



Modellierung der Auswirkungen politischer Reformen auf das Pflanzenschutzmittel- risikopotenzial in der Schweiz

Autorinnen

Sibylle Dueri und Gabriele Mack



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Impressum

Herausgeber	Agroscope Tänikon 1 8356 Ettenhausen www.agroscope.ch
Auskünfte	Sibylle Dueri, sibylle.dueri@agroscope.admin.ch
Gestaltung	Jacqueline Gabriel
Titelbild	123rf.com
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2024
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as192

Haftungsausschluss :

Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	4
Summary	5
Riassunto	5
1 Einführung	6
2 Politikmassnahmen zur Verminderung der PSM-Risiken in der Schweiz	7
3 Überblick über das SWISSland Modell	9
4 Datengrundlage und Methoden	11
4.1 Abschätzung der PSM-Ausbringungsmengen für die 3000 Buchhaltungsbetriebe	12
4.2 Sektorale Hochrechnung und Kalibrierung	13
4.3 Anpassung der Risikoscores	14
5 Politische Szenarien und Unsicherheit	16
5.1 Modellierung des Einsatzes von PSM (2019–2030)	16
5.2 Modellierung der Substitution und der Einschränkung von PSM	17
6 Ergebnisse	18
6.1 SWISSland Simulation des allgemeinen PSM-Risikos	18
6.2 SWISSland Simulation des PSM Risikopotenzial für verschiedene PSM-Klassen	19
6.3 SWISSland Modellierung des PSM Risikopotenzials für Ackerkulturen	20
6.3.1 Beitrag der verschiedenen PSM-Klassen und Wirkstoffe	22
7 Diskussion	25
8 Schlussfolgerungen	26
9 Literaturverzeichnis	27
10 Abbildungsverzeichnis	28
11 Tabellenverzeichnis	29
Anhang	30

Zusammenfassung

Die Schweiz hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2027 das Risiko von Pflanzenschutzmitteln (PSM) für Grundwasser, Oberflächengewässer und naturnahe Lebensräume um 50 Prozent zu reduzieren (LwG, Art. 6b). Um dieses Ziel zu erreichen, wurden seit 2023 verschiedene Massnahmen ergriffen. Zum einen wurden die freiwilligen Direktzahlungsprogramme zur Förderung von PSM-reduzierten oder PSM-freien (nicht jedoch biologischen) Anbausystemen ausgebaut. Zum anderen wurde die Verwendung von besonders schädlichen Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) eingeschränkt.

Die vorliegende Studie verfolgt zwei Ziele. Erstens wurde eine Methode entwickelt, mit der das Risikopotenzial von PSM für die Schweiz geschätzt werden kann. Zweitens wurde darauf aufbauend abgeschätzt, ob die seit 2023 eingeführten Politikmassnahmen die Risiken durch PSM in der Schweiz in Zukunft wirksam reduzieren können. Dazu wurden kulturartspezifische PSM-Mengen und Risikoscores in das agenten-basierte Sektormodell SWISSland integriert. Im Anschluss wurde mit SWISSland die Entwicklung des Risikopotenzials von PSM bis 2030 abgeschätzt.

Die Modellrechnungen zeigen, dass die Risikominderung in Oberflächengewässern und naturnahen Lebensräumen vom Einsatz von Pyrethroiden, einer Klasse von Insektiziden mit hohem Risikopotenzial, abhängt. Darüber hinaus ergaben sich erhebliche Unsicherheiten bei der Simulation des Risikopotenzials für Oberflächengewässer und naturnahe Lebensräume durch die Unsicherheit über die zukünftig eingesetzten Pyrethroidmengen. Die Ergebnisse verdeutlichen den Bedarf an umfassenden Datensätzen zum PSM-Einsatz in der Schweiz.

Résumé

La Suisse s'est fixée pour objectif de réduire de 50 % le risque lié à l'utilisation des produits phytosanitaires (PPh) pour les eaux souterraines, les eaux de surface et les milieux proches de l'état naturel d'ici 2027 (LAgr, art. 6b). Diverses mesures ont été prises depuis 2023 afin d'atteindre cet objectif. Des programmes facultatifs relevant des paiements directs et encourageant les systèmes de culture économes en PPh ou sans PPh (mais pas biologiques) ont ainsi été développés. D'autre part, l'utilisation de PPh particulièrement nocifs a été limitée dans le cadre des prestations écologiques requises (PER).

La présente étude poursuit deux objectifs. Il s'agit en premier lieu de développer une méthode permettant d'estimer le potentiel de risque des PPh pour la Suisse. Sur cette base, l'étude se propose ensuite d'évaluer si les mesures politiques introduites depuis 2023 peuvent réduire efficacement les risques liés à l'utilisation des PPh en Suisse à l'avenir. Pour ce faire, des scores de risque et des quantités de PPh spécifiques aux cultures ont été intégrés au modèle sectoriel SWISSland basé sur des agents. Le modèle a ainsi permis d'estimer l'évolution du potentiel de risque des PPh jusqu'en 2030.

Les modélisations montrent que la réduction des risques dans les eaux de surface et les habitats proches de l'état naturel dépend de l'utilisation de pyréthrinoïdes, une classe d'insecticides à haut potentiel de risque. Par ailleurs, la simulation des risques potentiels pour les eaux de surface et les milieux proches de l'état naturel est entachée de grandes incertitudes, liées à l'imprévisibilité des quantités de pyréthrinoïdes susceptibles d'être appliquées à l'avenir. Ces résultats montrent l'importance de disposer de bases de données complètes sur l'utilisation des PPh en Suisse.

Summary

Switzerland has set itself the target of reducing the risk posed by plant protection products (PPPs) for groundwater, surface waters and semi-natural habitats by 50 per cent by 2027 (Swiss Federal Law on Agriculture (LwG), Art. 6b). Since 2023, various measures have been taken to achieve this target. For one thing, the voluntary Direct Payments Programme for the promotion of PPP-reduced or PPP-free (though not organic) cropping systems was expanded. In addition, the use of particularly harmful plant protection products (PPPs) was restricted in the Proof of Ecological Performance (PEP) programme.

The present study has two main focuses: firstly, a method allowing the assessment of the risk potential of PPPs for Switzerland was developed; secondly, and building on this, the ability of the policy measures introduced since 2023 to effectively reduce the risks posed by PPPs in Switzerland in future was examined. For this, crop-specific PPP quantities and risk scores were incorporated into the agent-based 'SWISSland' sectoral model. The PPP risk-potential trend until 2030 was then estimated with SWISSland.

The model calculations show that risk reduction in surface waters and semi-natural habitats depends on the use of pyrethroids, a class of insecticides with a high risk potential. Furthermore, considerable uncertainties arose in the simulation of the risk potential for surface waters and semi-natural habitats due to the question mark over the quantities of pyrethroids to be used in future. The results illustrate the need for comprehensive datasets on PPP use in Switzerland.

Riassunto

La Svizzera si è posta l'obiettivo di ridurre i rischi associati all'impiego di prodotti fitosanitari (PF) per le acque sotterranee, le acque superficiali e gli habitat seminaturali del 50 per cento entro il 2027 (art. 6b L'Agr). Per raggiungerlo, dal 2023 sono state adottate diverse misure: da un lato sono stati potenziati i programmi volontari nell'ambito dei pagamenti diretti per promuovere sistemi di coltivazione con un impiego ridotto o privi di PF (ma non biologici), dall'altro è stato limitato l'uso di prodotti fitosanitari particolarmente dannosi nell'ambito della prova che le esigenze ecologiche sono rispettate (PER).

Il presente studio persegue due obiettivi: prima di tutto è stato sviluppato un metodo che consente di stimare il potenziale di rischio dei PF per la Svizzera; su questa base, si è poi valutato se le misure politiche introdotte a partire dal 2023 riusciranno a ridurre in modo efficace i rischi associati all'impiego di PF in Svizzera. Si è quindi proceduto a integrare quantità di PF specifiche per tipo di coltura e punteggi di rischio nel modello settoriale basato su agenti SWISSland, con il quale è stato poi stimato l'andamento del potenziale di rischio dei PF fino al 2030.

Le modellizzazioni dimostrano che la riduzione del rischio nelle acque superficiali e negli habitat seminaturali dipende dall'uso di piretroidi, una classe di insetticidi con un elevato potenziale di rischio. Sono inoltre emerse notevoli incertezze nella simulazione del potenziale di rischio per le acque superficiali e gli habitat seminaturali dovute all'impossibilità di determinare le quantità di piretroidi che saranno utilizzati in futuro. I risultati dimostrano l'esigenza di serie di dati complete sull'impiego di PF in Svizzera.

1 Einführung

Das zunehmende öffentliche Bewusstsein über die negativen Auswirkungen von PSM auf Ökosysteme und die menschliche Gesundheit hat in den letzten Jahren in vielen Ländern zur Festlegung von Reduktionszielen für den PSM-Einsatz geführt (Möhring et al., 2020). Die Schweiz hat im Jahr 2021 sogenannte "PSM-Reduktionspfade" in das Landwirtschaftsgesetz (LwG Art. 6b) aufgenommen mit dem Ziel, die PSM-Risiken bis 2027 um 50 % gegenüber der Referenzperiode 2012/2015 zu reduzieren (BLW, 2021). Um dieses Ziel zu erreichen, hat die Schweiz in den letzten Jahren verschiedene Massnahmen ergriffen: Einerseits wurden die Direktzahlungsprogramme ausgebaut, um PSM-freie oder PSM-reduzierte Anbausysteme zu fördern. Andererseits wurden Wirkstoffe mit erhöhtem Risikopotenzial im Ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) eingeschränkt.

Die vorliegende Studie verfolgt zwei Ziele:

- 1) Entwicklung einer Methode zur Modellierung des Risikopotenzials von PSM auf nationaler Ebene.
- 2) Abschätzung der Wirksamkeit der neu eingeführten Politikmassnahmen zur Reduktion von PSM-Risiken in der Schweiz.

Es gibt zahlreiche Indikatoren zur Bewertung der Umweltwirkungen von PSM (Möhring et al., 2019; Pierlot et al., 2017; Reus et al., 2002). Für das Monitoring des PSM-Risikopotenzials wird in der Schweiz ein von Agroscope entwickelter Risikoindikator verwendet (Korkaric et al. 2023) (siehe Verordnung über die Bewertung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft, Art. 10c). Dieser Indikator dient als Grundlage für die Modellierung des PSM-Risikopotenzials. Damit ist die methodische Konsistenz zwischen den prognostizierten PSM-Risiken und den periodisch publizierten Monitoring-Ergebnissen gewährleistet.

Der Bericht ist wie folgt gegliedert. In Kapitel 2 werden die bestehenden politischen Instrumente zur Regelung des Einsatzes von PSM in der Schweizer Landwirtschaft sowie die ab 2023 geplanten Reformen vorgestellt. Kapitel 3 gibt einen Überblick über das Modell SWISSland. Kapitel 4 zeigt die Modellierung des PSM-Risikopotenzials mit dem agenten-basierten Modell SWISSland. In Kapitel 5 werden die Modellszenarien beschrieben. Kapitel 6 zeigt die prognostizierten PSM-Risiken für die drei Kompartimente (Grundwasser, Oberflächengewässer und naturnahe Lebensräume) für einzelne Kulturen und für die gesamte Schweiz. Kapitel 7 enthält eine Diskussion der Ergebnisse und die Schlussfolgerungen.

2 Politikmassnahmen zur Verminderung der PSM-Risiken in der Schweiz

Die Verwendung von PSM in der Schweizer Landwirtschaft unterliegt einer Reihe von gesetzlichen Regelungen. Dazu zählen die Pflanzenschutzmittelverordnung, der ökologische Leistungsnachweis (ÖLN) sowie freiwillige Direktzahlungsprogramme zur Förderung von PSM-reduzierten oder PSM-freien Anbausystemen.

- 1) Die **Pflanzenschutzmittelverordnung** regelt das Inverkehrbringen von PSM. Zulassungen basieren auf dem Vorsorgeprinzip und sollen sicherstellen, dass die in Verkehr gebrachten Produkte bei sachgerechter Anwendung die Gesundheit von Mensch und Tier sowie die Umwelt nicht gefährden (Art. 1 Abs. 4 der Pflanzenschutzmittelverordnung). Die Schweiz hat 1992 die Pflanzenschutzmittelverordnung der Europäischen Union einschliesslich der seither erfolgten Revisionen weitgehend übernommen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Wirkstoffe, deren Zulassung zwischen 2018 und 2023 zurückgezogen oder ausgesetzt wurde. Diese Wirkstoffe müssen seither entweder durch andere Substanzen oder durch alternative Methoden (z. B. mechanische Unkrautbekämpfung, Einsatz natürlicher Feinde von Schädlingen oder Anbau resistenter Pflanzensorten) ersetzt werden.

Tabelle 1: Beispiele für Wirkstoffe, deren Zulassung in den letzten Jahren zurückgezogen oder ausgesetzt wurde (2018–2023).

	Wirkstoff	Entzug der Zulassung oder Aussetzung ¹⁾
Fungizid	Chlorothalonil	01.01.2020 ¹⁾
	Epoxiconazole	01.11.2021
	Mancozeb	01.01.2022
Herbizid	Chloridazon	01.01.2022
	Desmedipham	01.07.2022
	Haloxypop	01.07.2022
	Diquat	01.07.2022
	Glufosinate	01.01.2022
Insektizid	Chlorpyrifos	01.07.2020
	Chlorpyrifos-Methyl	01.07.2020
	Bifenthrin	01.07.2022
	Zeta -Cypermethrin	01.06.2022
	Alpha-Cypermethrin	01.07.2023

Quelle: <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/zulassung-pflanzenschutzmittel/anwendung-und-vollzug/zurueckgezogene-pflanzenschutzmittel.html>

- 2) Der **ÖLN** regelt die Auswahl und Anwendung von PSM für Landwirtschaftsbetriebe, die Direktzahlungen erhalten (Art. 11 der Direktzahlungsverordnung). Ab 2023 dürfen im ÖLN Wirkstoffe mit erhöhtem Risikopotenzial nicht mehr eingesetzt werden (siehe Anhang 1 der Direktzahlungsverordnung, Abschnitt 6.1.1.). Es handelt sich hierbei um fünf weit verbreitete Herbizide: S-Metolachlor, Terbutyazin, Nicosulfuron, Metazachlor und Dimethachlor (Tabelle 2). Diese Wirkstoffe müssen durch weniger schädliche Substanzen oder durch herbizidfreie Anbausysteme ersetzt werden. Der Einsatz der Herbizide ist jedoch weiterhin zulässig, wenn keine geeigneten Alternativen verfügbar sind (z. B. S-Metolachlor gegen Erdmandelgras).

Zudem wurde im ÖLN die Verwendung von vier Pyrethroiden (Cypermethrin, Deltamethrin, Etofenprox und Lambda-Cyhalothrin) eingeschränkt. Bei starkem Schädlingsbefall kann der kantonale Pflanzenschutzdienst jedoch eine Sonderbewilligung für den Einsatz dieser Pyrethroide erteilen. Im Gemüsebau ist der Einsatz von Pyrethroiden zur Bekämpfung einer Reihe von Schädlingen dagegen ohne Sonderbewilligung erlaubt (Schweizerischer Bundesrat, 2023).

Tabelle 2: Wirkstoffbeschränkungen im Rahmen des ÖLN ab 2023.

	Wirkstoff	Einschränkung
Herbizid	S-Metolachlor	Nicht erlaubt, muss durch einen weniger schädlichen Stoff ersetzt werden
	Terbuthylazine	
	Nicolsulfuron	
	Metazachlor	
	Dimethachlor	
Insektizid	Cypermethrin	Nur mit besonderer Genehmigung erlaubt ¹⁾
	Deltamethrin	
	Etofenprox	
	Lambda-Cyhalothrin	

Quelle: 910.13 Direktzahlungsverordnung, Anhang 1 (<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2013/765/de>)

¹⁾ Mit Ausnahmen für Gemüsekulturen

Im Jahr 2023 wurden zusätzliche freiwillige Direktzahlungsprogramme eingeführt, um den vollständigen oder teilweisen Verzicht auf PSM im Ackerbau zu fördern. So wurde das bereits bestehende Extenso-Programm für Getreide, Ölsaaten und Hülsenfrüchte auf Hackfrüchte ausgedehnt und die Zahlungen teilweise von 400 auf 800 CHF/ha erhöht (Tabelle A1 im Anhang). Zudem wurde das Direktzahlungsprogramm für herbizid-freie Anbausysteme im Ackerbau weiterentwickelt und die Zahlungen für Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben deutlich erhöht.

3 Überblick über das SWISSland Modell

Das agenten-basierte Agrarsektormodell SWISSland schreibt die Entwicklung der rund 3000 Schweizer Buchhaltungsbetriebe über einen Zeitraum von 10 bis 15 Jahren fort und modelliert deren landwirtschaftliche Produktion als Folge von Preis- und Direktzahlungsänderungen. Daraus werden mittels eines Hochrechnungsalgorithmus Produktmengen und verschiedene Struktur- und Einkommenskennzahlen berechnet, wie zum Beispiel die Flächennutzung und der Tierbestand in der Landwirtschaft sowie die Entwicklung des Selbstversorgungsgrades mit Nahrungsmitteln. Das Modellsystem wird seit 2011 zur Analyse einer Vielzahl agrarpolitischer Fragestellungen eingesetzt. Eine ausführliche Dokumentation des Modellsystems und der verwendeten methodischen Ansätze findet sich unter www.swissland.org.

SWISSland simuliert die Produktionsentscheidungen der Produzenten mittels einzelbetrieblicher PMP-basierter Optimierungsmodelle ab (PMP = Positive Mathematische Programmierung). Die Betriebe können ihr Produktionsprogramm und ihre Ressourcen (Land, Arbeitskräfte, Kapital) unter Berücksichtigung von Preisänderungen auf den Produkt- und Faktormärkten, agrarpolitischen Transferzahlungen und technischem Fortschritt wie Ertragssteigerungen ändern. Die Betriebsleiterinnen und -leiter maximieren im Rahmen ihrer Produktionskapazitäten und Präferenzen ihr erwartetes Haushaltseinkommen, das heisst die Summe aus landwirtschaftlichem und ausserlandwirtschaftlichem Einkommen.

Die einzelbetrieblichen Optimierungsmodelle werden auf ein Dreijahresmittel der Jahre 2016 bis 2018 kalibriert. Die zeitliche Auflösung im Modell SWISSland beträgt ein Jahr, entspricht also der jährlichen Produktionsplanung eines landwirtschaftlichen Betriebs. Für das Modell war ein rekursiv-dynamischer Modellansatz zielführend, in welchem bisherige Produktionskapazitäten und aufgrund von Produktionsentscheidungen getätigte Investitionen von einem Jahr ins nächste übertragen werden. SWISSland ist darauf ausgelegt, mittelfristige Anpassungsreaktionen über einen Zeitraum von 10–15 Jahren zu simulieren.

Die Optimierungsmodelle für die insgesamt 3000 Schweizer Landwirtschaftsbetriebe reproduzieren die in den Buchhaltungen der Zentralen Auswertung ZA erfassten Flächen und Tierbestände inklusive der ökologischen und landschaftspflegerischen Leistungen für den Dreijahresdurchschnitt 2016/18. Die Produzentenpreise im Basisjahr stellen ebenfalls einen Dreijahresdurchschnitt (2016–2018) dar und basieren auf den in den Buchhaltungen erhobenen betriebsindividuellen Preisen dieser Jahre. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus dem Bruttopreis beim Verkauf des Produktes und dem Preis des Produktes bei interner Lieferung an andere Betriebszweige, was beispielsweise bei der Verfütterung oder Lagerung von selbst erzeugtem Futtergetreide auf dem eigenen Betrieb vorkommen kann (= innerbetriebliche Leistung).

Die in SWISSland verwendeten betriebsindividuellen Naturalerträge entsprechen im Basisjahr dem Durchschnitt der drei Buchhaltungsjahre (2016–2018). Die Variabilität der Naturalerträge ergibt sich aus den Standortfaktoren und den betrieblichen Gegebenheiten (Bewirtschaftung, Spezialisierung, Fruchtfolge etc.). Witterungsschwankungen und Extremjahre sind in den Modellprojektionen nicht enthalten.

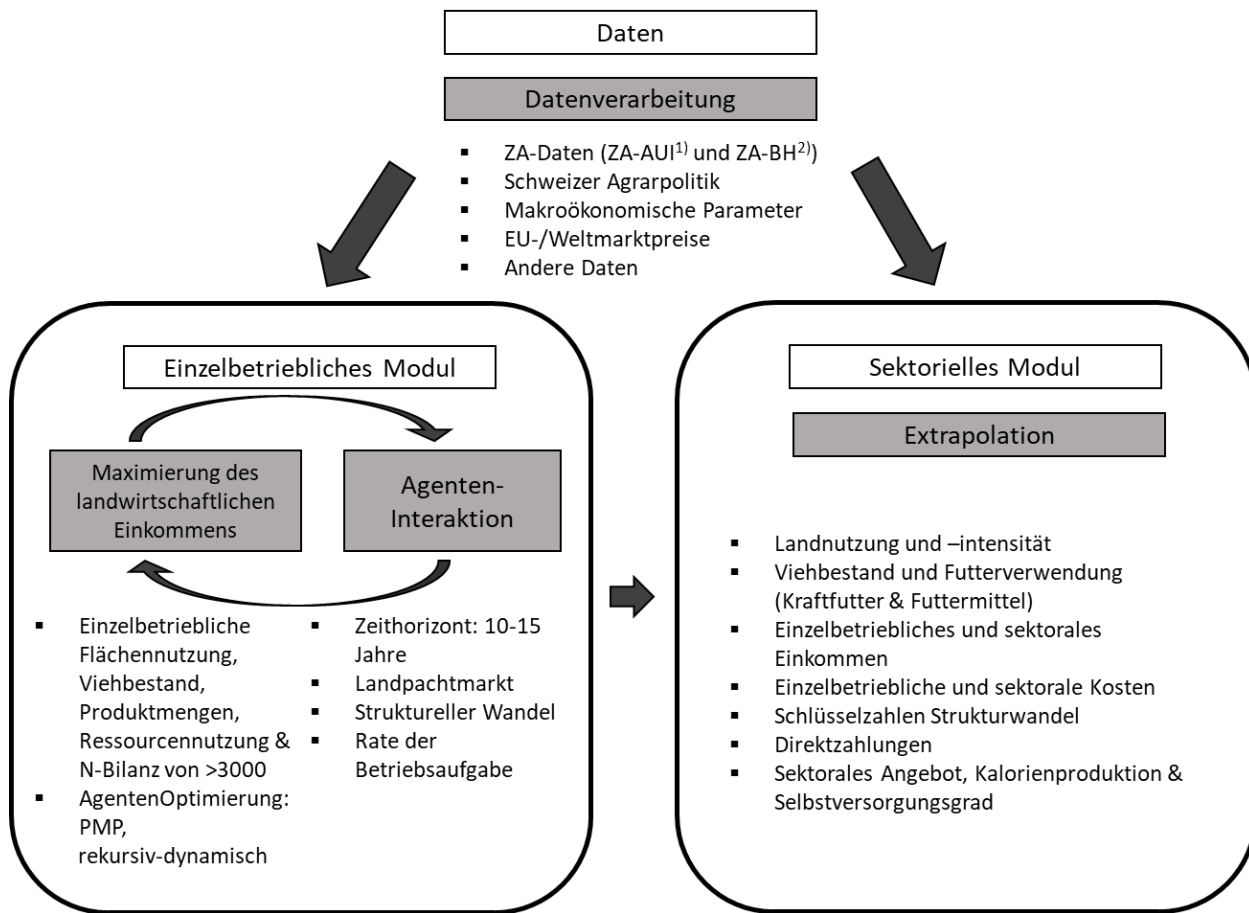


Abbildung 1: Überblick über das agentenbasierte Sektormodell SWISSland.

¹⁾ Daten von der Zentrale Auswertung von AgrarUmweltindikatoren

²⁾ Daten von der Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten

4 Datengrundlage und Methoden

Abbildung 2 zeigt den methodischen Ansatz zur Modellierung der PSM-Wirkstoffmengen und PSM-Risiken mit dem agenten-basierten Sektormodell SWISSland. Der Ansatz lässt sich in die folgenden drei Schritte unterteilen:

- 1) Abschätzung der PSM-Wirkstoffmengen für die 3000 in SWISSland abgebildeten Buchhaltungsbetriebe. Diese werden auf Basis der Angaben der 300 ZA-AUI-Betrieben geschätzt (Gilgen, Blaser et al., 2023)
- 2) Nationale Hochrechnung der PSM-Wirkstoffmengen, Kalibrierung und Unsicherheitsabschätzung: Die Wirkstoffmengen der rund 3000 in SWISSland modellierten Buchhaltungsbetriebe werden auf die gesamte Schweiz (50 038 Betriebe) hochgerechnet. Um sicherzustellen, dass die Hochrechnungsergebnisse mit den PSM-Verkaufszahlen übereinstimmen, werden die SWISSland Resultate für das Jahr 2018 an den nationalen PSM-Verkaufsmengen kalibriert.
- 3) Implementierung der Risikoscores in SWISSland: Zur Abschätzung der PSM-Risiken mit SWISSland werden die Risikoscores von Korkaric et al. (2023) angepasst (siehe Abschnitt 4.3).

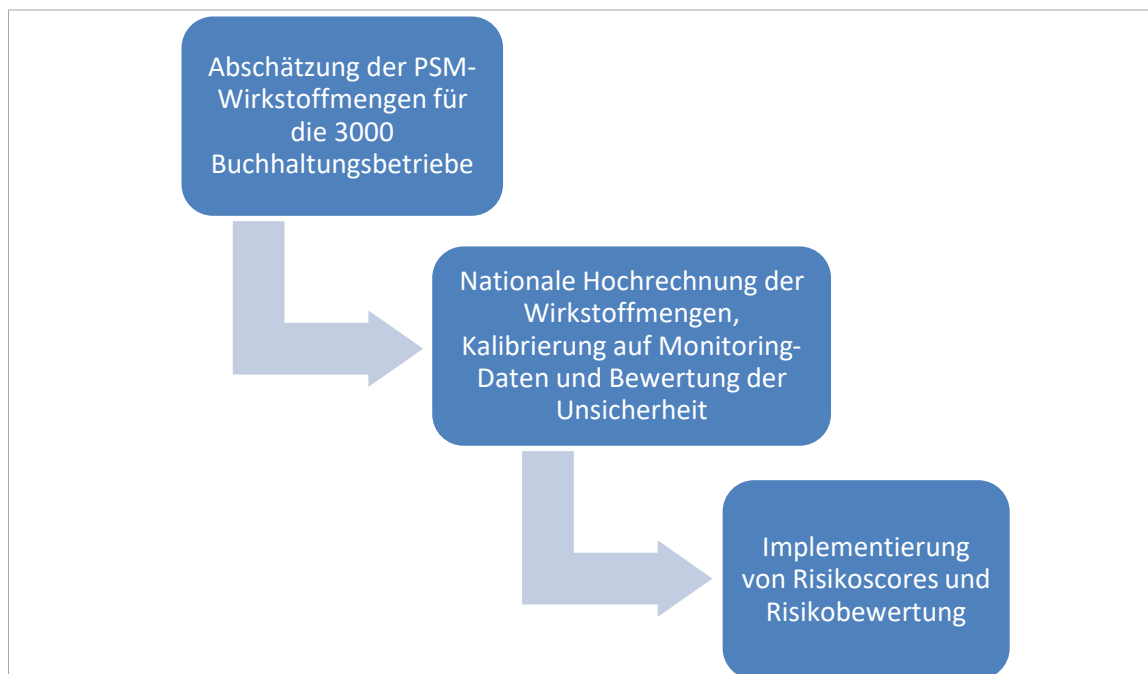


Abbildung 2: Modellierung des PSM-Risikos mit dem agenten-basierten Agrarsektormodell SWISSland.

Die folgenden Daten wurden für die Modellierung des PSM-Risikopotenzials mit SWISSland verwendet:

- **ZA-BH (Buchhaltungsdaten):** Diese liefern neben gesamtbetrieblichen Daten (Stichprobe Einkommenssituation) auch kulturspezifische ökonomische Kennzahlen (Stichprobe Betriebsführung) wie z. B. PSM-Kosten je ha für rund 3000 Betriebe (Renner et al., 2019).
- **ZA-AUI Daten:** Die Daten werden von rund 300 landwirtschaftlichen Betrieben bereitgestellt und umfassen detaillierte Angaben zur Bewirtschaftung. Sie enthalten Informationen zu den eingesetzten PSM-Wirkstoffmengen eines Betriebes, aufgeschlüsselt nach Wirkstoff, Kultur, Parzelle und Datum (Gilgen et al., 2023).
- **PSM-Preise:** Die Angaben wurden aus den „Betriebswirtschaftlichen Datensammlungen“ (Schoch und Gascard, 2018) sowie Online-Katalogen (www.land.ch, www.agroline.ch, Daten von August 2022) entnommen.
- **Risikoscores** und Risikominderungsfaktoren (Expositionsfaktoren) stammen von Korkaric et al. (2023) und können von der Website des BLW heruntergeladen werden: [Risikoindikatoren Pflanzenschutzmittel \(admin.ch\)](https://www.blw.admin.ch/risikoindikatoren). Diese Risikoscores werden im Modell angepasst (siehe Abschnitt 4.3).

- **Verkaufsmengen von PSM Wirkstoffen** werden jährlich für die Schweiz erhoben. Sie können von der Website des BLW heruntergeladen werden [Verkaufsmengen der Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe \(admin.ch\)](#)

4.1 Abschätzung der PSM-Ausbringungsmengen für die 3000 Buchhaltungsbetriebe

Für die 3000 in SWISSland implementierten Buchhaltungsbetriebe wurden die PSM-Ausbringungsmengen pro Hektare auf der Basis der ZA-AUI Daten geschätzt. Dazu wurden die Buchhaltungsdaten (3000 Betriebe) mit den ZA-AUI-Daten (300 Betriebe) verknüpft. Da sich die Anzahl Kulturen in SWISSland (29 Kulturen) von den ZA-AUI-Daten (209 Kulturen) unterscheidet, wurden diese in einem ersten Schritt harmonisiert. Von den 209 Kulturen, die in den ZA-AUI-Daten vertreten sind, konnten 163 mit Kulturen in SWISSland verknüpft werden (Tabelle A2). Die Schätzung der Wirkstoffmengen für die Buchhaltungsbetriebe erfolgte über einen gemeinsamen Schlüssel, die PSM-Kosten pro Hektare. Diese Daten waren für die Buchhaltungsbetriebe verfügbar (siehe Zusammenfassung in Tabelle A3 für intensive Anbausysteme und Tabelle A4 für Extensiv-Anbausysteme im Anhang). Für die ca. 300 ZA-AUI-Betriebe wurden die PSM-Kosten durch Multiplikation der eingesetzten PSM-Menge (AM_{beob}) mit einem durchschnittlichen PSM-Preis (P) berechnet. Das Produkt wurde für alle simulierten PSM-Anwendungen i addiert und ergab die Kosten je Kultur und Hektar (K_{ZA-AUI}).

$$\sum_i AM_{beob,i} \times P_i = K_{ZA-AUI} \quad (\text{Gl.1})$$

Die PSM-Wirkstoffmengen der ca. 300 ZA-AUI-Betriebe wurden auf die 3000 Buchhaltungsbetriebe übertragen, indem die ZA-AUI-Betriebe zunächst nach Kultur und Bewirtschaftungsform (extensiv, biologisch, intensiv) gruppiert wurden. Innerhalb einer Gruppe wurden die ZA-AUI Betriebe dann nach ihren PSM-Kosten aufsteigend sortiert und anhand der 33 % und 66 % Quantile in niedrige ($\leq Q_{33\%}$), mittlere ($>Q_{33\%}$ und $\leq Q_{66\%}$) und hohe ($> Q_{66\%}$) PSM-Kosten unterteilt (siehe Abbildung 3). Auch die Buchhaltungsbetriebe wurden aufsteigend ihrer PSM-Kosten sortiert und folgend der Quantile ($Q_{33\%}$ und $Q_{66\%}$) in drei Kostengruppen eingeteilt. Im Anschluss wurde einem Buchhaltungsbetrieb, der eine bestimmte Kultur in einer bestimmten Bewirtschaftungsform anbaut und zu einer bestimmten PSM-Kostengruppe gehört, eine zufällig ausgewählte PSM-Wirkstoffmenge aus der entsprechenden Gruppe der ZA-AUI-Betriebe zugeordnet. Enthält die durch Kultur und Bewirtschaftungsform charakterisierte Gruppe weniger als 4 ZA-AUI-Betriebe, wird die Kostenklasse bei der Zuteilung nicht berücksichtigt. Diese Zuweisung erfolgt einmalig für das Basisjahr.

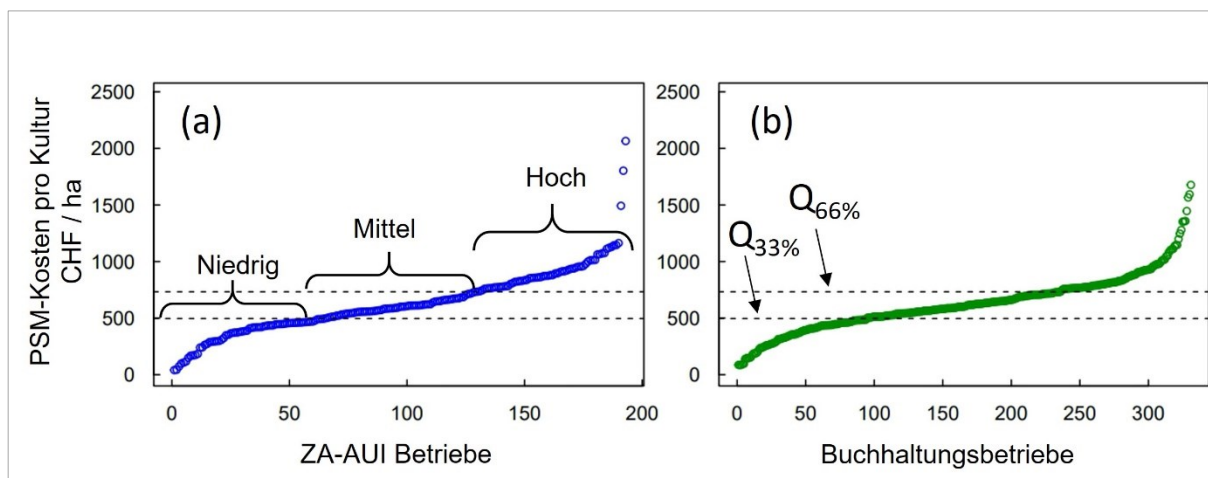


Abbildung 3: Verteilung der PSM-Kosten für (a) ZA-AUI und (b) Buchhaltungsbetriebe nach Kultur und Bewirtschaftungsform. Die Betriebe werden aufsteigend nach ihren PSM-Kosten pro Hektare sortiert und anhand der Quantile $Q_{33\%}$ und $Q_{66\%}$ in die niedrige, mittlere und hohe Kosten-Gruppe eingeteilt.

4.2 Sektorale Hochrechnung und Kalibrierung

Die PSM-Wirkstoffmengen der rund 3000 Buchhaltungsbetriebe wurden mit dem in SWISSland implementierten Hochrechnungsalgorithmus auf die 50 038 Betriebe in der Schweiz hochgerechnet (Zimmermann et al., 2015). Anschliessend wurden die hochgerechneten Werte auf die im Jahr 2018 veröffentlichten nationalen PSM-Verkaufsmengen kalibriert. Um Unsicherheiten in den Daten zu berücksichtigen, wurden zwei Szenarien simuliert, eines mit und eines ohne Kalibrierung.

Im Jahr 2018 wurden etwas mehr als 2100 Tonnen PSM-Wirkstoffe in der Schweiz verkauft. Mit SWISSland wurde ein Wirkstoffeinsatz von 1600 Tonnen berechnet (Abbildung 4). Die Differenz zwischen den berechneten und den tatsächlich verkauften Mengen lässt sich durch verschiedene Faktoren erklären. Einerseits können in den Verkaufsmengen auch PSM-Mengen enthalten sein, die ausserhalb der Landwirtschaft eingesetzt werden, beispielsweise in der Forstwirtschaft, in Privatgärten oder im Zierpflanzenanbau. Diese Mengen werden in SWISSland jedoch nicht abgebildet. Der Anteil des nationalen PSM-Absatzes, der auf nicht-landwirtschaftliche Anwendungen zurückzuführen ist, ist nicht bekannt (Lutz et al., 2023). Zudem ist die Repräsentativität der ZA-AUI-Daten für bestimmte Kulturen und Bewirtschaftungsformen unzureichend. Die ZA-AUI-Daten spiegeln die in der Schweiz vorherrschenden Ackerkulturen adäquat wider, sind jedoch für bestimmte Kulturen (Wein- und Gemüsebau) wenig repräsentativ (Gilgen et al., 2023). Der PSM-Einsatz in den unterrepräsentierten Kulturen kann zu einer Unter- oder Überschätzung einzelner Wirkstoffe führen. Diese Abweichungen können durch einen Faktor korrigiert werden, mit dem die mit SWISSland berechnete PSM-Wirkstoffmenge an die verkaufte Menge angepasst wird.

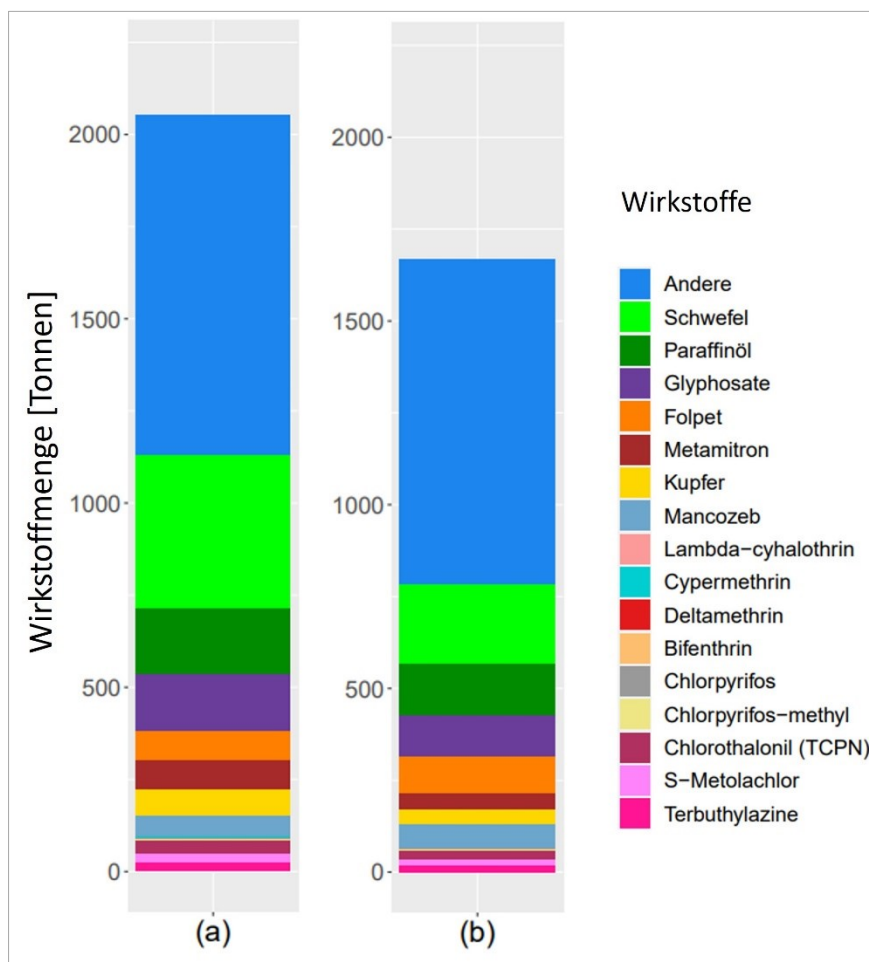


Abbildung 4: (a) Verkaufsmengen und (b) mit SWISSland berechnete Wirkstoffmengen [t] für das Jahr 2018.

Für den Fall, dass die Differenz auf nicht-landwirtschaftliche PSM-Anwendungen zurückzuführen ist, ist keine Korrektur der mit SWISSland berechneten PSM-Mengen erforderlich. Anders stellt sich die Situation dar, wenn die Differenz auf eine mangelnde Repräsentativität einzelner Kulturen zurückzuführen ist. In diesem Fall müssen die

berechneten PSM-Wirkstoffmengen korrigiert werden. Daher wurden in der Studie zwei Szenarien mit SWISSland berechnet:

- 1) ein unkalibriertes Szenario, in dem die gesamte Differenz dem nicht-landwirtschaftlichen Sektor zugeschrieben wird, und
- 2) ein kalibriertes Szenario, in dem Korrekturfaktoren verwendet werden, um die gesamte Differenz auszugleichen.

Für das kalibrierte Szenario wurden Korrekturfaktoren für die sieben mengenmässig am häufigsten, verwendeten Wirkstoffe (Schwefel, Paraffinöl, Glyphosat, Folpet, Metamitron, Kupfer, Mancozeb) und für die neun Wirkstoffe mit dem höchsten Umweltrisiko (Lambda-Cyhalothrin, Cypermethrin, Deltamethrin, Bifenthrin, Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-Methyl, Chlorothalonil, S-Metolachlor, Terbutylazin) berechnet. Die Korrekturfaktoren stellen das Verhältnis zwischen der verkauften Menge und der berechneten Menge für einen bestimmten Wirkstoff im Bezugsjahr (2018) dar. Im kalibrierten Szenario werden die simulierten PSM-Mengen mit diesem Korrekturfaktor bis 2030 korrigiert.

4.3 Anpassung der Risikoscores

Zur Berechnung des PSM-Risikopotenzials in SWISSland wurden Risikoscores vom nationalen Risikoindikator herangezogen (Korkaric et al., 2022; Korkaric et al., 2023). Der nationale Risikoindikator wurde von Agroscope im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) für die Schweiz entwickelt, um das Risikopotenzial von PSM für drei Umweltkompartimente (Oberflächengewässer, naturnahe Lebensräume und Grundwasser) im Zeitablauf verfolgen zu können. Der Indikator basiert auf den jährlich verkauften PSM-Mengen. Für den nationalen Risikoindikator wurden für jedes Umweltkompartiment Risikoscores festgelegt. Die Scores basieren auf den Eigenschaften der Wirkstoffe, die den Transport und die Konzentration im jeweiligen Umweltkompartiment beeinflussen. Für Oberflächengewässer und naturnahe Lebensräume berücksichtigen die Risikoscores die Toxizität für Organismen in den jeweiligen Umweltkompartimenten. Für das Grundwasser stellen die Risikoscores die potenzielle Exposition gegenüber PSM-Metaboliten dar, deren Toxizität nicht berücksichtigt wird. Die Werte des Risikoindikators können nicht zwischen den Kompartimenten verglichen werden.

Die Risikoscores des nationalen Risikoindikators wurden für die Berechnungen in SWISSland angepasst. Die von Korkaric et al. (2023) entwickelten Risikoscores repräsentieren das Risikopotenzial einer standardisierten Wirkstoffanwendung, die einer durchschnittlichen Wirkstoffmenge in der Landwirtschaft entspricht. Die in SWISSland implementierten PSM-Wirkstoffmengen weichen jedoch in der Regel von den standardisierten Werten ab. Deshalb wurden die Risikoscores von Korkaric et al. (2023) (RS_K) durch die standardisierte Aufwandmenge (AM_{std}) dividiert und mit der beobachteten Aufwandmenge (AM_{beob}) multipliziert.

$$RS = Risikoscore_K \times \frac{AM_{beob}}{AM_{std}} \quad (Gl.2)$$

Dadurch ist es möglich, Risikoscores (RS) für die beobachteten Wirkstoffanwendungen, welche in SWISSland implementiert sind, abzubilden.

Bei der Abschätzung des PSM-Risikopotenzials mittels des nationalen Risikoindikators in Oberflächengewässern wird zusätzlich ein Expositionsfaktor miteinberechnet, der die verschiedenen Wege berücksichtigt, auf denen PSM in Oberflächengewässer gelangen können. Dazu zählen beispielsweise Punktquellen, Abschwemmung, Kurzschluss, Drainage und Abdrift. Für die SWISSland-Berechnungen wurde ein konstanter Expositionsfaktor über den gesamten Simulationszeitraum angenommen.

Mit SWISSland wurde das PSM-Risikopotenzial berechnet, indem der (angepasste) Risikoscore (RS) mit der simulierten Anbaufläche (SA) und für Oberflächengewässer mit dem Expositionsfaktor (EF) (Gl.3) multipliziert wird. Das Produkt wird für alle simulierten PSM-Anwendungen i addiert, um das Gesamt-Risikopotenzial pro Umweltkompartiment zu erhalten.

$$PSM - Risikopotenzial = \sum_i SA_i \times RS_i \times EF_i \quad (Gl.3)$$

Das SWISSland-Risikomodell wurde mit der Open Source Software R entwickelt und ist offline mit dem SWISSland Optimierungsmodell gekoppelt. Das bedeutet, dass SWISSland einige der für die Berechnung des PSM-Risikopotenzials benötigten Inputvariablen an das PSM-Risikomodell übergibt, wenn die SWISSland-Simulation beendet ist. Für die Ausführung des PSM-Risikomodells werden zwei Arten von Ausgangsvariablen aus SWISSland benötigt: 1) die Vorhersage der landwirtschaftlichen Flächennutzung für verschiedene Kulturen und 2) die Hochrechnungsfaktoren, um die Anbaufläche von den 3077 Betrieben auf den gesamten Agrarsektor hochzurechnen.

5 Politische Szenarien und Unsicherheit

Um zu untersuchen, ob die ab 2023 umgesetzten politischen Massnahmen im Bereich Pflanzenschutz das PSM-Risikopotenzial in Zukunft reduzieren können, wurden zwei Politiksznarien definiert (Tabelle 3). Das Referenzszenario A geht hypothetisch davon aus, dass ab 2023 keine neuen politischen Massnahmen im Bereich PSM (weder Änderungen der ÖLN-Richtlinien noch Änderungen der Direktzahlungsprogramme im Bereich PSM) umgesetzt worden wären. Szenario B hingegen modelliert die PSM-Beschränkungen im Rahmen des ÖLN und die Weiterentwicklung der freiwilligen Direktzahlungsprogramme zur PSM-Reduktion. In Szenario B wird angenommen, dass die Landwirte alle nicht mehr zugelassenen Herbizide durch weniger schädliche Produkte ersetzen (die Annahmen zur Substitution von Herbiziden sind in Tabelle A4 im Anhang aufgeführt). Für Pyrethroide werden zwei Optionen modelliert: B1) Es erfolgt keine Reduktion des Pyrethroideinsatzes, d. h. der Pyrethroidverbrauch bleibt unverändert; B2) 100-prozentige Beschränkung für Pyrethroide ab 2023.

Für jedes Szenario wird die Unsicherheitsmarge berücksichtigt, die sich aus a) dem Mangel an Informationen über den Beitrag des nichtlandwirtschaftlichen Sektors an den PSM-Verkäufen und b) der geringen Repräsentativität der ZA-AUI-Daten für bestimmte Kulturen ergibt (siehe Abschnitt 4.2). Diese beiden Unsicherheiten entsprechen a) der unkalibrierten Simulation und b) der kalibrierten Simulation, bei der Korrekturfaktoren verwendet werden, um die simulierten PSM-Mengen an die verkauften Mengen anzupassen.

Tabelle 3: Beschreibung der Szenarien.

SZENARIEN		
Diagramm		
Hauptszenario	<pre> graph TD A[A] --> A_K[Kalibriert] A --> A_U[Unkalibriert] B[B] --> B1[1] B --> B2[2] B1 --> B1_K[Kalibriert] B1 --> B1_U[Unkalibriert] B2 --> B2_K[Kalibriert] B2 --> B2_U[Unkalibriert] </pre>	
Option		
Kalibrierung		
Beschreibung		
Hauptszenario	A	Referenzszenario ohne pestizidbezogene politische Reformen ab 2023
	B	Mit pestizidbezogenen politischen Reformen ab 2023
Option	1	Keine Beschränkung auf Pyrethroide
	2	100%ige Beschränkung auf Pyrethroide
Kalibrierung	Kalibriert	Der simulierte Pestizideinsatz wird anhand der beobachteten Verkäufe kalibriert
	Unkalibriert	Die Differenz zwischen dem simulierten Pestizideinsatz und den beobachteten Verkäufen ist dem nichtlandwirtschaftlichen Sektor zuzuschreiben

5.1 Modellierung des Einsatzes von PSM (2019–2030)

Das SWISSland-Modell quantifiziert den Einsatz von PSM für die 3000 Buchhaltungsbetriebe unter Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen sowie der Beteiligung an den freiwilligen Programmen zur PSM-Reduzierung (vgl. Abbildung A1).

Für den Zeitraum 2019 bis 2022 wird davon ausgegangen, dass der PSM-Einsatz pro Kultur in den landwirtschaftlichen Betrieben wie im Basisjahr (2018) umgesetzt wird, sofern die Kultur und die Bewirtschaftungsform (Extensiv, biologisch, intensiv) unverändert bleiben.

Bei einem Wechsel der Bewirtschaftungsform innerhalb des Zeitraums (2023–2030) erfolgt eine Anpassung des PSM-Einsatzes an die neue Bewirtschaftungsform. Dies betrifft insbesondere die Kulturen Brotgetreide, Futtergetreide, Zuckerrüben und Raps. Im Falle einer Umstellung des Betriebs auf eine herbizidfreie Bewirtschaftung werden die Herbizide gestrichen. Im Falle einer Umstellung des Betriebs auf eine PSM-freie Bewirtschaftung wird der PSM-Einsatz für diesen Betrieb und diese Kultur auf Null gesetzt. In Bezug auf die zuvor erläuterte Regel existieren zwei Ausnahmen:

- 1) Bei PSM-freiem Obst werden dem Modell entsprechende PSM zugewiesen, welche für die ökologische Bewirtschaftung zugelassen sind.
- 2) Bezüglich des Einsatzes von Herbiziden bei Zuckerrüben besteht die Möglichkeit, diese bis zum 4-Blatt-Stadium einzusetzen. Im Risikomodell wird dieser Zeitpunkt auf Mai geschätzt und es werden nur PSM-Anwendungen bis Ende Mai abgebildet.

5.2 Modellierung der Substitution und der Einschränkung von PSM

Die getroffenen Annahmen zur Einschränkung und ggf. Substitution von PSM wurden in Abstimmung mit Experten aus der Forschung entwickelt.

Im Allgemeinen erfolgt keine Substitution von Wirkstoffen, deren Zulassung vor dem Jahr 2023 zurückgezogen oder ausgesetzt wurde. Wirkstoffe, deren Zulassung vor dem Jahr 2023 zurückgezogen oder ausgesetzt wurde, werden ab dem Jahr, in dem ihre Anwendung nicht mehr zugelassen ist, eliminiert (vgl. Tabelle 1). Eine Ausnahme bilden lediglich Bifenthrin, Zeta-Cypermethrin und Alpha-Cypermethrin, die durch Cypermethrin, Deltamethrin und Lambda-Cyhalothrin ersetzt werden.

Herbizide, die ab dem Jahr 2023 nicht mehr im ÖLN zugelassen sind, werden im Modell durch Wirkstoffe gemäss Tabelle A5 ersetzt. Insektizide (Pyrethroide), welche im Rahmen der ÖLN-Regelung ab dem Jahr 2023 keine Zulassung mehr erhalten haben, werden im Szenario B2 vollständig gestrichen. Gleiches gilt für die folgenden Wirkstoffe, wobei hier eine ersatzlose Streichung erfolgt: Dies betrifft die Wirkstoffe Cypermethrin, Etofenprox, Deltamethrin und Lambda-Cyhalothrin.

Die Beschränkung wird auf Produktebene modelliert, nicht auf Wirkstoffebene. Das bedeutet, dass das Risikomodell ein Produkt, das einen beschränkten Wirkstoff enthält, durch ein anderes Produkt ersetzt. Dazu wird zunächst ein Pool möglicher Ersatzanwendungen erstellt, indem aus den Anwendungen, die den Ersatzwirkstoff enthalten, diejenigen ausgewählt werden, die der Kultur und der Kostenkategorie entsprechen. Die Substitutionsanwendung wird dann zufällig aus diesem Pool gezogen. Die Substitution des Wirkstoffes erfolgt einmalig im Jahr der Einschränkung. In den Folgejahren wird davon ausgegangen, dass der substituierte Wirkstoff eingesetzt wird.

6 Ergebnisse

6.1 SWISSland Simulation des allgemeinen PSM-Risikos

Die Abbildung 5 präsentiert das mit SWISSland simulierte PSM-Risikopotenzial für den Zeitraum von 2019 bis 2030. Die nicht kalibrierte Simulation (blaue Linie in Abbildung 5) geht davon aus, dass der nicht-landwirtschaftliche Sektor für die Differenz zwischen dem simulierten PSM-Einsatz und den im Jahr 2018 verzeichneten PSM-Verkäufen verantwortlich ist (vgl. Abbildung 4). In der vorliegenden Untersuchung wird das Gesamt-Risikopotenzial dargestellt unter Berücksichtigung des Beitrags des nicht-landwirtschaftlichen Sektors. Der Beitrag des nicht-landwirtschaftlichen Sektors wird in der nicht kalibrierten Simulation als Differenz zwischen den PSM-Verkäufen und dem simulierten PSM-Einsatz im Jahr 2018 berechnet und als konstanter Wert für die Jahre 2019 bis 2030 hinzugefügt (siehe gestrichelte blaue Linie).

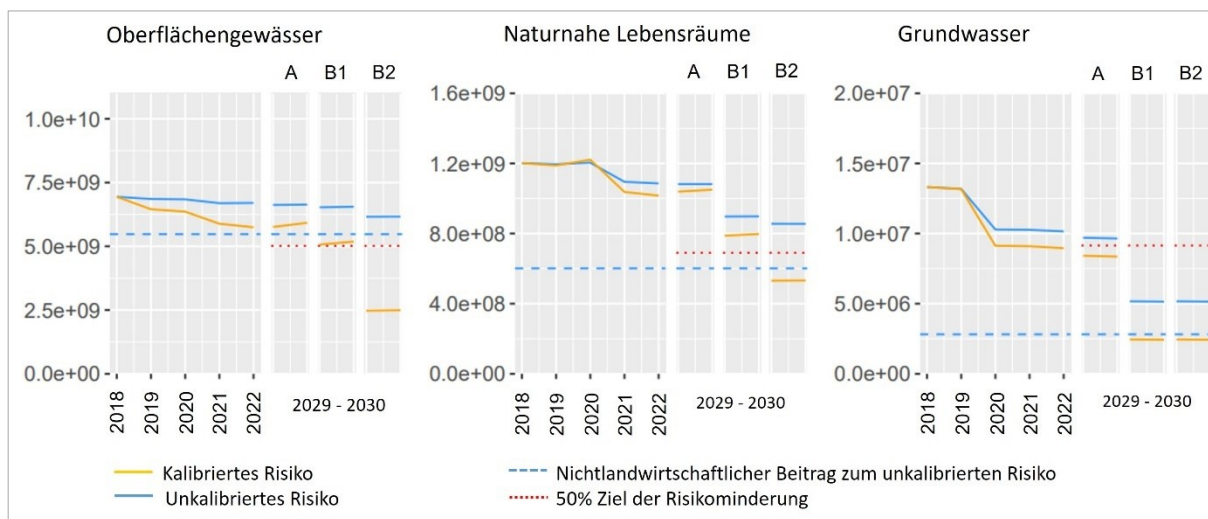


Abbildung 5: SWISSland-Simulation des Risikopotenzials von PSM in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Reformen, des Szenarios B1 mit politischen Reformen und ohne Beschränkungen für Pyrethroide und des Szenarios B2 mit politischen Reformen und 100%igen Beschränkungen für Pyrethroide. Die orangefarbene und die blaue Linie stellen die Entwicklung des Risikos für die kalibrierten bzw. unkalibrierten Simulationen dar. Die gestrichelte blaue Linie zeigt den nichtlandwirtschaftlichen Beitrag der unkalibrierten Simulation. Die rote gestrichelte Linie stellt das Ziel einer 50-prozentigen Risikoreduzierung dar (aus Korkaric et al., 2023), das auf der Grundlage von Verkaufsdaten im Jahr 2027 erreicht werden sollte (BLW, 2021).

Für Oberflächengewässer ergaben die Simulationen zwischen 2018 und 2022 eine Risikominderung um 18 % für die kalibrierte Simulation und um knapp 4 % für die nicht kalibrierte Simulation. Betrachtet man jedoch nur den Agrarsektor, so ergibt sich in beiden Simulationen eine sehr ähnliche Risikominderung (18 %). Ohne die Reduktionsmassnahmen würde sich das Risikopotenzial zwischen 2018 und 2022 kaum verändern (Abbildung A2).

In Oberflächengewässern war das PSM-Risikopotenzial im Referenzszenario A stabil oder leicht ansteigend und im Szenario B1 (mit politischen Reformen und ohne Beschränkungen für Pyrethroide) insgesamt stabil. Die Auswirkungen von Herbizidbeschränkungen waren gering, da in Oberflächengewässern der grösste Beitrag zum PSM-Risikopotenzial von Pyrethroiden ausgeht (Korkaric et al., 2023).

Im Szenario B2 mit einer 100%igen Pyrethroidbeschränkung wies das Risikopotenzial für Oberflächengewässer einen hohen Grad an Unsicherheit auf. Dies ist auf das Fehlen vollständig repräsentativer Daten über die Verwendung von Pyrethroiden in der Landwirtschaft und die hohen Risikoscores von Pyrethroiden in Oberflächengewässern zurückzuführen. In der unkalibrierten Simulation führte das Szenario B2 zu einer geringen Reduzierung des PSM-Risikos, da ein erheblicher Anteil der Pyrethroide dem nicht-landwirtschaftlichen Sektor zugerechnet wird, der von den neuen agrarpolitischen Programmen nicht betroffen ist.

Für naturnahe Lebensräume ergaben die Modellrechnungen zwischen 2018 und 2022 einen Rückgang des Risikopotenzials zwischen 15 % (kalibriert) und 12 % (unkalibriert). Der Rückgang trat vor allem im Jahr 2021 auf und war auf die Rücknahme der Zulassung von Chlorpyrifos und Chlorpyrifos-Methyl in der Pflanzenschutzmittelverordnung zurückzuführen. Im Vergleich zum Referenzszenario A hatten die politischen Massnahmen zur PSM-Reduktion einen signifikanten Einfluss auf das Risikopotenzial. In Szenario B1 war der Rückgang hauptsächlich auf die weitgehende Einführung PSM-freier Anbausysteme bei Brot- und Futtergetreide, Raps, Sonnenblumen und Hülsenfrüchten zurückzuführen. Ähnlich wie in den Oberflächengewässern führte das Szenario B2 in den naturnahen Lebensräumen zu einer starken Abnahme des PSM-Risikopotenzials in der kalibrierten Simulation, während die Beschränkung von Pyrethroiden in der unkalibrierten Simulation kaum einen Einfluss hatte.

Das simulierte PSM-Risikopotenzial im Grundwasser zeigte zwischen 2018 und 2022 einen deutlichen Rückgang, der auf die Aussetzung der Zulassung von Chlorthalonil im Jahr 2020 in der Pflanzenschutzmittelverordnung zurückzuführen ist. Nach 2023 wird ebenfalls ein deutlicher Rückgang des Risikopotenzials beobachtet. Einerseits ist dieser Rückgang auf die Beschränkungen für Herbizide (Tabelle 3) im Rahmen der ÖLN-Regelung zurückzuführen, die den Ersatz durch Herbizide mit niedrigeren Risikoscores vorschreibt. Zum anderen auf die zunehmende Beteiligung an freiwilligen Programmen zur PSM- und herbizidfreien Bewirtschaftung, für Brotgetreide, Futtergetreide, Raps, Sonnenblumen und Hülsenfrüchte. Da das Grundwasser-Risikopotenzial durch Pyrethroide nicht beeinflusst wird, unterscheiden sich die PSM-Risikopotenziale zwischen den Szenarien B1 und B2 nicht.

6.2 SWISSland Simulation des PSM Risikopotenzial für verschiedene PSM-Klassen

Es wurde analysiert, wie die verschiedenen PSM-Klassen (Insektizide, Fungizide und Herbizide) zum simulierten Risikopotenzial in den drei Umweltbereichen beitragen und wie sich Änderungen der Politik auf die Risikominderung auswirken (Abbildung 6). Im Gegensatz zum vorhergehenden Abschnitt wurde nur der Agrarsektor betrachtet.

Insektizide trugen am meisten zum Risikopotenzial in Oberflächengewässern bei und waren auch in naturnahen Lebensräumen ein wichtiger Faktor. In diesen Kompartimenten wies das insektizidbedingte Risikopotenzial den grossen Unterschied zwischen der kalibrierten und der unkalibrierten Simulation auf. Dies verdeutlicht die erhebliche Unsicherheit bei der Risikobewertung von Insektiziden. Auch in Oberflächengewässern und naturnahen Lebensräumen unterscheiden sich die Ergebnisse für die Szenarien B1 und B2 deutlich, was die Bedeutung der Pyrethroide zeigt. Für das Grundwasser ist die Unsicherheit bezüglich des Risikopotenzials von Insektiziden geringer, und es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Szenarien mit den PSM-Beschränkungen im Rahmen des ÖLN und der freiwilligen Direktzahlungsprogramme (B1 und B2) und dem Referenzszenario ohne politische Reformen (A).

Fungizide trugen wesentlich zum Risikopotenzial im Grundwasser bei. Zwischen 2018 und 2022 wurden mehrere Fungizide wie Chlortalonil (2020), Epoxinazol (2021) und Mancozeb (2022) durch die Pflanzenschutzmittelverordnung zurückgezogen (oder ausgesetzt). Im Grundwasser führte die Aussetzung von Chlortalonil zu einer signifikanten Reduktion des simulierten Fungizidrisikos im Jahr 2020. In Oberflächengewässern zeigte die Simulation eine signifikante Reduktion des potenziellen Fungizidrisikos bis 2022.

Herbizide trugen am meisten zum Risikopotenzial im Grundwasser und in naturnahen Lebensräumen bei. Die Beschränkungen für Herbizide in der ÖLN-Verordnung ab 2023 waren sehr wirksam bei der Risikominderung. Die Szenarien mit Politikreformen zur Einschränkung von PSM (B1 und B2) zeigen ein deutlich geringeres PSM-Risikopotenzial als das Referenzszenario A.: Das Grundwasser zeigte die stärkste Abnahme des Risikopotenzials, während die Oberflächengewässer die geringste Abnahme aufwiesen.



Abbildung 6: SWISSland-Simulation der Entwicklung des PSM-Risikopotenzials von Insektiziden/Akariziden, Fungiziden und Herbiziden in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Reformen, des Szenarios B1 mit politischen Reformen, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden, und des Szenarios B2 mit politischen Reformen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden. Die orangefarbene und die blaue Linie stellen die Entwicklung des Risikopotenzials für die kalibrierten bzw. nicht kalibrierten Simulationen dar, und berücksichtigen nur den Agrarsektor.

6.3 SWISSland Modellierung des PSM Risikopotenzials für Ackerkulturen

Um die Wirksamkeit der verschiedenen politischen Massnahmen (PSM-Verzicht gemäss Pflanzenschutzverordnung, Einschränkungen gemäss ÖLN-Regelung und freiwillige Agrarumweltprogramme) bei der Reduktion des Risikopotenzials abschätzen und vergleichen zu können, wurde die Entwicklung des prognostizierten Risikopotenzials in verschiedenen Ackerkulturen genauer analysiert (Abbildung 7). Die Analyse konzentrierte sich auf Brotgetreide, Futtergetreide, Zuckerrüben, Raps und Kartoffeln.

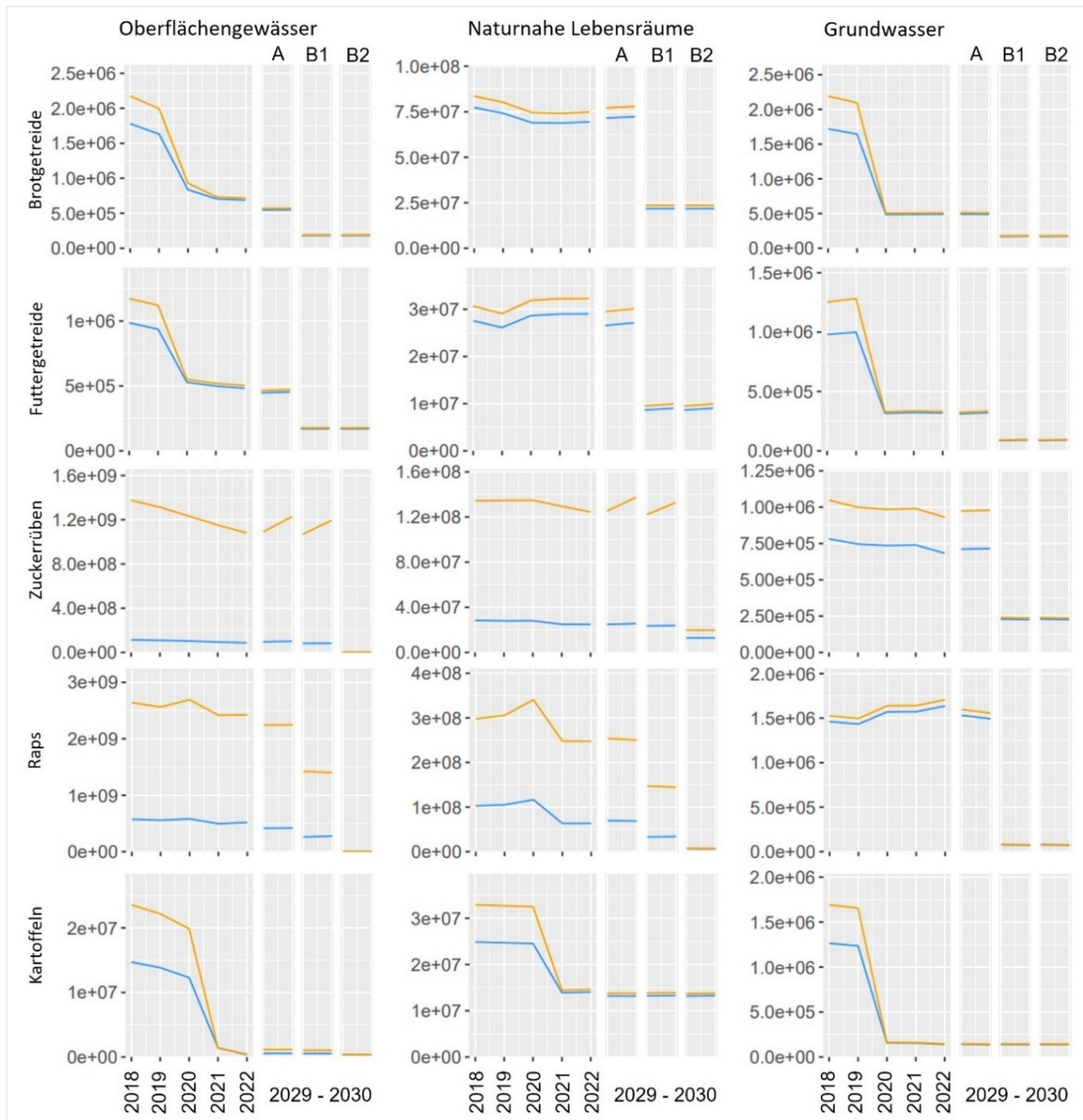


Abbildung 7: SWISSland-Simulation der Entwicklung des PSM-Risikopotenzials durch Ackerkulturen (Brot- und Futtergetreide, Zuckerrüben, Raps und Kartoffeln) in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Veränderungen, des Szenarios B1 mit politischen Veränderungen, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden, und des Szenarios B2 mit politischen Veränderungen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden.

Brot- und Futtergetreide zeigten ähnliche Resultate. Bei diesen Kulturen führte die Aussetzung von Chlorthalonil im Jahr 2020 zu einer deutlichen Verringerung des potenziellen PSM-Risikos in Oberflächengewässern und im Grundwasser. In naturnahen Lebensräumen hatte der Rückzug von Wirkstoffen vor 2023 keinen Einfluss auf das simulierte Risikopotenzial, aber die hohe Beteiligung an den freiwilligen Direktzahlungsprogrammen zur PSM-Minderung ab 2023 (Szenarien B1 und B2) führte zu einer signifikanten Risikominderung.

Die Verwendung von Pyrethroiden im Zuckerrüben- und Rapsanbau führte zu einer grossen Unsicherheit bei der Vorhersage des Risikopotenzials in Oberflächengewässern und naturnahen Lebensräumen und zu einem grossen Unterschied zwischen den Szenarien B1 und B2. Trotz der Unsicherheiten trugen Zuckerrüben und Raps unter den Ackerkulturen am meisten zum simulierten Risikopotenzial in Oberflächengewässern und naturnahen Lebensräumen

bei. Im Gegensatz dazu war das potenzielle Risiko im Grundwasser mit weniger Unsicherheit behaftet, und politische Veränderungen hatten einen grossen Einfluss auf die Risikominderung.

Bei Zuckerrüben ist die Risikoreduktion im Grundwasser auf die Herbizidrestriktionen (insbesondere S-Metolachlor) gemäss ÖLN ab 2023 und den Ersatz durch Herbizide mit geringeren Risikoscores zurückzuführen. Bei Kartoffeln nimmt das prognostizierte Risikopotenzial in Oberflächengewässern und naturnahen Lebensräumen ab 2021 aufgrund des Verzichts auf Chlorpyrifos stark ab. Auch im Grundwasser ist ein deutlicher Rückgang des Risikopotenzials im Jahr 2020 zu verzeichnen, was auf der Aussetzung der Zulassung von Chlorthalonil zurückzuführen ist.

6.3.1 Beitrag der verschiedenen PSM-Klassen und Wirkstoffe

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen das jeweilige Risikopotenzial der verschiedenen PSM-Klassen und Wirkstoffe. Zudem wird ein Vergleich der kalibrierten und nicht kalibrierten Simulationen angestellt.

Bei Getreide und Kartoffeln blieb die relative Bedeutung der Wirkstoffe und PSM-Klassen zwischen der kalibrierten und der unkalibrierten Simulation unverändert. Bei Zuckerrüben und Raps hingegen führte die Kalibrierung zu einer signifikanten Veränderung der Verteilung der PSM-Klassen in den naturnahen Lebensräumen. Während zuvor Herbizide das unkalibrierte Risikopotenzial für Zuckerrüben dominierten, stellten nun Insektizide das Hauptrisiko in der kalibrierten Simulation dar. Auch bei Raps führte die Kalibrierung zu einer Veränderung der Verteilung der PSM-Klassen in den naturnahen Lebensräumen. Das Herbizidrisiko wurde geringer, während das Insektizidrisiko höher wurde. Dies ist auf die grosse Unsicherheit der Daten über den Einsatz von Pyrethroide zurückzuführen. Bei der Betrachtung des Beitrags der Wirkstoffe zeigt sich, dass die Kalibrierung die relative Bedeutung von Cypermethrin für das Risikopotenzial in Oberflächengewässern und naturnahen Lebensräumen bei Raps und Zuckerrüben erhöht. Zudem verringert sich durch die Kalibrierung bei Raps die relative Bedeutung von Bifenthrin für das Gesamtriskopotenzial in Oberflächengewässern zwischen 2018 und 2022.

Für Getreide wurden die Bedeutung von Chlorthalonil (2018–2019) und die Auswirkungen seiner Einschränkung ab 2020 sowohl für Oberflächen- als auch für Grundwasser bestätigt. Die Simulationen zeigen, dass das Herbizid Diflufenican ab 2020 eine wichtige Rolle für das Risikopotenzial in diesen Kompartimenten spielt. Bei naturnahen Lebensräumen hingegen geht der grösste Beitrag zum Risikopotenzial von drei Herbiziden aus: Iodosulfuron-methylnatrium, Glyphosat und Thifensulfuron-methyl. Auch bei Kartoffeln zeigt die Simulation, dass das potenzielle Risiko in naturnahen Lebensräumen von Herbiziden dominiert wird, insbesondere von zwei Substanzen: Aclonifen und Metribuzin.

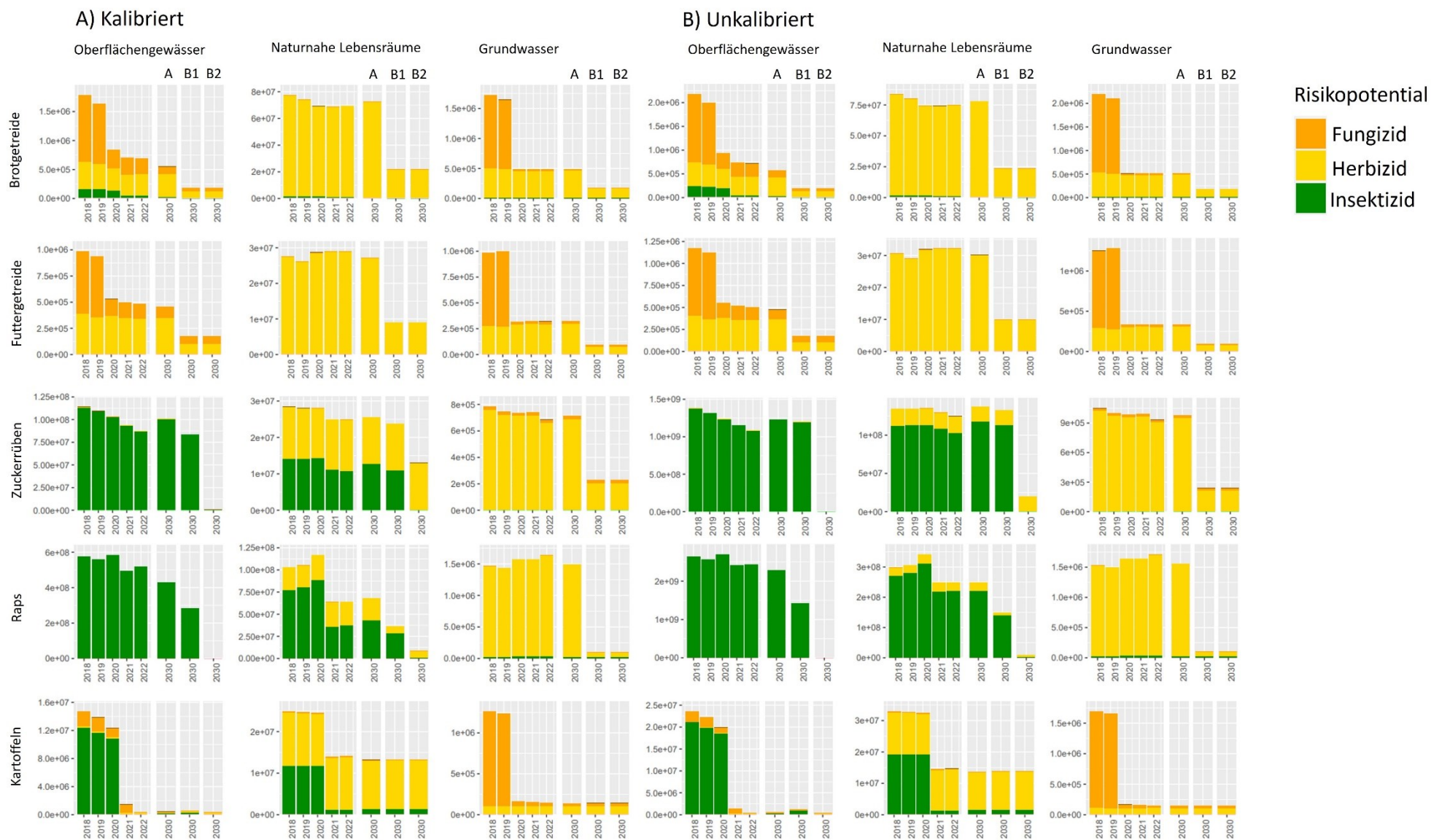


Abbildung 8: SWISSland-Simulation der Entwicklung des PSM-Risikopotenzials von Insektiziden, Fungiziden und Herbiziden in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A (Szenario ohne Politikveränderungen im Bereich PSM), des Szenarios B1 (mit Politikveränderungen im Bereich PSM, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden, und des Szenarios B2 (mit Politikveränderungen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden). A) Entwicklung des Risikopotenzials für die kalibrierten Simulationen. B) Entwicklung des Risikopotenzials für die nicht kalibrierten Simulationen.

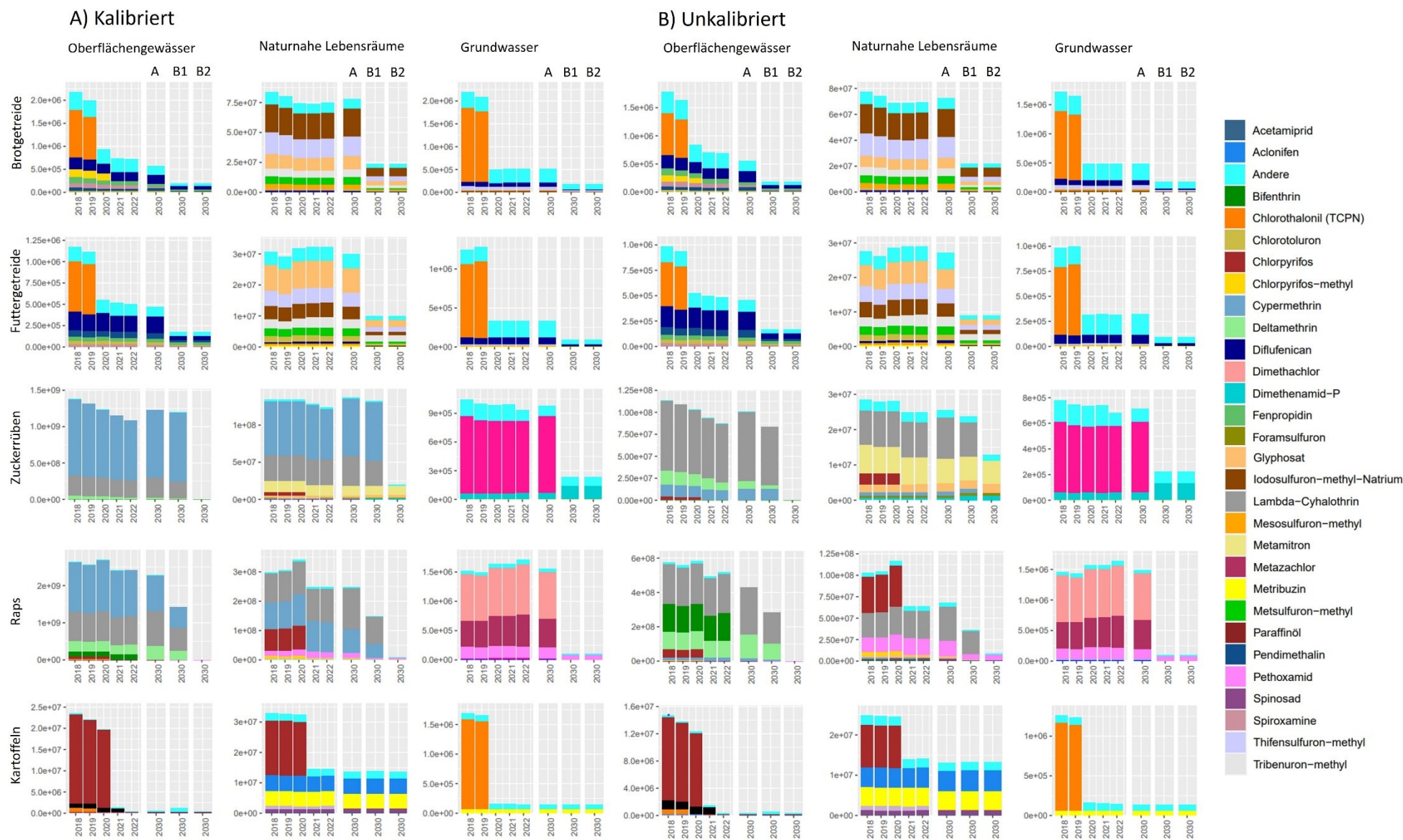


Abbildung 9: SWISSland-Simulation zur Entwicklung des Beitrags verschiedener Wirkstoffe zum PSM-Risikopotenzial in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Reformen, des Szenarios B1 mit politischen Reformen, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden, und des Szenarios B2 mit politischen Reformen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden. A) Entwicklung des Risikopotenzials für die kalibrierten Simulationen. B) Entwicklung des Risikopotenzials für die nicht kalibrierten Simulationen.

7 Diskussion

Gemäss den Simulationen mit SWISSland wirken sich die agrarpolitischen Änderungen ab 2023 insgesamt positiv auf die Risikominderung von PSM aus. Für die naturnahen Lebensräume wird nach 2023 eine deutliche Risikoreduktion simuliert, da in grossem Umfang PSM-freie Direktzahlungsprogramme für Brot- und Futtergetreide, Raps, Sonnenblumen und Hülsenfrüchte eingeführt werden. Auch für das Grundwasser zeigen die Herbizidrestriktionen und die Teilnahme an den Direktzahlungsprogrammen ab 2023 einen sehr deutlichen Effekt auf die Abnahme der PSM-bedingten Risiken. Für Oberflächengewässer simuliert das Modell einen Rückgang des fungizid- und herbizid-bedingten Risikopotenzials, während der Effekt auf das insektizid-bedingte Risikopotenzial mit grosser Unsicherheit behaftet ist. Die Simulationen bis 2030 zeigen, dass das Ziel einer 50-prozentigen Reduktion des mittleren Risikopotenzials im Referenzzeitraum (2012–2015) im Grundwasser erreicht werden könnte, während die Zielerreichung in Oberflächengewässern und naturnahen Lebensräumen von der Reduktion der Pyrethroide abhängt. In allen Kompartimenten tragen PSM, die vor 2023 vom Markt genommen wurden, mindestens zur Hälfte zur Verringerung des Risikopotenzials bei und sind die Hauptursache für die Risikominderung.

Einige Modellannahmen können dazu führen, dass die positiven Effekte der betrachteten Politikmassnahmen überschätzt werden. Beispielsweise basieren die Risikosimulationen auf den Resultaten von SWISSland (Mack et al., 2023), die eine hohe Akzeptanz von freiwilligen Direktzahlungsprogrammen zur Reduktion von PSM simulieren. Die Modellrechnungen basieren auf der Annahme, dass Landwirte reine Gewinnmaximierer sind. Die SWISSland-Simulationen könnten die Akzeptanz jedoch überschätzen, da andere Verhaltensfaktoren die Entscheidung zur Einführung nachhaltigerer landwirtschaftlicher Praktiken verlangsamen könnten (Dessart et al., 2019). Zudem reagieren Modellrechnungen sehr schnell auf eine Änderung des PSM-Einsatzes, während Grundwassermessungen die Auswirkungen eines reduzierten Einsatzes erst viel später zeigen, da das Grundwasser in der Regel eine lange Erneuerungszeit hat.

Zur Validierung der Modellergebnisse wurde das mit SWISSland berechnete Risikopotenzial für das Jahr 2018 mit den Ergebnissen der nationalen PSM-Risikoindikatoren (umsatzbasiert) verglichen. Da die Verkaufsmengen von 2018 zur Kalibrierung des SWISSland-Modells verwendet wurden, entsprechen die umsatzbasierten Risikoindikatoren dem simulierten Risikopotenzial im Jahr 2018. In den Folgejahren entsprechen die modellierten potenziellen Risiken weitgehend den mit den Verkaufsdaten berechneten Indikatoren, auch wenn es Abweichungen gibt, die auf externe Bedingungen zurückzuführen sind (z. B. Wetterbedingungen, die das Auftreten von Schädlingen beeinflussen), die sich auf den Absatz auswirken, aber nicht im SWISSland-Modell abgebildet werden. Der umsatzbezogene nationale Risikoindikator zeigt jedoch einen signifikanten Rückgang des potenziellen Herbizidrisikos in allen Umweltkompartimenten zwischen 2018 und 2022 (Korkaric et al., 2023), während dieser Rückgang in den SWISSland-Ergebnissen für naturnahe Lebensräume und Grundwasser nicht beobachtet wird. Dieser Rückgang könnte auf eine Reduktion des Herbizideinsatzes zugunsten alternativer Unkrautbekämpfungsmethoden zurückzuführen sein. Tatsächlich wurden ab 2018 Direktzahlungen für den Verzicht auf Herbizide im Wein-, Obst- und Zuckerrübenanbau und ab 2019 im Ackerbau eingeführt. Aufgrund der Datenverfügbarkeit werden diese Massnahmen in SWISSland jedoch erst ab 2023 modelliert.

Die Ergebnisse von SWISSland zeigen auch, wie wichtig die Verfügbarkeit von Daten über die Anwendung von PSM in der Landwirtschaft ist, um die Vorhersage der Auswirkungen agrarpolitischer Massnahmen zu verbessern. Fehlende Daten führen zu Unsicherheiten in den Simulationen, insbesondere wenn PSM wie Pyrethroide hohe Risikoscores aufweisen. Risikosimulationen für Kulturen, in denen diese Wirkstoffe häufig eingesetzt werden (Zuckerrüben, Raps, Gemüse), sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. In dieser Studie wurde der PSM-Einsatz aus den ZA-AUI-Daten abgeleitet, die derzeit die beste Datenbank für diesen Zweck darstellen. Diese Daten repräsentieren die grösseren Landwirtschaftsbetriebe der Schweiz gut, sind aber für kleinere Betriebe und gewisse Kulturen (Weinbau, Gemüse) nur bedingt repräsentativ (Gilgen et al., 2023).

8 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, welchen Beitrag die drei Pfeiler der PSM-Politik zur Verringerung der mit PSM verbundenen Risiken leisten. Der erste Pfeiler (Zulassung von PSM) hat einen grossen Einfluss auf die Risikominderung. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aussetzung der Zulassung von Chlothalonil im Grundwasser und die Rücknahme von Chlorpyrifos und Chlorpyrifos-methyl einen wichtigen Beitrag zur Risikominderung in naturnahen Lebensräumen leisten. Der zweite Pfeiler, der die Anwendung bestimmter Herbizide und Insektizide im Rahmen der ÖLN-Regelung ab 2023 einschränkt, hat ebenfalls einen grossen Einfluss auf die Verringerung des Risikopotenzials. Die Beschränkungen des Herbizideinsatzes leisten einen wirksamen Beitrag zur Verringerung der Umweltrisiken, insbesondere für das Grundwasser. Darüber hinaus könnten die Beschränkungen für Pyrethroide die Risiken für Oberflächengewässer und naturnahe Lebensräume erheblich verringern, sofern alternative PSM-Massnahmen zur Verfügung stehen, so dass ihr Einsatz im Vergleich zur derzeitigen Situation erheblich reduziert werden könnte. Der dritte Pfeiler, die freiwilligen Direktzahlungsprogramme, reduziert den Beitrag zum PSM-Risikopotenzial für einige ausgewählte Kulturen (v. a. Brotgetreide, Futtergetreide und Raps), für die eine hohe Akzeptanz der freiwilligen Direktzahlungsprogramme erwartet wird, deutlich. Gemäss den hier vorgestellten Resultaten tragen diese Programme jedoch relativ wenig zusätzlich zur allgemeinen Risikominderung bei, da der Einsatz von Wirkstoffen mit hohem Risikopotenzial bereits durch die ÖLN-Regelung eingeschränkt wurde.

In dieser Studie wurde das Risikopotenzial im Zusammenhang mit Ackerkulturen modelliert, aber in Zukunft sollte die Forschung auch den Beitrag anderer Kulturen wie Gemüse und Obst untersuchen. Diese Kulturen weisen einen hohen PSM-Verbrauch auf, aber zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind die verfügbaren Daten über den PSM-Einsatz bei Gemüse und Obst nicht ausreichend repräsentativ für diesen Produktionssektor, so dass die Simulationen für diese Kulturen mit Unsicherheiten behaftet sind und keine detailliertere Analyse erlauben.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass es sinnvoll ist, umfassende Datensätze zum PSM-Einsatz in der Schweiz zu erheben. Dies kann die Zuverlässigkeit von Modellen zur Abschätzung des PSM-Risikopotenzials verbessern und die Effizienz von Massnahmen im Bereich PSM erhöhen.

9 Literaturverzeichnis

- BLW, 2021. Verordnungspaket Parlamentarische Initiative 19.475 "Das Risiko beim Einsatz von Pestiziden reduzieren". Erläuternder Bericht zur Eröffnung des Vernehmlassungsverfahrens, Bern.
- Dessart, F.J., Barreiro-Hurlé, J., van Bavel, R., 2019. Behavioural factors affecting the adoption of sustainable farming practices: A policy-oriented review. *European Review of Agricultural Economics* 46, 417–471.
- Gilgen, A., Blaser, S., Schneuwly, J., Liebisch, F., Merbold, L., 2023. The Swiss agri-environmental data network (SAEDN): Description and critical review of the dataset. *Agricultural Systems* 205.
- Korkaric, M., Ammann, L., Hanke, I., Schneuwly, J., Lehto, M., Poiger, T., de Baan, L., Daniel, O., Blom, J.F., 2022. Nationale Risikoindikatoren basierend auf dem Verkauf von Pflanzenschutzmitteln, Agrarforschung Schweiz. Agroscope, Wädenswil, Switzerland, pp. 1–13.
- Korkaric, M., Lehto, M., Poiger, T., de Baan, L., Mathis, M., Amman, L., Hanke, I., Balmer, M., Blom, J.F., 2023. Nationale Risikoindikatoren für Pflanzenschutzmittel, Weiterführende Analysen, Agroscope Science. Agroscope, Wädenswil, Switzerland, pp. 1–48.
- Lutz, E., Blom, J.F., Schneuwly, J., de Baan, L., 2023. Analyse zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz, Agroscope Science.
- Mack, G., Finger, R., Ammann, J., El Benni, N., 2023. Modelling policies towards pesticide-free agricultural production systems. *Agricultural Systems* 207.
- Möhring, N., Gaba, S., Finger, R., 2019. Quantity based indicators fail to identify extreme pesticide risks. *Sci Total Environ* 646, 503–523.
- Möhring, N., Ingold, K., Kudsk, P., Martin-Laurent, F., Niggli, U., Siegrist, M., Studer, B., Walter, A., Finger, R., 2020. Pathways for advancing pesticide policies. *Nat Food* 1, 535–540.
- Pierlot, F., Marks-Perreau, J., Real, B., Carluer, N., Constant, T., Lioeddine, A., van Dijk, P., Villerd, J., Keichinger, O., Cherrier, R., Bockstaller, C., 2017. Predictive quality of 26 pesticide risk indicators and one flow model: A multisite assessment for water contamination. *Sci Total Environ* 605–606, 655–665.
- Renner, S., Jan, P., Hoop, D., Schmid, D., Dux, D., Weber, A., Lips, M., 2019. Survey system of the Swiss Farm Accountancy Data Network with two samples: Income Situation sample and Farm Management sample, Agroscope Science. Agroscope, pp. 1–75.
- Reus, J., Leendertse, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., van der Werf, H., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T., 2002. Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90, 177–187.
- Schoch, H., Gascard, B.-D., 2018. Reflex 2018 Betriebswirtschaftliche Datensammlung. AGRIDEA, Lindau, Switzerland.
- Zimmermann, A., Möhring, A., Mack, G., Ferjani, A., Mann, S., 2015. Pathways to truth: Comparing different upscaling options for an agent-based sector model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 18.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Überblick über das agentenbasierte Sektormodell SWISSland.....	10
Abbildung 2:	Modellierung des PSM-Risikos mit dem agenten-basierten Agrarsektormodell SWISSland.....	11
Abbildung 3:	Verteilung der PSM-Kosten für (a) ZA-AUI und (b) Buchhaltungsbetriebe nach Kultur und Bewirtschaftungsform. Die Betriebe werden aufsteigend nach ihren PSM-Kosten pro Hektare sortiert und anhand der Quantile Q33 % und Q66 % in die niedrige, mittlere und hohe Kosten-Gruppe eingeteilt.	121
Abbildung 4:	(a) Verkaufsmengen und (b) mit SWISSland berechnete Wirkstoffmengen [t] für das Jahr 2018.	132
Abbildung 5:	SWISSland-Simulation des Risikopotenzials von PSM in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Reformen, des Szenarios B1 mit politischen Reformen und ohne Beschränkungen für Pyrethroide und des Szenarios B2 mit politischen Reformen und 100%igen Beschränkungen für Pyrethroide. Die orangefarbene und die blaue Linie stellen die Entwicklung des Risikos für die kalibrierten bzw. unkalibrierten Simulationen dar. Die gestrichelte blaue Linie zeigt den nichtlandwirtschaftlichen Beitrag der unkalibrierten Simulation. Die rote gestrichelte Linie stellt das Ziel einer 50-prozentigen Risikoreduzierung dar (aus Korkaric et al., 2023), das auf der Grundlage von Verkaufsdaten im Jahr 2027 erreicht werden sollte (BLW, 2021).	18
Abbildung 6:	SWISSland-Simulation der Entwicklung des PSM-Risikopotenzials von Insektiziden/Akariziden, Fungiziden und Herbiziden in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Reformen, des Szenarios B1 mit politischen Reformen, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden, und des Szenarios B2 mit politischen Reformen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden. Die orangefarbene und die blaue Linie stellen die Entwicklung des Risikopotenzials für die kalibrierten bzw. nicht kalibrierten Simulationen dar, und berücksichtigen nur den Agrarsektor.....	20
Abbildung 7:	SWISSland-Simulation der Entwicklung des PSM-Risikopotenzials durch Ackerkulturen (Brot- und Futtergetreide, Zuckerrüben, Raps und Kartoffeln) in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Veränderungen, des Szenarios B1 mit politischen Veränderungen, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden, und des Szenarios B2 mit politischen Veränderungen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden.....	21
Abbildung 8:	SWISSland-Simulation der Entwicklung des PSM-Risikopotenzials von Insektiziden, Fungiziden und Herbiziden in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A (Szenario ohne Politikveränderungen im Bereich PSM), des Szenarios B1 (mit Politikveränderungen im Bereich PSM, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden, und des Szenarios B2 (mit Politikveränderungen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden). A) Entwicklung des Risikopotenzials für die kalibrierten Simulationen. B) Entwicklung des Risikopotenzials für die nicht kalibrierten Simulationen.....	23
Abbildung 9:	SWISSland-Simulation zur Entwicklung des Beitrags verschiedener Wirkstoffe zum PSM-Risikopotenzial in Oberflächengewässern, naturnahen Lebensräumen und im Grundwasser für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030 unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Reformen, des Szenarios B1 mit politischen Reformen, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden, und des Szenarios B2 mit politischen Reformen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden. A) Entwicklung des Risikopotenzials für die kalibrierten Simulationen. B) Entwicklung des Risikopotenzials für die nicht kalibrierten Simulationen.....	24
Abbildung A1:	SWISSland-Simulation der Veränderungen bei der Flächenzuweisung für freiwillige Agrarumweltmassnahmen, für ausgewählte Ackerkulturen in den Jahren 2018-2022 und 2030 für die Szenarien A und B.....	377
Abbildung A2:	SWISSland-Simulation der Risikoentwicklung in Oberflächengewässern, ohne Berücksichtigung von Minderungsmaßnahmen, für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030, unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Reformen, des Szenarios B1 mit politischen Reformen, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden und des Szenarios B2 mit politischen Reformen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden. Die orangefarbene und die blaue Linie zeigen die Entwicklung des Risikopotenzials für die kalibrierten bzw. unkalibrierten Simulationen. Die gestrichelte blaue Linie zeigt den nicht-landwirtschaftlichen Beitrag, der zur unkalibrierten Simulation hinzugefügt wird. Die gestrichelten roten Linien	

stellen die angestrebte Risikominderung um 50 % dar (Korkaric et al. 2023).....377

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beispiele für Wirkstoffe, deren Zulassung in den letzten Jahren zurückgezogen oder ausgesetzt wurde (2018–2023).	7
Tabelle 2:	Wirkstoffbeschränkungen im Rahmen des ÖLN ab 2023.	8
Tabelle 3:	Beschreibung der Szenarien.	16
Tabelle A1:	Modellierte Direktzahlungen (CHF/ha) für pestizidfreie Anbausysteme auf Ackerland ab 2023.	30
Tabelle A2:	Verknüpfung der SWISSland Daten mit den ZA-AUI Daten.	31
Tabelle A3:	Datengrundlage SWISSland: Erträge, Preise und Kosten für aktuell intensive Anbausysteme (Median; SD = Standardabweichung) (Basisjahr 2016/2019).	35
Tabelle A4:	Datenbasis SWISSland: Erträge, Preise und Kosten für aktuelle Extenso (insektizid- und fungizid freie) Anbausysteme (Median; SD = Standardabweichung) (Basisjahr 2016/2019).	36
Tabelle A5:	Liste der ab 2023 im Rahmen des ÖLN nicht mehr zugelassenen Herbizide und im Modell implementierte Substitutionen (basierend auf Teuscher, S. und Binder, S. (2022). Diese neuen ÖLN-Regeln gelten ab 2023 im Pflanzenschutz. BauernZeitung, 7. Oktober 2022).	366

Anhang

Tabelle A1: Modellerte Direktzahlungen (CHF/ha) für pestizidfreie Anbausysteme auf Ackerland ab 2023.

Kultur	(1) Fungizid-, insektizid-, wachstumsregulierungsfreie Anbausysteme (Extenso)	(2) Herbizidfreie Anbausysteme	Pestizidfreie Anbausysteme (als Kombination von (1) und (2))
Getreide (Weizen, Gerste)	400	250	650
Raps	800	600	1400
Sonnenblume	400	250	650
Eiweißhaltige Pflanzen	400	250	650
Zuckerrüben	800	600	1400
Kartoffeln	800	600	1400

Quelle: Mack et al., 2023

Tabelle A2: Verknüpfung der SWISSland Daten mit den ZA-AUI Daten.

ZA-AUI Kultur	SWISSland Kultur
Ackerschonstreifen	ackerbrache
Andere Dauerkulturen	andDauerkulturen
Äpfel	obst
Äpfel, hoher Ertrag	obst
Aprikosen	obst
Aprikosen, hoher Ertrag	obst
Birnen	obst
Birnen, hoher Ertrag	obst
Blühstreifen für Bestäuber und andere Nützlinge	andKulturen
Blumenkohl	gemuese
Bodenkohlrabi	gemuese
Bohnen, Busch-	huelsenfruechte
Bohnen, Verarbeitung-	huelsenfruechte
Broccoli	gemuese
Brombeeren	beeren
Buntbrache	ackerbrache
CCM	silomais
Chinakohl	gemuese
Christbäume	andDauerkulturen
Cichorien, Treib-	gemuese
Cicorino rosso	gemuese
Dauerweide extensiv	extWeide
Dauerweide intensiv	naturWeide
Dauerweide mittelintensiv	naturWeide
Dauerweide wenig intensiv	naturWeide
Dinkel (Winterkorn)	brrotgetreide
Erbsen	huelsenfruechte
Erbsen, Verarbeitung-	huelsenfruechte
Erdbeeren (mehrj.)	beeren
Erdbeeren, einjährig, Ertrag mittel	beeren
Erdbeeren, einjährig, hoher Ertrag	beeren
Essiggurken	gemuese
Fenchel	gemuese
Feuchtkörnermais	silomais
Frauenmantel	andKulturen
Freilandgemüse	gemuese
Frühkartoffeln	kartoffeln
Futterkartoffeln	kartoffeln
Futterrüben	futterrueben
Futterweizen	futtergetreide
Futterweizen Extenso	futtergetreide
Grünmais	silomais
Gurken	gemuese
Hecken/Feldgehölz (mit Krautsaum)	hecken
Heidelbeeren	beeren
Heidelbeeren, hoher Ertrag	beeren
Heil-, Gewürzpflanzen (mehrj.)	andKulturen

Heuwiesen im Sömmerungsgebiet (extensiv)	heuwieseSoemmerung
Heuwiesen im Sömmerungsgebiet (übrige)	heuwieseSoemmerung
Heuwiesen im Sömmerungsgebiet (wenig intensiv)	heuwieseSoemmerung
Himbeeren	beeren
Himbeeren, hoher Ertrag	beeren
Hochstammobst	baeume
Industriekartoffeln	kartoffeln
Kabis Lager	gemuese
Kabis, Einschneide-	gemuese
Karotten Bund-, Früh-	gemuese
Karotten Pariser	gemuese
Karotten, Lager-, hoher Ertrag	gemuese
Karotten, Lager-, mittlerer Ertrag	gemuese
Karotten, Verarbeitungs-, hoher Ertrag	gemuese
Karotten, Verarbeitungs-, mittlerer Ertrag	gemuese
Keine Ackerhauptkultur (Brache)	ackerbrache
Kenaf	andKulturen
Kernobst	obst
Kernobst, hoher Ertrag	obst
Kirschen	obst
Kirschen, hoher Ertrag	obst
Kiwis	andDauerkulturen
Kleinanlagen mit verschiedenen Dauerkulturen	andDauerkulturen
Kohlrabi	gemuese
Körnermais	koernermais
Kräuter, Gewürze (klein)	gemuese
Krautstiel	gemuese
Kunstwiese/Mähweide extensiv	kunstwiese
Kunstwiese/Mähweide intensiv	kunstwiese
Kunstwiese/Mähweide mittelintensiv	kunstwiese
Kunstwiese/Mähweide wenig intensiv	kunstwiese
Kürbis	gemuese
Lauch	gemuese
Lieschkolbenschrot	silomais
Minikiwi	andDauerkulturen
Naturwiese extensiv	naturWiese
Naturwiese wenig intensiv	naturWiese
Naturwiese/Mähweide intensiv	naturWiese
Naturwiese/Mähweide mittelintensiv	naturWiese
Nüsslisalat, Feldsalat	gemuese
Pastinaken	gemuese
Petersilie	gemuese
Pfirsiche	obst
Pfirsiche, hoher Ertrag	obst
Quitten	baeume
Radies 10 Bund/m ²	gemuese
Randen	gemuese
Reben	reben
Reben, hoher Ertrag	reben
Rhabarber	andDauerkulturen

Rosenkohl, Strünke abgeführt	gemuese
Rotationsbrache	ackerbrache
Rote Johannisbeeren, hoher Ertrag	beeren
Rüben Herbst-, Mai-	gemuese
Saatkartoffeln	kartoffeln
Saatmais	koernermais
Salate, diverse, hoher Ertrag	gemuese
Salate, diverse, mittlerer Ertrag	gemuese
Schalotten	gemuese
Schlüsselblume	andKulturen
Schnittblumen mehrj.	andKulturen
Schnittblumen, gross	andKulturen
Schnittblumen, mittel	andKulturen
Schnittsalat	gemuese
Sellerie, Knollen	gemuese
Silomais	silomais
Soja	soja
Sommerackerbohnen	huelsenfruechte
Sommereiweisserbsen	huelsenfruechte
Sommergerste	futtergetreide
Sommerhafer	futtergetreide
Sommertriticale	futtergetreide
Sömmerungsweiden	heuwieseSoemmerung
Sommerweizen	brotgetreide
Sonnenblumen als NWR	sonnenblumen
Sonnenblumen für Speiseöl	sonnenblumen
Spargel Grün-	gemuese
Speisekartoffeln	kartoffeln
Spinat, n. überw., 1 Schnitt, Saat vor Mitte April	gemuese
Spinat, n. überw., 1 Schnitt, Saat nach Mitte April	gemuese
Spinat, nicht überwinternd, 2 Schnitte	gemuese
Streue-, Torfland	streuetorf
Süsslupinen	huelsenfruechte
Tabak Burley	tabak
Tabak Virginia	tabak
Übrige Strauchbeeren	beeren
Übrige Wiesen mit Düngeverbot	uebrigesGL
Uferwiese entlang von Fliessgewässern	uebrigesGL
Waldweide	extWeide
Walnuss	baeume
Weiden für Schweine	extWeide
Winterackerbohnen	huelsenfruechte
Wintereiweisserbsen	huelsenfruechte
Wintergerste	futtergetreide
Wintergerste Extenso	futtergetreide
Winterhafer	futtergetreide
Winterraps als NWR	raps
Winterraps als NWR Extenso	raps
Winterraps für Speiseöl	raps
Winterraps für Speiseöl Extenso	raps

Winterroggen (Hybridsorten)	brotgetreide
Winterroggen (Populationsorten)	brotgetreide
Winterspinat	gemuese
Wintertriticale	futtergetreide
Winterweizen	brotgetreide
Winterweizen Extenso	brotgetreide
Winterzwiebel	gemuese
Wirz leicht	gemuese
Ziersträucher, -gehölze, -stauden	andKulturen
Zucchetti, Patisson	gemuese
Zuckerhut	gemuese
Zuckermais	koernermais
Zuckerrüben	zuckerrueben
Zwetschgen/Pflaumen	obst
Zwetschgen/Pflaumen, hoher Ertrag	obst
Zwiebeln	gemuese

Tabelle A3: Datengrundlage SWISSland: Erträge, Preise und Kosten für aktuell intensive Anbausysteme (Median; SD = Standardabweichung) (Basisjahr 2016/2019).

	Einheit	Weizen Intensiv		Gerste Intensiv		Raps Intensiv		Sonnenblume Intensiv		Eiweißpflanzen Intensiv		Kartoffeln		Zuckerrüben	
		Median	SD	Median	SD	Median	SD	Median	SD	Median	SD	Median	SD	Median	SD
Anzahl Betriebe		352		553		175		25		59		201		124	
Ertrag	dt/ha	67,3	12,3	75,4	19,5	36,7	9,1	31,8	7,6	40,0	10,4	357,6	123,2	808,6	164,1
Produktpreis	CHF/dt	48,9	7,7	35,2	13,5	76,5	8,3	80,0	8,9	37,9	14,7	44,8	22,6	5,6	1,2
Saatgutkosten	CHF/ha	238,2	102,1	186,1	128,8	140,5	131,8	181,0	142,3	348,5	143,2	2731,4	1221,7	322,5	102,0
Düngemittelkosten	CHF/ha	214,0	202,7	168,2	156,6	296,9	258,7	256,6	212,9	0,0	154,7	671,3	382,4	271,4	236,2
Pflanzenschutzmittelkosten	CHF/ha	280,6	167,9	212,2	164,4	353,5	197,3	187,0	125,6	130,2	87,1	729,6	332,8	625,7	260,4
Kosten für Reinigung/Trocknung	CHF/ha	140,2	186,7	131,2	170,9	121,5	143,2	166,1	155,6	103,7	113,0	0,0	689,6	0,0	0,0
Kosten der Hagelversicherung	CHF/ha	79,0	81,7	59,2	53,3	106,9	99,3	86,9	56,3	77,2	59,5	125,7	95,8	93,3	57,6
Sonstige Kosten	CHF/ha	0,0	137,0	0,0	57,8	0,0	38,8	0,0	16,1	0,0	47,0	238,8	727,6	0,0	62,9

Quelle: Mack et al. 2023

Tabelle A4: Datenbasis SWISSland: Erträge, Preise und Kosten für aktuelle Extenso (insektizid- und fungizidfreie) Anbausysteme (Median; SD = Standardabweichung) (Basisjahr 2016/2019).

	Einheit	Weizen Extenso		Gerste Extenso		Raps Extenso		Sonnenblume r Extenso		Eiweißpflanze n Extenso	
		Median	SD	Median	SD	Median	SD	Median	SD	Median	SD
Anzahl Betriebe		746		627		322		99		150	
Ertrag	dt/ha	59,1	10,5	66,9	19,6	35,0	8,1	31,6	7,1	39,1	10,8
Produktpreis	CHF/dt	50,3	7,5	35,2	14,9	79,1	9,1	84,2	9,6	37,0	12,1
Saatgutkosten	CHF/ha	239,0	95,1	183,0	110,8	126,3	106,2	197,9	114,3	348,5	109,3
Düngemittelkosten	CHF/ha	187,4	143,8	167,9	170,8	285,0	256,5	188,4	194,3	0,0	142,1
Kosten für Pflanzenschutzmittel	CHF/ha	114,7	116,7	158,6	168,5	309,5	249,9	180,8	107,4	115,7	95,3
Kosten für Reinigung/Trocknung	CHF/ha	92,9	156,1	114,5	210,3	146,6	153,9	199,2	160,0	119,4	116,1
Kosten der Hagelversicherung	CHF/ha	55,0	61,3	52,6	54,4	98,2	96,6	80,6	52,7	77,9	52,1
Sonstige Kosten	CHF/ha	0,0	131,2	0,0	108,5	0,0	49,5	0,0	32,6	0,0	43,3

Tabelle A5: Liste der ab 2023 im Rahmen des ÖLN nicht mehr zugelassenen Herbizide und im Modell implementierte Substitutionen (basierend auf Teuscher, S. und Binder, S. (2022). Diese neuen ÖLN-Regeln gelten ab 2023 im Pflanzenschutz. BauernZeitung, 7. Oktober 2022).

	Active substance	Substitution
Herbizide	S-Metolachlor	Dimethenamid-P
	Terbuthylazin	Dimethenamid-P
	Nicolsulfuron	Dimethenamid-P
	Metazachlor	Clomazon + Pethoxamid
		Napropamid + Clomazon
		Dimethenamid-P + Quinmerac
	Dimethachlor	

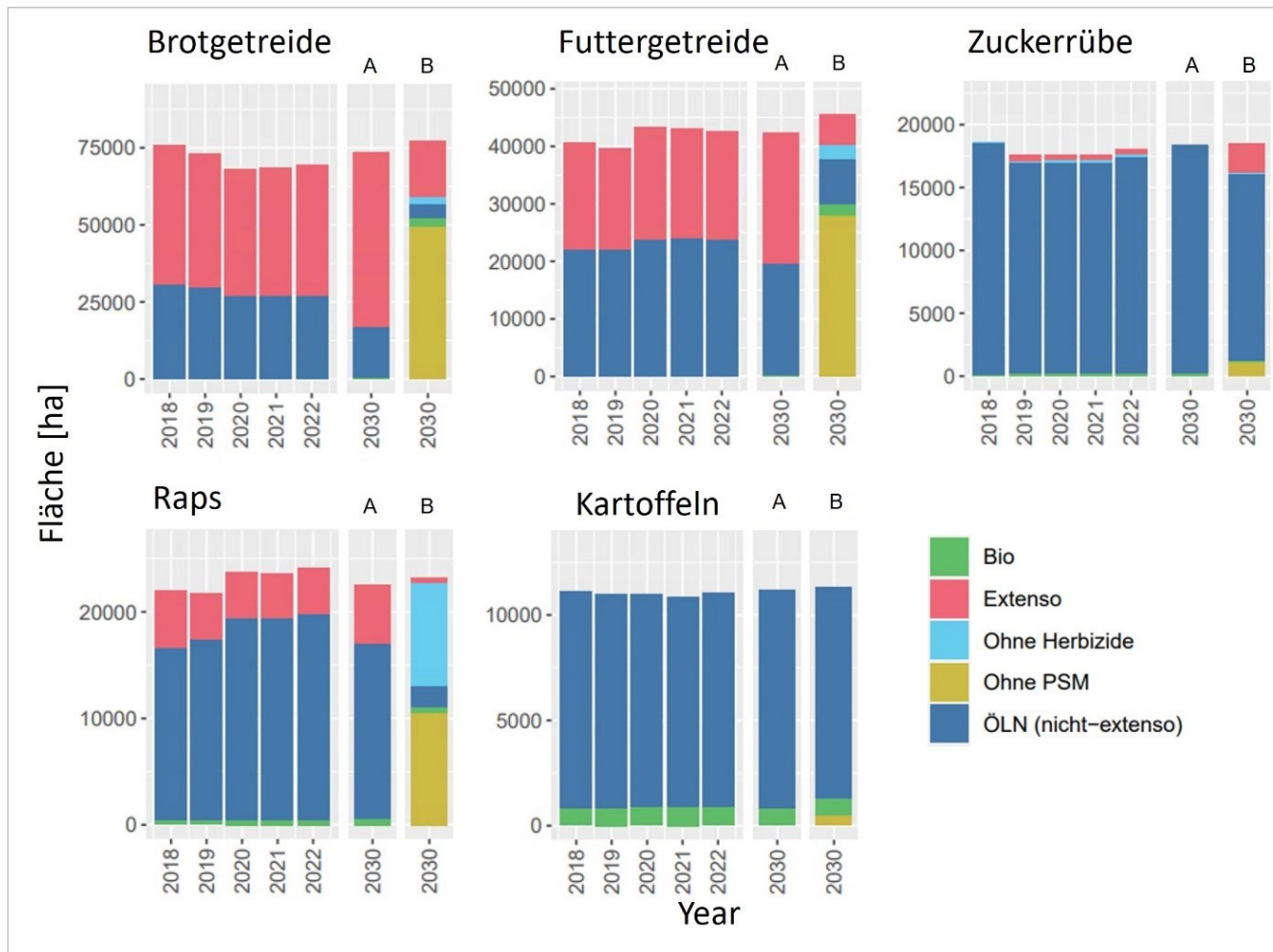


Abbildung A1: SWISSland-Simulation der Veränderungen bei der Flächenzuweisung für freiwillige Agrarumweltmassnahmen, für ausgewählte Ackerkulturen in den Jahren 2018–2022 und 2030 für die Szenarien A und B.

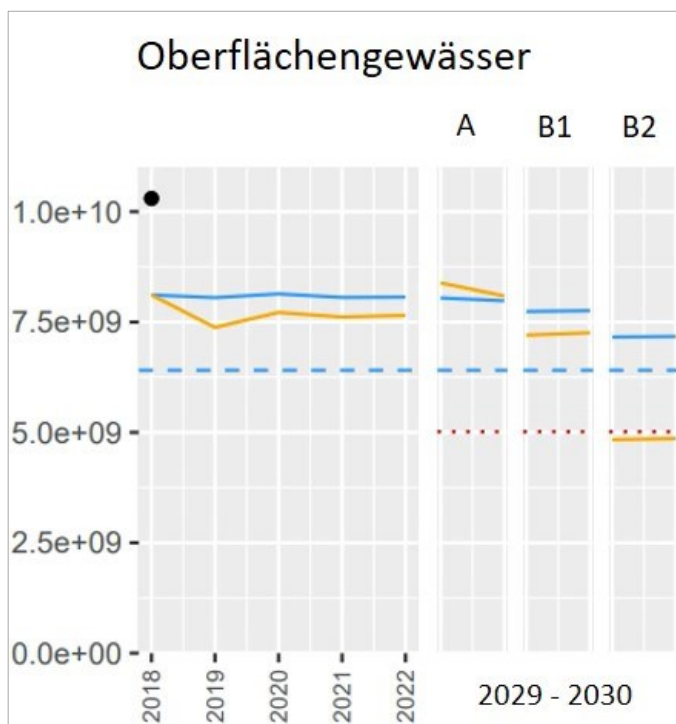


Abbildung A2: SWISSland-Simulation der Risikoentwicklung in Oberflächengewässern, ohne Berücksichtigung von Minderungsmaßnahmen, für die Jahre 2018–2022 und 2029–2030, unter Berücksichtigung des Referenzszenarios A ohne politische Reformen, des Szenarios B1 mit politischen Reformen, aber ohne Beschränkung von Pyrethroiden und des Szenarios B2 mit politischen Reformen und 100%iger Beschränkung von Pyrethroiden. Die orangefarbene und die blaue Linie zeigen die Entwicklung des Risikopotenzials für die kalibrierten bzw. unkalibrierten Simulationen. Die gestrichelte blaue Linie zeigt den nicht-landwirtschaftlichen Beitrag, der zur unkalibrierten Simulation hinzugefügt wird. Die gestrichelten roten Linien stellen die angestrebte Risikominderung um 50 % dar (Korkaric et al. 2023).