daten zu diesen Faktoren vorliegen, musste auf quantitative Angaben zur Wirtschaftlichkeit verzichtet werden.

Akzeptanz

Die Akzeptanz der rein mechanischen Unkrautregulierung auf dem ÖLN-Betrieb ist klein. Die folgenden Gründe dürften dabei ausschlaggebend sein:

- Die zusätzliche Arbeitsbelastung (viele Landwirtschaftsbetriebe laufen am Limit). Sie ist gut 4h/ha (bei 3ha sind das bereits 12h) höher als bei der chemischen Variante und fällt in eine Zeit, wo auch andere wichtige Feldarbeiten gemacht werden müssen und je nach Betrieb bereits Arbeitsspitzen vorhanden sind.
- Die Unsicherheiten bezüglich Wetter und zusätzlichem Risiko: Insbesondere die Frage, ob genügend grosse Zeitfenster vorhanden sind, um die mechanische Unkrautkontrolle zur richtigen Zeit erfolgreich durchzuführen.
- Eventuell zusätzlich Investitionen, wenn Hackstriege1 und Hackgerät nicht auf dem Betrieb vorhanden respektive eingemietet werden können.
- Der Ressourceneffizienzbeitrag konnte bisher nicht geltend gemacht werden, wenn das Kartoffelkraut chemisch vernichtet wird. Dies fällt aber ab 1.1.2023 mit dem neuen Produktionssystembeitrag für den Herbizidverzicht weg.
- Der Trend zum Anbausystem «All-in-One» (in einem einzigen Arbeitsdurchgang werden die Kartoffeln gepflanzt und gleich die Endform des Dammes erstellt), wo das System selber eine mechanische Unkrautkontrolle verhindert.

5.5.2 Substitution

Der in den letzten Jahren am häufigsten eingesetzt Wirkstoff, Diquat, ist nur noch bis Mitte 2022 zugelassen. Diquat kann zwar auch als Mischungs-partner zu Voraufbau-Bodenherbiziden gegen bereits aufgelaufene Unkräuter eingesetzt werden, dies dürfte aber nur eine sehr kleine Menge der gesamten eingesetzten Menge sein. Dass Diquat mit einem so hohen Anteil

bei den Behandlungen zu Buche steht, ist darauf zurückzuführen, dass es aktuell der mit Abstand am meisten eingesetzte Wirkstoff für die Vernichtung des Kartoffelkrautes ist, beliebt vor allem auch, weil es schnell wirkt. Ersetzt wird Diquat wohl in erster Linie durch Carfentrazon-ethyl und/oder Pyraflufen-Ethyl. Die letzte verbleibende Möglichkeit Caprinsäure und Caprylsäure – Produkt Siplant (natürliche Wirkstoffe pflanzlicher Herkunft) – wird sich kaum durchsetzen können, weil das Produkt teurer als die beiden anderen und die Wirkung etwas weniger sicher ist.

Häufig wird bei Voraufaufbehandlungen in Kartoffeln mit sogenannten «Tankmischungen» gearbeitet, um eine genügend breite Wirkung auf Unkräuter zu erzielen. Wenn zum Beispiel Klebern zu erwarten sind, wird der Wirkstoff Prosulfocarb (z.B. das Produkt Boxer) beigemischt. Prosulfocarb alleine hat aber zum Beispiel nur eine relativ schwache Wirkung auf Gänsefussarten. Wenn Franzosenkraut gehäuft vorkommt, kann der Wirkstoff Metobromuron (Proman, Soletto) beigemischt werden. Wenn Metribuzin nicht mehr zur Verfügung steht, gäbe es Möglichkeiten auf andere Produkte auszuweichen, wenn aber auch noch Flufenacet nicht mehr zur Verfügung stehen würde, wäre die Herausforderung schon viel grösser und die ausreichende Bekämpfung von bestimmten Unkräutern wie zum Beispiel Windenknöterich bereits schwierig.

Im Mittel der Jahre 2017-2019 machten die drei Wirkstoffe folgenden Anteil an allen Herbizidbehandlungen bei Kartoffeln aus: Diquat 35%, Metribuzin 22% und Flufenacet 5% (Tabelle 16). Zusammen decken die drei Wirkstoffe nahezu rund 60% aller Herbizid-Applikationen ab.

Wirkstoff	Anteil aller Herbizidbehandlungen	Kumulativer Anteil	Wirkung gegen Gräser X = gute Wirkung, (X) = Teilwirkung	Resistenzgruppe	Grundwasserscore (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächengewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
Diquat ^[1]	35%	35%		D	0	kein CQK (RS=2.4) ^[3]	X
Metribuzin	22%	57%	(X)	C ₁	9.7	36.8	X
Aclonifen	13%	70%	(X)	F ₃	0	116.7	X
Prosulfocarb	11%	81%	(X)	N	0	35.7	
Carfentrazone-ethyl	7%	88%		E	8.0	kein CQK, aber RS < 1	
Flufenacet	5%	93%	(X)	K ₃	5.4	51.5	X
Pyraflufen-ethyl	2%	95%		E	0	kein CQK (RS=6.5) ^[3]	
Pendimethalin	1%	96%	(X)	K ₁	0.1	48.0	X
Fluazifop-P-Butyl	1%	97%	X	A	5.0	15.9	
Flurochloridon	1%	98%	(X)	F ₁	2.7	503.6	
Clomazone	1%	98%	(X)	F ₃	0.003	2.4	
Glyphosat ^[4]	1%	99%	X	G	0	0.2	
MCPB	0.5%	99.3%		O	0	40.0	
Clethodim	0.3%	99.8%	X	A	4.6	0.1	
Quizalofop-P-ethyl	0.1%	99.9%	X	A	0.1	kein CQK, aber RS < 1	
Bentazon	0.1%	100.0%		C ₃	NA ^[2]	0.0	X

Tabelle 16: Prozentuale Verteilung der in den Jahren 2017-2019 im Kartoffelanbau eingesetzten herbiziden Wirkstoffe (Quelle: Agroscope). Der Vollständigkeit halber alle mindestens einmal erfassten Wirkstoffe aufgeführt. Grundlagen der Beurteilungskriterien gemäss Abschnitt 5.1. Blaue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit erhöhter Anzahl CQK-Überschreitungen und dunkelgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren mobilen Metaboliten bzw. erhöhter nRS (normalisierter Risikoscore für Oberflächengewässer). Hellgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren Metaboliten im Übergangsbereich zwischen mobil und nicht mobil bzw. mittlerer nRS, NA: Fehlende Angaben zur Berechnung des nRS. ^[1] Aufbrauchfrist 1.7.2022, ^[2] Grundwasserscore Metaboliten < 0.1, aber Wirkstoff mehrfach über numerischen Anforderungen für Grundwasser gemessen, ^[3] Keine Schwellenwerte für RS definiert, aber mittleres Risiko möglich, ^[4] Glyphosat nicht in Kultur eingesetzt, sondern nach der Ernte z.B. für die Queckensanierung.

5.5.3 Fazit Kartoffeln

Eine erfolgreiche rein mechanische Unkrautregulierung in den Kartoffeln ist grundsätzlich möglich. Trotzdem sind die Verbreitung und Akzeptanz auf den ÖLN-Betrieben gering. Hauptgründe sind Mehrkosten und Mehrarbeit, welche bis anhin nicht über Ressourceneffizienzbeiträge zum Herbizidverzicht gedeckt werden konnten, wenn die Krautvernichtung chemisch erfolgte. Dies wird ab 1.1.2023 allerdings nicht mehr der Fall sein, da dann auch die chemische Krautvernichtung zulässig sein wird, um den neuen Produktionssystembeitrag für Herbizidverzicht erhalten zu können. Dadurch dürfte die Teilnahme an diesem Programm deutlich attraktiver werden. Auch das zusätzliche Risiko, durch schlechtes Wetter spielt eine Rolle. Zudem wären eventuell zusätzliche Investitionen nötig. In den letzten Jahren hat das Anbausystem «All-in-One» zugenommen, welches nur mit Herbizid-Einsatz kompatibel ist.

Der Spielraum bei Substitution ist insgesamt eng. Beim Ersatz von Diquat als Staudenabbrennmittel muss noch auf die zwei verbleibenden chemisch-synthetischen Mittel ausgewichen werden. Bei der klassischen Vorauflauf-Herbizidbehandlung wird häufig mit Mischungen gearbeitet, um eine genügend breite Wirkung zu erreichen. Bei Wegfall von Metribuzin allein sind noch recht gute Alternativen vorhanden. Wenn weitere Wirkstoffe wegfallen, ist der Spielraum gering und die erfolgreiche Bekämpfung gewisser Unkrautarten wird schwieriger.

Eine vielversprechende allgemeine Massnahme zur Reduktion der Einträge in Oberflächengewässer könnte der konsequente Einsatz von Querdammhäuflern sein. Durch das Anlegen von Querdämmen kann der Wasserabfluss respektive die Erosion aus den Furchen nachhaltig gebremst werden.

5.6 Bekämpfung von Krankheiten im Winterweizen

Die beiden näher zu untersuchenden Fungizide mit relevantem Anteil im Winterweizen sind Spiroxamine mit 60% des Gesamteinsatzes und Cyprodinil mit 16% des Einsatzes. Azoxystrobin hat mit 5% des Gesamteinsatzes einen im Vergleich zu anderen Kulturen geringen Anteil. Cyprodinil ist ein reines Halmbrechmittel dessen Einsatz seit 2008 von 15 auf 5 t gesunken ist. Spiroxamine hat eine Bedeutung, bei der Bekämpfung von Rynchosporium-Blattflecken und Netzflecken in der Gerste sowie Mehltau. Die Kombination von Extenso-Anbau und Zuchtprogramm können als Erfolgsgeschichte zur Reduktion des Fungizideinsatzes im Winterweizen betrachtet werden. Auf die vertiefte quantitative Untersuchung der im Kapitel 4.1.2 qualitativ beschriebenen weiteren Möglichkeiten im Bereich Reduktion, wie z.B. einer konsequenteren Berücksichtigung von Bekämpfungsschwellen, wird hier verzichtet.

5.6.1 Substitution

Im Mittel der Jahre 2017-2019 machten die drei Wirkstoffe folgenden Anteil an den im Winterweizen vorgenommenen Fungizidbehandlungen aus: Spiroxamine 8%, Cyprodinil 1% und Azoxystrobin 2% (Tabelle 17).

Wirkstoff	Anteil aller Herbizid-behandlungen	Kumulativer Anteil	Resistenz-gruppe	Grundwasser-Score (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächengewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
Prothioconazole	22%	21.7%	3	0.0	kein CQK (RS = 0.1)	
Chlorothalonil ^[1]	13%	34.6%	Y	129.51	kein CQK (RS = 107)	
Bixafen	10%	45.0%	7	0.0	1.5	X
Spiroxamine	8%	53.2%	5	0.0	47.6	
Epoxiconazole ^[1]	8%	61.1%	3	0.0	5.0	X
Tebuconazole	6%	67.4%	3	0.07	7.9	
Propiconazole	5%	72.0%	3	4.29	1.0	X
Fenpropidin	4%	76.5%	5	0.03	23.8	
Fluoxastrobin	3%	79.4%	11	1.83	75.0	
Fenpropimorph	3%	82.0%	5	0.0	219.38	
Laminarin	2%	84.4%		NA	kein CQK (RS = 0.01)	
Fluxapyroxad	2%	86.8%	7	4.07	0.2	X
Cyproconazole	2%	88.6%	3	0.03	0.7	X
Azoxystrobin	2%	90.1%	11	2.70	13.2	
Boscalid ^[2]	2%	91.7%	7	0.41	0.3	
Cyprodinil	1%	93.1%	9	0.0	11.0	X
Fludioxonil ^[3]	1.4%	94.4%	12	1.44	46.0	X
Difenoconazole	1.2%	95.6%	3	0.0	1.3	X
Metrafenone	1.1%	96.7%	50	0.0	0.4	
Kresoxim-methyl	0.9%	97.6%	11	0.06	0.8	
Benzovindiflupyr	0.8%	98.4%	7	0.10	kein CQK (RS = 20)	X
Metconazole	0.4%	98.8%	3	0.0	2.5	
Prochloraz	0.4%	99.2%	3	0.0	2.2	

Tabelle 17: Prozentuale Verteilung der in den Jahren 2017-2019 auf Winterweizen eingesetzten fungiziden Wirkstoffe (Quelle: Agroscope). Wirkstoffe bis zum kumulativen Anteil von 99% aufgeführt. Grundlagen der Beurteilungskriterien gemäss Abschnitt 5.1. Blaue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit erhöhter Anzahl CQK-Überschreitungen und dunkelgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren mobilen Metaboliten bzw. erhöhter nRS (normalisierter Risikoscore für Oberflächengewässer). Hellgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren Metaboliten im Übergangsbereich zwischen mobil und nicht mobil bzw. mittlerer nRS, NA: Fehlende Angaben zur Berechnung des nRS. ^[1] Mittlerweile nicht mehr zugelassener Wirkstoff. ^[2] Mittlerweile nicht mehr im Weizen zugelassenen. ^[3] Beizmittel

Alle drei Wirkstoffe können durch mehrere andere Wirkstoffe, respektive Produkte ohne die drei oben erwähnten Wirkstoffe mit gleicher oder sogar besserer Wirkung ersetzt werden.

5.6.2 Fazit Krankheiten im Winterweizen

Eine weitere Reduktion des Fungizideinsatzes erfolgt am besten über die gängigen Wege also in erster Linie das Extenso-Getreide-Programm sowie die Förderung von resistenten Sorten über die Züchtung des nationalen Weizenzuchtprogramms. Die Substitution der drei Wirkstoffe Spiroxamine, Cyprodinil und Azoxystrobin ist gut möglich. Alle drei Wirkstoffe können mit mehreren Alternativen ohne Wirkungsverlust ersetzt werden.

5.7 Pilzbekämpfung in Reben

Die fünf näher zu untersuchenden Fungizide mit relevantem Anteil im Rebbau sind das aufgrund von berechneten Indikatoren ausgewählte Kupfer (66% der in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzten Kupfermenge wird im Rebbau eingesetzt), Amisulbrom (99% der Gesamtmenge) und dann die aufgrund von Monitoringdaten ausgewählten Wirkstoffe Azoxystrobin mit 14%, Spiroxamine mit 60% und Cyprodinil mit 16% des Gesamteinsatzes.

5.7.1 Anbau krankheitstoleranter Sorten

Bei pilzwiderstandsfähigen Rebsorten (Piwis) werden durch Züchtung gute qualitative Eigenschaften der Europäerreben mit den Resistenzeigenschaften wilder amerikanischer und/oder asiatischer Arten kombiniert. Durch den Piwi-Anbau können Fungizidbehandlungen reduziert und damit eine ressourcenschonendere und ökologischere Bewirtschaftung der Reben erzielt werden (Holzwarth 2016). Gemäss Spring (2013) können die Fungizidbehandlungen bei Piwis um einen Faktor drei reduziert werden.

Die Fläche von Piwi-Sorten nimmt in den letzten Jahren zwar stetig zu, aber auf einem tiefen Niveau (Tabelle 18).

Jahr	% Piwi-Sorten an Gesamtfläche
2016	1.67
2017	1.74
2018	1.93
2019	2.16
2020	2.52

Tabelle 18 Anteil der Piwi-Sorten an gesamter Schweizer Rebfläche (Quelle: BLW 2021b).

Wenn man die Anteile auf die wichtigeren Weinbaukantone aufschlüsselt, sieht man sehr rasch, dass es grosse Unterschiede gibt.

Kanton	Anteil an Piwis in %	Piwi-Fläche	Gesamtrebfläche
--------	----------------------	-------------	-----------------

		[ha]	[ha]
BL	11.47	13.2	115.2
TG	11.4	27.9	244.8
ZH	9.16	55.7	607.7
BE	8.51	21.3	250.8
SG	7.78	16.3	209.4
AG	5.86	22.6	385.8
SH	5.84	27.6	472.3
TI	2.44	27.5	1'127.3
FR	1.88	2.2	116.5
NE	1.45	8.8	606.6
GE	1.38	19.2	1'390.8
VD	0.68	25.6	3'787.2
GR	0.52	2.4	453.8
VS	0.46	22.0	4'766.2

Tabelle 19 Übersicht des Piwi-Flächenanteils in den einzelnen Weinbau-Kantonen 2020 (Quelle: BLW 2021b).

Kantone, die hinsichtlich der Sortenwahl für die AOC-Wein-Produktion relativ liberal sind (alle Deutschschweizer Kantone), haben in der Regel auch einen höheren Anteil an Piwi-Sorten im Anbau. Der Piwi-Anteil hängt aber auch noch von anderen Faktoren ab, was die Beispiele Graubünden und Tessin zeigen. In Graubünden können die Winzer ihre Sorten zum AOC-Anbau relativ frei wählen, dennoch bewegt sich der Piwi-Anteil auf einem sehr tiefen Niveau von 0.52%. Im Tessin hingegen ist der Piwi-Anteil mit 2.44% deutlich höher, zumal wenn bedacht wird, dass diese Sorten keine DOC-Bezeichnung erlangen können (Holzwarth 2016). Weitere Faktoren, die den Piwi-Anbau beeinflussen, werden vor allem in den klimatischen Bedingungen gesehen, vor allem die in der Ostschweiz im Vergleich zum Wallis höheren Niederschläge während der Vegetationsperiode (Basler und Scherz 2011 zitiert in Holzwarth 2016). Zudem spielt der wirtschaftliche Erfolg einer Region mit bestimmten Rebsorten eine grosse Rolle bei der Sortenwahl. So ist die Bündner-Herrschaft sehr erfolgreich mit Blauburgunder oder das Wallis mit autochtonen Rebsorten (Holzwarth 2016).

Holzwarth (2016) hat mit insgesamt 40 Akteuren aus dem Weinsektor (Winzer, Händler, Züchter, Rebbaukommissäre) qualitative Interviews über Vinifikation, Absatz und Nachfrage von Piwi-Sorten geführt und kommt zu folgendem Schluss: Die Piwi-Anbaufläche wird innerhalb der nächsten 10 Jahre nur mässig ansteigen. Folgende Gründe wurden geortet:

Es besteht ein Bedarf an agronomisch und sensorisch besseren Piwi-Sorten. Die Unbekanntheit der Sorten sowie eine fehlende Marktakzeptanz stellen Hürden beim Piwi-Absatz. Ein verstärktes staatliches Engagement sowohl

bei der Züchtung aber vor allem auch bei der Vermarktung von Piwi-Sorten ist erforderlich.

5.7.2 Substitution

Im Mittel der Jahre 2017-2019 machten die fünf Wirkstoffe folgenden Anteil an den Fungizidbehandlungen im Rebbau aus: Kupfer 14% (alle Spezierungen zusammengezählt), Amisulbrom 2.3%, Cyprodinil 1.6%, Spiroxamine 0.7% und Azoxystrobin 0.4% (Tabelle 20). Zusammen decken die fünf Wirkstoffe 19% der Applikationen ab.

Wirkstoff	Anteil aller Fungizidbehandlungen	Kumulativer Anteil	Resistenzgruppe	Grundwasser-Score (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächengewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
Folpet	25%	25%	M4	0	kein CQK (RS = 12)	
Schwefel	11%	35%	M2	NA	kein CQK (RS = 0.1)	
Kupfer (als Oxychlorid)	7%	42%	M1	NA	kein CQK (RS = 48)	
Cymoxanil	6%	49%	27	0.02	0.29	
Aluminiumfosetyl (Fosetyl-Al)	4%	53%	P07	0	kein CQK (RS = 0.01)	
Kupfer (als Hydroxid)	4%	57%	M1	NA	kein CQK (RS = 48)	
Fenpropidin	4%	61%	5	0.03	23.8	
Cyflufenamid	4%	64%	UO ₆	1.12	0.1	
Mandipropamid	3%	67%	40	0	0.10	
Benthiavalicarbisopropyl	3%	70%	40	0	0.01	
Proquinazid	3%	73%	13	0	3.6	
Penconazole	2.4%	75.0%	3	0.51	0.08	
Amisulbrom	2.3%	77.3%	21	0	0.48	
Difenoconazole	2.1%	79.5%	3	0	1.33	X
Kaliumphosphonat	2.1%	81.5%	33	NA	kein CQK (RS = 48)	
Kupfer (als Kalkpräparat)	1.9%	83.4%	M1	NA	kein CQK (RS = 48)	
Fludioxonil	1.6%	85.0%	12	1.44	46	X
Zoxamid	1.6%	86.6%	22	1.10	kein CQK (RS = 3.9)	
Cyprodinil	1.6%	88.2%	9	0	11	X
Kupfer (als Oxy-sulfat)	1.4%	89.6%	M1	NA	kein CQK (RS = 48)	

Wirkstoff	Anteil aller Fungizid-behandlungen	Kumulativer Anteil	Resistenz-gruppe	Grundwasser-Score (Agroscope 2020)	nRS für Oberflächengewässer	PSM mit besonderem Risikopotential (BLW 2020b)
Metalaxyl-M	1.3%	90.9%	4	11.58	0.05	
Boscalid	1.1%	92.0%	7	0.41	0.31	
Metrafenone	0.9%	92.9%	50	0	0.36	
Fenhexamid	0.8%	93.8%	17	0	1.26	
Thiophanate-methyl ^[2]	0.79%	94.6%	1	0.20	kein CQK (RS = 0.02)	
Spiroxamine	0.69%	95.3%	5	0	47.62	
Tebuconazole	0.69%	95.9%	3	0.07	7.92	
Benalaxyl-M	0.57%	96.5%	4	0.27	0.30	
Myclobutanil ^[3]	0.56%	97.1%	3	0.38	0.20	X
Quinoxifen	0.56%	97.6%	13	0	7.47	X
Trifloxystrobin	0.41%	98.0%	11	10.17	3.95	
Azoxystrobin	0.39%	98.4%	11	2.70	13.2	
Fenamidone	0.38%	98.8%	11	2.41	1.51	
Fluazinam	0.26%	99.1%	29	0	9	
Dimethomorph	0.24%	99.3%	40	0	0.4	
Fenpyrazamin	0.20%	99.5%	17	0	0.29	
Pyrimethanil	0.19%	99.7%	9	0.0008	5.13	
Famoxadone	0.11%	99.8%	11	0	kein CQK (RS = 12)	
Fluopicolide	0.09%	99.9%	43	NA	2.04	X
Mepanipyrim	0.04%	99.9%	9	0	1.3	
Iprovalicarb	0.04%	100.0%	40	0.7	0.01	
Mancozeb ^[1]	0.02%	100.0%	M3	0.001	kein CQK (RS = 57)	
Fluxapyroxad	0.01%	100.0%	7	4.07	0.24	X

Tabelle 20: Prozentuale Verteilung der in den Jahren 2017-2019 im Rebbau eingesetzten fungiziden Wirkstoffe (Quelle: Agroscope). Der Vollständigkeit halber alle mindestens einmal erfassten Wirkstoffe aufgeführt. Grundlagen der Beurteilungskriterien gemäss Abschnitt 5.1. Blaue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit erhöhter Anzahl CQK-Überschreitungen und dunkelgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren mobilen Metaboliten bzw. erhöhter nRS (normalisierter Risikoscore für Oberflächengewässer). Hellgraue Schattierung bedeutet Wirkstoff mit einem oder mehreren Metaboliten im Übergangsbereich zwischen mobil und nicht mobil bzw. mittlerer nRS, NA: Fehlende Angaben zur Berechnung des nRS.^[1] Mittlerweile nicht mehr zugelassener Wirkstoff.^[2] Bewilligung beendet: Wegen hängigem Gerichtsverfahren gilt einstweilen folgende Aufbrauchfrist: 31.05.2022. Verkauf ist einstweilen weiterhin möglich.^[3] Ab 30.11.2022 nicht mehr zugelassen.

Bei den in der konventionellen Landwirtschaft genutzten synthetisch-organischen Fungiziden gibt es grundsätzlich für alle Wirkstoffe Alternativprodukte mit vergleichbarer Wirkung. Es gilt aber folgendes zu Bedenken:

- **Amisulbrom:** Ist aus der Gruppe der Quilhemmer gegen falschen Mehltau, der Pilzkrankheit, die im Jahr 2021 der Hauptgrund für den drastischen Ausfall im Rebbau war. In dieser Fungizidgruppe gibt es nur noch den Wirkstoff Cyazofamide (Produkt Mildicut). Die Mittelgruppe sollte aus Resistenzgründen unbedingt erhalten werden (Maurer 2022, persönliche Mitteilung).
- **Spiroxamine:** Wird im Rebbau eingesetzt gegen den Echten Mehltau und ist aus der Fungizidgruppe der Piperidine/Morpholine. Auch in dieser Gruppe gibt es nur zwei Handelsprodukte (Prosper mit dem Wirkstoff Spiroxamine und Astor). Die Gruppe sollte aus Resistenzüberlegungen erhalten bleiben (ebd.).
- **Cyprodinil** aus der Gruppe der Anilinopyrimidine. Eines der besten Mittel gegen *Botrytis*. Im Rebbau kann mit vorbeugenden Massnahmen wie z.B. Auslauben, Witterungsschutz viel gegen *Botrytis* gemacht werden, aber in Extremjahren muss trotzdem mit Fungiziden behandelt werden (ebd.).
- **Azoxystrobin** aus der Gruppe der Strobilurine. Es gibt weitere Wirkstoffe aus dieser Gruppe mit vergleichbarer Wirkung. Es sind bereits viele Resistenzen aus dieser Gruppe vorhanden (ebd.).

Produkte mit dem anorganischen Wirkstoff **Kupfer** werden sowohl im konventionellen Anbau (Tabelle 4) als auch im Biolandbau eingesetzt. Im Biolandbau kann aktuell nicht auf Kupfer verzichtet werden, da noch keine effektiven Alternativen zur Verfügung stehen, auch wenn an Alternativen zum Einsatz von Kupfer geforscht wird (FIBL 2022).

Im Rebbau besteht ebenfalls die Möglichkeit Ressourceneffizienzbeiträge (ab 1.1.2023 Produktionssystembeiträge) für die Reduktion von Pflanzenschutzmitteln zu bekommen. Der bisherige Ressourceneffizienzbeitrag für den Verzicht auf Fungizide mit besonderem Risikopotenzial wird Ende Jahr aufgehoben. Für den Bezug der neuen PBS muss a) auch auf den Einsatz von Insektiziden und Akariziden verzichtet werden, dies aber erst nach der Blüte bzw. b) dürfen nur Pflanzenschutzmittel der biologischen Landwirtschaft eingesetzt werden:

- a) Verzicht auf Insektizide, Akarizide und Fungizide nach der Blüte. Der Beitrag beträgt CHF 1'100/ha/Jahr
- b) Bewirtschaftung mit Hilfsmitteln nach der biologischen Landwirtschaft: Der Beitrag beträgt CHF 1'600/ha/Jahr.

Unklar ist, welchen Anteil der Behandlungen die bei a) erwähnte Bedingung, dass die Massnahme erst nach der Blüte umgesetzt werden muss, betrifft.

Wenn auf die oben erwähnten Wirkstoffe Amisulbrom, Spiroxamine, Cyprodinil und Azoxystrobin und die Fungizide mit besonderem Risikopotenzial verzichtet werden soll, fallen doch relativ viele Produkte weg. Damit wird die Bekämpfung anspruchsvoller und das Resistenzrisiko steigt. Besonders interessant dürfte das Programm beim Anbau von Piwi-Sorten sein. Durch die

deutlich tiefere Anzahl der Fungizidbehandlungen ist auch das Resistenzrisiko geringer.

5.7.3 Fazit Reben

Bei den Reben ist die Reduktion des Kupfereinsatzes die grösste Herausforderung, insbesondere im Biolandbau. Krankheitstolerante Sorten tragen dazu bei, dies zu ermöglichen. Mit diesen Sorten können die Fungizidbehandlungen massiv gesenkt werden. Allerdings kommt dem Piwi-Anbau in der Schweiz mit 2.5% an der Gesamtrebbaufäche bislang keine grosse Bedeutung zu. In der Deutschschweiz nehmen Piwis aufgrund schwieriger klimatischer Bedingungen sowie einer liberaleren Gesetzgebung zur AOC-Weinproduktion eine wichtigere Rolle ein als in der Westschweiz. Die Piwi-Fläche wird nach Experten-Einschätzungen in den nächsten zehn Jahren nicht wesentlich steigen.

Was die Möglichkeiten der Substitution betrifft, gibt es bei den Wirkstoffen Amisulbrom, Spiroxamine, Cyprodinil und Azoxystrobin grundsätzlich Alternativen mit vergleichbarer Wirkung. Das Problem ist die Verengung des Produkteangebotes. So gibt bei Amisulbrom und Spiroxamine nur noch ein einziges Produkt aus der entsprechenden Fungizidgruppe und wenn diese eventuell auch noch zurückgezogen werden, steigt entsprechend das Resistenzniveau. Beim Kupfereinsatz im Biolandbau ist auch mittelfristig nicht mit Alternativen zu rechnen.

6. Gesamtbeurteilung und Empfehlungen

Durch die vorgenommene Kombination der für die Schweiz verfügbaren aktuellen Monitoringdaten für Oberflächengewässer mit Daten zum PSM-Einsatz liessen sich die für eine Risikoreduktion wichtigen, vertieft zu untersuchenden Kulturen und Schaderreger identifizieren. Im Vergleich zum Grundwasser, wo die Anzahl Wirkstoffe und betroffene Kulturen erstaunlich niedrig war (Spycher *et al.* 2020), ist die Situation bei den Oberflächengewässern heterogener.

Wie die generelle Auslegeordnung möglicher Massnahmen zeigt, stehen für die Reduktion der Belastung von Oberflächengewässern jedoch auch mehr und unterschiedlichere Massnahmen zur Verfügung als beim Grundwasser.

Die agronomische Beurteilung konzentriert sich auf diejenigen Kulturen, in denen die Wirkstoffe gemäss den detaillierten Auswertungen in Kapitel 3 primär eingesetzt werden. Die Möglichkeiten bei Insektiziden wurden dabei nur qualitativ beschrieben.

6.1 Ergebnisse der agronomischen Beurteilung

Im Folgenden werden die wichtigsten Schlussfolgerungen aus der agronomischen Beurteilung zusammengefasst.

Unkrautregulierung

Im Bereich der Unkrautregulierung gibt es – angestossen durch neue Förderinstrumente und neue Labels – interessante Entwicklungen. Die meisten sind spezifisch für die einzelnen Kulturen, weshalb diese hier separat diskutiert werden.

— **Winterweizen:** Die mechanische Unkrautregulierung mit dem Striegel ermöglicht auf Parzellen ohne Problemunkräuter einen Verzicht auf Herbizide. Die mechanische Unkrautregulierung führt beim Extenso-Winterweizen je nach Jahr und Boden zu durchschnittlichen Mindererträgen zwischen 1.6 und 2.7 dt/ha, wobei auch für einen einzelnen Betrieb eine erhebliche Streuung zwischen den Parzellen besteht (Böcker 2018). Der Deckungsbeitrag des Weizenanbaus mit mechanischer Unkrautregulierung ist zwar tiefer, aber dank den auch in Zukunft verfügbaren Bundesbeiträgen ist der herbizidlose Anbau für die Betriebe auf einem grossen Teil der Parzellen wirtschaftlich. Ein hemmender Aspekt ist, dass sich das Ertragsausfallrisiko stark zwischen Parzellen unterscheidet. Werden Beiträge pro Kultur und nicht pro Parzelle ausgerichtet, verzichten Betriebe mit einer oder einigen stärker verunkrauteten Parzellen auf eine Anmeldung für die Produktionssystembeiträge. Dies, obwohl es für einen grossen Teil der Parzellen des Betriebs attraktiv wäre.

Der genaue Anteil, der in letzten Jahren so angebauten Winterweizenfläche, ist nicht bekannt, aber könnte dank der bisherigen Ressourceneffizienzbeiträge eine zweistellige Prozentzahl erreicht haben und somit in wenigen Jahren den Anteil der Bioweizenfläche übertroffen haben. Untersaaten werden derzeit nur vereinzelt eingesät und es besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um deren Potenzial einzuordnen.

Da immer mit witterungsbedingten Schwankungen zu rechnen ist, ist auch die Substitution eine wichtige Option. Für die Anwendungen im Frühling stehen ausreichend alternative Wirkstoffe mit günstigem Profil zur Verfügung, im Herbst jedoch nicht.

- **Wintergerste:** Die mechanische Unkrautregulierung muss bei der Gerste im Herbst erfolgen, eine Jahreszeit, in der die erforderlichen trockenen Verhältnisse deutlich seltener gegeben sind. Entsprechend ist auch die Wirksamkeit tiefer als beim Winterweizen. Bei der Substitution der drei Wirkstoffe Diflufenican, Thifensulfuron-methyl und Flufenacet fällt rund die Hälfte der Produkte weg. Es wird deutlich schwieriger und anspruchsvoller und je nach Situation auch teurer, die Unkräuter zu kontrollieren, weil mehr Teilwirkungen und Wirkungslücken vorhanden sind. Das Resistenzrisiko steigt.
- **Mais:** Auf Parzellen ohne Problemunkräuter ist die mechanische Unkrautregulierung im Mais sowohl bezüglich Wirksamkeit und dank der bisherigen Ressourceneffizienzbeiträge (neu Produktionssystembeiträge) auch bezüglich Wirtschaftlichkeit interessant (Spycher *et al.* 2020). Alternative Wirkstoffe mit günstigem Profil fehlen hingegen weitgehend (ebd.).
- **Raps:** Mit den Untersaaten steht beim Rapsanbau eine wirksame und wirtschaftliche Alternative zur chemischen Unkrautregulierung zur Verfügung (Spycher *et al.* 2020). Ausnahmen sind Parzellen mit Problemunkräutern wie Klebern und/oder generell sehr hohem Unkrautdruck. Alternative Wirkstoffe mit günstigem Profil fehlen beim Raps weitgehend (ebd.).
- **Kartoffeln:** Bei den Kartoffeln ist eine erfolgreiche mechanische Unkrautregulierung möglich, wenn das Wetter mitspielt. Die Mehrkosten von circa CHF 170/ha könnten mit dem Ressourceneffizienzbeitrag bzw. Produktionssystembeitrag (PSB) ab 1.1.2023 abgedeckt werden. Bei den PSB wird die chemische Krautvernichtung erlaubt sein. Ein Verzicht auf Voraufbauherbizide ist dennoch schwierig, weil das Anbauverfahren «All-in-One» stark zugenommen hat, was gleichzeitig die Möglichkeit der mechanischen Unkrautregulierung ausschliesst. Der Spielraum bei Substitution ist gering. Eine vielversprechende spezifisch auf Dammkulturen ausgerichtete risikomindernde Massnahme könnte die konsequente Anwendung von Querdammhäuflern sein, um Abfluss respektive Erosion aus den Kartoffelfurchen zu reduzieren.

Die im Hinblick auf die Belastung von Oberflächengewässern vorgenommene Auswahl an Herbiziden wird primär in den oben aufgeführten Kulturen eingesetzt. Die in Eiweisserbsen, Soja und Zuckerrüben eingesetzten Herbizide sind im Gegensatz zum Grundwasser bei den Oberflächengewässern von geringerer Bedeutung.

Krankheiten

Vergleichsweise wenige Fungizide führen häufig zu Überschreitungen von Qualitätskriterien. Die Wirkstoffe werden primär im Rebbau und in reduzierter Masse im Getreidebau eingesetzt.

- **Reben:** Pilzwiderstandsfähige Sorten (Piwis) weisen ein grosses Potenzial für die Reduktion des Fungizid-Einsatzes auf. Der Anteil dieser Sorten an der gesamten Rebfläche ist jedoch gering und dürfte nur langsam zunehmen. Was die Substitution betrifft, lassen sich die organischen Wirkstoffe durch andere Wirkstoffe mit vergleichbarer Wirkung ersetzen. Allerdings gibt es in zwei Wirkstoffgruppen nur noch einen übrigbleibenden Wirkstoff. Im Hinblick auf das Resistenzmanagement ist ein Erhalt dieser Wirkstoffe zentral, da sonst das Resistenzniveau beträchtlich steigt. Im Bioweinbau spielt Kupfer derzeit eine zentrale Rolle. An Alternativen zum Einsatz von Kupfer wird geforscht (FIBL 2022).
- **Winterweizen:** Auf der Ebene der Reduktion hat die Schweiz mit rund 50% Extenso-Fläche, d.h. mit Beiträgen für den vollständigen Verzicht auf Fungizide und Insektizide, flankiert mit einem nationalen Zuchtprogramm eine etablierte Low-Input-Strategie. Die konsequente Berücksichtigung von Bekämpfungsschwellen würde im nicht mit Extenso-Prämien angebauten Winterweizen eine gewisse zusätzliche Reduktion ermöglichen. Für die wenigen dieser Kultur zugeordneten fungiziden Wirkstoffe ist die Substitution möglich.

Schädlinge

Insektizide führen häufig und verbreitet zu Überschreitungen von Qualitätskriterien. Die identifizierten Wirkstoffe wurden vor allem Raps, Obst und Gemüse zugeordnet. Der gleichzeitige europaweite Wegfall mehrere Wirkstoffe stellt einen massiven Umbruch dar, dessen Auswirkung sich ab 2021 zeigen dürfte. Im Moment laufen an der HAFL Studien mit dem Ziel, quantitative Angaben zur potenziellen Reduktion des Insektizideinsatzes zu sammeln, auf die hier noch nicht vorgegriffen werden konnte.

Kosten und Wirtschaftlichkeit der Massnahmen im Vergleich

Die grafische Darstellung der Kosten im Bereich Unkrautregulierung (Abbildung 14) zeigt, dass in mehreren Kulturen Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz bestehen, die nahe an der Wirtschaftlichkeit sind. In diesen Kulturen sind bei Verschiebungen der Wirtschaftlichkeit (z.B. durch Prämien oder durch höhere PSM-Preise) und mit begleitender Beratung noch höhere Anteile möglich.

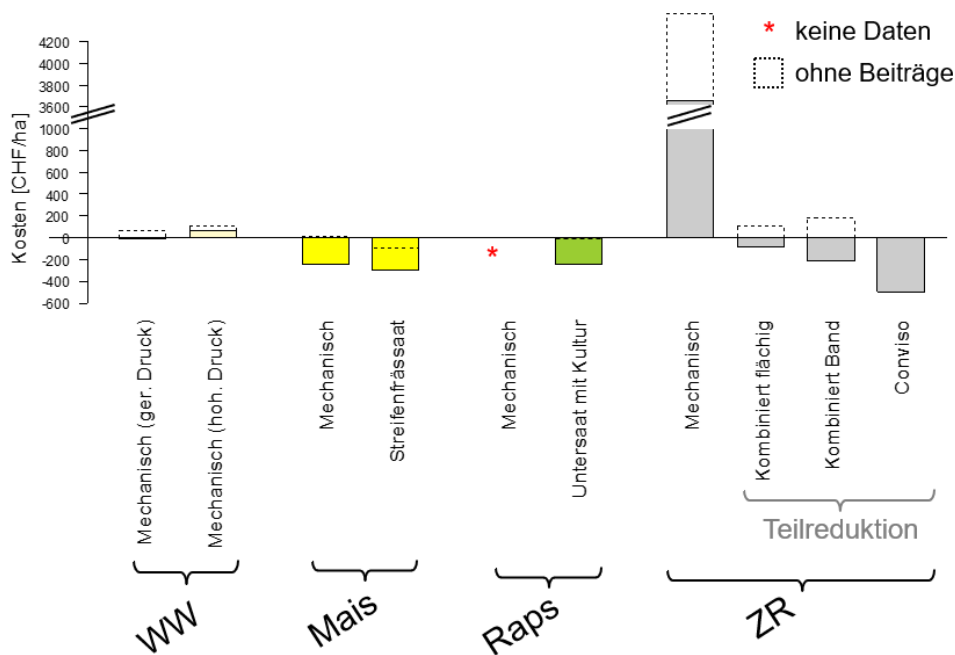


Abbildung 14 Zusätzliche Kosten im Vergleich zur bisherigen chemischen Unkrautregulierung für die untersuchten Verfahren in Winterweizen, Mais, Raps und Zuckerrüben. Negative Werte zeigen Einsparpotentiale auf. Gestrichelte Balken zeigen die Kosten ohne die derzeit noch gültigen Ressourceneffizienzbeiträge. Für die Unkrautregulierung in Kartoffeln standen nicht alle nötigen Daten zur Verfügung.

Für die im Getreidebau eingesetzten Fungizide hängt die Wirtschaftlichkeit vom Ertragspotenzial der Parzellen ab. Auf Parzellen mit eher niedrigen Erträgen lohnt es sich, auf eine Extensio-Strategie zu setzen. Auf Parzellen mit tendenziell hohen Erträgen sind die zusätzlichen Kosten der Fungizid- und allfälliger weiterer Behandlungen tiefer als die Erlöse durch die höheren Erträge. Die Beratungsunterlagen ermöglichen den Landwirtinnen und Landwirten, die für sie wirtschaftlichste Strategie zu wählen (z.B. Wirth 2012). Im Rebbau dürfte in den meisten Fällen eine Substitution keine grösseren wirtschaftlichen Auswirkungen bringen. In gewissen Fällen wie zum Beispiel Ersatz des Wirkstoffs Amisulbrom sind die Kosten des Ersatzproduktes deutlich höher.

Für Verbreitung relevante Faktoren

In mehreren Studien wurde festgestellt, dass Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz selbst bei Kostenneutralität oder Einsparmöglichkeiten auf der Ebene Kultur noch nicht von selbst Verbreitung finden (Böcker 2018, Spycher 2020). Die begünstigenden Faktoren im Bereich Unkrautregulierung wurden weiter oben bei der Unkrautregulierung des Winterweizens im Detail diskutiert und sind Planungssicherheit bei der Investition in die nötigen Maschinen, ausreichende Auslastung derselben, Flexibilität der Förderinstrumente, Kenntnisse den Unkrautdruck richtig einzuschätzen. Der letzte Punkt liesse sich durch die in den letzten Jahrzehnten an der Agroscope massiv zurückgefahrenen personellen Ressourcen im Bereich Herbologie und eine gleichzeitige Einbindung der Lohnunternehmen beheben.

Bei der Substitution ist die Resistenzproblematik zentral und eine dahingehende Beratung ist unerlässlich. Diese Aspekte gelten auch bezüglich der in

der vorliegenden Studie untersuchten Massnahmen zur Vermeidung von Einträgen in die Oberflächengewässer.

6.2 Ausblick und Empfehlungen

Die Auswertungen zeigen, dass verschiedene Strategien zur Reduktion der Überschreitungen von Qualitätskriterien zur Verfügung stehen. Wie die Optionen aus Reduktion, Substitution und Optimierung am besten kombiniert werden, hängt von den einzelnen Kulturen und Anbausystemen ab. Wenn Synergien zu anderen Schutzzielen und Wirtschaftlichkeit gegeben sind, dann ist die Reduktion besonders sinnvoll. Dies trifft in hohem Masse auf den Herbizideinsatz im Mais und Raps zu, von dem sowohl Grund- als auch Oberflächengewässer betroffen sind und zugleich wirtschaftliche Alternativen vorhanden sind. Ist dies nicht gegeben, ist bei ausreichender Anzahl alternativer Wirkstoffe die Substitution möglich. Als dritte Option bleibt die Optimierung des Einsatzes der Wirkstoffe. Gerade bei Wirkstoffen, die eine niedrige Tendenz für Einträge durch Abschwemmung aufweisen (schneller Abbau und starke Sorption), dürfte die Optimierung ein effektiver Hebel sein, der z.B. beim Grundwasserschutz nicht zur Verfügung steht und der Kombinationsmöglichkeiten mit ökologischen Ausgleichsflächen zulässt. Aus der vorliegenden Analyse ergeben sich folgende konkrete Empfehlungen:

- **Gesicherte Förderung im Bereich Reduktion:** Zu den etablierten Extenso-Beiträgen sind in den letzten Jahren die Beiträge für den herbizidlosen Anbau dazugekommen, die trotz bisher begrenzt zugesicherter Laufzeit rasch eine gewisse Verbreitung gefunden haben. Aus betrieblicher Sicht wäre es ein gewichtiger Vorteil, wenn die Beiträge nicht für die ganze Kultur, sondern für einzelne Parzellen ausgerichtet würden. Müssen alle Parzellen einer Kultur herbizidlos bearbeitet werden, ist das Instrument deutlich weniger attraktiv. Zur besseren Evaluation der Verbreitung und zur besseren Beratung, sollten bei der Auszahlung der Beiträge für herbizidlosen Anbau unbedingt auch die Kulturen erfasst werden. Solche Grössen sind unerlässlich, um den von der Eidgenössischen Finanzkontrolle in ihrer Evaluation der Ressourceneffizienzprogramme benannten Bedarf nach besser messbaren Zielen bezüglich Umsetzung und Wirkung zu erfüllen (EFK 2021). Essenziell ist auch die Einbindung von Stakeholdern, die durch die Veränderungen etwas zu gewinnen haben, konkret die Lohnunternehmer und die Berater im Bereich Herbologie.
- **Bedingungen für Fungizidreduktion verbessern:** Bei den Fungiziden gilt es zuerst einmal, die gut abgestimmten agrarpolitischen Instrumente wie Zuchtprogramme, Extenso-Beiträge und Beratung weiterzuführen. Bei Reben wären durch pilzwiderstandsfähige Sorten langfristig Verbesserungen möglich. Um die Verbreitung der Piwis zu fördern, braucht es mehr staatliche Unterstützung in der Züchtung und in der Vermarktung, was anscheinend im derzeit diskutierten Agrarpaket angedacht ist. Weiter gibt es die Möglichkeit Produktionssystembeiträge für die Reduktion von Pflanzenschutzmitteln im Rebbau zu beziehen, was auch wieder sehr interessant bei Piwi-Sorten sein kann, sofern die mit den ab 2023 in die DZV eingeführte Vorgabe eines PSM-Verzichts nach der Blüte auch einen

ausreichend grossen Anteil der Fungizid-Applikationsperiode abdeckt (siehe auch 5.7.2).

- **Lenkung im Bereich Substitution:** Der Einsatz von PSM-Produkten ist preissensitiv (Finger 2017). Die vorliegende Studie zeigt, dass eine bezüglich Oberflächengewässern, Grundwasser, erhöhtem Risikopotential gemäss AP und Resistenzmanagement gestufte Abgabe für viele Kulturen wirksame Effekte erzielen würde.
- **Förderung im Bereich Optimierung:** Neben den drei bisherigen Beiträgen zur Reduktion von Emissionen (emissionsmindernde Ausbringverfahren, Einsatz von präzisen Applikationstechniken und Spritzeninnenreinigung), die per 31.12.2022 aufgehoben bzw. beim Beitrag für präzise Applikationstechnik noch bis 2024 ausgerichtet werden, haben die Beiträge für die schonende Bodenbearbeitung ein grosses Potenzial zur Reduktion der Verluste von den Anbauflächen. Aktuelle Studien zeigen aber, dass deren Wirksamkeit nur gegeben ist, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind (cf. 4.3.1). Diese sollten auch im Hinblick auf einen wirksamen Bodenschutz angepasst und entsprechend kontrolliert werden. Was die Verbreitung und Effektivität von Pufferstreifen betrifft, hat sich im Berner Pflanzenschutzprojekt gezeigt, dass sich die Beteiligung durch eine Erhöhung der Entschädigung und eine gezielte Beratung stark erhöhen lässt. Zudem ist eine Beratung betreffend Standort, Installation und Bewirtschaftung von Pufferstreifen erforderlich.
- **Labels:** Von Labelorganisationen konzipierte Programme mit reduziertem PSM-Einsatz stellen eine zusätzliche Motivation für die beteiligten Landwirtinnen und Landwirte dar und fördern den essenziellen Erfahrungsaustausch der Beteiligten.
- **Stärkung des Vollzugs:** Die Umfrage bezüglich der Anwendung von Bekämpfungsschwellen (BKS) hat ergeben, dass bei vielen Schaderregern die BKS nur von einem Teil der Befragten berücksichtigt wird (Ramseier 2016). Um Sicherzustellen, dass die Landwirtinnen und Landwirte den BKS vertrauen, sollte deren Aktualisierung weiter vorangetrieben werden, vor allem wenn es sich um Schaderreger handelt, gegen die PSM eingesetzt werden, welche nachweislich zu Überschreitungen führen, was z.B. beim Rapsstengelrüssler sicher der Fall ist (Details unter 4.1.2). Eine weitere Möglichkeit, den Vollzug zu stärken, ist die Überlegung, die Nutzung der Prognosesysteme Phytopre und Fusaprog als ÖLN-Kontrollpunkt einzuführen. Voraussetzung dafür ist eine Weiterentwicklung der beiden Systeme in Richtung erhöhter Sicherheit der Prognosen, was grundsätzlich durch Massnahme 6.2.3.4 des AP PSM abgedeckt ist, insbesondere durch das dritte Umsetzungsziel «Bestehende Prognosesysteme sollen an sich ändernde Rahmenbedingungen (Sorten, Klima, Anbausysteme) angepasst werden.».
- **Angemessener administrativer Aufwand:** Im Rahmen des Absenkpfadens für das PSM-Risiko (Pa.Iv.19.475) des Bundes ist vorgesehen, dass grundsätzlich keine PSM mit erhöhtem Risikopotenzial für Gewässer mehr eingesetzt werden dürfen. Ausnahmen sind vorgesehen, wenn kein Ersatz durch Wirkstoffe mit tieferem Risikopotenzial möglich ist. AI-

lerdings dürfen die PSM dann nur mit Sonderbewilligung eingesetzt werden (Art. 18 Abs. 7 Bst. a DZV in der ab 1.1.2023 gültigen Fassung). Zu bedenken gilt, dass bei Wirkstoffen ohne Alternativen zum Teil ein hoher administrativer Aufwand für die Kantone zur Ausstellung von Sonderbewilligungen entstehen würde, vor allem im Gemüsebau. Die Gesuche würden zudem sehr kurzfristig gestellt und müssten rasch bearbeitet werden können. Genauere Abklärungen, welche Kulturen und Schaderreger dies betrifft, können zu praktikablen Lösungen führen. Entsprechend sieht die DZV vor, dass in Anhang 1 Ziffer 6.1.2 für gewisse Kulturen und Schaderreger, die erfahrungsgemäss häufig und verbreitet auftreten und für die es keine akzeptablen chemischen Alternativen gibt, generelle Ausnahmen aufgeführt werden, die zurzeit noch hergeleitet werden.

- **Räumlich differenzierte Handhabung der Instrumente:** Eine räumliche Differenzierung der Instrumente ist wegen der bei Oberflächengewässern schnell wechselnden Verhältnisse schwierig. Eventuell kann hier in naher Zukunft auf die Erfahrungen in den Niederlanden zurückgegriffen werden, wo Zulassungsinhaber verpflichtet sind, sogenannte Emission Reduction Plans zu entwickeln, wenn in bestimmten Regionen verbreitet Überschreitungen bestimmt werden.
- **Gezielte Förderung angewandter Forschung:** Es besteht grosses Potenzial durch angewandte Forschung und Beratung neue Anbausysteme mit weniger Ressourceneinsatz zu entwickeln und zur Verbreitung zu bringen. Nachfolgend einige wichtige Forschungsfelder:
 - Alternative Anbausysteme wie z.B. regenerative Landwirtschaft
 - Untersaaten
 - Mulchsysteme (Transfermulch, Lebendmulch)
 - Überprüfung weiterer Bekämpfungsschwellen
 - Weiterentwicklung bestehender Prognosesysteme durch z.B. automatische Sporenanalyse
 - Neuentwicklung von weiteren Prognosesystemen, Prognosemodellen (z.B. für Rapschädlinge, Septoria im Getreide)
 - Kontinuierlich aufdatierte Online-Information für Officialberatung und Praktiker, um möglichst gute Substitutionsprodukte rasch zu finden

Eine kohärente Umsetzung dieser Empfehlungen dient nicht nur dem Gewässerschutz, sondern trägt in hohem Masse dazu bei, einen hohen Selbstversorgungsgrad bei tiefem Einsatz von Ressourcen zu erreichen.

7. Literatur

- Agrar heute 2018 Agrar heute 2018: Agricon: 33 Euro/ha mehr durch teilflächenspezifischen Pflanzenschutz, [__agrar-heute.com](http://www.agrar-heute.com), abgerufen 09.2021
- Agreste 2014 Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt - Secrétariat Général 2014 : Enquête Pratiques culturales 2011 - Principaux résultats, Les Dossiers N° 21 - Juillet 2014, 74 S.
- Alix 2017 Alix A. et al. (eds.) (2017): MAgPIE. Mitigating the Risks of Plant Protection Products in the Environment. From the two-part SETAC Workshop Mitigating the Risk of Plant Production Products in the Environment. 22–24 April 2013 Rome, Italy, 13–15 November 2013 Madrid, Spain.
- Agridea 2020 Agridea 2020: Handbuch Wirkkalender – Preise für stehendes Zwischenfutter.
- Agridea 2021 Deckungsbeiträge 2021. Ausgabe 2021. Getreide, Hackfrüchte, übrige Ackerkulturen, Futterbau, Spezialkulturen, Tierhaltung.
- Andermatt Biocontrol 2021 Andermatt Biocontrol – Schädlingsbekämpfung, [Schädlingsbekämpfung \(biocontrol.ch\)](http://www.biocontrol.ch), abgerufen 09.2021.
- Bach und Frede 2008 Bach M., Frede H.-G. 2008: Situation der Pflanzenschutzmittelfunde in Oberflächengewässern in Deutschland, *Wasser Wirtschaft*, 7-8 | 56-60.
- Bargfrede 2018 Bargfrede A., 2018: Hecken–Schützen, TU Berlin, Welchen Einfluss haben Hecken auf die verschiedenen Komponenten des Landschaftswasserhaushaltes? Welche Vor- und Nachteile resultieren daraus für die landwirtschaftliche Nutzung? | Hecken-Schützen (tu-berlin.de), abgerufen 09.2021
- Basler 2011 Basler P., Scherz R., 2011: PIWI-Rebsorten. Pilzwiderstandsfähige Rebsorten (aktual. Neuaufl.) Stutz Druck Wädenswil, 124 S.
- Böcker 2018 Böcker T., Finger R. 2018: Implikationen eines herbizidlosen Extenso-Weizenanbaus in der Schweiz, *Agrarforschung Schweiz*, 9(9), 296-305.
- Brunotte 2007 Brunotte J. 2007: Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run-off und Mykotoxinbildung im Getreide, *Landbauforschung Völkenrode, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Sonderheft* 305.

Beaux 2019	Beaux A., Schumacher P. 2019: Einführung der Rapskultur mit Untersaat: Die Schweizer Produzenten kommen zu Wort, Agrarforschung Schweiz, 10 (3), 128–133.
BLW 2015	BLW Bundesamt für Landwirtschaft 2015: Agrarbericht.
BLW 2016	BLW Bundesamt für Landwirtschaft 2016: Agrarbericht.
BLW 2017	BLW Bundesamt für Landwirtschaft 2017: Agrarbericht.
BLW 2018	BLW Bundesamt für Landwirtschaft 2018: Agrarbericht.
BLW 2019	BLW Bundesamt für Landwirtschaft 2019: Agrarbericht.
BLW 2020a	BLW Bundesamt für Landwirtschaft 2020: Agrarbericht.
BLW 2020b	BLW 2020b: PSM mit besonderem Risikopotenzial, Aktualisierte Version des Anhang 9.1 des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel, 1. Januar 2020.
BLW 2020c	BLW 2020c: Verkaufsmengen je Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff, Stand: 29.10.2020
BLW 2021a	BLW Bundesamt für Landwirtschaft 2021: Agrarbericht.
BLW 2021b	BLW 2021: Weinwirtschaftliche Statistik.
Burkhardt 2013	Burkhardt M., Dietschweiler C. 2013: Mengenabschätzung von Bioziden in Schutzmitteln in der Schweiz, 24 S.
Dachbrodt-Saaydeh 2017	Dachbrodt-Saaydeh S., Sellmann J., Strassmeyer J., Schwarz J., Klocke B., Kregel S., Kehlenbeck H. 2017: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2017 - Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2017, Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 210, 146 S.
Dieckmann 2004	Dieckmann J., Tomanová O., Miller H., Koch H.J. 2004: Einfluss dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung auf die Erosionsanfälligkeit von Ackerböden. Zeitschrift Proc. 67. IIRB-Congress, 237-241.
de Baan 2015	De Baan L., Spycher S., Daniel O. 2015: Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz von 2009 bis 2012, Agrarforschung Schweiz, 6 (2), 48–55.
Doppler 2017	Doppler T., Mangold S., Wittmer I., Spycher S., Stamm C., Singer H., Junghans M., Kunz M. 2017:

- Hohe Pflanzenschutzmittelbelastung in Schweizer Bächen, *Aqua & Gas* 4, 46-56.
- EFK 2021 Eidgenössische Finanzkontrolle (EFK) 2021: Evaluation des Ressourcenprogramms und der Ressourceneffizienzbeiträge für eine nachhaltigere Landwirtschaft, EFK-19337, 23. Februar 2021, FinDel D2/2021
- Emmenegger 2005 Emmenegger J., 2005 Stock grainier: Institut Agricole Grangeneuve, unveröffentlicht
- Erlach 2002 Erlach F., Gröblichhoff F., Lütke Entrup N., 2002: Nährstoff- und Pflanzenschutzausträge durch Pflugverzicht minimieren. Gewässerbelastung lässt sich reduzieren, *Landwirtschaft ohne Pflug*, 1:10-14.
- FAO (2010) Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010): International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides Guidance on Pest and Pesticide Management Policy Development.
- Fenaco 2021 Fenaco 2021: Zielsortiment - Pflanzenbehandlungsmittel im Acker- und Futterbau.
- FiBL 2022 Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) 2022: Biolandbau ohne Kupfer. <https://www.fibl.org/de/themen/projektdatenbank/projektitem/project/18> (abgerufen am 17.2.2022)
- Finger 2017 Finger R., Böcker T., Möhring N., Dalhaus T., Lenkungsabgaben auf Pflanzenschutzmittel, *Agrarforschung Schweiz*, 8(5), 176–183.
- Forrer 1993 Forrer H.R., Gujer, H.U and Fried P.M, 1993: Phyto-PRE - a comprehensive information and decision support system for late blight of potatoes. SP-Report, Danish Inst. Plant and Soil Sci., 7, 173-181.
- Garthwaite 2008 Garthwaite D., Barker I., Parrish G., Smith L. 2008: Pesticide Usage Survey Report 228, Farm Grain Stores in Great Britain 2008, 19 S. bzw. Pesticide Usage Survey Report 229, Commercial Grain Stores in Great Britain 2008, 19 S.
- Garthwaite 2018 Garthwaite D., Ridley L., Mace A., Parrish G., Barker I., Rainford J., MacArthur R. 2018: Pesticide Usage Survey Report 284, Arable Crops in the United Kingdom 2018, 98 S.
- Gehring 2008 Gehring K., 2008. Ertragssicherung durch Herbizidbehandlungen im Kartoffelbau. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Abgerufen 01.2022 [Microsoft PowerPoint - UKB_Kartoffel.ppt \(bayern.de\)](#)

- Gfeller 2021 Gfeller S., Wissenschaftlicher Mitarbeiter Digitalisierung und neue Technologien HAFL: Krankheitserkennung Multispektralkamera. Persönliche Mitteilung – Mail vom 24.09.2021
- Günter 2008 Günter M., Pasquier D. (2008): Verwirrungstechnik im Weinbau – eine Erfolgsgeschichte, Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 21, 4–6.
- Gygax 2021 Gygax M, Berner Pflanzenschutzprojekt – Präsentation wissenschaftliche Begleitgruppe 22.10.2021, unveröffentlicht.
- Häni 2018 Häni F.J., Popow G., Reinhard H., Schwarz A. und Tanner K., 2018: Pflanzenschutz im nachhaltigen Ackerbau. Edition LMZ, 9. Auflage. 466 S.
- Holzwarth 2016 Holzwarth L. 2016: Pilzwiderstandsfähige Rebsorten in der Schweiz – eine Ist-Analyse als Grundlage für ein geplantes Förderprojekt. Masterarbeit HAFL, unveröffentlicht.
- Huntscha 2012 Huntscha S., Singer H. P., McArdell C. S., Frank C. E., Hollender J. 2012: Multiresidue analysis of 88 polar organic micropollutants in ground, surface and wastewater using online mixed-bed multilayer solid-phase extraction coupled to high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, J. Chromatogr. A, 1268, 74–83.
- JKI 2020 Julius Kühn-Institut 2020: Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen (PAPA), Wirkstoffranking Apfel, <https://papa.julius-kuehn.de/>
- Ryser 2022 Ryser R. 2022: Persönliche Mitteilung zu Anbauflächen IPS-Kartoffeln, 7.2.2022.
- Keiser 2016 Keiser A, Jungo B, Bertschi C, Jenni S, 2016: Herbizidreduktion durch eine kombinierte mechanisch - chemische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben, Schlussbericht, Zollikofen, 42 S.
- Klein 2022 Klein M., O'Connor I., Spycher S., Reichenberger S., Sittig S., Multsch S., Thomas K., Trapp M. 2022, Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln, Umweltbundesamt, UBA-Texte 89, Forschungskennzahl 3719 65 409 1, 196 S.

- Koch 2021 Koch U., Prasuhn V. 2021: Risikokarten für den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer auf Einzugsgebietsebene, *Agroscope Science*, 126, 1-85.
- Korkaric 2020 Korkaric M., Hanke I., Grossar D., Neuweiler R., Christ B., Wirth J., Hochstrasser M., Dubuis P-H., Kuster T., Breitenmoser S., Egger B., Perren S., Schürch S., Aldrich A., Jeker L., Poiger T., Daniel O. 2020: Datengrundlage und Kriterien für eine Einschränkung der PSM-Auswahl im ÖLN, *Agroscope Science* | Nr. 106 / September 2020
- LANAT 2021 Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern – Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion, Fachstelle Pflanzenschutz 2021. [Berner Pflanzenschutzprojekt](#), abgerufen 10.2021.
- Laurent 2021 Laurent E-A., Nussbaum V., Blatter A., Fuchs Z., Baux A. 2021: Liste der empfohlenen Winterrapsorten für die Ernte 2022, *Agroscope Transfer* | Nr. 394 / April 2021.
- Mace 2018 Mace A., Ridley L., Parrish G., Barker I., MacArthur R., Rainford J., Garthwaite D. 2018, *Pesticides Usage Survey 286, Orchards in the United Kingdom 2018*, 75 S.
- MacLaren 2022 MacLaren C., Mead A., van Balen D., Claessens L., Etana A., de Haan J., Haagsma W., Jäck O., Keller T., Labuschagne J., Myrbeck A., Necpalova M., Nziguheba G., Six, J., Strauss J., Swanepoel P. A., Thierfelder C., Topp C., Tshuma F., Verstegen H., Walker R., Watson C., Wesselink M., Storkey J. 2022: Long-term evidence for ecological intensification as a pathway to sustainable agriculture, *Nature sustainability*, <https://www.nature.com/articles/s41893-022-00911-x>
- Maurer 2022 Maurer J. 2022: Fachstelle Rebbau des Kantons Bern, Rebbaukommissär. E-Mail vom 01.02.2022.
- MeteoSchweiz 2020 Klimabulletin Jahr 2019, Zürich.
- Prasuhn 2018 Prasuhn V., Doppler T., Spycher S., Stamm C. 2018: Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung reduzieren. *Agrarforschung Schweiz*, 9 (2): 44-51.
- Prasuhn 2021 Prasuhn V. 2021: Senior Scientist, Leiter Gruppe Gewässerschutz, Agroscope. E-Mail vom 12.10.2021.

- Ramseier 2016 Ramseier H, Lebrun M, Steinger T. 2016: Anwendung der Bekämpfungsschwellen und Warndienste in der Schweiz, *Agrarforschung Schweiz* 7 (2), 98-103.
- Ridley 2018: Ridley L., Mace A., Parrish G., Barker I., MacArthur R., Rainford J., Garthwaite D. 2018, *Pesticides Usage Survey 285, Soft Fruit in the United Kingdom 2018*, 85 S.
- Ridley 2019 Ridley L., Mace A., Parrish G., Barker I., MacArthur R., Rainford J., Garthwaite D. 2018, *Pesticides Usage Survey 292, Edible Protected Crops in the United Kingdom 2019*, 77 S.
- Reichenberger 2007 Reichenberger S., Bach M., Skitschak A., Frede H.-G. 2007: Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground and surface water and their effectiveness; A review, *Sci. Total Environ.*, 384, 1-35.
- Reichenberger 2019 Reichenberger S., Sur R., Kley C., Sittig S., Multsch S. 2019: Recalibration and cross-validation of pesticide trapping equations for vegetative filter strips (VFS) using additional experimental data, *Sci. Total Environ.*, 647, 534–550
- Rösch 2019 Rösch A., Beck B., Hollender J., Stamm C., Singer H., Doppler T., Junghans M. 2019: Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung - Nachweis von Pyrethroid und Organophosphat-Insektiziden in Schweizer Bächen im $\mu\text{g l}^{-1}$ -Bereich, *Aqua & Gas*, 11, 54 – 66.
- Rossberg 2005: Rossberg D. 2007: Neptun 2005- Gemüsebau, Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis, *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, Heft 139, 67 S.
- Rossberg 2013: Rossberg D., Hommes M. 2013: Neptun-Gemüsebau 2013, *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut* 175, 41 S.
- Rossberg 2017: Rossberg D., Hommes M. 2017: Neptun-Gemüsebau 2017, *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut* 199, 42 S.
- Ryser 2021 Ryser R. 2021: Ackerbau, IP-Suisse. E-Mail vom 15.09.2021
- SBV 2022 Schweizerischer Bauernverband (SBV) 2022: Anreizprogramme zur Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in der pflanzlichen Produktion, <https://www.sbv-usp.ch/de/schlagworte/ackerbau/> (Abgerufen am 17.02.2022)
- Seibert und Auerswald 2020 Seibert S.P., Auerswald K. 2020: Abflussverzögerung – wie Abfluss gebremst werden kann. In: *Hochwasserminderung im ländlichen Raum*. Springer

- Spektrum, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-61033-6_6
- SFZ 2021 Schweizerisch Fachstelle für Zuckerrübenanbau (SFZ CBS) 2021: Sortenangebot 2021 – Leistungspfüfung 2018-2020. Abgerufen am 16.09.2021 [27112020_Sortenliste21_Internet.pdf \(zuckerruebe.ch\)](#)
- Schaad 2021 Schaad N., Levy L., Michaud L., Morisoli R., Watroba M., Girard M., Courvoisier N., Berberat J., Grandgirard R., Graf B., Streit M., Weisflog T. 2021: Liste der empfohlenen Getreidesorten für die Ernte 2022, Agroscope Transfer | Nr. 402 / Juni 2021.
- Schmidt ohne Datum Schmidt W. ohne Datum: Einfluss der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Stoffaustrag über Makroporen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig. [Einfluss der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Stoffaustrag über Makroporen \(sachsen.de\)](#), abgerufen 10.2021.
- Schönenberger 2020 Schönenberger U., Dax A., Singer H., Stamm C. 2020: Hydraulische Kurzschlüsse – Hohe Bedeutung für die Belastung der Gewässer mit Pflanzenschutzmitteln. Aqua & Gas N° 11| 2020, 65-71.
- Schütze 2020 Schütze A., Dietsch P., Thomas M. 2020: Prüfung von Alternativen zu Pflanzenschutzmitteln im Wald – Schlussbericht zur externen Vorstudie, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 53 S.
- Schwärzel 2020 Schwärzel R., Torche J-M., de Werra P., Schürch Gabus S., Massana Codina J., Dupuis B. 2020: Schweizer Sortenliste für Kartoffeln 2021, Agroscope Transfer | Nr. 362 / Dezember 2020.
- Sittig 2020 Sittig S., Sur R., Baets D., Hammel K. 2020: Consideration of risk management practices in regulatory risk assessments: evaluation of field trials with microdams to reduce pesticide transport via surface runoff and soil erosion, *Environ Sci. Eur.*, 32, 86.
<https://doi.org/10.1186/s12302-020-00362-1>
- Speiser 2015 Speiser B., Mieves E., Tamm L. 2015: Kupfereinsatz von Schweizer Biobauern in verschiedenen Kulturen, *Agrarforschung Schweiz* 6 (4): 160–165, 2015.
- Spring 2013 Spring J.-L., Gindro K., Voinesco F., Jermini M., Ferretti M., Viret O. 2013: Divico, premier cépage résistant aux principales maladies de la vigne sélectionné par Agroscope, *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 45(5), 292–303.

- Spycher 2013 Spycher S., Daniel O., 2013: Agrarumweltindikator Einsatz von Pflanzenschutzmitteln – Auswertungen von Daten der Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) der Jahre 2009-2010. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW.
- Spycher 2015 Spycher S., Hunkeler J., Bosshard A., Häni F., 2015: Gewässerbelastung durch Pestizide – Ansätze zur Verminderung landwirtschaftlich bedingter Einträge in Oberflächengewässer, Aqua & Gas, 12, 56-71.
- Spycher 2019 Spycher S., Teichler R., Vonwyl E., Longrée P., Stamm C., Singer H., Daouk S., Doppler T., Junghans M., Kunz M., 2019: Anhaltend hohe PSM-Belastung in Bächen. NAWA SPEZ 2017: kleine Gewässer in Gebieten mit in-tensiver Landwirtschaft verbreitet betroffen. Aqua & Gas, 99(4), 14-25.
- Spycher 2020 Spycher S., Tratschin R., Dübendorfer C., Schneider R., Ramseier H., 2020: Evaluation von Massnahmen zum Schutz des Grundwassers vor PSM und deren Metaboliten, Schlussbericht 9.10.2020, 85 S.
- Spycher 2021 Spycher S., Ritscher A., Dübendorfer C. 2021: Biozide mit insektizider Wirkung – Mengenabschätzung des schweizweiten Einsatzes, Schlussbericht, 6.7.2021, 35 S.
- Stamm C. 2010 Stamm C. 2010: Mikroverunreinigungen in den Gewässern aus diffusen Quellen – Situation in der Schweiz. Vortrag Bonn 24/2/2010.
- Steenblock 2002 Steenblock T und Forrer H.-R., 2002: Kartoffelanbau: Krautfäuleberatung via Internet, Agrarforschung Schweiz, 9(5), 207-214.
- Streit 2004 Streit B, Scherrer C, Tschachtli R, 2004: Integrierter und biologischer Anbau im Vergleich – Anbausystemversuch Burgrain – Dynamik der Unkrautpopulationen, Schriftenreihe der FAL 52 (70-75), Zürich
- Tschumi 2016 Tschumi M., Albrecht M., Dubsy V., Herzog F., Jacot K. 2016: Nützlingsblühstreifen für den Ackerbau reduzieren Schädlinge in Kulturen, Agrarforschung Schweiz, 7 (6), 260–267.
- TOPPS 2011 TOPPS 2011: Vermeiden von Gewässerverunreinigungen durch Punktquellen TOPPS Beste Management Praxis (BMP), 52 S.
- TOPPS 2014 TOPPS-Prowadis (2014): Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Runoff und Erosion, Bauer, F.; Dyson, J.; Le Henaff, G.; Laabs, V.; Lembrich, D.; Maillot-Mezaray, J.; Réal, B.; Roettele, M., 45 S.

- VSA 2021 Plattform Wasserqualität VSA 2021: Auswertung Monitoringdaten NAWA Trend, NAWA Spez, zusätzliche kantonale Messdaten (BE, SG, SH, VD, ZH), Pyrethroidmesskampagne. Stand 8. April 2021
- Wirth 2012 Wirth P. 2012: Standortbestimmung im Ackerbau, BBZ Arenenberg, 6 S.
- Wirthner und Droz 2019 Wirthner V., Droz P. 2019: Pflanzenschutz im Rebbau. Agridea.
- Wittmer 2014 a Wittmer, I., M. Junghans, H. Singer und C. Stamm 2014: Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf.
- Wittmer 2014 b Wittmer I., Moschet C., Simovic J., Singer H. P., Stamm C., Hollender J., Junghans M., Leu C. 2014: Über 100 Pestizide in Fliessgewässern – Programm NAWA SPEZ zeigt die hohe Pestizidbelastung der schweizer Fliessgewässer auf, Aqua & Gas, 32-43.
- Wittwer 2010 Wittwer A., Gubser C. 2010: Umsetzung des Verbots von Pflanzenschutzmitteln. Untersuchung zum Stand der Umsetzung des Anwendungsverbots von Unkrautvertilgungsmitteln auf und an Strassen, Wegen und Plätzen. Umwelt-Wissen Nr. 1014. Bundesamt für Umwelt, Bern: 54 S
- Zimmermann 2003 Zimmermann F, 2003: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung von Ackerflächen auf den sicherwassergebundenen Stofftransport – untersucht mit Hilfe von Experimenten an Bodensäulen, Diplomarbeit Universität Leipzig.

Dank

Das umfassende Thema des Projekts war dank der Unterstützung und dem Rat zahlreicher Personen möglich, denen wir herzlich danken wollen. Insbesondere Tobias Doppler, Anne Dietzel und Irene Wittmer (VSA Plattform Wasserqualität), Silvio Blaser, Laura de Baan, Anina Gilgen und Muris Korcaric (Agroscope).

Auch allen nicht namentlich genannten Kolleginnen und Kollegen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

A1 Vollständige Liste der gemessenen Wirkstoffe

Wirkstoffbereich	Wirkstoffname	Informationen Recht	Anzahl Messungen	Anzahl Messungen mit CQK-Überschreitungen (bzw. Anteil in %)
Herbizide	Aclonifen	P	233	1 (0.4%)
	Chlorotoluron	BX P	1489	1 (0.1%)
	Lenacil	P	422	2 (0.5%)
	MCPA	P	1488	2 (0.1%)
	MCPB	P	353	2 (0.6%)
	Mecoprop	P	1488	1 (0.1%)
	Mesotrion	P	670	1 (0.1%)
	Metamitron	P	1489	2 (0.1%)
	Pendimethalin	P	425	1 (0.2%)
	Rimsulfuron	P	182	2 (1.1%)
Fungizide	Fludioxonil	B P	353	3 (0.8%)
	Fluoxastrobin	P	251	3 (1.2%)
Insektizide	Acetamiprid	B P	193	1 (0.5%)
	Diflubenzuron	B P TA	137	1 (0.7%)
	Methoxyfenozide	P	1489	1 (0.1%)
	Spinosad	B P TA	137	1 (0.7%)
Wirkstoffe mit Überschreitungen deren Zulassung noch vor oder während der Messperiode abgelaufen ist oder bis Ende 2022 ablaufen wird				
Herbizide	Dinoseb	PX	120	2 (1.7%)
	Diuron	B PX	1489	27 (1.8%)
	Isoproturon	B PX	1488	9 (0.6%)
	Linuron	PX	1489	7 (0.5%)
	Metosulam	PX°	182	2 (1.1%)
	Propachlor	PX	371	10 (2.7%)
	Terbutryn	B PX	1278	10 (0.8%)
Fungizide	Fenpropimorph	B PX	542	6 (1.1%)
Insektizide	Carbofuran	PX	251	6 (2.4%)
	Chlorpyrifos	BX PX	1304	106 (8.1%)

Wirkstoffbereich	Wirkstoffname	Informationen Recht	Anzahl Messungen	Anzahl Messungen mit CQK-Überschreitungen (bzw. Anteil in %)
	Chlorpyrifos-methyl	BX PX	1083	27 (2.5%)
	Diazinon	BX PX TA	1462	39 (2.7%)
	Dimethoate	P	1489	13 (0.9%)
	Fenoxycarb	B PX	818	6 (0.7%)
	Fipronil	B PX TA	182	34 (18.7%)
	Imidacloprid	B P TA	1489	64 (4.3%)
	Methiocarb	PX	818	4 (0.5%)
	Methomyl	BX PX	917	5 (0.5%)
	Permethrin	B PX HA TA	240	9 (3.8%)
	Thiacloprid	B P	1489	61 (4.1%)
	Thiamethoxam	B PX	1488	42 (2.8%)
Wirkstoffe ohne Überschreitungen - zugelassen				
	6-benzyladenine	P	79	-
	Acibenzolar-S-methyl	P	137	-
	Amidosulfuron	P	182	-
	Asulam	P	305	-
	Beflubutamid	P	137	-
	Benalaxyl	P	137	-
	Benoxacor	P	58	-
	Bentazon	P	1465	-
	Benthiavalicarb-isopropyl	P	182	-
	Bifenazat	P	58	-
	Bixafen	P	206	-
	Boscalid	P	1593	-
	Bupirimate	P	243	-
	Buprofezin	P	137	-
	Carfentrazone-ethyl	P	137	-
	Chlorantraniliprole	P	137	-
	Clethodim	P	137	-
	Clodinafop-propargyl	P	137	-
	Clofentezine	P	137	-

Wirkstoffbereich	Wirkstoffname	Informationen Recht	Anzahl Messungen	Anzahl Messungen mit CQK-Überschreitungen (bzw. Anteil in %)
	Clomazone	P	182	-
	Clopyralid	P	79	-
	Cloquintocet-mexyl	P	137	-
	Cyazofamid	P	137	-
	Cycloxydim	P	182	-
	Cyflufenamid	P	206	-
	Cymoxanil	P	103	-
	Cyproconazole	B P	1489	-
	Dicamba	P	623	-
	Difenoconazole	P	251	-
	Dimethomorph	P	353	-
	Ethofumesate	P	1230	-
	Etofenprox	B P	122	-
	Etoxazol	P	79	-
	Famoxadone	P	58	-
	Fenhexamid	P	182	-
	Fenpropidin	P	182	-
	Fenpyrazamin	P	79	-
	Fenpyroximate	P	137	-
	Flazasulfuron	P	79	-
	Flonicamid	P	182	-
	Florasulam	P	137	-
	Fluazinam	P	137	-
	Flumioxazin	P	58	-
	Fluopicolide	P	137	-
	Fluopyram	P	137	-
	Flurochloridon	P	137	-
	Fluroxypyr	P	200	-
	Flutolanil	P	137	-
	Fluxapyroxad	P	79	-
	Glyphosat	P	346	-
	Hexythiazox	P	137	-

Wirkstoffbereich	Wirkstoffname	Informationen Recht	Anzahl Messungen	Anzahl Messungen mit CQK-Überschreitungen (bzw. Anteil in %)
	Imazalil	B P TA	137	-
	Imazamox	P	182	-
	Indoxacarb	B P TA	137	-
	Iodosulfuron-methyl	P	308	-
	Iprovalicarb	P	1488	-
	Isoxadifen-ethyl	P	58	-
	Isoxaflutole	P	137	-
	Kresoxim-methyl	P	182	-
	Mandipropamid	P	182	-
	Mefenpyr-Diethyl	P	294	-
	Mepanipirim	P	182	-
	Mesosulfuron-methyl	P	251	-
	Metalaxyl	P	1489	-
	Metaldehyd	P	79	-
	Metconazole	P	137	-
	Metobromuron	P	189	-
	Metrafenone	P	251	-
	Metsulfuron-methyl	P	353	-
	Napropamide	P	1487	-
	Paclobutrazol	P	79	-
	Penconazole	P	528	-
	Penoxsulam	P	79	-
	Penthiopyrad	P	79	-
	Pethoxamid	P	182	-
	Picloram	P	137	-
	Pinoxaden	P	137	-
	Piperonyl butoxide	B P	182	-
	Prochloraz	P	182	-
	Propamocarb	P	1488	-
	Propaquizafop	P	182	-
	Propiconazole	B P	440	-
	Proquinazid	P	137	-

Wirkstoffbereich	Wirkstoffname	Informationen Recht	Anzahl Messungen	Anzahl Messungen mit CQK-Überschreitungen (bzw. Anteil in %)
	Prothioconazole	P	58	-
	Pyraclostrobin	P	363	-
	Pyraflufen-ethyl	P	137	-
	Pyrimethanil	P	1595	-
	Pyroxsulam	P	137	-
	Quizalofop-P-ethyl	P	137	-
	Spirotetramat	P	137	-
	Sulfosulfuron	P	137	-
	Tebuconazole	B P	1595	-
	Tebufenozide	P	251	-
	Tebufenpyrad	P	137	-
	Tembotrione	P	182	-
	Thiabendazole	B P	137	-
	Thiencarbazone-methyl	P	137	-
	Thifensulfuron-methyl	P	353	-
	Tolclofos-methyl	P	137	-
	Triazoxide	P	137	-
	Tribenuron-methyl	P	137	-
	Triclopyr	P	142	-
	Trifloxystrobin	P	383	-
	Triflursulfuron-methyl	P	251	-
	Trinexapac-Ethyl	P	182	-
	Triticonazole	P	137	-
	Tritosulfuron	P	182	-
	Valifenalate	P	79	-
	Zoxamid	P	58	-

Tabelle 21: Monitoringdaten der nicht vertieft untersuchten Wirkstoffe. Abkürzungen: B: Biozid, P: PSM, TA: Tierarzneimittel, HA: Humanarzneimittel, X: Nicht mehr in dem entsprechenden Bereich zugelassen oder massiv eingeschränkt (Dimethoate, Imidacloprid, Thiamethoxam).

A2 Weitere berechnete Indikatoren

In Ergänzung zum normierten gewichteten Risikoscore (ngRS) der Agroscope wurden die Monitoringdaten auch direkt mit dem nicht normierten Score (gRS) und einem von der Eawag und der Plattform Wasserqualität des VSA entwickelten Eintragsindikator quantifiziert (Wittmer 2014).

A2.1 Gewichteter Risikoscore

Der Zusammenhang zwischen dem direkt dem Anhang V der Studie von Korkaric *et al.* (2020) entnommenen gewichteten Risikoscore (gRS) und dem Anteil CQK-Überschreitungen zeigt eine leicht höhere Streuung als die in Abbildung 1 dargestellte äquivalent Auftragung mit dem normierten gewichteten Risikoscore (ngRS), vor allem im Bereich tieferer Werte. Deutlich grösser ist der Unterschied, wenn auch die Wirkstoffe ohne Überschreitungen eingezeichnet werden (Abbildung 16), für die der ngRS deutlich weniger falsch Positive aufweist als der gRS, also deutlich weniger orange Punkte von Wirkstoffen, die nie in Konzentrationen oberhalb des CQK gemessen wurden, aber dennoch erhöhte Risikoscores aufweisen.

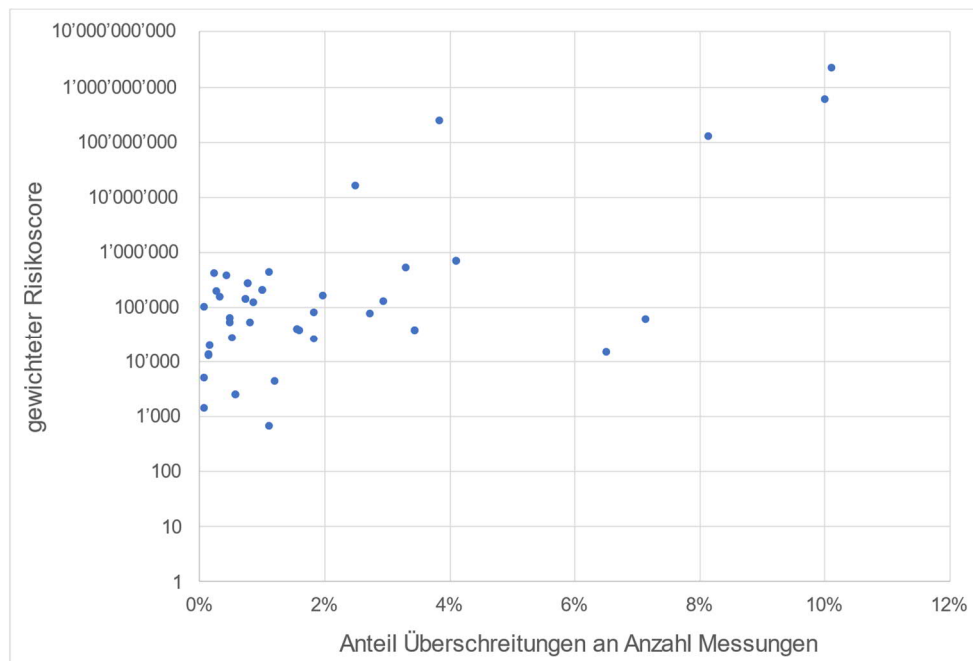


Abbildung 15 Gewichteter Risikoscore (gRS) aufgetragen gegen den Anteil Überschreitungen begrenzt auf Wirkstoffe mit gemessenen CQK-Überschreitungen

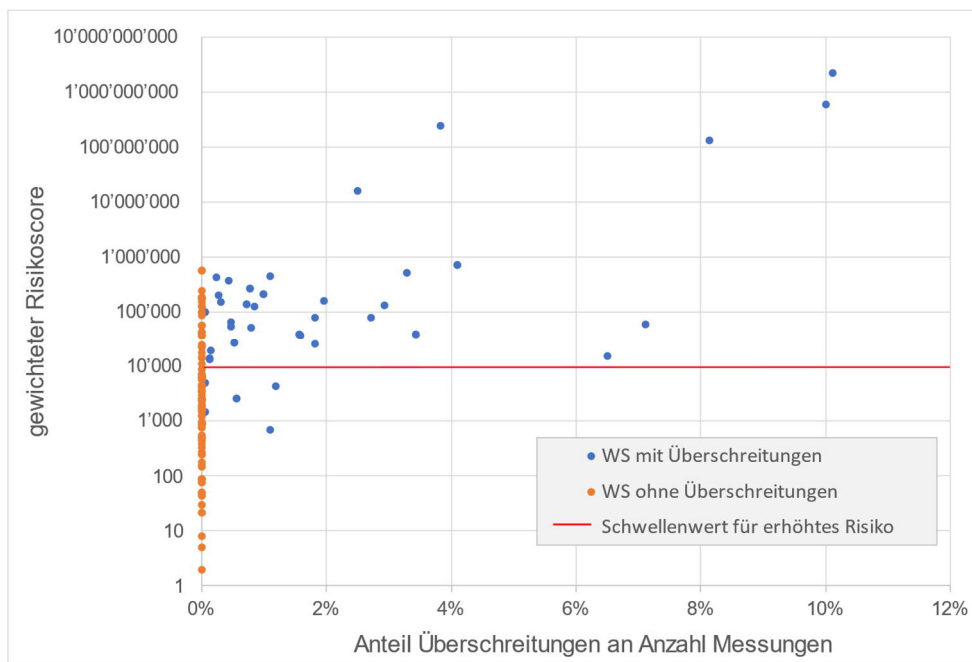


Abbildung 16 Gewichteter Risikoscore (gRS) aufgetragen gegen den Anteil Überschreitungen inklusive Wirkstoffe ohne CQK-Überschreitungen. Die rote Linie stellt die gewählte Schwelle für erhöhte Risiken aufgrund von Stoffeigenschaften dar

Der eher qualitativ diskutierte Unterschied von ngRS und gRS lässt sich auch durch die Auswertung der relativen Häufigkeit von Fehlklassifikationen vergleichen (Tabelle 22 und Tabelle 23).

	Messung mit Überschreitungen	Messung ohne Überschreitungen
ngRS oberhalb Schwelle	25 richtig positive	8 falsch positive
ngRS unterhalb Schwelle	4 falsch negative	69 richtig negative

Tabelle 22: Wahrheitsmatrix des auf dem ngRS basierenden Klassifikators

	Messung mit Überschreitungen	Messung ohne Überschreitungen
gRS oberhalb Schwelle	26 richtig positive	45 falsch positive
gRS unterhalb Schwelle	3 falsch negative	32 richtig negative

Tabelle 23: Wahrheitsmatrix des auf dem originalen gRS basierenden Klassifikators

Für die Zuordnung der Vorhersagen wurden alle Risikoscores oberhalb des mit der roten Linie eingezeichneten Schwellenwerts mit und alle unterhalb der roten Linie als ohne Überschreitungen eingestuft. Für die Zuordnung der Messungen wurden Wirkstoffe mit sehr tiefem Anteil an Überschreitungen (<0.5%) als ohne Überschreitungen gezählt. Damit sollte der Tatsache

Rechnung getragen werden, dass Wirkstoffe mit sehr vereinzelt Überschreitungen auch durch Probleme bei der Handhabung eingetragen worden sein könnten. Bei den in den beiden folgenden Tabellen dargestellten Wahrheitsmatrizes sind oben links die richtig Positiven (Wirkstoffe mit Überschreitungen als solche vorhergesagt) und unten rechts die richtig Negativen (Wirkstoffe ohne Überschreitungen als solche vorhergesagt) aufgeführt, während oben rechts die falsch Positiven und unten links die falsch negativen aufgeführt sind.

Beide Ansätze führen zu wenigen falsch negativen Zuordnungen mit lediglich 3 für den originalen gRS und 4 falsch negativen Zuordnungen beim ngRS. Der primäre Unterschied der beiden Ansätze ist, dass die Normierung zu deutlich weniger falsch positiven Zuordnungen führt. Wenn es um die Substitution von Wirkstoffen geht, können dank dem ngRS mehr Wirkstoffe empfohlen werden und damit ein möglicherweise zu konservativer Ansatz vermieden werden.

A2.2 Eintragsindikator

Der Eintragsindikator von Eawag und VSA wurde von der Plattform Wasserqualität mit aktualisierten Stoffdaten neu berechnet und durch die vom Ökotoxzentrum abgeleiteten chronischen Qualitätskriterien dividiert, um so das Risiko zu quantifizieren. Für den Vergleich mit den Monitoringdaten wurde der derart angepasste Eintragsindikator mit der mittleren Verkaufsmenge der Jahre 2015-2019 multipliziert, was in der analogen Nomenklatur einem normalisierten gewichtigen Eintragsindikator entspräche (ngEI).

Die Auswertungen auf Wirkstoffebene zeigen, dass ein hoher Anteil Überschreitungen tendenziell mit hohen Werten für den ngEI einhergeht (Abbildung 17), wenn auch etwas weniger deutlich als beim normierten Risikoscore (ngRS) der Agroscope. Auch die Unterscheidung zwischen Wirkstoffen mit und Wirkstoffen ohne Überschreitungen war beim ngRS deutlicher (Abbildung 18), was sich auch klar in der Wahrheitsmatrix mit einem hohen Anteil an falsch positiven Zuordnungen.

	Messung mit Überschreitungen	Messung ohne Überschreitungen
ngEI oberhalb Schwelle	31 richtig positive	58 falsch positive
ngEI unterhalb Schwelle	3 falsch negative	64 richtig negative

Tabelle 24: Wahrheitsmatrix des auf dem normalisierten gewichteten Eintragsindikator basierenden Klassifikators

Die Vergleiche der drei verschiedenen Ansätze, Indikatoren zu berechnen, sollte noch vertieft werden, indem noch näher untersucht wird, wie die Unterschiede zustande kommen und welche Schwellenwerte angemessen konservativ sind. Dies ist entscheidend, wenn verhindert werden soll, dass die

verstärkte Nutzung bisher weniger oder nicht genutzter Wirkstoffe nicht zu einer Problemverlagerung führt.

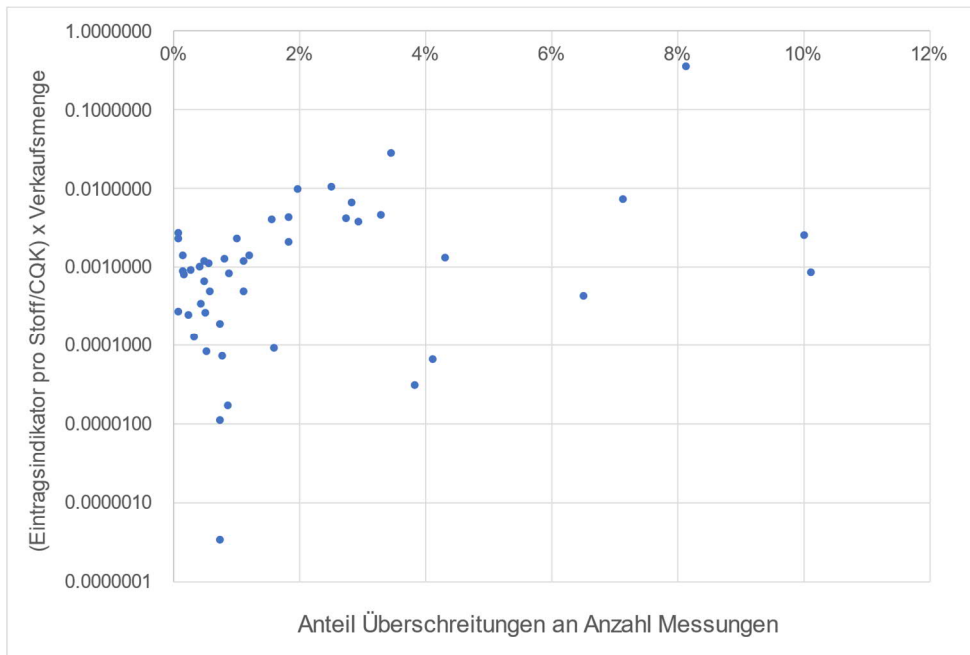


Abbildung 17 Angepasster Eintragsindikator (EI) von Eawag/VSA aufgetragen gegen den Anteil Überschreitungen begrenzt auf Wirkstoffe mit gemessenen CQK-Überschreitungen

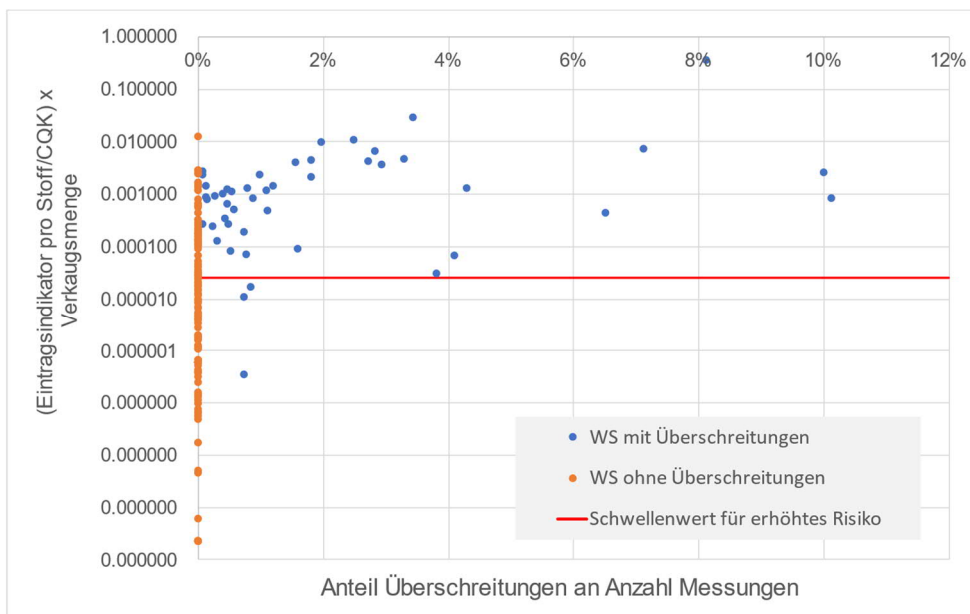


Abbildung 18 Angepasster Eintragsindikator (EI) von Eawag/VSA aufgetragen gegen den Anteil Überschreitungen inklusive Wirkstoffe ohne CQK-Überschreitungen.