


Ökonomische Analyse des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln: Risikoaspekte und Lenkungsabgaben

Risikoaspekte und Lenkungsabgaben

Report

Author(s):

Finger, Robert ; Böcker, Thomas; Möhring, Niklas; Dalhaus, Tobias

Publication date:

2016-10-12

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010736881>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted



Ökonomische Analyse des Einsatzes von Pflan- zenschutzmitteln

Risikoaspekte und Lenkungsabgaben

Oktober 2016

Autoren:

Robert Finger (ETH Zürich)
Thomas Böcker (Universität Bonn)
Niklas Möhring (ETH Zürich)
Tobias Dalhaus (ETH Zürich)

Impressum

Ökonomische Analyse des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln - Risikoaspekte und Lenkungsabgaben

Auftraggeber: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Mattenhofstrasse 5, 3003 Bern, Tel. +41 58 462 58 71, www.blw.admin.ch

Auftragnehmer: Professur für Agrarökonomie und Agrarpolitik, ETH Zürich, und Professur für Produktionsökonomik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Projektverantwortlicher und Kontakt: Robert Finger, ETH Zürich, www.aecp.ethz.ch

Begleitung BLW: Simon Briner

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Projektnummer:

Veröffentlichung:

Copyrights liegen bei den Autoren. Die Verwendung und Wiedergabe von Informationen aus diesem Produkt ist unter Angabe der Quelle gestattet.

Zitationsvorschlag: Finger, R., Böcker, T., Möhring, N., Dalhaus, T. (2016). Ökonomische Analyse des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln – Risikoaspekte und Lenkungsabgaben. Bericht zu Händen des Bundesamts für Landwirtschaft. ETH Zürich und Universität Bonn, Oktober 2016.

Executive Summary (D)

Reduktion von Pflanzenschutzmitteln als agrarpolitisches Ziel

Pflanzenschutz ist essentiell, um die Bereitstellung qualitativ hochwertiger Lebensmittel in ausreichender Quantität zu gewährleisten. Insbesondere der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) geht dabei jedoch oft auch mit möglichen negativen Effekten für die Umwelt und menschliche Gesundheit einher. Aufgrund dessen ist die Reduktion der mit dem Einsatz von PSM verbundenen negativen Effekte ein wichtiges Ziel der Schweizer Agrar- und Umweltpolitik. Der im Juli 2016 veröffentlichte Entwurf für den "Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln" postuliert das Ziel, die durch den Einsatz von PSM hervorgerufenen Risiken um 50% zu reduzieren. Dieses Ziel soll mit einer Kombination von verschiedenen Massnahmen erreicht werden, welche unter anderem die Anwendungen und Emissionen von PSM reduzieren. Begleitende Instrumente und Massnahmen, beispielsweise aus dem Bereich Beratung und Ausbildung, sollen zur Erreichung dieses Ziels beitragen. In diesem Kontext ist es das Ziel der vorliegenden Studie, zu einem besseren Verständnis der ökonomischen Wirkung von möglichen Lenkungsmechanismen des PSM-Einsatzes in der Schweizer Landwirtschaft beizutragen. Dabei wurde im Auftrag des Bundesamts für Landwirtschaft untersucht:

- i) Welche Wirkung eine Lenkungsabgabe auf den Einsatz und die Risiken von PSM haben könnte;
- ii) Welches Design einer Lenkungsabgabe dabei die agrarpolitischen Zielvorgaben am besten erfüllen kann;
- iii) Inwiefern Versicherungen eine sinnvolle Begleitmassnahme darstellen, die den PSM-Einsatz reduzieren können; und
- iv) Welche ökonomischen Effekte durch eine Abgabe auf PSM induziert werden würden, und wie negative Auswirkungen aufgefangen werden können?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurde eine Kombination verschiedener methodischer Ansätze verwendet, welche qualitative und quantitative Analysen der bestehenden Literatur als auch spezifische theoretische und empirische Analysen für die schweizerische Landwirtschaft umfassen. Im Folgenden sind die zentralen Ergebnisse kurz zusammengefasst.

Lenkungsabgaben: Positive Erfahrungen aus anderen Ländern

Anhand einer Literatur- und Sekundärdatenanalyse wurden die in Schweden, Norwegen, Dänemark und Frankreich bereits vorhandenen PSM-Abgabensysteme untersucht und bewertet. Dabei zeigte sich, dass sich die Abgabensysteme in ihrer Ausgestaltung erheblich unterscheiden. In Schweden ist beispielsweise eine undifferenzierte Mengenabgabe auf PSM in Kraft, während in Dänemark eine individuelle Abgabe für jedes PSM erhoben wird, die sich an den Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit jedes einzelnen PSMs orientieren. Mit Blick auf die Effektivität, die Umsetzung und die Akzeptanz dieser Systeme können die Resultate wie folgt zusammengefasst werden:

- **Effektivität:** Es zeigt sich, dass angemessen ausgestaltete PSM-Abgaben zu Verhaltensänderungen bei Landwirtinnen und Landwirten führen. Dabei sind insbesondere differenzierte Abgaben ein effektives Mittel, um die durch PSM-Einsatz hervorgerufenen Risiken zu reduzieren. PSM, welche grössere Risiken für Umwelt und menschliche Gesundheit implizieren, werden dabei stärker belastet. So konnten nachhaltige Substitutionen zu weniger toxischen Produkten erreicht werden, auch wenn Markt- und andere Politikentwicklungen den PSM-Einsatz in den vier Ländern ebenfalls stark beeinflusst haben. Es gilt aber zu beachten, dass diese Reduktion der Risiken nicht notwendigerweise mit einer Reduktion der total eingesetzten Menge an PSM verbunden ist.
- **Umsetzung:** In allen Abgabensystemen waren vor Einführung oder Erhöhung einer PSM-Abgabe signifikante Vorratskäufe zu verzeichnen. Kurzfristige Effekte auf den Einsatz von PSM durch Lenkungsabgaben sind daher nicht zu erwarten. In keinem der vier untersuchten Länder wird die Abgabe direkt beim landwirtschaftlichen Betrieb erhoben, sondern auf der Ebene Industrie oder Handel. Zudem ist der administrative Aufwand im Vergleich zu anderen agrar- und umweltpolitischen Massnahmen relativ niedrig. Die Transaktionskosten der Abgabensysteme sind daher gering. Die Erfahrungen anderer Länder zeigen, dass eine explizite und für den Landwirt sichtbare Ausweisung der Abgabenhöhe, z.B. auf der Rechnung, ein wichtiges Element zur Wirkung einer Abgabe ist. Die Steuersubventionierung von PSM (reduzierter Mehrwertsteuersatz) wie im Schweizer System wird im Grossteil Europas nicht mehr angewendet. Eine Aufhebung dieser Steuersubventionierung von PSM in der Schweiz ist ein notwendiger erster Schritt zur Umsetzung des Aktionsplans.
- **Akzeptanz:** Durch eine Rückvergütung der Einnahmen aus einem Abgabensystem kann der Einkommensverlust des Sektors ausgeglichen und damit die Akzeptanz erhöht werden. Erfolgt diese Rückvergütung gezielt mittels Anreizmechanismen, die die Anwendungen und Emissionen von PSM reduzieren (z.B. für bessere Technik, alternative Anbauverfahren), kann ein wichtiger Hebeleffekt erzeugt werden.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die (agrar-)politischen Ziele in einem Abgabensystem klar definiert sein müssen, da verschiedene Zieldimensionen (z.B. Mengen- und Risikoreduktion) nicht notwendigerweise identische Massnahmen erfordern. Zudem sollten toxischere Produkte stärker belastet werden, um eine nachhaltige Substitution dieser Produkte anzuregen und dem Verursacherprinzip gerecht zu werden. Eine gezielte Rückvergütung erzielter Einnahmen ist zentral, um die Wirkung einer Abgabe zu erhöhen und Einkommenseinbussen im Sektor zu vermeiden.

Preissensibilität der Nachfrage nach PSM ist signifikant, jedoch abhängig von Anbaukultur, der Art des PSM und dem betrachteten Zeithorizont

Mithilfe einer Meta-Studie wurde analysiert, wie preissensitiv der Einsatz von PSM ist. Dabei wurden sämtliche Studien, welche sich mit der Nachfrage nach PSM in Europa und Nordamerika beschäftigten, quantitativ ausgewertet. Ziel ist darüber Aufschluss zu geben, wie effektiv der Einsatz einer Lenkungsabgabe auf den Einsatz bestimmter PSM sein kann. Dabei ist insbesondere die Preiselastizität der Nachfrage nach PSM von Interesse, welche angibt, um wie viel Prozent sich die Nachfrage bei einer ein-prozentigen Erhöhung des Preises verändert. Der Median über alle analysierten Nachfrageelastizitäten beträgt -0.28 und ist signifikant kleiner als

Null. Das bedeutet, dass, *ceteris paribus*, eine 10%ige Preiserhöhung zu einer Mengenreduktion des PSM-Einsatzes von 2.8% führen würde. Die in unserer Meta-Analyse durchgeführte Regressionsanalyse zeigt folgende weitere Ergebnisse:

- Kurzfristig ist die Nachfrage nach PSM weit weniger elastisch als langfristig, da auf lange Sicht Änderungen am Produktionsprogramm (z.B. Änderung der Fruchtfolgen) möglich sind, sodass auch der PSM-Einsatz variabler wird. Die Wirkung von PSM-Abgaben müsste daher lang- und nicht kurzfristig beurteilt werden.
- Die Nachfrageelastizität nach PSM ist bei Spezialkulturen deutlich tiefer als bei Studien, die sich allein auf Ackerbau oder gesamtbetriebliche Nachfragen nach PSM fokussieren. Das heisst, dass, obwohl der Einsatz von PSM in Spezialkulturen am grössten ist, aus wirtschaftlicher Sicht ein kleineres relatives Reduktionspotential vorliegt. Hier müssten andere, flankierende Massnahmen ein grösseres Gewicht erhalten.
- Die Nachfrage nach Herbiziden ist elastischer als für andere PSM. Eine Preiserhöhung führt also, *ceteris paribus*, zu grösseren Mengenreduktionen bei Herbiziden als bei anderen PSM;

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wirkung einer Lenkungsabgabe je nach landwirtschaftlichem System und Art des PSMs stark variieren kann. Dies hebt die Notwendigkeit alternativer, flankierender Massnahmen hervor, welche aus einer Abgabe finanziert werden könnten. Zudem unterstreichen die Resultate dieser Meta-Studie die Relevanz der Fokussierung auf mittel- und langfristige Effekte einer Lenkungsabgabe auf PSM.

Versicherungen reduzieren Einsatz von PSM nicht notwendigerweise

Das bessere Verständnis der Entscheidung der Landwirtin oder des Landwirtes über den Einsatz von PSM ist essentiell, um eine zielgerichtete Politikmassnahme auszugestalten. Die Berücksichtigung von Interaktionen des PSM-Einsatzes mit dem Einkommensrisiko und Risikopräferenzen von Landwirtinnen und Landwirten kann dabei von zentraler Bedeutung sein. Sind PSM risikoreduzierend, setzen risikoaverse Landwirtinnen und Landwirte, *ceteris paribus*, eine grössere als die gewinnmaximierende Menge PSM ein. In diesem Kontext wird oft angenommen, dass eine Ertrags- oder Erlösversicherung dazu beitragen kann den PSM-Einsatz zu reduzieren. Eine Literaturanalyse und theoretische Herleitungen zeigen jedoch, dass PSM nicht notwendigerweise risikoreduzierend, sondern auch risikoerhöhend wirken können. Dies ist einer der Gründe, warum Versicherungslösungen nicht generell zu einem geringeren PSM-Einsatz führen müssen. Im Gegenteil: Eine umfassende Übersicht von empirischen Arbeiten in diesem Feld zeigt, dass die Nutzung von Versicherungen auf einzelbetrieblicher Ebene oft zu einem höheren PSM-Einsatz führt. Eine entscheidende Rolle spielt dabei unter anderem die Wirkung einer Versicherung auf die Flächennutzung, welche auch empirisch am Beispiel der Schweizer Landwirtschaft illustriert wird. Versicherungslösungen sind oft für intensive Kulturen mit hohen Umsätzen geeignet. Die Möglichkeit, sich zu versichern, führt daher zu einem stärkeren Anbau von intensiveren Kulturen, in denen wiederum auch der PSM-Einsatz höher ist. Aufgrund dieser Ergebnisse ist von einer Einführung einer Versicherungslösung (mit dem Ziel den PSM-Einsatz zu reduzieren) anstelle einer strikteren Ausgestaltung der Rahmenbedingungen des PSM-Einsatzes abzusehen. Es sollten Versicherungslösungen entwickelt werden, die zur

gezielten PSM-Reduktion beitragen und Flächenwirkungen vermeiden. Weitere in dieser Studie durchgeführte Analysen unter Berücksichtigung von Risikoaspekten zeigen zudem, dass andere begleitende Massnahmen, wie z.B. präventive biologische Massnahmen oder Anreizmechanismen zur Umstellung auf weniger PSM-intensive Anbauverfahren, das Potenzial haben, den Einsatz von PSM effektiv zu reduzieren.

PSM-Nutzung und Simulation einer Lenkungsabgabe in der Schweiz: überdurchschnittliche Belastung für intensive Kulturen

Der PSM-Einsatz in der Schweizer Landwirtschaft wurde mittels der Daten der Zentralen Auswertung der Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) für den Zeitraum 2009 bis 2013 anhand von Indikatoren zu Mengen, Intensität und potenziellem Risiko des PSM-Einsatzes analysiert. Die Daten der ZA-AUI wurden hierbei mit Informationen zu empfohlenen Dosierungen, Formulierung, Ökotoxizität, Umweltverhalten sowie Preisen der eingesetzten PSM kombiniert. Der Fokus bei dieser Analyse liegt dabei auf den Kulturen Winterweizen (intensiv und extensiv), übriges Getreide, Mais und Kartoffeln. Es zeigt sich, dass bezüglich der Mengen aber auch bezüglich des potenziellen Risikos des PSM-Einsatzes für Umwelt und menschliche Gesundheit zwischen den Kulturen, aber insbesondere auch zwischen landwirtschaftlichen Betrieben eine sehr grosse Heterogenität existiert. So zeigen alle Indikatoren, dass im Kartoffelanbau der höchste PSM-Einsatz stattfindet. Danach sind intensiv angebaute Winterweizen und übriges Getreide, und schliesslich Mais und extensiv angebaute Winterweizen einzuordnen, wobei jedoch die grosse Streuung der Indikatoren zu deutlichen Überlappungen zwischen den Kulturen führt.

Die Heterogenität der Indikatoren für das potenzielle Risiko des PSM-Einsatzes innerhalb einzelner Kulturen zeigt, dass Substitutionspotenziale zu weniger toxischen PSM und nicht-chemischen Pflanzenschutzstrategien vorhanden sind. Zu einer holistischen Bewertung der potenziellen Risiken des PSM-Einsatzes auf Ebene der Kulturen aber auch auf Ebene einzelner Betriebe wird beispielhaft die differenzierte PSM-Steuer des dänischen Modells auf die Schweizer Daten in einer statischen Simulation angewendet. Dabei werden Bewertungskriterien und Abgabenhöhe direkt aus dem dänischen System übertragen, auch wenn dies nicht notwendigerweise die optimale Ausgestaltung für die Schweizer Landwirtschaft darstellen muss und keine Anpassungsreaktionen berücksichtigt werden. Es zeigt sich, dass die meisten PSM nur sehr geringfügig mit Abgaben belastet wären. Nur wenige PSM, die im Schweizer Ackerbau eingesetzt werden, wären mit hohen Abgaben versehen, so dass diese Mittel aufgrund der Risiken für Umwelt und Mensch möglichst substituiert werden sollten. Eine Implementierung einer Lenkungsabgabe sollte jedoch das dänische System dahingehend erweitern, dass auch Fragen des Resistenzmanagements berücksichtigt werden, um eine zu starke Einengung wirtschaftlich anwendbarer PSM zu vermeiden. Intensive Kulturen wie Kartoffeln, die einen grossen PSM-Einsatz benötigen, würden überdurchschnittlich belastet werden. Im Gegensatz dazu wären Mais und Getreide weniger stark belastet. Die Belastung verschiedener Betriebe ist zwar heterogen, jedoch bestehen bezüglich relativer Abgabenlasten keine signifikanten Differenzen hinsichtlich Region und landwirtschaftlichen Einkommen der Betriebe im analysierten Datensatz.

Schlussfolgerungen: Ausgestaltung entscheidend für Wirkung von Abgaben

Die Folgerungen aus den in dieser Studie durchgeführten Analysen können in sechs Kernpunkten zusammengefasst werden:

- 1) Differenzierte PSM-Abgabensysteme können die durch den Einsatz von PSM hervorgerufenen Risiken für Mensch und Umwelt effektiv reduzieren. Dabei sollten nur sehr risikoreiche Produkte stark besteuert werden, wodurch eine Substitution zu weniger risikoreichen Produkten und nicht-chemischen Pflanzenschutzstrategien angeregt wird und die durchschnittliche Abgabenlast gering gehalten werden kann. Im Gegensatz zu Verboten von PSM, wird das Spektrum der möglichen Pflanzenschutzstrategien dabei nicht verkleinert. Die Aufhebung der Steuersubventionierung von PSM in der Schweiz ist dabei ein notwendiger erster Schritt.
- 2) Die Erhebung der Abgabe auf Ebene Handel oder Industrie sowie die Nutzung der im PSM-Zulassungsverfahren generierten Informationen führen zu tiefen Transaktionskosten bei der Einführung von Lenkungsabgaben auf PSM.
- 3) Die zwar vorhandene, aber nicht sehr grosse Elastizität der Nachfrage nach PSM impliziert, dass die Abgaben für risikoreiche Produkte sehr hoch sein müssten, um relevante Mengenreduktionen zu realisieren.
- 4) Eine Rückvergütung der Erlöse aus einer Abgabe in den Sektor trägt zur Vermeidung von Einkommensverlusten bei. Geschieht diese Rückvergütung mittels Instrumenten, die das Risiko des PSM-Einsatzes weiter reduzieren, können wichtige Hebelwirkungen kreiert werden. Diese Rückvergütung sollte sich auf Ansätze fokussieren, die keine Reduktion der Produktionsmengen implizieren (z.B. für bessere Ausbringungstechnik, Verbesserung nicht-chemischen Pflanzenschutzes), um so *Leakage*-Effekten, also der Substitution wenig PSM-intensiver (heimischer) Produkte durch PSM-intensive (importierte) Produkte, vorzubeugen. Die Nutzung einer Lenkungsabgabe ist nur als Bestandteil eines kohärenten Massnahmenpakets sinnvoll. Dies ist von spezifischer Bedeutung in intensiven Produktionssystemen mit geringen Nachfragelastizitäten für PSM.
- 5) Eine PSM-Lenkungsabgabe hat kurzfristig nur geringe Effekte, setzt aber Anreize für mittel- und langfristige Entwicklungen zur nachhaltigen Reduktion der durch den PSM-Einsatz hervorgerufenen Risiken.
- 6) Eine Subventionierung von Ertrags- oder Erlösversicherung führt nicht notwendigerweise zu einer Reduktion des PSM-Einsatzes, auch wenn damit andere Politikziele erreicht werden können. Andere Begleitmassnahmen sind hinsichtlich der Reduktion der durch den Einsatz von PSM hervorgerufenen Risiken zielführender.

Basierend auf diesen Erkenntnissen kann festgehalten werden, dass eine richtig ausgestaltete Lenkungsabgabe einen Beitrag dazu leisten kann, die im Aktionsplan postulierten agrar- und umweltpolitischen Ziele zu erreichen. Die Abgabe kann jedoch nur ein Instrument im Rahmen eines kohärenten Sets von sich ergänzenden Massnahmen sein. In Bezug auf die konkrete Ausgestaltung des Instruments, deren Einbindung in den Aktionsplan und die ökonomischen Auswirkungen auf den Sektor sind weitere Analysen angezeigt.

Executive Summary (E)

Reducing the use of plant protection products: a target of Swiss agricultural policy

Plant Protection is essential for the provision of high quality food in adequate quantities. However, especially the use of plant protection products (PPP) often induces possible negative effects for the environment and human health. Therefore, the reduction of negative effects resulting from the use of PPP is an important goal of Swiss agricultural and environmental policies. The draft for the national action plan for risk reduction and sustainable use of plant protection products ("Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln"), published in July 2016, postulates a reduction target of 50% of the risks induced by the use of PPP. This goal is intended to be accomplished by a combination of different measures to reduce use and emission of PPP. Accompanying measures such as education and extension services shall support the accomplishment of the reduction targets. In this context, it is the goal of the here presented study to provide a better understanding of economic effects of possible economic steering instruments for the PPP use in Swiss agriculture. Executing a project for the Swiss Federal Office for Agriculture, the following research questions were addressed:

1. Which effects could a possible steering tax have on PPP use and induced risks;
2. Which design of such a steering tax would be best chosen to accomplish the targets of Swiss agricultural policy;
3. Are insurances useful accompanying measures to reduce PPP use and risks; and
4. Which economic effects would be induced by a tax on PPP, and in how far can possible negative effects be absorbed?

To answer these research questions, a combination of different scientific methods was chosen. More specifically, qualitative and quantitative analyses of existing literature, as well as specific theoretical and empirical analyses of Swiss agriculture were combined in this study. Below, the central results are shortly summarized.

Taxes on PPP: positive experiences from other countries

Existing taxation schemes on PPP in Sweden, Norway, Denmark and France, were examined and evaluated using both existing literature and secondary data. The analysis shows that these existing taxation schemes differ fundamentally in their design. Whereas the Swedish system is based on an undifferentiated quantity tax, in Denmark an individual tax exists for each PPP, which accounts for the potential risks for environment and human health. With respect to effectivity, implementation and acceptance of the different schemes, the results can be summarized as follows:

Effectivity: Adequately designed PPP fees induce changes in farmers' behavior on PPP use. Especially, differentiated fees are an effective measure to reduce PPP induced risks. PPP which are associated with higher risk for the environment and human health are taxed more heavily in such schemes. In this way, a reduction of PPP induced risk has been achieved in some countries, although other market and policy induced effects on PPP had important effects. Hereby, it has

to be noticed that a reduction of PPP induced risk is not necessarily linked with a reduction of the total amount of PPP quantities used.

Implementation: In all analyzed cases, the introduction of a taxation scheme on PPP (or tax raises) preceded by sizeable pre-stocking of PPP. Short-run effects of steering taxes on PPP application are therefore small. In all four countries with taxation schemes, the tax is raised on industry or wholesale level and not on farm-level. Consequently, transaction costs of these taxation schemes are low. Experiences from these countries show that an explicit labelling of the tax burden on each product is an important element of these taxation systems. Tax subsidies for PPP (reduced value added tax), as still present in Switzerland, are not any more common in most European countries. The abolishment of these tax subsidies is a necessary first step for the implementation of the Swiss national action plan.

Acceptance: A reimbursement of tax revenues to the agricultural sector can compensate income effects and raise the acceptance of such a measure. The reimbursement should be targeted (new technologies, alternative farming systems etc.), to give further incentives for the reduction of PPP use and emissions. Such accompanying measures can then create important leverage effects.

The results show that that a clear definition of (agricultural) policy targets is necessary for the design of a taxation scheme, as different targets (e.g. with respect to quantity and risk reductions) might be conflicting and therefore require different measures. Further on, more toxic PPP should be taxed more heavily, considering the polluter pays principle. A targeted reimbursement of tax revenues to the sector is central to give leverage to tax induced changes in PPP application behavior and compensate income losses.

Price sensitivity of PPP demand is significant, but dependent on cultivated cultures, the types of PPP used and the examined time frame

The price sensitivity of PPP demand was investigated in a quantitative meta-analysis of European and North-American studies on PPP demand. The goal of this meta-analysis is to show how effectively a steering tax can induce changes in PPP use. Our analysis focusses on the price elasticity of PPP demand, which indicates the percentage change in the demand for PPP in response to a one percent change of the PPP price. The median of all elasticities is -0.28 and significantly smaller than zero. This means that a 10% price increase in PPP would, *ceteris paribus*, lead to a 2.8% decrease in PPP demand. Further key results from a regression analysis conducted in the meta-analysis are:

- Long-run elasticity is greater than short-run elasticity because farmers might adjust production programs in the long-run (e.g. adjustment of crop rotations). The valuation of PPP taxation schemes thus requires a long- and not a short-term perspective.
- The price elasticity of demand is smaller in studies investigating special crops than in studies of arable farming or aggregated demand in general. This indicates that, although pesticide use is usually highest in special crops, reduction potentials expressed in relative terms are low. Other, accompanying measures should be pronounced more in such cases.

- The demand for herbicides is more elastic than the demand for other types of PPP. A price increase for herbicides therefore leads, *ceteris paribus*, to a greater reduction of demand than it is the case for other classes of PPP.

Results show that the effect of a steering tax on PPP demand can vary strongly, depending on the farming system and the class of PPP used. This result highlights the necessity for alternative, accompanying measures that could be financed from possible tax revenues. Additionally, results of the meta-analysis underline the necessity to focus on long-term evaluations of effects of a possible tax on PPP.

Insurances not necessarily substitute for PPP use

A better understanding of the farmer's decision making process when using PPP is essential for designing well targeted policy measures. More specifically, the role of income risks and farmers' risk preferences is crucial. If PPP are risk reducing, risk averse farmers would use a larger than profit maximizing quantity of PPP. In this regard, it is often assumed that yield or revenue insurances can substitute and thus reduce PPP use. Using literature and theoretical analyses, we show that PPP not necessarily have a risk reducing, but can also have a risk increasing effect. This is one of the reasons why insurances do not necessarily substitute for PPP use. And indeed, an extensive survey of empirical studies in this context reveals that insurance uptake often leads to higher farm-level PPP use. This effect is also caused by effects of insurance on land allocation decisions, which is also empirically illustrated for the example of Swiss agriculture. Insurance solutions are often more attractive for intensive-input crops. Thus, providing better insurance opportunities might lead to a land allocation towards these crops and increase total PPP use at the extensive margin. Based on these results, the introduction of (new) insurance solutions instead of stricter PPP policies cannot be recommended. Insurance mechanisms should be developed that are specifically targeted for reductions of PPP use and avoid land allocation effects. In contrast, other here investigated accompanying measures, such as preventive biological control or incentives for the adoption of less intensive farming systems have the potential to effectively reduce PPP use.

PPP use in Swiss agriculture and simulation of a steering tax for Switzerland: above-average tax burden for intensive cultures

PPP use in Swiss agriculture was analyzed with CA-AUI (Central Evaluation of Agri-Environmental Indicators) data from 2009-2013, using indicators of quantity, intensity and potential risk of PPP use. CA-AUI data was for this purpose merged with information on recommended dosage, formulation, ecotoxicity, environmental fate and prices of used PPP. Considered cultures for the analysis were winter wheat (extensive and intensive), other grains, maize and potatoes. Results show a great heterogeneity of PPP use regarding quantities and potential risks for human health and the environment between different cultures, but also between individual farmers. Among the considered crops, all indicators identify highest pesticide use in potatoes, followed by intensive winter wheat and other grains and finally maize and extensive winter wheat. However, there are several overlaps across crops due to high heterogeneity between farm-level indicator values.

High heterogeneity of potential risk of PPP use for a given culture may be interpreted as an indicator for existing substitution potentials towards less toxic PPP and non-chemical plant protection strategies. To assess potential risks of PPP use in a holistic manner on culture- and farm-level, the highly differentiated Danish PPP tax is simulated for Switzerland. In the simulation, the above mentioned CA-AUI data is used. In a static analysis that does not account for possible responses to the tax introduction, taxation criteria and taxation levels are taken directly from the Danish system, although it might not be optimally adapted to Swiss agriculture. We find that most PPP used in Swiss arable farming would only face low tax levels. In contrast, only selected PPP would be heavily taxed in such a system, because these products should be substituted to reduce potential risks for the environment and human health. For a possible implementation of a PPP tax, the Danish system should be extended to account for the management of resistance. Crops with a high intensity of PPP use, such as potatoes, would be charged more heavily than other crops, such as grains or maize. Even though simulated individual tax burdens are very heterogeneous across farms, the relative tax burdens are evenly distributed across regions and income categories of farms.

Conclusions: policy design of fundamental importance for the impact of steering taxes on PPP use

The conclusions of the analyses conducted in this study, can be summarized in six key statements:

1. Differentiated PPP taxes can effectively reduce risks for human health and the environment that are induced by PPP use. Substitution from highly risky to less risky PPP and non-chemical plant protection strategies can be incentivized when PPP are taxed according to their potential riskiness. Such a system keeps the average tax burden for PPP low. The abolishment of tax subsidies for PPP in Switzerland is a necessary first step.
2. Charging a PPP tax on wholesale or industry level and using existing information from PPP assessment procedures leads to low transaction costs for the implementation of a possible tax on PPP.
3. The small but significant price elasticity of demand for PPP implies that tax rates for highly toxic PPP have to be large to generate a relevant decrease in their demand.
4. A reimbursement of tax revenues to the agricultural sector helps preventing income effects. If the reimbursement is given via instruments which further reduce risks of PPP use, a considerable leverage effect may be created. The introduction of a tax scheme on PPP only makes sense when it is combined with a portfolio of coherent (accompanying) policy measures. The focus should be on measures that do not imply reductions of production levels (e.g. better application technologies and better non-chemical plant protection) in order to avoid leakage problems. This especially applies for the case of intensive input production systems with small price elasticities of demand for PPP.
5. Steering taxes on PPP use do not have considerable short-run effects, but rather incentivize a long-run reduction of PPP induced risks for the environment and human health.

6. A financial support of yield or revenue insurances does not necessarily substitute for PPP use, although this contributes to other policy goals. Other accompanying measures seem to be better suited for reducing PPP induced risks.

Based on the above results, it can be summarized that a well-designed steering tax can support agricultural and environmental policy in Switzerland in achieving the goals postulated in the national action plan. However, such a tax can only have an effect on PPP demand when it is embedded in a set of coherent (accompanying) policy measures. Regarding the concrete design of such a policy instrument, its integration in the national action plan and its economic effects on the agricultural sector, further analyses are needed.

Executive Summary (F)

But de la politique agricole : réduction des produits phytosanitaires

La protection des plantes est essentielle pour fournir des aliments de bonne qualité en suffisance. Mais l'utilisation de produits phytosanitaires induit aussi des effets négatifs tant sur l'environnement que sur la santé des êtres humains. La réduction de l'utilisation de ces produits, et donc de ses conséquences néfastes, est un but important des politiques agricole et environnementale suisses. Le plan d'action mis en consultation en juillet 2016 met en avant une possible réduction de 50% des effets néfastes de tels produits, si leur utilisation est restreinte. Cet objectif peut être atteint par une combinaison de mesures qui induiraient, entre autres, une réduction de l'utilisation et de l'émission de produits phytosanitaires. Les dispositifs et les mesures d'accompagnement, comme dans le domaine de la vulgarisation et de l'éducation par exemple, doivent contribuer à l'élaboration de ce plan. Dans ce contexte, les objectifs de l'étude susmentionnée sont de contribuer à une meilleure compréhension des effets économiques de certains mécanismes d'incitation à propos de l'utilisation des produits phytosanitaires dans l'agriculture suisse. Ainsi, mandatées par l'Office fédéral de l'agriculture, des recherches ont été entreprises dans le but de prévoir :

- i) quels impacts pourrait avoir une taxe d'incitation sur l'utilisation et les effets néfastes des produits phytosanitaires ;
- ii) quelle forme devrait avoir ladite taxe afin de servir au mieux les buts de la politique agricole ;
- iii) dans quelle mesure les assurances présentent-elles une mesure adaptée afin de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires ;
- iv) quels effets économiques induirait une taxe sur les produits phytosanitaires et comment ses effets négatifs pourraient être évités.

Une combinaison de différentes approches méthodiques a été utilisée, dont une analyse quantitative et qualitative de la littérature existante et une analyse spécifique théorique et empirique de l'agriculture suisse. Les principaux résultats sont résumés ci-dessous.

Taxes d'incitation : expériences positives à l'étranger

Une analyse littéraire et une analyse secondaire de données ont permis d'évaluer les systèmes de taxes sur les produits phytosanitaires suédois, norvégien, danois et français. Ces analyses ont démontré que les systèmes de taxes étaient considérablement différents les uns des autres. En Suède par exemple, une taxe quantitative indifférenciée est en vigueur, alors qu'au Danemark une taxe est prélevée sur chaque produit phytosanitaire en fonction des effets néfastes de ce dernier sur l'environnement ou la santé humaine. Les résultats des études susmentionnées peuvent être résumés comme suit, dans l'optique de l'efficacité, de la mise en œuvre et de l'acceptation du système :

- Efficacité : Des taxes raisonnables sur les produits phytosanitaires induisent un changement de comportement de la part des agriculteurs. Les taxes différenciées sont donc un

moyen efficace pour réduire les effets néfastes des produits phytosanitaires. Les produits créant le plus de dommages à l'environnement et à la santé humaine sont ainsi plus fortement taxés. Des substituts aux produits les moins toxiques ont pu être mis en place de manière durable, malgré le fait que l'utilisation des produits phytosanitaires est considérablement influencée par l'évolution des marchés et de la politique dans les quatre pays cités. Notons que la réduction de ces dommages n'est pas obligatoirement liée à une réduction de la quantité totale de produits phytosanitaires utilisés.

- **Mise en œuvre :** Dans tous les systèmes, une augmentation significative des produits vendus était enregistrée avant l'introduction ou la hausse des taxes sur les produits phytosanitaires. Des effets à court terme sur l'utilisation des produits par une taxe ne sont d'ailleurs pas à prévoir. La taxe n'est prélevée dans aucun des quatre pays directement chez les agriculteurs, mais au niveau des industries et du commerce. De surcroît, la charge administrative est relativement faible en comparaison avec d'autres mesures politiques agraires et environnementales. Les frais de transaction des systèmes de taxe sont d'ailleurs faibles. L'expérience des autres pays montre qu'une identification explicite et visible de la taxe pour l'agriculteur, sur les factures par exemple, est un élément important dans l'efficacité de cette dernière. Une niche fiscale pour les produits phytosanitaires (impôts réduits) comme en Suisse n'est plus utilisée dans la plupart des pays européens. Une abrogation de la subvention de ces produits serait un premier pas dans la mise en place du plan d'action pour la Suisse.
- **Acceptation :** Les pertes de revenu du secteur peuvent être compensées par un remboursement des recettes du système de taxe. L'acceptation du système en serait ainsi augmentée. Le remboursement peut être effectué par le biais de mécanismes attrayants ciblant une réduction de l'utilisation et de l'émission de produits phytosanitaires (Exemple : pour une meilleure technique, pour des méthodes de cultures alternatives). Un effet de levier important peut être créé.

Ces résultats démontrent que dans un système de taxes, les objectifs politiques (agricoles) doivent être clairement définis. En effet, des objectifs différents (exemple : diminution de la quantité et des risques) engendrent des mesures différentes. A ce propos, les produits ayant une toxicité accrue devraient être taxés plus fortement pour inciter à trouver des substituts durables à ces produits et respecter le principe du pollueur-payeur. Un remboursement ciblé des recettes est central, afin d'augmenter l'impact de la taxe et d'éviter les pertes de revenu du secteur.

Les prix des produits phytosanitaires dépendent de la demande mais également des cultures, du type de produits phytosanitaires et de la composante temporelle

La sensibilité des prix concernant l'utilisation des produits phytosanitaires a été analysée au moyen d'une méta-étude. Des études semblables basées sur la demande en produits phytosanitaires en Europe et en Amérique du Nord ont été évaluées quantitativement. L'objectif est de déterminer l'efficacité de la mise en place d'une taxe sur l'utilisation de certains produits phytosanitaires. L'élasticité des prix de la demande en produits phytosanitaires est intéressante, car elle montre la différence en pourcent de la demande par rapport à une hausse des prix de 1%. La médiane des différences de demande est de -0.28 et est significativement plus petite que zéro. Cela signifie qu'une augmentation du prix de 10% amènerait à une baisse de 2.8% de

l'utilisation des produits phytosanitaires. Les analyses de régression des méta études ont donné les résultats suivants :

- La demande en herbicide est plus élastique que pour d'autres produits phytosanitaires. Une augmentation des prix amène alors à de plus grandes réductions de quantité pour les herbicides que pour les produits phytosanitaires.
- L'élasticité de la demande des produits phytosanitaires est nettement plus grande pour les cultures spéciales, par rapport aux études qui se fondent uniquement sur la demande en produits phytosanitaires des grandes cultures ou des exploitations dans leur ensemble. Bien que l'utilisation des produits phytosanitaires dans les cultures spéciales soit plus grande, un potentiel de réduction - petit mais relatif – existe d'un point de vue économique. D'autres mesures devraient ainsi avoir un plus grand poids dans ces cultures.
- La demande en produits phytosanitaires à court terme est beaucoup moins élastique que celle à long terme, car un plus long délai laisse la possibilité à certains changements de production (exemple : changement de rotation des cultures). De ce fait, l'utilisation de produits phytosanitaires devient plus variable. L'impact des taxes sur les produits devrait ainsi être mesuré sur le long terme, plutôt que sur le court terme.

Les résultats montrent que l'impact d'une taxe peut fortement changer en fonction du système agricole et du type de produits phytosanitaires. Ceci augmente la nécessité de mesures d'accompagnement alternatives qui pourraient être financées par une taxe. Les résultats de la méta étude soulignent ainsi la pertinence de la focalisation à moyen et long terme d'une taxe sur les produits phytosanitaires.

Les assurances ne réduisent pas forcément l'utilisation des produits phytosanitaires

Comprendre les choix des agricultrices et agriculteurs quant à l'utilisation des produits phytosanitaires est essentiel, afin de prendre des mesures politiques ciblées. Il est indispensable de prendre en compte le lien entre l'utilisation des produits phytosanitaires et le risque sur le revenu et la perception du risque vus par les agriculteurs. Si les produits sanitaires sont réducteurs de risque, alors les agriculteurs ayant une aversion au risque marquée appliqueront une quantité de produit e plus importante que celle maximisant leurs bénéfices. Il est souvent admis qu'assurer son revenu et son rendement peut contribuer à une diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires. Une analyse littéraire et la théorie qui s'en dégage montrent toutefois que les produits phytosanitaires ne sont pas obligatoirement réducteurs de risque. Ils peuvent même avoir un effet augmentant les risques. C'est une des raisons pour lesquelles les assurances ne contribuent pas nécessairement à une utilisation restreinte de produits phytosanitaires. Au contraire : Un vaste aperçu de travaux empiriques dans ce domaine montre que le recours à des assurances pour une exploitation individuelle engendre souvent une utilisation de produits phytosanitaires plus élevée. L'impact d'une assurance sur l'utilisation d'une surface est prépondérant. On le voit bien dans le cas de l'agriculture suisse. Les assurances sont plutôt adaptées aux cultures intensives avec un chiffre d'affaire élevé. De ce fait, la possibilité de s'assurer augmente la part des cultures intensives, dans lesquelles l'utilisation de produits phytosanitaires est plus élevée. De par ces résultats, l'introduction d'une assurance (ayant pour but la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires) est à privilégier, par rapport à un agencement plus

strict de l'utilisation des produits phytosanitaires. Des solutions conduisant à une réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires doivent être développées grâce aux assurances, tout en évitant les effets de surface. D'autres analyses effectuées dans cette étude, prenant en considération les risques, montrent d'ailleurs que d'autres mesures d'accompagnement ont le potentiel de réduire efficacement l'utilisation des produits phytosanitaires. Les mesures biologiques préventives ou les mécanismes incitatifs, conduisant à une utilisation intensive de produits phytosanitaires plus restreinte, en sont des exemples.

Utilisation des produits phytosanitaires et simulation d'une taxe en Suisse : mise à contribution au-dessus de la moyenne pour les cultures intensives

L'utilisation des produits phytosanitaires dans l'agriculture suisse a été analysée grâce aux données du dépouillement centralisé des indicateurs agro-environnementaux (DC-IAE) de 2009 à 2013 et selon des indications de quantité, d'intensité et de risque potentiel d'utilisation des produits phytosanitaires. Les données du DC-IAE ont en l'occurrence été combinées avec des informations sur les dosages recommandés, les formules, la toxicité écologique, le comportement environnemental ou encore les prix des produits phytosanitaires utilisés. Cette analyse se focalise plus particulièrement sur le blé d'hiver (intensif et extensif), sur d'autres céréales, sur le maïs et sur la pomme de terre. En ce qui concerne la quantité et le risque potentiel de l'utilisation de produits phytosanitaires pour l'environnement et la santé humaine, il existe une grande hétérogénéité entre les cultures, mais aussi entre les agriculteurs. Tous les indicateurs montrent que c'est dans la culture de la pomme de terre que les produits phytosanitaires sont le plus utilisés, ensuite dans les cultures intensives de blé d'hiver et des autres céréales, puis finalement le maïs et le blé d'hiver extensif. Cependant, la grande dispersion des indicateurs conduit à des chevauchements sensibles entre les cultures.

Les indicateurs sur le risque potentiel de l'utilisation des produits phytosanitaires pour une même culture sont très hétérogènes. Ils montrent qu'il existe des substituts sous la forme de produits phytosanitaires moins toxiques et non chimiques. Pour une estimation du risque potentiel de l'utilisation des produits phytosanitaires, au niveau des cultures mais aussi au niveau d'une exploitation, la taxe différenciée par produit, que l'on trouve dans le modèle danois, est utilisée sur les données suisses dans une simulation statique. Ainsi, les critères d'estimation et la hauteur des taxes ont été directement transposés du système danois, même si ceux-ci ne sont pas nécessairement représentatifs de l'agriculture suisse. Aucune réaction d'adaptation n'a été prise en considération. Il a été ainsi démontré que la plupart des produits phytosanitaires ne serait que peu affectée par une taxe. Seuls quelques-uns des produits phytosanitaires, utilisés dans les grandes cultures suisses, seraient hautement taxés. Ils devraient être remplacés à cause de leurs risques potentiels sur l'environnement et la santé humaine. La mise en œuvre d'une taxe devrait toutefois approfondir le système danois. Les questions de management des résistances devraient au moins être prises en compte, afin d'éviter une trop forte contrainte économique sur les produits phytosanitaires. Les cultures intensives telles que celles de la pomme de terre, qui nécessitent beaucoup de produits phytosanitaires, seraient taxées plus fortement que la moyenne. Au contraire, le maïs et les céréales seraient moins taxés. La charge supplémentaire pour les différentes exploitations est hétérogène. Cependant, les taxes relatives ne créent aucune différence significative d'après les données analysées en ce qui concerne la région et les revenus des exploitations.

Conclusions : aménagement primordial pour l'impact des taxes

Les conclusions de cette étude, tirées des analyses faites, peuvent être résumées en six points centraux :

- 1) Des systèmes de taxes différenciés sur les produits phytosanitaires peuvent efficacement réduire les risques soulevés par leur utilisation pour l'être humain et l'environnement. Seuls les produits très toxiques devraient être fortement taxés. Une substitution par des produits moins toxiques et des stratégies phytosanitaires non chimiques est suggérée et une taxe moyenne peut être maintenue à un bas niveau. De ce fait, contrairement à l'interdiction de produits phytosanitaires, l'éventail des stratégies phytosanitaires ne sera pas réduit. La suppression de la niche fiscale des produits phytosanitaires en Suisse est un premier pas essentiel.
- 2) Le prélèvement des taxes au niveau des industries et du commerce, tout comme l'utilisation des informations générées par les procédures d'admission des produits phytosanitaires, amènent à des coûts de transaction bas dans l'introduction de taxes sur les produits phytosanitaires.
- 3) La faible élasticité de la demande des produits phytosanitaires implique que les taxes pour les produits hautement risqués doivent être élevées, afin d'induire une réelle réduction de quantité de produit utilisé.
- 4) Un remboursement dans le même secteur de la recette d'une taxe prélevée contribue à éviter une perte de revenu. Si ce remboursement se produit grâce à des moyens qui réduisent encore les risques dus à l'utilisation des produits phytosanitaires, il pourrait renforcer l'impact des mesures par un effet de levier. Ce remboursement devrait viser des approches qui n'impliquent pas des baisses de production (par exemple une meilleure technique de pulvérisation ou l'amélioration des produits phytosanitaires non chimiques). Le but est d'éviter des effets de fuite, telle que la substitution de produits phytosanitaires peu intensifs (domestiques) par des produits intensifs (importés). La mise en place d'un système de taxes d'incitation n'est judicieuse que si elle fait partie d'un ensemble de mesures. Ceci est d'une importance particulière dans les systèmes de productions intensifs, où l'élasticité de la demande en produits phytosanitaires est faible.
- 5) Une taxe sur les produits phytosanitaires n'a, à court terme, que peu d'impact. Mais elle a un effet stimulant à moyen et long terme pour une réduction durable des risques engendrés par l'utilisation de produits phytosanitaires.
- 6) Un subventionnement d'assurances, liées au revenu ou au rendement, ne conduisent pas nécessairement à une réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, même si d'autres objectifs politiques peuvent ainsi être atteints. D'autres mesures d'accompagnement sont plus efficaces, afin de réduire les risques causés par l'utilisation des produits phytosanitaires.

En se fondant sur ces éléments, il est possible de conclure que des taxes d'incitation peuvent apporter une aide considérable dans l'accomplissement des objectifs politiques agricoles et environnementaux, formulés dans le plan d'action. La taxe doit toutefois n'être qu'un instrument dans le cadre d'un ensemble cohérent de mesures. Concernant l'aménagement concret de ces instruments, leur intégration dans le plan d'action et leurs impacts économiques dans le secteur, d'autres analyses doivent être faites.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis.....	ii
Verzeichnis der Informationsboxen	ii
Abkürzungsverzeichnis	iii
1 Einleitung	1
2 Hintergrund	4
2.1 Zugelassene PSM in der Schweiz.....	11
2.2 Aktuelle Studien zur Bewertung der negativen Effekte von PSM in der Schweiz ...	12
3 Wirkung möglicher Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen: bestehende Politikmassnahmen.....	14
3.1 Bewertungskriterien, Zieldefinition und Politikmassnahmen	15
3.2 Bestehende abgabenpolitische Massnahmen.....	22
3.2.1 Bestehende umweltpolitische Massnahmen und Programme in der Schweiz	24
3.2.2 Lenkungsabgabe in Schweden	27
3.2.3 Lenkungsabgabe in Norwegen.....	28
3.2.4 Lenkungsabgabe in Dänemark.....	31
3.2.5 Lenkungsabgabe und Begleitmassnahmen in Frankreich.....	33
3.2.6 Diskussionen und Erfahrungen in anderen europäischen Staaten	35
3.3 Diskussion und Schlussfolgerungen von Kapitel 2 und 3	39
4 Wirkung möglicher Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen: theoretische Fundierung	41
4.1 Optimaler Einsatz von PSM und Preiselastizität der Nachfrage	43
4.1.1 Das Wertgrenzprodukt der Produktionsfaktors PSM.....	43
4.1.2 Effekte einer Lenkungsabgabe: Substituierbarkeit der PSM und Kreuzpreiselastizität der Nachfrage	46
4.2 PSM-Einsatz und Einkommensrisiko	48
4.2.1 Ansatz der Erwartungsnutzenmaximierung	49
4.2.2 Mikroökonomische Analyse der Risikowirkung von PSM	50
4.3 Diskussion und Schlussfolgerungen aus Kapitel 4.....	62
5 Wirkung möglicher Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen: Analyse und Bewertung	63
5.1 Analyse der Preiselastizität der Nachfrage	64

5.1.1	Eine Meta-Analyse zur Preiselastizität der Nachfrage nach PSM.....	64
5.1.2	Mikroökonomische Erklärung tiefer Nachfrageelastizitäten	74
5.2	Deskriptive Analyse des Schweizer PSM-Einsatzes	77
5.2.1	Ergebnisse Wirkstoffmenge und Überfahrten.....	86
5.2.2	Ergebnisse Behandlungsintensität und Gefährdungspotenzial	89
5.3	Statische Analyse einer auf potenziellen Umwelt- und Gesundheitsrisiken basierenden Pflanzenschutzmittelabgabe für die Schweizer Landwirtschaft.....	102
5.3.1	Vorgehensweise Simulation der PSM-Abgabe und Datengrundlage	103
5.3.2	Produktrankings	104
5.3.3	Einzelbetriebliche Analyse	110
5.4	Diskussion und Schlussfolgerungen aus Kapitel 5.....	116
5.4.1	Meta-Analyse Nachfrageelastizitäten	116
5.4.2	Deskriptive Analyse des PSM Einsatzes in der Schweiz.....	116
5.4.3	Analyse einer Abgabe auf PSM	117
6	Auswirkungen von Einkommensrisiken auf den PSM-Einsatz: Begleitmassnahmen und Direktzahlungen	119
6.1	Landwirtschaftliche Versicherungssysteme	119
6.1.1	Höhe der Versicherungsprämie.....	121
6.1.2	Finanzierung der Versicherung und Probleme bei der Etablierung	122
6.1.3	Globale Situation und Beispiele.....	123
6.1.4	Unternehmen im europäischen Raum und deren Angebote.....	124
6.1.5	Einfluss einer Versicherung auf den PSM-Einsatz	125
6.2	Empirische Analyse des Zusammenhangs zwischen Versicherungsnutzung und dem PSM-Einsatz im Schweizer Ackerbau	129
6.2.1	Konzeptuelles Modell	129
6.2.2	Ökonometrisches Modell	130
6.2.3	Resultate.....	132
6.3	Allgemeine und ökologische Direktzahlungen.....	136
6.4	Auswirkungen einer Lenkungsabgabe auf die Teilnahme am Extenso Programm.	138
6.4.1	Theoretisches Modell zur Teilnahme am Extenso Programm	138
6.4.2	Basismodell.....	139
6.4.3	Modell mit Risiko	140
6.5	Präventive biologische Strategien	143
6.6	Diskussion und Schlussfolgerungen aus Kapitel 6.....	146
7	Implementierung von Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen	148

7.1	Transaktionskosten einer möglichen Lenkungsabgabe	149
7.2	Optimale Abgabenhöhe einer möglichen Lenkungsabgabe	151
7.3	Verwendung der Einnahmen einer möglichen Lenkungsabgabe	152
7.4	Diskussion und Schlussfolgerungen aus Kapitel 7	154
8	Schlussfolgerungen	156
9	Quellenverzeichnis	158
10	Gesetze, Verordnungen, parlamentarische Beschlüsse	183
	Anhang	186

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Schweiz (2013).....	6
Abbildung 2:	Anwendungsbereich der zugelassenen PSM-Wirkstoffe in der Schweiz im Januar 2015 und Februar 2016.....	11
Abbildung 3:	Entwicklung des PSM-Absatzes in ausgewählten europäischen Ländern	23
Abbildung 4:	Entwicklung der PSM-Einsatzmenge und der PRI bezüglich Umwelt und menschliche Gesundheit in Schweden.....	28
Abbildung 5:	Entwicklung des norwegischen PSM-Absatzes und des PRI mit Bezug auf die menschliche Gesundheit und Umwelt.....	30
Abbildung 6:	Flächenentwicklung ausgewählter Kulturen in Norwegen	31
Abbildung 7:	Darstellung der errechneten Preiselastizitäten der Nachfrage aus Tabelle 8 nach dem Jahr der Studie	69
Abbildung 8:	Kontinentale Unterschiede der Preiselastizitäten der Nachfrage.....	70
Abbildung 9:	Einteilung der errechneten Preiselastizitäten der Nachfrage aus Tabelle 8 in Kurzfristige und Langfristige	71
Abbildung 10:	Preiselastizität der Nachfrage geordnet nach dem Produktionssystem.....	72
Abbildung 11:	Beispielhafte Herbizidanwendung sowie Anwendungsmenge im Maisanbau und dazugehöriger Ertrag	74
Abbildung 12:	Beispielhafte Herbizidanwendung sowie Anwendungsmenge im Maisanbau und Herbizidnachfrage bei verschiedenen Elastizitäten (η)... ..	76
Abbildung 13:	Beispielhafte Herbizidanwendung im Mais und Entwicklung des DB bei Einführung einer 100%-Abgabe.....	77
Abbildung 14:	Benutzte Datenquellen	81
Abbildung 15:	Durchschnittliche Wirkstoffmengen mit und ohne Ausreisser je Kultur.....	85
Abbildung 16:	Wirkstoffmenge nach Produktgruppen je Kultur.....	87
Abbildung 17:	Überfahrten nach Produktgruppen je Kultur.....	88
Abbildung 18:	Durchschnittlicher Behandlungskoeffizient je Landwirt und Kultur.....	90
Abbildung 19:	Durchschnittlicher Behandlungsindex je Landwirt und Kultur	93
Abbildung 20:	Durchschnittlicher Area Load je Betrieb und Kultur.....	96
Abbildung 21:	Durchschnittlicher Load Index je Betrieb und Kultur.....	98
Abbildung 22:	Durchschnittlicher Load Index menschliche Gesundheit je Betrieb und Kultur (berücksichtigt nur Risiken für menschliche Gesundheit)	99
Abbildung 23:	Durchschnittlicher Load Umweltverhalten je Betrieb und Kultur (berücksichtigt nur Risiken durch das Umweltverhalten)	100
Abbildung 24:	Durchschnittlicher Load Index Ökotoxizität je Betrieb und Kultur (berücksichtigt nur Risiken durch Ökotoxizität)	101
Abbildung 25:	Histogramm relative Abgabenhöhe aller analysierter PSM.....	109
Abbildung 26:	Durchschnittliche relative Ausgabensteigerung Pflanzenschutzmittel	111
Abbildung 27:	Durchschnittliche relative Ausgabensteigerung Pflanzenschutzmittel pro Landwirt (über Zonen)	113

Abbildung 28: Durchschnittliche relative Ausgabensteigerung Pflanzenschutzmittel pro Landwirt (über Einkommensgruppen)	115
Abbildung 29: Klassifikation von Ernteversicherungen in der Landwirtschaft.....	120
Abbildung 30: Kategorisierung von Transaktionskosten.....	150

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl durchschnittlicher Interventionen (Überfahrten zur PSM Anwendung) in der Schweiz, Deutschland und Grossbritannien für verschiedene Kulturgruppen (Quellen siehe unten)	8
Tabelle 2: Mittlere angewandte Wirkstoffmenge nach Kulturgruppe und Wirkstoffbereich 2010 in kg AI/ha*a.....	9
Tabelle 3: Ökonomische Instrumente zur Reduzierung des PSM Einsatzes nach Oskam et al. (1997).....	20
Tabelle 4: Ausgestaltungsmöglichkeiten einer PSM-Abgabe.....	21
Tabelle 5: Kategorisierung von PSM und Basissteuer in Norwegen	29
Tabelle 6: Literaturanalyse zur Risikowirkung von PSM.....	51
Tabelle 7: Zusammenfassung Risikowirkung von PSM: verschiedenen theoretische Szenarien und möglichen Anwendungen auf die Schweizer Landwirtschaft	61
Tabelle 8: Preiselastizitäten der Nachfrage von PSM aus verschiedenen Studien.....	66
Tabelle 9: Parameterschätzung der Regression bzgl. der Preiselastizitäten der Nachfrage	73
Tabelle 10: Übersicht Indikatoren des PSM-Einsatzes	80
Tabelle 11: Anzahl der ausgewerteten Betriebe.....	82
Tabelle 12: Kulturen ausgewerteter Betriebe.....	83
Tabelle 13: Produktranking Herbizide in Winterweizen.....	105
Tabelle 14: Produktranking Fungizide in Kartoffeln	107
Tabelle 15: Durchschnittliche Pflanzenschutzmittelausgaben mit und ohne Abgabe.....	110
Tabelle 16: Ergebnisse des ersten Schritts der Regressionsanalyse.....	132
Tabelle 17: Korrelationskoeffizienten der Systemschätzung (erster Schritt).....	133
Tabelle 18: Ergebnisse des zweiten Schrittes der Regressionsanalyse: Systemschätzung der Wirkstoffmenge nach Wirkstoffgruppen.....	134

Verzeichnis der Informationsboxen

Box 1	Evaluierung von Politikmassnahmen	17
Box 2	Integrierte Landwirtschaft.....	26
Box 3	PSM Abgaben in Europa: Fazit	34
Box 4	Reduktion des PSM-Einsatzes in den Niederlanden	36
Box 5	PSM-Einsatz und Düngung	47
Box 6	PSM und Risikoverhalten	50

Abkürzungsverzeichnis

A

ADI *acceptable daily intake*

AI *active ingredient*

AOEL *acceptable operator exposure level*

B

BAFU *Bundesamt für Umwelt*

BFS *Bundesamt für Statistik*

Bt *Bacillus thurengiensis*

BV *Bundesverfassung*

C

CBC *conservation biological control*

CE *certainty equivalent*

CEPP *certificats d'économie de produits phytopharmaceutiques*

D

DARA *decreasing absolute risk aversion*

DB *Deckungsbeitrag*

DZV *Direktzahlungsverordnung*

G

GSchV *Gewässerschutzverordnung*

I

IRA *increasing risk aversion*

J

JKI *Julius Kühn-Institut*

M

MwSt *Mehrwertsteuer*

MWSTG *Mehrwertsteuergesetz*

N

N *Stickstoff*

NDVI *Vegetationsindex*

NODU *Nombre de Doses Unité*

O

ÖLN *Ökologischer Leistungsnachweis*

P

PAPA *Panel Pflanzenschutzmittel- Anwendungen*

PIAS *pesticide-impact-assessment-systems*

<i>PLI</i>	<i>Pesticide Load Indicator</i>
<i>PPDB</i>	<i>Plant Protection Data Base</i>
<i>PRI</i>	<i>PSM-Risikoindikatoren</i>
<i>PSM</i>	<i>Pflanzenschutzmittel</i>
<i>PSMV</i>	<i>Pflanzenschutzmittelverordnung</i>
<i>R</i>	
<i>RP</i>	<i>Risikoprämie</i>
<i>S</i>	
<i>SAD</i>	<i>standard area dose</i>
<i>T</i>	
<i>TFI</i>	<i>Treatment Frequency Index</i>
<i>TGAP</i>	<i>taxe générale sur les activités polluantes</i>
<i>U</i>	
<i>UStG</i>	<i>Umweltsteuergesetz</i>
<i>V</i>	
<i>VBP</i>	<i>Biozidprodukteverordnung</i>
<i>W</i>	
<i>WGP</i>	<i>Wertgrenzprodukt</i>
<i>Z</i>	
<i>ZA-AUI</i>	<i>Zentrale Auswertung der Agrarumweltindikatoren</i>

1 Einleitung

Pflanzenschutz ist essentiell, um die Bereitstellung qualitativ hochwertiger und gesundheitlich unbedenklicher Lebensmittel in ausreichender Quantität zu gewährleisten (z.B. Strange und Scott, 2005; BMEL, 2013). Die Möglichkeit des Einsatzes von Pflanzenschutz leistet zudem einen Beitrag zur Sicherung landwirtschaftlicher Einkommen. Dabei sind chemische PSM ein wichtiger Bestandteil des Pflanzenschutzes, der neben diesen auch kulturtechnische (z.B. Standort- und Sortenwahl), mechanisch-physikalische (z.B. Bodenbearbeitung), biologische (z.B. Einsatz von Nützlingen) und biotechnische (z.B. Einsatz von Pheromonen) Strategien umfasst (Kühne und Burth, 2006; Mouron et al., 2012). Oerke (2006) gibt einen Überblick über diverse Studien zu den durch Schadorganismen und Unkräutern verursachten Ertragsverlusten und damit einhergehenden ökonomischen Nachteilen. Dabei werden für die Region Nordwesteuropa potentielle und tatsächliche Verluste durch Schadorganismen im Ackerbau mit ca. 71% bzw. mit 17% beziffert (ebd., S. 40).¹ Mögliche negative Konsequenzen ergeben sich nicht nur für Produzenten. Ertragsverluste durch Schadorganismen können zudem zu Einschränkung der Ernährungssicherung und zu Preissteigerungen von Lebensmitteln führen.

Der Einsatz von PSM geht jedoch auch mit negativen Effekten für verschiedene Ökosysteme und die menschliche Gesundheit einher. So stehen in einer Vielzahl von Studien Auswirkungen auf spezifische Ökosysteme (z.B. aquatische Ökosysteme), spezifische Nichtzielorganismen, Biodiversität und die menschliche Gesundheit (Anwender, Anwohner und Konsumenten) im Vordergrund. Die Reduktion des durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) verursachten Risikos für Mensch und Umwelt ist daher ein politisches Ziel, welches seit vielen Jahrzehnten in fast allen Teilen der Welt verfolgt wird (Oskam et al., 1997). Die hier vorliegende Studie hat nicht das Ziel, einen systematischen Überblick über diese Effekte zu geben, sondern verweist hierzu auf diverse Übersichtsarbeiten, z.B. Damalas und Eleftherohorinos (2011), Traversi und Nijkamp (2008), Damalas (2009), Pimentel (2009), Gilden et al. (2010), Koureas et al. (2012) und Beketov et al. (2013). Damalas und Eleftherohorinos (2011) weisen darauf hin, dass trotz strenger Zulassungsverfahren aus dem Einsatz von PSM resultierende Risiken für Mensch und Umwelt verbleiben. Die Reduktion dieser verbleibenden Risiken ist der Startpunkt für in Aktionsplänen artikulierten Zielen und Startpunkt der in diesem Bericht analysierten Forschungsfragen. Die Ausprägung der negativen Effekte aus der PSM-Nutzung ist jedoch sehr heterogen und variiert je nach Land und Region mitunter stark. Neben gesundheitlichen Risiken bei der Ausbringung für den Anwender und Dritte stehen dabei oft Rückstände in Lebensmitteln, Gefahren für die Biodiversität und Rückstände in Grund- und Oberflächengewässern im Vordergrund. Für die Wahl passender Massnahmen ist weiterhin zu unterscheiden, ob die negativen Effekte aus lokalen Punktquellen resultieren oder eine regional verbreitete Problematik vorliegt. Zudem müssen akute und chronische Umweltprobleme differenziert werden. Aktuelle Studien zeigen, dass die oben genannten Probleme zum Teil auch (immer noch) für die Schweiz

¹ Eine Übersicht über empirische Studien wird auch in von Witzke und Noleppa (2011, S. 4) gegeben, die daraus einen erwarteten Ertragsverlust zwischen 30-40% ohne Pflanzenschutz ableiten.

relevant sind (siehe z.B. Fliessbach und Speiser, 2010; Spycher und Daniel, 2013; Spycher et al., 2013; Wittmer et al., 2014; OECD, 2015, und Unterkapitel 2.2).

Aufgrund dieser Beobachtungen werden in der Schweiz daher Möglichkeiten der Reduktion der durch den Einsatz von PSM verursachten Risiken für Mensch und Umwelt thematisiert. In diesem Zusammenhang wurde der Schweizer Bundesrat 2012 im Rahmen eines Postulats beauftragt, Abklärungen für einen Aktionsplan vorzunehmen. Flankiert werden diese Bestrebungen durch Initiativen von Nichtregierungsorganisationen.² Im Jahr 2014 wurde aus diesem Grund bereits der Bericht des Bundesrates „Bedarfsabklärung eines Aktionsplans zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“ vorgelegt (WBF, 2014). Im Juli 2016 wurde der Entwurf des Aktionsplans zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln veröffentlicht. In diesem wurde das Leitziel verkündet, die Risiken von PSM um 50% zu reduzieren (WBF, 2016). Ein gesetztes Zwischenziel ist die Reduktion der Anwendung von PSM mit hohem Risikopotential bis 2026 um 30%, im Vergleich zur Periode 2012-2015, sowie die Reduktion der Emissionen aus den verbleibenden Anwendungen um 25% (ebd.). Neben zahlreichen Massnahmen im Bereich der Zulassung, des Handels, der Anwendung und der Beratung werden hier auch zusätzliche marktwirtschaftliche Instrumente als potentiell relevant aufgeführt. In diesem Kontext ist insbesondere eine Lenkungsabgabe auf PSM thematisiert.

Die Frage der möglichen Rolle von PSM-Lenkungsabgaben wurde bereits in der Vergangenheit analysiert. So wurde schon in den 90er Jahren als Folge einer Motion des Parlaments (Motion 94.3005 der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie) der Bundesrat beauftragt, das Potenzial einer Lenkungsabgabe genauer zu analysieren (BUWAL, 2003). Das BUWAL und der Bundesrat schlussfolgerten, dass andere Massnahmen zur Reduktion des PSM-Einsatzes effizienter seien als eine Lenkungsabgabe. Insbesondere wurden die Ausgestaltung der Zulassung oder der ökologische Leistungsnachweis (ÖLN) als effizientere Mittel angesehen. Des Weiteren wurde bemängelt, dass wenige Erkenntnisse und Informationen zu einer differenzierten Abgabe bekannt seien. Die diskutierten fixen *ad valorem*-Abgabensätze würden jedoch nur mit einer sehr hohen Abgabelast zu einer reduzierten PSM-Anwendung führen. Die Verantwortlichen schlussfolgerten deshalb, dass die verfügbaren „umweltpolitischen und agrarökologischen Instrumente“ grundsätzlich geeignet seien, „um das mit der Anwendung von PSM verbundene Risiko zu senken.“ (BUWAL, 2003, S. 110). Diese Aussagen und die dort durchgeführten Analysen entsprechen nicht mehr dem heutigen Stand der Forschung. In der politischen Diskussion wird zudem Bedarf zur erneuten Prüfung gesehen, da Gefahren für die Gewässerqualität und die Biodiversität festgestellt wurden (Munz et al., 2012; Wittmer et al., 2014). Fehlende Verbesserungen in diesem Bereich werden auch in der aktuellen Studie der OECD zur Schweizer Agrarpolitik aufgezeigt (OECD, 2015). So werden dort Verbesserungen der landwirtschaftlichen ökologischen Leistungen seit den 1990er Jahren angemerkt, aber dennoch werden bestehende Probleme bei der Oberflächen- und Grundwasserverschmutzung durch PSM und Nährstoffe festgestellt (OECD, 2015, S. 20). Die Eawag und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) haben diese Probleme in einer Studie von 2014 untersucht und festgestellt, dass

² Wie zum Beispiel die „Anleitung zur Pestizidreduktion“, verfügbar unter <http://www.greenpeace.org/switzerland/Global/switzerland/publications/Greenpeace/2013/agriculture/Anleitung.pdf> oder der ‘Pestizid-Reduktionsplan Schweiz’ der Vision Landwirtschaft, verfügbar unter <http://www.visionlandwirtschaft.ch>.

vor allem Herbizide und Insektizide in Gewässern vorkommen und teilweise auch die Grenzwerte überschreiten (Wittmer et al., 2014).

Im Fokus der hier vorliegenden Arbeit steht die Analyse möglicher Strategien zur Reduktion des Risikos des PSM-Einsatzes auf Mensch und Umwelt, mit besonderem Fokus auf der Analyse von Lenkungsabgaben auf PSM. Das Ziel dieser Studie ist, die Effekte einer Lenkungsabgabe im Schweizer Kontext *ex-ante* zu analysieren. Das der Analyse zugrundeliegende Ziel ist nicht per se eine Mengenreduktion des PSM-Einsatzes, sondern eine gezielte Reduktion der durch den Einsatz von PSM verursachten Risiken. Ziel ist zudem, den landwirtschaftlichen Sektor durch eine solche Abgabe finanziell möglichst wenig zu belasten. Flankierende Massnahmen werden deshalb ebenso im Rahmen dieses Berichtes analysiert. Die zentralen Forschungsfragen wurden im Rahmen des Projektes durch das BLW in der Ausschreibung dabei wie folgt formuliert:

- 1) Welche Wirkung eine Lenkungsabgabe auf den Einsatz und die Risiken von PSM haben könnte;
- 2) Welches Design einer Lenkungsabgabe dabei die agrarpolitischen Zielvorgaben am besten erfüllen kann;
- 3) Inwiefern Versicherungen eine sinnvolle Begleitmassnahme darstellen, die den PSM-Einsatz reduzieren können; und
- 4) Welche ökonomischen Effekte durch eine Abgabe auf PSM induziert werden würden, und wie negative Auswirkungen aufgefangen werden können?

Der Bericht gliedert sich in sieben weitere Kapitel. Nach der Darstellung relevanter Hintergrundinformationen zum PSM-Einsatz in der Schweiz (Kapitel 2) wird die Wirkung einer möglichen Lenkungsabgabe mit Hilfe einer Literaturrecherche analysiert (Kapitel 3), wobei der Fokus auf den Erfahrungen aus anderen Ländern liegt, die bereits eine Abgabe auf PSM eingeführt haben. Kapitel 4 behandelt die Wirkung einer Lenkungsabgabe aus theoretischer Sicht. Dabei wird sowohl eine deterministische als auch eine stochastische Analyse durchgeführt und dabei auch auf das Risikoverhalten der Landwirtinnen und Landwirte eingegangen. Kapitel 5 umfasst eine Quantifizierung von Nachfrageelastizitäten nach PSM mit Hilfe einer Meta-Analyse sowie einer Analyse des PSM-Einsatzes in der Schweiz, basierend auf einzelbetrieblichen Daten und einer statischen Simulation des dänischen PSM-Abgabenmodells für die Schweizer Landwirtschaft. Die Auswirkungen von Einkommensrisiken auf den PSM-Einsatz werden in Kapitel 6 diskutiert, wobei der Fokus auf Versicherungslösungen und deren Interaktion mit dem PSM-Einsatz liegt. Des Weiteren werden Aspekte des Extensio Programms sowie präventiver biologischer Strategien untersucht. Kapitel 7 gibt einen Überblick über wichtige Fragen bei der Implementierung einer möglichen Lenkungsabgabe. Insbesondere wird auf die Transaktionskosten und die Verwendung der Einnahmen eingegangen. Abschliessend werden die zentralen Ergebnisse des Berichts zusammengefasst.

2 Hintergrund

Pflanzenschutzmittel (PSM) sind in vielen landwirtschaftlichen Produktionssystemen ein wichtiger Produktionsfaktor zur Erhöhung und Stabilisierung des Ertrages, der Qualität und somit auch des Erlöses. Der Einsatz von PSM verursacht jedoch auch externe Effekte für die menschliche Gesundheit und die Umwelt. In vielen europäischen Ländern wird deshalb eine Reduktion des PSM-Einsatzes angestrebt. Auch in der Schweiz wird das Ziel verfolgt, die Risiken des PSM-Einsatzes zu mindern. Der PSM-Einsatz und dessen wirtschaftliche Bedeutung in der Schweizer Landwirtschaft weisen jedoch eine grosse Heterogenität in Bezug auf Kulturen, Produktionssysteme und Regionen auf.

Zur einheitlichen Begriffsbestimmung, werden für diesen Bericht die Definitionen des Berichts des Bundesrates (WBF, 2014) übernommen. *Pestizide* ist ein genereller Sammelbegriff für verschiedene *Pflanzenschutzmittel (PSM)* und *Biozide*. Die Pflanzenschutzmittelverordnung definiert PSM als Produkte, die einen oder mehrere *PSM-Wirkstoffe* enthalten und denen gegebenenfalls verschiedene *Hilfsstoffe* (z.B. Verdünnungsmittel, Antischaummittel, Haftmittel, Konservierungsstoffe, etc.) beigefügt werden. Ausserdem gelten auch Mikro- und Makroorganismen als PSM-Wirkstoffe, falls sie gegen Schadorganismen eingesetzt werden.

Bei der Wirkungsanalyse von PSM geht es generell um deren Wirkstoffe, die zur Bekämpfung von Schadorganismen³ dienen. Diese Stoffe werden in dieser Studie als PSM-Wirkstoffe bezeichnet, wohingegen handelsübliche Produkte allgemein als PSM benannt werden. PSM werden auf der einen Seite gegen verschiedene Organismen eingesetzt und werden dort nach der Zielgruppe benannt (Herbizide, Fungizide, Insektizide, Molluskizide, Akarizide, Nematizide, Rodentizide, etc.). Auf der anderen Seite können sie auch zur Wachstumsregulation (Phytoregulation) eingesetzt werden.

Biozide sind ähnliche bzw. gleiche Produkte wie PSM, werden aber unterschiedlich eingesetzt (z.B. als Zusatz von Lacken und Farben, als Holzschutzmittel, als Desinfektionsmittel oder auch als Mückenspray). Sie gelangen auf anderen Wegen in die Umwelt und unterliegen einer anderen Gesetzgebung (Biozidprodukteverordnung, VBP). Aufgrund dessen sind sie nicht Bestandteil dieses Berichts.

PSM werden von Landwirtinnen und Landwirten hauptsächlich eingesetzt, um Ertrags- oder Qualitätseinbussen zu reduzieren oder ihnen vorzubeugen. Diese potentiell risikoreduzierende (d.h. die Ertrags- oder Profitvariabilität reduzierende) Wirkung⁴ muss begrifflich von Risiken auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit abgegrenzt werden. Bezüglich letzterem zielt

³ Waterfield und Zilberman (2012, S. 224) definieren die im landwirtschaftlichen Bereich relevanten Schädlinge im weitesten Sinne als biologische Organismen die nachteilig/schädlich für Nutzpflanzen oder Nutztiere sind.

⁴ In späteren Abschnitten dieses Berichten wird gezeigt, dass PSM nicht zwingend risikomindernd wirken (vgl. auch Horowitz & Lichtenberg, 1994).

dieser Bericht nicht darauf ab, neue Erkenntnisse zu gewinnen, sondern verwendet Sekundärdatenquellen zur Quantifizierung von umwelt- und humantoxikologischen Risiken, welche in Kapitel 5 präsentiert werden.

Von den ca. 55.000 landwirtschaftlichen Betrieben in der Schweiz, werden etwa 71% im Haupterwerb geführt (BFS, 2015a). Ein Grossteil der 1,050 Millionen ha landwirtschaftlicher Nutzfläche besteht aus Wiesen und Weiden (Abbildung 1). Auf knapp 150.000 ha (14% der Nutzfläche) wurden im Jahr 2013 Getreide angebaut, wobei Weizen mit Abstand das wichtigste Getreide ist. Hackfrüchte, andere Freilandgemüsesorten und weitere Ackergewächse (z.B. Raps) werden auf etwa 12% der Fläche angebaut (125.000 ha). Obst- und Rebanlagen hatten 2013 mit etwas mehr als 20.000 ha einen Anteil von knapp 2% an der landwirtschaftlichen Nutzfläche, wobei dem Apfelanbau beim Obst die grösste Bedeutung zukommt (ebd.).

Die Nutzung von PSM in der Schweiz ist hauptsächlich auf die Landwirtschaft beschränkt, d.h. die Nutzung durch Privathaushalte oder auf Bahnanlagen ist mengenmässig deutlich kleiner (Spycher und Daniel, 2013). Nichtsdestotrotz ist der Amateuranwendungsbereich ein kritischer Punkt zur Intervention, da hier grosse Risiken für Mensch und Natur vorliegen und deshalb häufig mit besonderen Massnahmen bedacht werden.⁵

Generell lässt sich feststellen, dass die Menge verkaufter PSM in der Schweiz seit 1990 rückläufig ist. In diesen Zeiträumen vollzogene Reformen der Agrarpolitik, wie zum Beispiel die Einführung des ÖLN, waren dabei massgeblich (siehe El Benni und Lehmann, 2010, für eine Übersicht) und werden in Abschnitt 3.2.1 und 6.3 diskutiert.

Die OECD (2015) geht in ihrer aktuellen Studie zur Schweizer Landwirtschaft auch auf den PSM-Einsatz ein und stellt diesbezüglich folgende Punkte fest: Der Einsatz von PSM hat sich in der Periode 1990-1992 bis 2008-2010 reduziert.⁶ Laut Fließbach und Speiser (2010, S. 16) wurde, basierend auf Daten der Schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie, die verkaufte Gesamtmenge an PSM-Wirkstoffen zwischen 1988 und 2008 um 45% reduziert. Trotz der generellen Verbesserungen wird auf bestehende Probleme mit Belastungen von Oberflächen- und Grundwasser hingewiesen (ebd., S. 20).

⁵ So z.B. sehr hohe Besteuerungsniveaus (siehe z.B. Norwegen, Abschnitt 3.2.3) oder auch explizite – umfassende – Verbote für den Verkauf von PSM im Privatbereich (siehe z.B. Frankreich im Rahmen des Ecoplyto II, siehe Abschnitt 3.2.5).

⁶ Bei Analyse der Verkaufsdaten zeigt sich ein Sprung von den Jahren 2005 zu 2006. Dieser Anstieg ist auf eine veränderte Methodik in der Datenerhebung zurückzuführen (OECD, 2015).

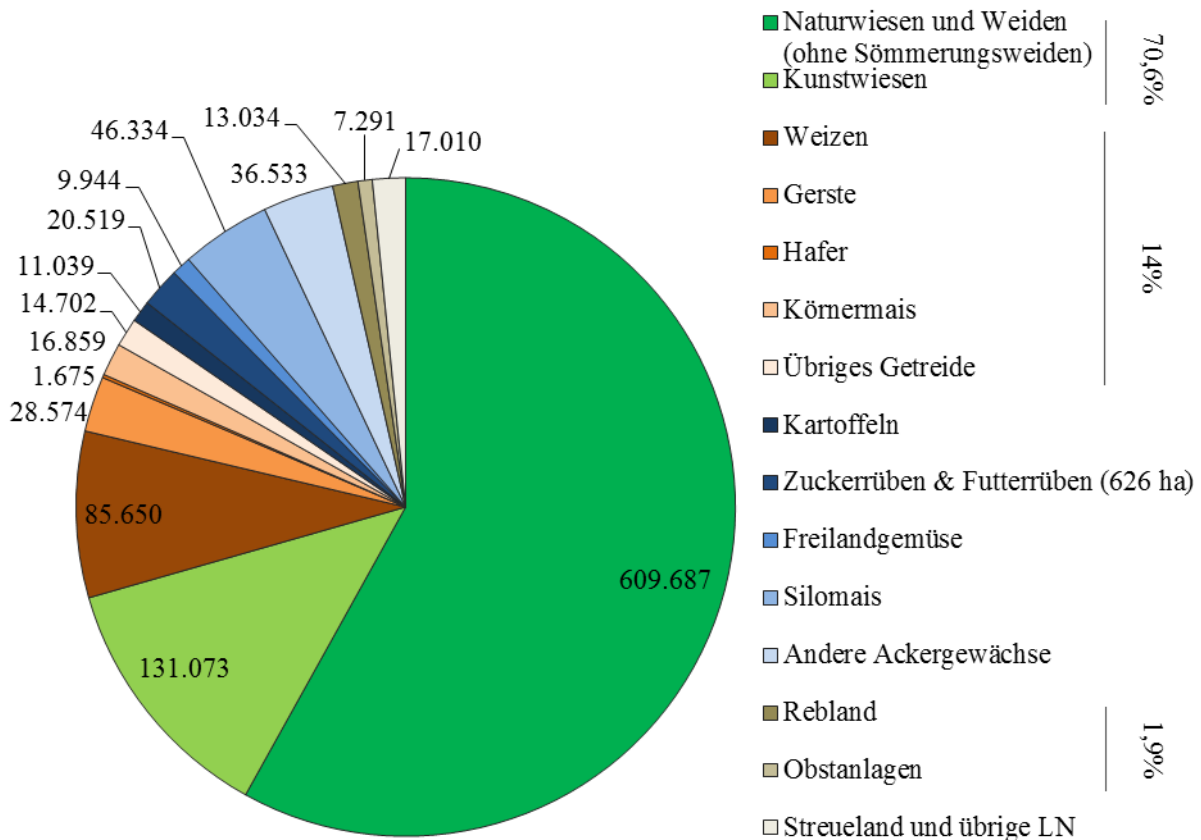


Abbildung 1: Verteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Schweiz (2013)
 Ohne Sömmerungsweiden; Quelle: BFS (2015b).

Die Anwendung von PSM pro Flächeneinheit unterscheidet sich je nach Kulturart zum Teil sehr stark. Die Tabellen 1 und 2 zeigen die Heterogenität bezüglich der Anzahl der Interventionen und der angewandten Wirkstoffmenge auf. Der PSM-Einsatz in Wiesen und Weiden ist gering und beschränkt sich auf den Einsatz von Herbiziden. In Obst- und Rebanlagen werden häufig Insektizide und Fungizide eingesetzt. In der Kartoffelproduktion ist die Kraut- und Knollenfäule eine wichtige Pflanzenkrankheit. Dies führt zu einem höheren Einsatz von Fungiziden, als bei anderen Kulturen im Ackerbau. Auch der Einsatz von Herbiziden und Insektiziden ist im Kartoffelanbau relevant. Beim Getreide ist die Beizung des Saatguts mit Fungiziden wichtig, aber auch eine oder mehrere Nachsaat-Behandlungen mit Fungiziden, Herbiziden und Wachstumsreglern statt (AGRIDEA und FiBL, 2014).⁷

In Abstimmung mit der Begleitgruppe dieses Projektes (Details zur Begleitgruppe siehe Anhang A) wurden basierend auf der Nutzfläche und des Gebrauchs von PSM pro Flächeneinheit in dieser Studie besonders der Weizen-, Kartoffel-, Mais- und Obstanbau als Zielkulturen bzw. Zielanbausysteme definiert. Diese Auswahl ist wie folgt motiviert: Weizen stellt die flächenmässig wichtigste Feldkultur in der Schweizer Landwirtschaft dar. Mais folgt mit einer gesamthaften Anbaufläche von 63.000 ha und ist zudem interessant, da er wenig auf Pflanzenschutz angewiesen ist. So ist zum Beispiel im deutschen Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen

⁷ Siehe Fließbach und Speiser (2010, S. 27) für die Darstellung der in der Schweiz typischen Fruchtfolgen und den dabei realisierten PSM-Einsatz.

(PAPA) des Julius Kühn-Instituts (JKI) für das Jahr 2013, die Anzahl der im Maisanbau angewendeten PSM im Durchschnitt bei 1,8. Für Weizen lag dieser Wert bei 5,2 PSM (JKI, 2013). Auf der anderen Seite birgt der Maisanbau potentiell jedoch andere ökologische Nachteile (z.B. Erosionsprobleme oder artenärmere Äcker; Baeumer, 1992). Kartoffel- und Obstbau wurden als Zielkulturen definiert, da hier pro Flächeneinheit die grössten Mengen an PSM ausgebracht werden (Spycher und Daniel, 2013).

Mehrere Studien haben in den letzten Jahren den PSM-Einsatz in der Schweiz analysiert (z.B. Fließbach und Speiser, 2010; Spycher und Daniel, 2013; Spycher et al., 2013; de Baan et al., 2015). Spycher und Daniel (2013) sowie Spycher et al. (2013) untersuchten den PSM-Einsatz basierend auf Daten der ZA-AUI⁸ von 2009-2010. Im Folgenden werden einige wichtige Ergebnisse dieser Berichte genauer dargestellt. Tabelle 1 zeigt die Häufigkeit der Überfahrten (Interventionen) zum Einsatz von PSM in der Schweiz verglichen mit Deutschland und Grossbritannien. Bei einer Überfahrt können allerdings auch mehrere PSM eingesetzt werden. Dabei wird deutlich, dass PSM am häufigsten im intensiven Obst-, Wein- und Hackfruchtanbau angewendet werden (müssen). Im Getreide oder Maisanbau ist die Anzahl der Anwendungen hingegen deutlich tiefer. Bei den meisten Kulturgruppen hat die Schweiz ein ähnliches Anwendungsniveau wie Deutschland. In Grossbritannien finden jedoch tendenziell mehr Anwendungen statt, was dem feuchteren Klima geschuldet sein mag (ebd., S. 38). Deutliche Unterschiede zwischen Deutschland und der Schweiz hin zu weniger PSM-Anwendungen gibt es für den Getreideanbau, da die Schweiz bei diesen (und weiteren) Kulturen die extensive Produktion (sogenanntes *Extenso* Programm; siehe Abschnitt 3.2.1 und Unterkapitel 6.3) fördert.⁹ Die Anzahl der Überfahrten schwankt dabei teilweise sehr stark zwischen den verschiedenen Kulturen und den Betrieben. Bei Mais und Extenso Getreide wenden nahezu alle Betriebe genau einmal Herbizide an (Spycher und Daniel, 2013, S. 27). Bei Kartoffeln geben Spycher und Daniel (2013) an, dass das 25%- und das 75%-Quartil zwischen sechs und zehn Überfahrten liegt, bei Steinobst zwischen drei und acht Überfahrten und bei Kernobst zwischen zehn und 21 Überfahrten (ebd.).

Auch bezüglich der verwendeten Wirkstoffe gibt es Unterschiede. So kommen in der Schweiz zum Beispiel deutlich mehr Öle (Mineralöle und Pflanzenöle) zum Einsatz.¹⁰ Die Verkaufszahlen betragen 2009 in der Schweiz 286 t und zum Beispiel in Deutschland lediglich 182 t (Spycher und Daniel, 2013, S. 40). Öle benötigen jedoch eine relativ hohe Dosis je Hektar. Tabelle 2 beinhaltet die durchschnittliche je ha angewandte Wirkstoffmenge in 2010. Zusätzlich werden in Anhang B die PSM-Anwendungen und die dazugehörigen Kosten aus den Deckungsbeitragsrichtwerten gezeigt (AGRIDEA und FiBL, 2014). Beim Kernobst wurden mit 42 kg/ha

⁸ ZA AUI steht für die Zentrale Auswertung der Agrarumweltindikatoren, Details siehe <http://www.agroscope.admin.ch/gewaesserschutz-stoffhaushalt/00756/index.html?lang=de>.

⁹ Fließbach und Speiser (2010, S. 17) weisen darauf hin, dass in den letzten Jahrzehnten insbesondere die Verkaufsmenge von Insektiziden und Wachstumsreglern relativ stark abgenommen hat, was neben besserer Wirksamkeit der Produkte (ebd., S.17), unserer Meinung nach, auch auf das Extenso Programm zurückzuführen ist.

¹⁰ Der stärkere Einsatz von diesen Produkten spiegelt auch die grössere Relevanz des biologischen Landbaus wider (für einen Überblick zu den Produkten siehe Pflanzenschutzmittelverzeichnis des BLW: <http://www.blw.admin.ch/psm/produkte/index.html?lang=de>).

mit Abstand am meisten kg Wirkstoff eingesetzt,¹¹ gefolgt vom Wein mit 22,3 kg/ha und den Kartoffeln mit 15,2 kg/ha. Bei Rüben, Steinobst und Freilandgemüse werden jeweils um die 6 kg/ha appliziert. Beim Getreide, Raps und den Hülsenfrüchten wurden jeweils 2-3 kg/ha eingesetzt und bei Mais und Extenso Kulturen 1-1,5 kg/ha. Bei Wiesen und Weiden spielen chemische PSM, wie oben bereits erwähnt, nur eine untergeordnete Rolle.¹²

Tabelle 1: Anzahl durchschnittlicher Interventionen (Überfahrten zur PSM Anwendung) in der Schweiz, Deutschland und Grossbritannien für verschiedene Kulturgruppen (Quellen siehe unten)
Kursiv in Klammern bei der Schweiz: Anzahl der Interventionen von 2009 – 2012 (Quelle s.u.)⁺*

Kulturgruppe	Schweiz (2009) <i>(2009-2012)</i>	Deutschland (2007, '09, '11)	Grossbritannien (2010, Äpfel <i>(2009)</i>)	Bemerkung
Äpfel	17,2 <i>(15-21)</i>	17,6 ¹	18,9	¹ nur Tafelobst (Wirtschaftsobst: 11,5)
Kartoffeln	7,5 ² <i>(8,5-10)</i>	8,6	13,4	² ohne Saatkartoffeln
Raps	4,4 ³ <i>(4-5)</i>	5,3	6,3	³ ohne Extenso (zu wenig Schläge)
Reben	10,6 <i>(10-11)</i>	9,5	-	
Wintergerste	2,0 ⁴ <i>(2,8 bzw. 1,1) (4-4,5)</i>	3,4	4,4	⁴ für Schweiz mit 50% Flächenanteil Extenso gerechnet
Winterweizen	1,9 ⁵ <i>(2,8 bzw. 1,0) (3,5-4)</i>	3,9	5,9	⁵ für Schweiz mit 50% Flächenanteil Extenso gerechnet
Zuckerrüben	5,1 <i>(5,5-7)</i>	4,7	6,6	

Quelle: Schweiz: Spycher und Daniel, 2013, S. 39; Deutschland: Rossberg, 2009a, b, 2010, 2013, Rossberg et al., 2010; Grossbritannien: Garthwaite et al., 2010a, b.

⁺ Quelle des Kursivgedruckten: de Baan et al., 2015.* Intervention meint in dieser Quelle: Anzahl der Überfahrten pro Wirkstoffgruppe: D.h. eine Durchfahrt mit Fungiziden und Insektiziden gilt als zwei Interventionen, eine Durchfahrt mit zwei Fungiziden als eine Intervention.

¹¹ Siehe auch Gölles et al. (2015) zu einer Diskussion zum Pflanzenschutz in der Apfelproduktion.

¹² Insbesondere werden Herbizide zum Umbruch bzw. zur Neusaat eingesetzt oder es erfolgen Anwendungen zur Bekämpfung bestimmter Schadkulturen wie Blacken (siehe Fließbach und Speiser, 2010, S. 20, sowie Pötsch, 2001, und Zaller, 2004, für Übersichten zur Blackenbekämpfung).

Tabelle 2: Mittlere angewandte Wirkstoffmenge nach Kulturgruppe und Wirkstoffbereich 2010 in kg AI/ha*a

Betriebstyp (nach Typologie FAT99)	Herbizide	Fungizide	Insektizide	Molluskizide	Wachstumsregulator	Andere	Gesamt
Andere Nutzungen	1,8	0,5	0,03	0,04	0,06	0,0002	2,4
Freilandgemüse	1,4	3,7	0,2	0,02	---	0,1	5,4
Futterrüben	4,8	0,2	0,3	0,05	---	0,4	5,6
Hochstammobst	---	0,8	0,09	---	---	0,4	1,3
Hülsenfrüchte	1,9	0,1	0,1	---	---	0,02	2,2
Kartoffeln	3,0	7,1	0,01	0,1	---	4,9	15,2
Kernobst	1,6	25,1	2,0	---	0,09	13,3	42,0
Mais	1,4	---	---	0,01	---	0,02	1,5
Raps	1,6	0,3	0,1	0,17	---	0,004	2,2
Reben	1,3	20,8	0,03	0,04	---	0,1	22,3
Steinobst	0,6	4,5	0,6	---	0,008	0,6	6,3
Übriges Getreide	1,1	0,2	0,001	0,004	0,2	---	1,5
Wiesen, Weiden	0,06	---	---	0,0008	0,0001	0,002	0,06
Wintergerste	1,9	1	---	0,008	0,5	0,02	3,4
Winterweizen	1,0	0,9	0,008	0,001	0,4	0,04	2,4
Zuckerrüben	5,0	0,3	0,1	0,2	0,005	0,3	5,9
Winterweizen Extenso	0,9	---	---	---	---	---	0,9
Wintergerste Extenso	1,6	---	---	---	---	---	1,6
Raps Extenso	1,3	---	---	---	---	---	1,3

Quelle: Spycher und Daniel, 2013, S. 59.

Bei Betrachtung der Intensität des PSM-Einsatzes pro Flächeneinheit (*intensive margin*) gilt es auch die zugrunde liegende Fläche (*extensive margin*) zu betrachten, um die Relevanz einzelner Kulturen bezüglich des PSM-Einsatzes zu bestimmen. Zum Beispiel werden in der Getreideproduktion relativ wenig PSM-Wirkstoffe pro Flächeneinheit eingesetzt (z.B. 2,4 kg AI/ha bei Winterweizen), allerdings nimmt das Getreide neben dem Grünland den grössten Anteil der Agrarflächen in Anspruch (vgl. Abbildung 1). Dennoch wird in anderen Ländern deutlich mehr PSM beim Getreide eingesetzt, da durch das Extenso Programm der Einsatz reduziert wurde (siehe oben).¹³ Im Obst- und Weinbau müssen deutlich mehr kg Wirkstoff je ha angewendet werden. Der Schweizer Obst- und Weinbau ist vergleichsweise gross: Der Weinrebenanteil an der Ackerfläche (ohne Grünland) beträgt in der Schweiz 4,8%, in Deutschland hingegen lediglich 0,9% (Faktor 5,3) und auch beim Kernobst gibt es einen Grössenunterschied vom Faktor 5,4 (Spycher und Daniel, 2013, S. 40). Im Vergleich zum Ackerbau wird dabei auf einer kleinen Fläche eine grosse Menge PSM eingesetzt. Aufgrund dieser grossen Heterogenität des PSM-Einsatzes über die Kulturen ist die Wirkung diverser Politikmassnahmen auf die Kulturwahl von zentraler Relevanz für den aggregierten PSM-Einsatz (*extensive margin*) und zumindest ähnlich der Relevanz von Massnahmen zur Intensitätssteuerung des PSM-Einsatzes an einzelnen Kulturen (*intensive margin*).

Im Vergleich zu anderen europäischen Staaten resultiert die reduzierte Intensität des Ackerbaus in der Schweiz (bedingt durch ÖLN und ökologische Direktzahlungsprogramme) bei manchen Kulturen in tieferen Ertragsniveaus (siehe Anhang C). Insbesondere bei Getreide und Raps sind die durchschnittlichen Hektarerträge und die Rate der jährlichen Ertragssteigerungen in der Schweiz tiefer als in anderen europäischen Ländern, was insbesondere durch das Extenso Programm bedingt ist (Finger, 2008, 2010a, 2014). Ein alleiniger Vergleich der PSM-Anwendungen pro Flächeneinheit ist daher nicht notwendigerweise aussagekräftig genug.

¹³ Zraggen (2005) weist jedoch darauf hin, dass es durch das Extenso Programm wirtschaftlich sein kann von extensiver Weide auf andere, Extenso-geförderte Kulturen umzustellen (z.B. Getreide). Wenn solche Flächen in Hanglagen oder in der Nähe von Gewässern sind, können sich durch eine erhöhte Dünger- oder PSM-Anwendung negative Auswirkungen des Programmes auf beispielsweise die Gewässerbelastung ergeben.

2.1 Zugelassene PSM in der Schweiz

Die Pflanzenschutzmittelverordnung (PSMV) unterscheidet drei Gruppen von Schädlingsbekämpfungsmitteln: chemische Stoffe, Mikro- und Makroorganismen. In 2016 (Stand: 1. Februar) waren insgesamt durch die PSMV 330 verschiedene chemische PSM-Wirkstoffe in der Schweiz zugelassen im Vergleich zu 341 im Jahr 2015 (Stand: 1. Januar).¹⁴ Abbildung 2 zeigt die Anwendungsbereiche der zugelassenen Wirkstoffe. Dabei ist es möglich, dass einige Stoffe in mehrere Richtungen wirken. Der Grossteil der chemischen Wirkstoffe hat eine herbizide oder fungizide Wirkung. Die drittstärkste Kategorie sind die Insektizide mit 58 Wirkstoffen, gefolgt von Akariziden (gegen Milben), Pheromonen und Wachstumsreglern. Bezüglich der Wirkstoffmenge ist die Rangfolge wie folgt: Fungizide, Herbizide, Insektizide (Fließbach und Speiser, 2010, S. 17). In folgenden empirischen Analysen (insb. Kapitel 5 und 6) beschränken wir uns deshalb auf diese drei Gruppen.

Von den 26 verschiedenen zugelassenen Mikroorganismen haben 15 eine insektizide Wirkung (z.B. Bakterien wie *Bacillus thuringiensis*, Bt). Acht Mikroorganismen sind als Fungizid zugelassen. Die 48 zugelassenen Makroorganismen haben bis auf ein Molluskizid ausschliesslich eine insektizide Wirkung.

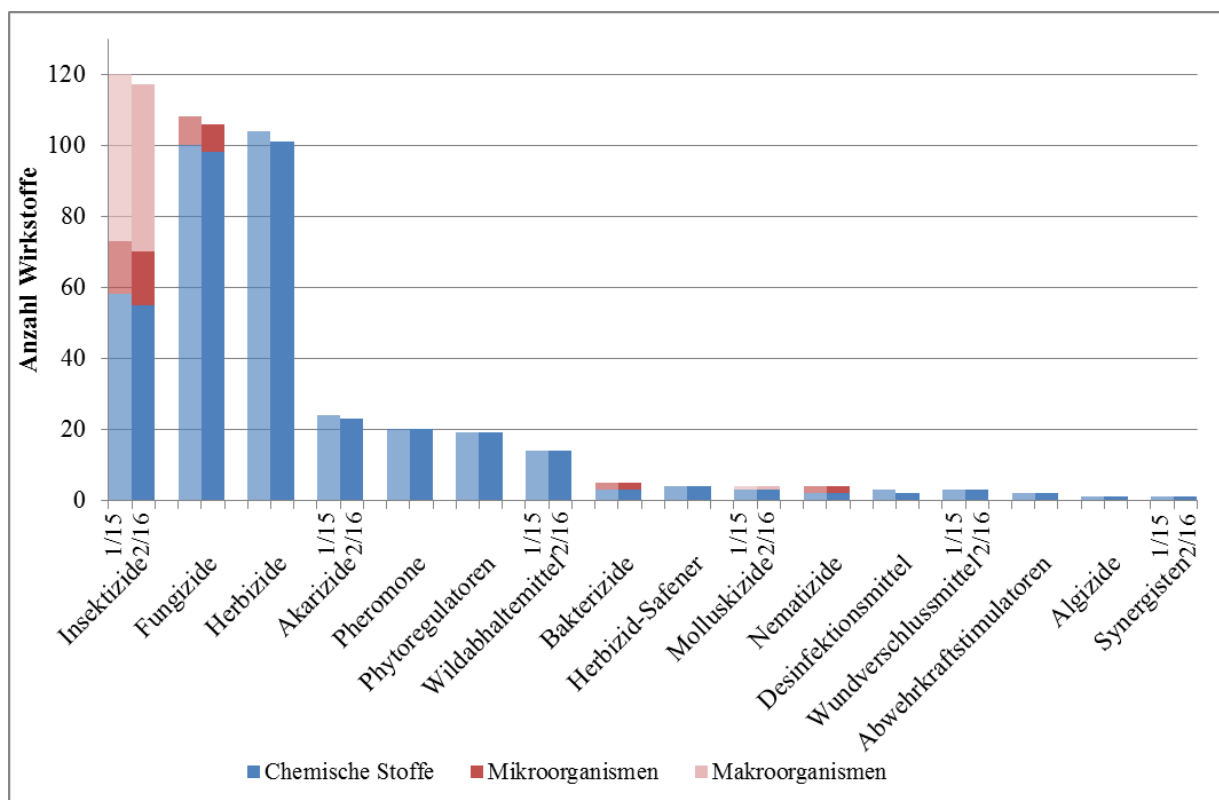


Abbildung 2: Anwendungsbereich der zugelassenen PSM-Wirkstoffe in der Schweiz im Januar 2015 und Februar 2016

Quelle: PSMV vom 12. Mai 2010 (Stand am 1. Januar 2015 und 1. Februar 2016).

¹⁴ Weitere Details sind unter folgendem Link verfügbar: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20100203/index.html>.

Im Bereich der Zulassung unterscheidet die PSMV Wirkstoffe und Wirkstoffe mit geringem Risiko (Art. 5 Abs. 4 und Art. 32). Dabei richtet die PSMV sich nach den Verordnungen (EG) Nr. 1107/2009 und (EG) Nr. 1272/2008. Einem Wirkstoff mit geringem Risiko darf keine der folgenden Attribute zugeordnet werden: a) karzinogen, b) mutagen, c) reproduktionstoxisch, d) sensibilisierende chemische Stoffe, e) sehr giftig oder giftig, f) explosionsgefährlich oder g) ätzend. Des Weiteren darf er folgende Eigenschaften nicht besitzen: a) Persistenz (ausgedrückt über die Halbwertszeit im Boden über 60 Tage), b) Biokonzentrationsfaktor höher als 100, c) Endokrinschädlichkeit und d) neurotoxische oder immuntoxische Wirkungen. Das Vorliegen dieser zulassungsrelevanten Grössen erlaubt eine zielgerichtete (z.B. an der Toxikologie ausgerichtete) Ausgestaltung von Lenkungsabgaben ohne umfangreiche zusätzliche Analysen (siehe auch Abschnitt 3.2 zu Abgabensystemen in anderen Ländern).

Stoffe mit geringem Risiko sollen in der Liste der zugelassenen Wirkstoffe (Anhang 1 PSMV) speziell gekennzeichnet sein. Allerdings konnten in der Recherche der oben genannten Quellen keine Wirkstoffe gefunden werden, die keine der oben genannten Eigenschaften erfüllen.

2.2 Aktuelle Studien zur Bewertung der negativen Effekte von PSM in der Schweiz

Die wichtigsten negativen Effekte von PSM in der Schweiz wurden auf der Tagung zum „Aktionsplan Pflanzenschutzmittel“ (8. September 2015; Leu et al., 2015) beschrieben. Auswirkungen auf aquatische Organismen in kleinen und mittleren Oberflächengewässern (siehe zudem OECD, 2015, für Fragen des Grundwassereintrags) und Auswirkungen auf terrestrische Nichtzielorganismen und damit auf die Biodiversität seien hierbei zentral, wobei im letzten Punkt eine nicht-ausreichende Datenbasis vermerkt wird.

PSM können sich in der Umwelt, d.h. in der Flora und Fauna aber auch im Boden oder Grundwasser, anreichern. Bei den Umweltrisiken von PSM und Bioziden wird häufig zwischen akuten und chronischen Risiken unterschieden. Akute Umweltrisiken treten innerhalb einer kurzen Zeitspanne nach einer einzelnen Exposition auf (z.B. bei direktem Kontakt mit dem Spritzmittel). Chronisches Umweltrisiko bezeichnet die kontinuierliche Exposition zu einem PSM über einen längeren Zeitraum.

Um die Relevanz der Umweltrisiken für die Schweiz beispielhaft zu skizzieren, fassen wir im Folgenden die Ergebnisse aus zwei Studien in diesem Bereich zusammen (Munz et al., 2012, und Wittmer et al., 2014).

Munz et al. (2012) zeigen, dass die Konzentration eines PSMs oder eines Biozids in einem Fliessgewässer sowohl von der Jahreszeit (stärkste Belastung im Juni und Juli) als auch von der Grösse des Gewässers abhängt (ebd., S. 36). Kleine Fliessgewässer wiesen in einer Untersuchung des BAFU und der Eawag von 2005 bis 2012 etwa vier Mal mehr PSM-Rückstände auf

als grosse Fließgewässer (ebd.). Die Höchstgrenze eines PSM-Wirkstoffs liegt laut Gewässerschutzverordnung (GSchV, Anhang 2) für Trinkwasser und Abwasser bei 0,1 µg/l je Einzelstoff. In der Studie von Munz et al. (2012) wurden jedoch von 162 nachgewiesenen Wirkstoffen 98 Stoffe an über 70% der 565 untersuchten Standorte in einer höheren Konzentration nachgewiesen. Die 20 höchsten Maximalkonzentrationen lagen zwischen 7,4 und 301 µg/l, wobei die Hälfte der Mittel mit Höchstkonzentrationen zu den Herbiziden gehört (ebd., S. 37). Das Mittel mit der Maximalkonzentration von 301 µg/l in Fließgewässern war das Biozid DEET mit insektizider Wirkung, gefolgt vom Herbizid Chlortoluron mit 81 µg/l (ebd.).

In einer weiteren Untersuchung der Eawag und des BAFU (Wittmer et al., 2014) wurden fünf mittelgrosse Fließgewässer auf 300 verschiedene PSM- und Biozid-Wirkstoffrückstände untersucht.¹⁵ Insgesamt konnten dabei 104 Wirkstoffe (82 reine PSM, 20 Wirkstoffe mit Zulassung als PSM und Biozid, sowie zwei reine Biozide) nachgewiesen werden (ebd., S. 36). 54 dieser PSM haben eine herbizide Wirkung, 31 eine fungizide und 17 PSM eine insektizide Wirkung. An jedem der Standorte wurden 64 – 76 Wirkstoffe nachgewiesen. Von diesen Wirkstoffen überschritten 31 den Anforderungswert der GSchV von 0,1 µg/l und 19 Wirkstoffe überschritten die chronischen Qualitätskriterien gemäss der EU-Wasserrahmenrichtlinie (individueller Wert je Wirkstoff) (ebd., S. 38). Wie in der obigen Studie von Munz et al. sind auch hier die meisten Überschreitungen den Herbiziden zuzuschreiben (13 Herbizide von 19 Überschreitungen; ebd.). Nach bisherigem Kenntnisstand und ausgehend von den genannten Studien sind in der Schweiz negative externe Effekte des PSM-Einsatzes besonders in Form von Verunreinigungen der Fließgewässer relevant. Dabei ist eine lokale Heterogenität bezüglich der Verschmutzungen, sowie eine Konzentration auf herbizide Wirkstoffe gefunden worden. Auch negative Effekte auf die Biodiversität lassen sich aus diesem Grund nicht ausschliessen. Dies sollte bei der Wahl der Massnahmen berücksichtigt werden.

¹⁵ Der SRU (2016, S. 378) weist jedoch darauf hin, dass das Standardmonitoring nicht geeignet ist, um Belastungsspitzen in Oberflächengewässern nachzuweisen, welche von grosser Relevanz für Auswirkungen auf Ökosysteme sein können (Malaj et al., 2014).

3 Wirkung möglicher Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen: bestehende Politikmassnahmen

Vier europäische Länder (Schweden, Norwegen, Dänemark und Frankreich) haben bereits ein Abgabensystem auf Pflanzenschutzmittel (PSM) eingeführt. Die Systeme unterscheiden sich stark in der konkreten Ausgestaltung und werden in diesem Kapitel deshalb mit Hilfe einer Literatur- und Sekundärdatenanalyse diskutiert. Sie reichen von einer undifferenzierten Abgabe pro kg Wirkstoff (Schweden), einer Ausdifferenzierung in drei (Frankreich) bzw. sieben (Norwegen) Risikokategorien von PSM, bis hin zu einer komplett differenzierten Abgabe mit einer spezifischen Abgabenhöhe für jedes PSM (Dänemark). Welches Abgabensystem optimal ist, hängt von den definierten Politikzielen ab, da zwischen Zielen wie beispielsweise einer reinen Mengen- oder Risikoreduktion Divergenzen bestehen können. Es zeigt sich, dass PSM-Abgaben zu Verhaltensänderungen bei Landwirten geführt haben. So konnten nachhaltige Substitutionen zu weniger toxischen Produkten oder nicht-chemischen Pflanzenschutzstrategien erreicht werden, auch wenn Markt- und andere Politikentwicklungen den PSM-Einsatz in den vier Ländern ebenfalls stark beeinflusst haben. Mit Blick auf die Umsetzung eines Abgabensystems muss damit gerechnet werden, dass vor Einführung einer PSM-Abgabe der Absatz aufgrund von Vorratskäufen ansteigt. Im Jahr nach der Steuereinführung kam es in den untersuchten Ländern dann zunächst zu einem starken Einbruch des PSM-Absatzes. In keinem der vier Länder wird die Abgabe direkt beim landwirtschaftlichen Betrieb erhoben, sondern auf der Ebene Industrie oder Handel.

Zunächst werden in diesem Kapitel die Ergebnisse einer umfassenden Literaturrecherche zusammengetragen,¹⁶ mit dem Ziel, einen aktuellen Stand des Wissens bezüglich folgender Komponenten zu dokumentieren:

Abschnitt 3.1 gibt einen Überblick über verschiedene **Politikmassnahmen und Bewertungskriterien**, welche zur Regulierung des PSM-Einsatzes umgesetzt werden. In Anbetracht der Zielstellung liegt der Fokus im Besonderen auf Vor- und Nachteilen der Abgabepolitik.

In Abschnitt 3.2 werden **bestehende abgabenpolitische Massnahmen** zu PSM erläutert. Erfahrungen aus dem In- und Ausland (mit einem besonderen Fokus auf Europa) werden zusammengetragen, analysiert und diskutiert, sowie deren Vor- und Nachteile dargestellt.

Ein besonderer Schwerpunkt des hier durchgeführten Reviews liegt auf den in diesem Projekt im Vordergrund stehenden Risikoaspekten bei der Nutzung von PSM, der Rolle von flankierenden Begleitmassnahmen, sowie der Effektivität und Effizienz der jeweiligen Massnahmen. Die in diesem Modul zusammengetragenen und kritisch analysierten Politikmassnahmen und

¹⁶ Die Literatursuche wurde mittels Scopus und Google Scholar durchgeführt und zielte primär aber nicht ausschliesslich auf begutachtete (*peer-reviewed*) Literatur in englischer und deutscher Sprache, sowie Schweiz-spezifischer Literatur ab.

Ansätze bzw. Konzepte dienen als Grundlage für die nachfolgenden Schritte und werden in einer abschliessenden Synthese den in dieser Studie erarbeiteten Resultaten gegenübergestellt.

3.1 Bewertungskriterien, Zieldefinition und Politikmassnahmen

Bei der Bewertung einer Massnahme ist es unerlässlich, eine explizite Definition der Ziele, Zieldimensionen und Zielbewertungen vorzunehmen. Box II gibt einen Überblick über verschiedene Dimensionen für diese Bewertungen. Die Effektivität einer Massnahme beruht auf einer bestimmten Zieldefinition bzw. auf einen Indikator, der den Grad der Zielerreichung misst. Die Reduktionsziele sind bei den meisten Staaten im Nationalen Aktionsplan definiert. Im Wesentlichen gibt es dabei drei verschiedene Möglichkeiten der Messung¹⁷ (van Bol et al., 2003; Eurostat, 2008, S. 53):

- PSM-Gebrauchsindikatoren (*pesticide use indicators*, PUI): U.a. die Menge angewandter oder verkaufter PSM-Wirkstoffe oder die Behandlungshäufigkeit (*treatment frequency*): Unter Annahme einer vorgegebenen Standarddosis, die errechnete Anzahl an Behandlungen
- PSM-Risikoindikatoren (*pesticide risk indicators*, PRI): Die Umweltbelastung bzw. das Umweltrisiko (*environmental load*): basierend auf verschiedenen Subindikatoren wie Belastung der menschlichen Gesundheit, Umweltverhalten o.ä. Messung z.B. anhand der Gefahrenhinweise (H-Sätze – *hazard statements* bzw. R- und S-Sätze – Risiko- und Sicherheitssätze), der tödlichen oder nachweisbaren Dosis bei Nicht-Zielorganismen oder der Bienengefährdungsstufen (B-Hinweise). Diese Risikoindikatoren werden zur Bestimmung der Steuerhöhe in bestehenden Systemen verwendet, da diese eine einfache Abbildung des Risikos erlauben. Die direkte Fokussierung eines Abgabensystems auf Zielorganismen, zum Beispiel, wäre nicht oder nur unter hohen Kosten realisierbar.
- PSM-Wirkungsabschätzung (*pesticide impact assessment systems*, PIAS): Die Analyse der Auswirkungen des PSM-Einsatzes mit Hilfe verschiedener quantitativer und qualitativer Risikoindikatoren, um auch die Bedeutung der Umwelteffekte von PSM darstellen zu können. Dadurch lässt sich der gesamtökologische Effekt beurteilen, da Wechselwirkungen und indirekte Effekte zwischen einzelnen Arten und aggregierte Ökosystemeffekte berücksichtigt werden können.

Die hier aufgezeigte Heterogenität in den Zieldimensionen impliziert auch, dass eine Politikmassnahme nicht zwingend hinsichtlich aller Kriterien erfolgreich sein muss. Im Gegenteil, kontraintuitive Effekte sind sogar zu erwarten. So kann zum Beispiel eine Abgabe, welche die angewandte Menge PSM reduziert, zu einer Verschiebung zu toxischeren Produkten führen, d.h. bezüglich der Zieldimension „Umweltbelastung“ sogar negative Auswirkungen haben. Umgekehrt kann eine Reduktion toxischer Mittel mit dem Anstieg der total eingesetzten Menge PSM einhergehen. Die konkrete Zieldefinition ist daher essentiell, um eine Massnahme bewerten zu können. Des Weiteren zeigt dieser Rahmen auch die Notwendigkeit der Zielgewichtung

¹⁷ Zu einer Diskussion verschiedener Indikatoren mit Fokus auf die Schweizer Landwirtschaft sei auf Fließbach und Speiser (2010, S. 13) verwiesen.

auf. Verschiedene Kategorien, z.B. Umweltrisiko und humantoxikologische Masszahlen, müssen miteinander verglichen werden. Zudem müssen Prioritäten sinnvoll definiert werden. Zum Beispiel kann die Reduktion der mittleren Belastung (über einen bestimmten Zeitraum) von Gewässern ein Ziel sein, aber eventuell im Kontrast zur Reduktion der Spitzen von Einträgen stehen – die wahrscheinlich von grösserer Relevanz sind (siehe dazu auch Malaj et al., 2014). Lichtenberg und Zilberman (1988) und Waterfield und Zilberman (2012) zeigen in diesem Zusammenhang, dass die Unsicherheit bezüglich der Auswirkungen des PSM-Einsatzes einen Einfluss auf Politikmassnahmen haben kann. So sind mögliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zum Beispiel von Wetterbedingungen (Wind, Niederschlag etc.) abhängig, d.h. nicht deterministisch. Lichtenberg und Zilberman (1988) schlagen hier die Anwendung von sogenannten *safety first*-Regeln vor, bei deren Anwendung eine Politikgestaltung so gewählt wird, dass eine Unterschreitung von Minimalkriterien verhindert wird. Abschliessend muss der Zeithorizont der Zielerreichung spezifiziert werden. Eine Reduktion des Einsatzes bestimmter PSM geht kurzfristig mit anderen Konsequenzen einher als langfristige Reduktionsziele. Dies hat Implikationen für die Bewertung einer Massnahme. Zum Beispiel wären Lenkungsabgaben inferior zu Verboten (aus einer Effektivitäts-Perspektive) um kurzfristig bestimmte Mittel aus dem Markt zu nehmen. Dahingegen können Lenkungsabgaben Signale aussenden, die Anpassungen und Entwicklungen im ganzen Sektor bewirken und so eine effizientere Erreichung von Zielen zur Reduktion der Risiken durch den PSM-Einsatz für Mensch und Umwelt erlauben, als dies durch Verbote der Fall wäre. Die Reaktion des Deutschen Bauernverbandes auf einen in Deutschland eingebrachten Vorschlag zur Besteuerung von PSM (siehe Abschnitt 3.2.6) mit dem Titel ‚Steuer auf Pflanzenschutzmittel ohne Lenkungswirkung‘¹⁸ symbolisiert die Relevanz der Kommunikation des Zeithorizontes, in dem Reaktionen erzielt werden sollen. Im Gegensatz dazu werden in anderen Ländern, wie zum Beispiel in Frankreich und Dänemark, quantitative Ziele an eindeutige Zeitpunkte geknüpft (siehe Abschnitt 3.2.5).

Reus et al. (1994) analysierten in ihrer Studie eine Reihe verschiedener Massnahmen, u.a. auch eine mögliche Produktabgabe auf PSM sowie eine Abgabe auf die PSM-Applikation. Die Autoren zeigen bei beiden Varianten eine schwache Effektivität und Erfüllung des Verursacherprinzips auf, sehen jedoch hinsichtlich Machbarkeit und der Effizienz Vorteile einer Produktabgabe.

¹⁸ Pressemeldung vom 03.10.2015, <http://www.bauernverband.de/steuer-auf-pflanzenschutzmittel-ohne-lenkungswirkung>.

Box 1 Evaluierung von Politikmassnahmen

Verschiedene Bewertungskriterien sind notwendig, um Politikmassnahmen zu evaluieren und um Möglichkeiten zur Reduzierung des PSM-Einsatzes sowie der Umweltbelastung durch PSM darzustellen. Nach Reus et al. (1994, S. 64) wird diese Analyse anhand von sechs verschiedenen Kriterien durchgeführt:

- Effektivität (*effectiveness*); bezieht sich auf das Potenzial einer Massnahme, das erwünschte Ziel zu erreichen.
- Effizienz (*efficiency*); beschreibt die Kosten der Massnahme in Bezug auf die erzielten Resultate.
- Machbarkeit und Durchsetzbarkeit (*feasibility and maintainability*); betrachtet den institutionellen Rahmen und Kontroll- bzw. die Betrugsmöglichkeiten.
- Verursacherprinzip (*polluter pays principle*); soll sicherstellen, dass das Instrument gerecht ist und der Verursacher der Umweltbelastung auch die Kosten trägt.
- Wirtschaftliche Konsequenzen für landwirtschaftliche Betriebe (*economic consequences for farmers*); beschreibt, ob Verluste auftreten und falls ja, wie hoch diese sind
- Unterstützung durch Landwirtinnen und Landwirte (*support among farmers*); inwiefern eine Massnahme durch die Landwirtschaft unterstützt wird.

Oskam et al. (1997) analysieren mögliche Instrumente zur Reduktion des PSM-Einsatzes in sechs Kategorien: **1) Regulierung, 2) Information/Überzeugung/Bewusstsein, 3) technologische oder institutionelle Veränderungen, 4) Vereinbarungen, 5) ökonomische Instrumente** sowie **6) zivilrechtliche Instrumente**. Hierbei können jedoch auch Überschneidungen zwischen den Kategorien stattfinden. Regulatorische Instrumente beinhalten u.a. Verbote, Lagerungsvorschriften, Zulassungsverfahren und Monitoring Programme und werden breitläufig eingesetzt. Information/Überzeugung sowie Bewusstsein beinhaltet z.B. die landwirtschaftliche Ausbildung und im Rahmen dessen die Fachbewilligung zur beruflichen PSM-Anwendung, die Verwendung von Labeln (wie z.B. Bio oder IP Suisse), aber auch Schaderreger-Prognosedienste (wie z.B. Agrometeo). Technologische Änderungen beinhalten z.B. *precision farming*-Techniken bei der PSM-Applikation, Resistenzzüchtungen oder gentechnische Züchtungsschritte. Institutionelle Änderungen bilden zum einen den Rahmen für biologische¹⁹ oder integrierte Anbausysteme sowie deren gezielte Förderung und Verbreitung, beinhalten jedoch auch die Abschaffung von Preisstützungen, welche einen intensiveren Anbau bewirken. Vereinbarungen sind häufig auf freiwilliger Basis und können z.B. zwischen Umweltverbänden und landwirtschaftlichen Betrieben abgeschlossen werden. Zivilrechtliche Instrumente werden vor allem zwischen Landwirtinnen bzw. Landwirten und Wasserversorgern angewendet. Einen Überblick über alle bisher in der Schweiz angewendeten und diskutierten Massnahmen gibt der

¹⁹ Trotz positiver Aspekte des biologischen Landbaus im PSM-Kontext sei auf die Studie von Waterfield und Zilberman (2012, S. 233-234) verwiesen, die eine Übersicht zu kritischen Aspekten geben, die mit dem PSM-Einsatz im biologischen Landbau verbunden sind. Sie führen zum Beispiel potentielle Auswirkungen auf menschliche Gesundheit und Umwelt sowie verstärkte Resistenzprobleme durch ein kleineres Spektrum an einsetzbaren PSM auf (siehe dazu z.B. auch Bahlai et al., 2010).

oben genannte Bericht des Bundesrates (WBF, 2014). Für den hier präsentierten Bericht sind vor allem die ökonomischen Instrumente von Interesse, welche von Oskam et al. (1997) nach oben genannten Kriterien (Box II) bewertet werden.

Tabelle 3 zeigt in der oberen Hälfte Steuer- und Abgabepolitische Instrumente. In der unteren Hälfte sind weitere mögliche Massnahmen, von denen einige bereits im ausdifferenzierten schweizerischen Direktzahlungssystem (AP 2014 – 2017) Anwendung finden, wie z.B. der ÖLN.

Im Rahmen der hier adressierten Fragestellungen sind besonders die abgabepolitischen Instrumente sowie die Versicherung interessant. Rechte/Genehmigungen im Sinne von Verschmutzungszertifikaten werden zwar häufig als effektives und effizientes Mittel angesehen, sind aber aufgrund der hohen Transaktionskosten zur Etablierung für die Landwirtschaft nicht praktikabel. Die Bewertung dieser Instrumente von Oskam et al. (1997) fand jedoch auf EU-Ebene statt, sodass sie nicht eins zu eins auf Schweizer Gegebenheiten übertragen werden sollten. Ein zentraler Aspekt ist, dass die Diversität hinsichtlich a) der politischen Instrumente zur PSM-Reduktion und b) der verfügbaren PSM zur Bekämpfung von Schädlingen möglichst gross bleibt. In diesem Kontext stellt eine PSM-Abgabe einen Weg dar, Verbote zu vermeiden, da durch hohe Besteuerung der Einsatz bestimmter Mittel stark reduziert werden kann, aber noch einzelne Anwendungen ermöglicht werden.

Die Analyse von Massnahmen zur Reduktion des PSM-Einsatzes bzw. dessen Risiken trotz der Zulassung durch den Gesetzgeber beruht auf der Feststellung, dass PSM negative externe Effekte haben können. Das Ziel einer Zulassung ist es nicht, diese negativen externen Effekte total zu vermeiden, sondern unverhältnismässige Schäden abzuwenden.

Abgabepolitische Massnahmen wurden sowohl von Oskam et al. (1997) als auch von Falconer (1998, S. 49) hinsichtlich Effektivität und Effizienz positiv bewertet. Gleiches gilt für die Vereinheitlichung der MwSt-Sätze auf den Normalsatz (ebd.). Dies wäre auch für die Schweiz eine (zumindest logische) Notwendigkeit, da für PSM derzeit in der Schweiz nach Artikel 25 Mehrwertsteuergesetz (MWSTG, Stand 2014) der reduzierte Steuersatz von 2,5% gilt (der Normalsatz beträgt 8%²⁰). Dies stellt eine Steuersubvention auf PSM dar. Zum Vergleich dazu: In Deutschland fällt beim Kauf von PSM der Steuernormalsatz von 19% an (§ 12 Umsatzsteuergesetz, UStG). Auch in den meisten anderen Staaten der EU wird der Normalsatz auf PSM erhoben, welcher je nach Staat zwischen 17 und 27% liegt (European Commission, 2015). Einen reduzierten Satz auf PSM erheben im Jahr 2015 nur Belgien (12%), Spanien (10%), Zypern (5%), Polen (8%), Portugal (6%) und Slowenien (9,5%; ebd., S. 18).²¹ Im Jahr 2012 wurde in Frankreich der reduzierte MwSt-Satz auf PSM von damals 5,5% auf den Normalsatz von 20% erhöht, allerdings mit einer Besonderheit: Auf PSM, die laut Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 im biologischen Landbau eingesetzt werden dürfen, wird der reduzierte Satz von mittlerweile 10% erhoben; auf alle anderen PSM der Normalsatz von 20% (*Code général des impôts - Article 278 bis*). Vor dem Hintergrund der Entwicklung eines Nationalen Aktionsplans

²⁰ Für Beherbergungsleistungen gibt es vorläufig bis zum 31. Dezember 2017 zusätzlich einen Sondersatz von 3,8% (Art. 25 Abs. 4. MWSTG).

²¹ Der reduzierte MwSt-Satz in Griechenland (von 13%) wurde im Jahr 2015 abgeschafft.

scheint die Aufhebung der Steuersubventionierung von PSM in der Schweiz ein wichtiger erster Schritt zu sein.²²

Die Effizienz einer PSM-Abgabe hängt stark von der Ausgestaltung und Komplexität der Abgabe ab. Von grosser Relevanz sind zudem potentielle Kostensteigerungen für Landwirtinnen und Landwirte. Oskam et al. (1997) sehen diese als vergleichsweise gering und bewerten Abgaben dahingehend eher positiv. Reus et al. (1994) und Falconer (1998) gehen hingegen davon aus, dass Landwirtinnen und Landwirte relativ stark belastet werden und bewerten die Kostensteigerungen negativ.

Der allgemeine Effekt einer Lenkungsabgabe bzw. von Steuern auf PSM wurde neben den oben genannten Veröffentlichungen bereits in einer Vielzahl von Arbeiten analysiert (siehe z.B. Zilberman und Millock, 1997; Skevas et al., 2012, 2013; WBF, 2014, S. 43ff.). Abgaben können im Wesentlichen zwei sich nicht ausschliessende Ziele haben: Erstens kann die Abgabe vom Staat benutzt werden, um finanzielle Mittel zu erwirtschaften bzw. bereitzustellen. Hierbei wird auch dem Verursacherprinzip gefolgt, bei dem der Abgabenzahler für Schäden aufkommt, die durch sein Verhalten verursacht werden/wurden. Zweitens kann das vorrangige Ziel einer Abgabe sein, eine gewisse Verhaltensänderung zu induzieren. In beiden Fällen wird der Preis durch den Staat an einer bestimmten Stelle der Produktkette angehoben. Wie stark welches Ziel erfüllt wird, hängt zentral von der Preiselastizität der Nachfrage ab und in Relation dazu von der Höhe der Abgabe. Dieser Aspekt wird in Abschnitt 4.1 detailliert beschrieben.

²² Eine notwendige Voraussetzung für die Erhöhung der MwSt in der Schweiz ist, dass es eine entsprechende Steuerpauschalierungsregelung bzw. eine Steuerausnahmeregelung für die Landwirtschaft gibt, da ansonsten die höhere gezahlte Vorsteuer mit der eingenommen Umsatzsteuer verrechnet werden könnte und somit keine zusätzliche Belastung entstünde. In der Schweiz ist der Verkauf landwirtschaftlicher Produkte im Rahmen der Urproduzentenregelung von der MwSt befreit (Art. 23 Abs. 2 Ziff. 26 MWSTG), sodass diese Bedingung erfüllt ist. Grundsätzlich ist hingegen auch die Optierung bei der Versteuerung landwirtschaftlicher Produkte möglich (Art. 22 MWSTG).

Tabelle 3: Ökonomische Instrumente zur Reduzierung des PSM Einsatzes nach Oskam et al. (1997)

Instrument	Effektivität	Effizienz	Akzeptanz	Durchsetzbarkeit	Homogenität	Keine Eigentumsrechte & Einkommensbeeinträchtigung	National/Regional (N/R)	Bewertung	Bemerkung
MwSt auf PSM; gleich hoch	+	+++	++	+++	++	+++	N	++	Passend zur Harmonisierung der MwSt
MwSt auf PSM; differenziert hoch	++	+++	+	?	-	++	N	+	Adäquate Klassifikation notwendig
Abgabe auf PSM; für Programme	++	++	±	+++	+	+	N/R	++	Effekte auf Programme ignoriert
Abgabe auf PSM; für öffentliche Kassen	++	++	-	+++	+	-	N	+	-
Abgabe auf PSM; mit Rückerstattung	++	+	+	+++	0	++	N/R	+	Rückerstattungskosten unbekannt
Handelbare Rechte/Genehmigung	++	--	-	±	-	++	N/R	-	PSM unterschiedlich in Effekten
Premiumzahlung auf Wasserschutzgebiete	++	+	++	+	+	+	N/R	+	Begrenzt auf Wasserschutzgebiet
Versicherung auf Ernterisiko	-	--	n.r.	n.r.	-	n.r.	R	-	Negative Effektivität
Ökologische Leistungen im Rahmen der AP	+	+	++	±	+	++	N/R	+	-
Reduzierter Gebrauch als Bedingung für Einkommensstützung	++	-	+	±	+	0	N	0	Andere Instrumente effizienter

Quelle: Oskam et al. (1997).

Die Möglichkeiten zur Ausgestaltung einer PSM-Abgabe bzw. Steuer werden in Tabelle 4 dargestellt. Die Grundlage der Erhebung können verschiedene Indikatoren sein. Zum Beispiel kann eine *ad valorem*-Steuer am Grossmarktpreis oder Einzelverkaufspreis gemessen werden und eine Volumensteuer liesse sich auf Basis der Wirkstoffmengen errechnen. Die Wahl der Be-

messungsgrundlage basierend auf dem Risikopotential für Mensch und Umwelt als Bemessungsgrundlage ist jedoch superior. Der Tarif der Abgabe/Steuer kann fix oder differenziert sein. Bei einem differenzierten Steuersatz werden die Mittel unterschiedlich nach ihrer Kategorie oder ihrem Umweltrisiko bewertet, wobei schädlichere Produkte je nach Standarddosis höher besteuert würden.

Tabelle 4: Ausgestaltungsmöglichkeiten einer PSM-Abgabe

Erhebung		Ort der Erhebung	Verwendung der Einnahmen	
Besteuerungsgrundlage	Tarif		Organisation	Ziel
Grossmarktpreis, Einzelverkaufspreis, Wirkstoffe, Umweltrisiko, Gesundheitsrisiko	Fix, differenziert	Industrie, Grossmarkt, Händler, Landwirt-innen und Landwirte	Bund, Kantone	Einnahmen generieren
alle PSM, ausgewählte PSM	hohes, mittleres, niedriges Besteuerungs-niveau		Agrarsektor, betroffene Landwirtinnen und Landwirte, und weitere	Rückverteilung in den Sektor (z.B. via Direktzahlung, Unterstützung von Bildungs- & Forschungsprogrammen, Beratung, Versicherung, etc.) oder Internalisierung externer Kosten (z.B. Wasserreinigung)

Quelle: Hoevenagel et al. (1999), überarbeitet.

Der Ort der Erhebung kann die Industrie, der Grossmarkt/Importeure, die Händler sowie der landwirtschaftliche Betrieb sein, wobei eine Erhebung am Anfang der Handelskette mit günstigeren Transaktionskosten einhergehen würde (Oskam et al., 1997), da die Steuer an weniger

Stellen abgeführt werden müsste.²³ In diesem Fall würden die Kosten je nach Marktsituation zu einem bestimmten Teil an die Landwirtinnen und Landwirte weitergegeben werden.²⁴

Als reine Steuer könnten die Einnahmen den öffentlichen Kassen des Bundes oder der Kantone zugutekommen. Auch diese Art von Abgabengestaltung würde dem Verursacherprinzip Rechnung tragen. Stehen nicht ausschliesslich fiskalische Interessen im Vordergrund können generierte Einnahmen in den Sektor zurückfliessen (z.B. via Direktzahlung, Unterstützung von Bildungs- & Forschungsprogrammen, Pflanzenschutzberatung zum PSM-Einsatz, Versicherung) oder zur Internalisierung externer Kosten (z.B. Wasserreinigung) verwendet werden (siehe auch Abschnitt 7.3).

3.2 Bestehende abgabenpolitische Massnahmen

Aufbauend auf Unterkapitel 3.1 werden nun bestehende fiskalische Politikmassnahmen in Europa beschrieben und deren Vor- und Nachteile diskutiert.²⁵ Zusätzlich wird auf aktuelle Diskussionen zu PSM-Abgaben in anderen europäischen Ländern eingegangen. Im **Error! Reference source not found.** werden die Steuersysteme auch hinsichtlich effektiver Steuerhöhen für verschiedene PSM verglichen. Auf Transaktionskosten der einzelnen Besteuerungssysteme wird, wenn Information verfügbar sind, im Unterkapitel 7.1 eingegangen. In Europa haben bereits Schweden, Dänemark, Norwegen und Frankreich eine PSM-Abgabe eingeführt und in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt. Der PSM-Einsatz dieser Länder wird in Abbildung 3 dargestellt. Zum Vergleich beinhaltet Abbildung 3 auch die Einsatzmengen der Schweiz, Deutschlands und den Niederlanden.

Bereits zu Beginn der 1990er Jahre wurden PSM-Abgaben und Stickstoffabgaben in der EU diskutiert. Neben positiven Umwelteffekten war auch die Reduktion der Überproduktion ein postuliertes Ziel dieser Massnahmen (siehe zu diesem Thema z.B. die Aufsätze von Dubgaard, 1992, S. 66ff.; Zeddies et al., 1992, S. 137ff.; Russel et al., 1997, S. 397ff.; oder Oude Lansink und Peerlings, 1997, S. 414ff.). Die Überproduktion belastete die Staatsfinanzen sowie die internationalen Handelsbeziehungen. Aus diesem Grund wurde in der MacSharry Reform 1992 beschlossen, die Mindestpreise zu senken und die Produktion zu verringern (z.B. durch verpflichtende Flächenstilllegungen), um die Staatsfinanzen zu sanieren und die Handelsbeziehungen zu verbessern (Zeddies et al., 1992, S. 145f.). Ein geringerer Faktoreinsatz (PSM, Dünger) in der Landwirtschaft war somit ein, wenn auch zeitlich begrenzter, Nebeneffekt, welcher eventuell positive Effekte auf die Umwelt hatte. In Abbildung 3 ist beispielsweise zu erkennen, dass die Absatzmenge an Wirkstoff zu Beginn der 1990er Jahre in vielen Staaten deutlich sank. Ne-

²³ In diesem Punkt weisen Fließbach und Speiser (2010, S. 26) für die Schweiz Schwierigkeiten aufgrund mangelnder Transparenz des Grenzverkehrs hin, was unserer Meinung nach zudem durch grenzüberschreitende Flächenbewirtschaftung verstärkt wird. Es sei jedoch darauf hinzuweisen, dass vier PSM-Steuersysteme in Europa existieren, ohne dass der PSM-Handel dort zum Erliegen kam und in Gänze durch illegale Importe substituiert wurde.

²⁴ Siehe z.B. Varian (2010) zu einer allgemeinen Analyse, Wirkungen einer Steuer und daraus resultierenden Effekten auf die Renten jeweiliger Akteure und Preisniveaus.

²⁵ Eine Synthese der Teile dieses Kapitels zu Abgabensystemen in Europa wurde in einem Aufsatz veröffentlicht: Böcker, T., Finger, R: (2016). European Pesticide Tax Schemes in Comparison: An Analysis of Experiences and Developments. *Sustainability* 8(4), 378; doi: 10.3390/su8040378

ben den europäischen Staaten hat auch Mexiko im Jahr 2013 eine ad valorem-PSM-Steuer eingeführt, welche in fünf Toxizitätskategorien (Servicio de Administración Tributaria, 2015) differenziert ist.²⁶ Die Steuersätze betragen 2015 0% für Kategorie 5, 6% für Kategorie 4, 7% für Kategorie 3 sowie 9% für Kategorie 1 und 2. Ebenso gibt es in Indien eine Verbrauchssteuer auf PSM von derzeit 12,5%.²⁷ Allerdings ist diese Verbrauchssteuer nicht explizit für PSM gültig, sondern für eine Vielzahl an verarbeiteten und unverarbeiteten Produkten. Der Fokus dieser Arbeit richtet sich jedoch auf die europäischen Abgabensysteme. Weitere Übersichten (teils veraltet) zu bestehenden abgabepolitischen Systemen liefern u.a. Oskam et al. (1997, S. 133ff.), Hoevenagel et al. (1999, S. 28f.) ECOTEC et al. (2001), OECD (2008, S. 33ff.), Gregoriou et al. (2009), Skevas et al. (2013), Withana et al. (2014) und Lefebvre et al. (2015).

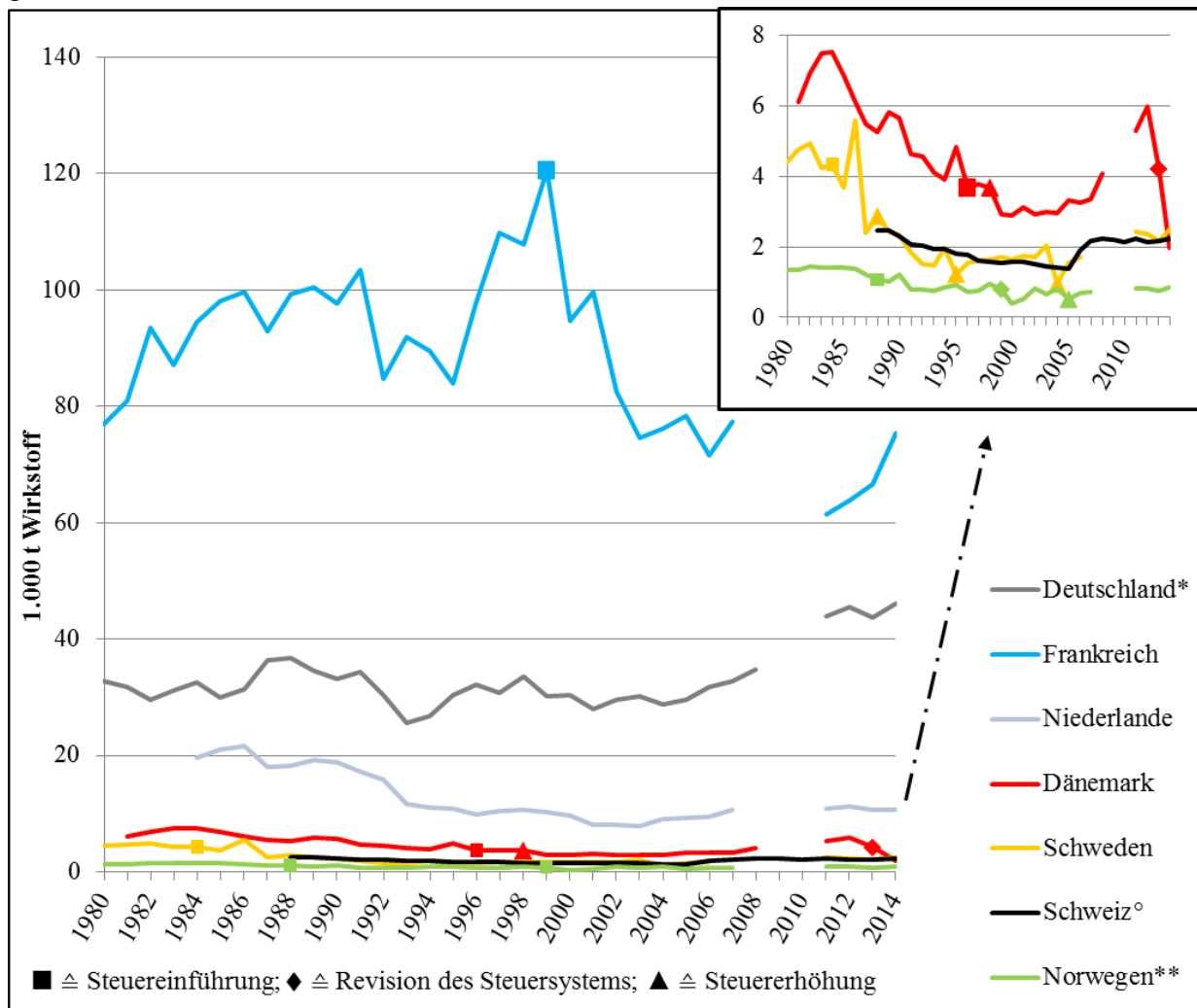


Abbildung 3: Entwicklung des PSM-Absatzes in ausgewählten europäischen Ländern

Quelle: Eurostat (2016); Schnitt in 2009 und 2010 aufgrund von Änderungen in der Datenerfassung.

* Bis 1990 für BRD.

[°] zusätzliche Quelle: BFS, 2015c; Anstieg in 2005 aufgrund von Änderungen in der Datenerfassung.

** Bis 1990 geschätzt nach Spikkerud (2005).

²⁶ Siehe dazu z.B.: <http://www.oecd.org/tax/tax-global/Session%203%20-%20LUNA.pdf>.

²⁷ Für eine Übersicht der besteuerten Produkte siehe: <http://www.cbec.gov.in/htdocs-cbec/excise/cxt2015-16/cxt-1516-idx> sowie speziell für PSM <http://www.cbec.gov.in/resources/htdocs-cbec/excise/cxt-2015-16/chap29.pdf>.

3.2.1 Bestehende umweltpolitische Massnahmen und Programme in der Schweiz

In der Schweiz gibt es bereits verschiedene Massnahmen, um die mit der Applikation von PSM verbundenen Umweltrisiken zu reduzieren und um die integrierte sowie ökologische Landwirtschaft zu fördern. Eine Zusammenfassung der Massnahmen liefert der Bericht des Bundesrates zur Bedarfsabklärung eines Aktionsplans (WBF, 2014) und die Präsentation des BLW zum ‚Aktionsplan zur Risikoreduzierung und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln‘ (BLW, 2015a). Eine weitere aktuelle Übersicht wurde 2013 in Kooperation des BAFU und des BLW herausgegeben (BAFU und BLW, 2013). Die wichtigsten Massnahmen im Rahmen dieser Studie sollen im Folgenden beschrieben und zusammengefasst werden.

Der im Rahmen der Direktzahlungsverordnung (DZV) seit 1999, für den Erhalt von Direktzahlungen obligatorische ÖLN, beinhaltet Vorschriften zum Einsatz von PSM. Insbesondere seien hier die Nutzung breiter Fruchtfolgen und Spezifizierungen zur PSM-Applikation genannt (Anhang 1 Abschnitt 6 – 7, DZV). Zudem gibt es technische Vorschriften zu Spritzgeräten, saisonale Ausbringverbote, Vorgaben für Voraufbau-Applikationen von Herbiziden sowie Vorgaben für den Einsatz von Nematiziden, Molluskiziden und Insektiziden. Bei letzteren drei Wirkgruppen gibt es Vorgaben, welche Mittel frei eingesetzt werden dürfen und welche eine spezielle Sonderbewilligung benötigen.²⁸

Die DZV beinhaltet explizit die Förderung weiterer Massnahmen zur Erhöhung der ökologischen Leistung. Landwirte können spezielle Biodiversitätsbeiträge für die Bereitstellung ökologischer Leistungen erhalten, die als besonders wertvoll erachtet werden, wie z.B. extensiv genutzte Weiden, Hecken, Blühstreifen oder Buntbrachen (3. Kapitel, DZV).

Massnahmen wie Landschaftselemente oder Blühstreifen können durch Biodiversitätsbeiträge gefördert werden. Diese können eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Biokontrollmassnahmen sein. Unter Biokontrolle versteht man Massnahmen akuter Schädlingsbekämpfung wie der Ausbringung von Nutzorganismen als auch präventive Massnahmen wie der (langfristigen) Etablierung von Nützlingen durch die Schaffung von Habitaten (siehe z.B. Tschumi et al., 2015; und Sutter und Albrecht, 2016). Eine mikroökonomische Analyse der Adaption solcher Massnahmen wird in Unterkapitel 6.5 präsentiert.

Des Weiteren gibt es Produktionssystembeiträge u.a. als Förderung der biologischen Landwirtschaft (Artikel 66 – 67, DZV) und der extensiven Produktion von Getreide (ohne Mais), Sonnenblumen, Eiweisserbsen, Ackerbohnen oder Raps (Art. 68 – 69, DZV). Dieses sogenannte *Extenso* Programm sieht vor, dass teilnehmende Betriebe beim Anbau der oben genannten Kulturen auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler verzichten. Herbizide dürfen jedoch weiterhin eingesetzt werden, was den relativ häufigen Nachweis von hohen Herbizidkonzentrationen in Schweizer Gewässern erklären könnte (Abschnitt 2.2; siehe beispielhaft für den Zusammenhang von Extenso Programm und Belastung des Greifensees Zraggen, 2005).²⁹ Landwirtschaftliche Betriebe bekommen für die Teilnahme am Extenso Programm einen Beitrag von 400 CHF/ha. Laut Finger (2014) gibt es beim Weizen beispielsweise eine Teilnehmerate von

²⁸ Für Saat- und Pflanzgut gibt es jedoch Ausnahmen (Anhang 1 Abschnitt 7, DZV).

²⁹ Eine Bewertung des Extenso Programmes in einem „Life cycle assessment“ erfolgt weiterhin durch Nemecek et al. (2010).

mehr als 50%. Ob ein Betrieb am Extenso Programm teilnimmt, hängt von verschiedenen Faktoren wie den Opportunitätskosten der Landnutzung oder der Risikoaversion der Landwirtin oder des Landwirtes ab (siehe z.B. Finger und Lehmann, 2012a; Finger und El Benni, 2013; und Finger, 2014). Aufgrund des hohen Anteils der Extenso Produktion in der Schweizer Landwirtschaft und der kürzlich vorgenommenen Ausweitung des Programmes auf Ackerbohnen und Eiweisserbsen hat das Extenso Programm eine hohe und wachsende Relevanz bezüglich der PSM-Nutzung in der Schweiz. Eine mikroökonomische Analyse zur Interdependenz des Extenso-Programmes mit PSM-Einsatz und einer PSM-Abgabe wird in Unterkapitel 6.3 präsentiert.

Neben den Biodiversitätsbeiträgen und den Produktionssystembeiträgen können auch Ressourceneffizienzbeiträge für besonders präzise Spritztechnik beantragt werden. Dabei wird ein einmaliger Betrag bei der Neuanschaffung von Unterblattspritztechniken oder driftreduzierten Spritzgeräten in Dauerkulturen gezahlt (Art. 82, DZV). Bei der Unterblattspritztechnik wird pro Spritzbalken 75% der Anschaffungskosten getragen (maximal 170 CHF pro Spritzeinheit), bei den driftreduzierten Geräten 25% der Anschaffungskosten des Gerätes (Anhang 7 Abschnitt 6, DZV).³⁰ Eine Studie von Aubert und Enjolras (2014, S. 345) für französische Weinproduzenten zeigt, dass das Alter der eingesetzten Spritztechnik einen signifikanten positiven Effekt auf die Überdosierung des Einsatzes von PSM hat. Diese Studie unterstreicht daher die grosse Relevanz der (Unterstützung von) Investitionen in neue, moderne Ausbringungstechnik.

Während die DZV Richtlinien zur Applikation von PSM stellt, regelt die PSMV die Zulassung, das Inverkehrbringen, die Verwendung und die Kontrolle der Mittel. Des Weiterem legt die GSchV die Höchstgrenzen für PSM-Rückstände in Trinkwasser und Abwasser fest (0,1 µg/l) und regelt den Schutz der Zustrom- und Uferbereiche.

Landwirtinnen und Landwirte, die sich an die Richtlinien des ÖLN sowie der integrierten Landwirtschaft halten und zudem spezifische Anforderung wie z.B. Förderung der Biodiversität erfüllen, haben die Möglichkeit, Mitglied bei IP Suisse zu werden und ihre Produkte (zumindest teilweise) mit dem IP Suisse-Label kenntlich zu machen. Dadurch kann eine zusätzliche Prämie erwirtschaftet werden. Betriebe, die am Extenso Programm teilnehmen, haben so die Möglichkeit, einen höheren Erzeugerpreis für ihre Produkte zu bekommen, auch wenn die Kapazitäten von IP Suisse nicht jedem potentiellen Lieferanten von integriert erzeugten Produkten die Teilnahme ermöglichen. Nähere Informationen und Quellen hierzu sind in Anhang D beschrieben. Des Weiteren umfassen bestehende Massnahmen auch präventive phytosanitäre Massnahmen (z.B. Bekämpfung der Einschleppung neuer Schadorganismen) und die Züchtung resistenter Sorten (BLW, 2015a).

³⁰ Bei Spritzgebläsen mit horizontaler Luftstromlenkung ist der Höchstbetrag 6.000 CHF, bei Spritzgebläsen mit Vegetationsdetektor und horizontaler Luftstromlenkung sowie pro Tunnelrecyclingsprühgerät maximal 10.000 CHF (Anhang 7 Abschnitt 6, DZV).

Box 2 Integrierte Landwirtschaft

Durch den an die Direktzahlungsverordnung gekoppelten ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) wird in der schweizerischen Landwirtschaft die integrierte landwirtschaftliche Produktion gefördert, welche nach Baeumer (1992) (basierend auf Heitefuss, 1985) wie folgt definiert ist:

„Unter Integriertem Landbau versteht man standort- und umweltgerechte Systeme der Pflanzenproduktion – und im erweiterten Sinne auch der Tierproduktion –, in denen unter Beachtung ökologischer und ökonomischer Anforderungen alle geeigneten und vertretbaren Verfahren des Acker- und Pflanzenbaus, der Pflanzenernährung und des Pflanzenschutzes in möglichst guter Abstimmung aufeinander unter Nutzung sowohl des biologisch-technischen Fortschrittes als auch natürlicher Begrenzungsfaktoren eingesetzt werden, um langfristig sichere Erträge und betriebswirtschaftlichen Erfolg zu gewährleisten.“

Der Begriff „integrierte“ bezieht sich hierbei hauptsächlich darauf, dass die Funktionen des Agrarökosystems mit in die Ertrags- und Kostenfunktion einbezogen werden, etwa zur Vermeidung von Ertragsverlusten oder zur Minderung der Produktionskosten (Baeumer, 1992, S. 489). Der Integrierte Pflanzenschutz ist somit ein Teil der Integrierten Landwirtschaft. Auch Schweizer Landwirtinnen und Landwirte sind im Rahmen der ökologischen Leistungsnachweis (Art. 11 – 25 DZV) dazu angehalten, die Grundsätze der Integrierten Landwirtschaft anzuwenden. Der Integrierte Pflanzenschutz ist somit eine notwendige Voraussetzung für den Erhalt der Direktzahlungen. Ähnliche Regelungen gibt es auch in der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union, in der der Integrierte Pflanzenschutz durch die Richtlinie 2009/128/EG für alle landwirtschaftlichen Betriebe gesetzlich vorgeschrieben. Laut Anhang III der Richtlinie sollen folgende Grundsätze beachtet werden (Zusammenfassung):

- 1) Vorbeugende Massnahmen treffen (u.a. Fruchtfolge, Kultivierungsverfahren, resistente Sorten, ausgewogene Düngung, Hygienemassnahmen, Schutz von Nutzorganismen)
- 2) Überwachung von Schadorganismen
- 3) Nutzung der Überwachung zur Anwendung des Schadschwellenprinzips
- 4) Vorzug von nicht-chemischen Methoden gegenüber chemischen PSM
- 5) Falls doch chemische PSM eingesetzt werden, sollten diese möglichst zielartenspezifisch sein, sodass nicht-Zielorganismen nicht geschädigt werden
- 6) Begrenzung der Anwendung von chemischen PSM und anderen Bekämpfungsmethoden auf das notwendige Mass
- 7) Entwicklung und Anwendung von Resistenzvermeidungsstrategien
- 8) Aufzeichnung von PSM-Einsatz und Überprüfung der Massnahmen

Von Umweltverbänden wird die Integrierte Landwirtschaft jedoch weiterhin kritisiert, da chemisch-synthetische PSM auch in relativ hohen Mengen ausgebracht werden dürfen, wenn die Situation es erfordert (z.B. Rösler, 2004; Allsopp et al., 2014). In der Schweiz ist der Integrierte Pflanzenschutz zwar weniger genau definiert, allerdings gehen hier die Auflagen des ÖLN einen Schritt weiter als die Cross Compliance bzw. *Greening*-Auflagen der EU. Des Weiteren wird durch das Extensio Programm ein weiterer finanzieller Anreiz geschaffen, um die nicht auf chemisch-synthetischen PSM basierenden Grundsätze des Integrierten Pflanzschutzes zu befolgen.

3.2.2 Lenkungsabgabe in Schweden

Als erstes europäisches Land führte Schweden im Jahr 1984 eine Volumenabgabe von zunächst 4 SEK/kg *active ingredient* (AI) ein (ECOTEC et al., 2001). Zusätzlich wurde von 1986 – 1992 eine Preisregulierungsgebühr erhoben, die zwischen 29 und 46 SEK/Dosis³¹ betrug (ebd.). Diese Gebühr wurde als Preisstütze für den Export verwendet und wurde im Zuge des EU-Beitritts abgeschafft. Die PSM-Abgabe besteht jedoch weiterhin. Bis zum 1. August 2015 betrug die Steuer 30 SEK/kg AI³² und wurde dann auf 34 SEK/kg AI angehoben (ca. 4,5 CHF/kg AI) (§ 2 *Lag (1984:410) om skatt på bekämpningsmedel*). In **Error! Reference source not found.** wird für verschiedene PSM die Steuerhöhe in den vier analysierten Ländern präsentiert.

Laut ECOTEC et al. (2001) wurden die Mittel aus der Gebühr bis 1995 für ein PSM-Massnahmenprogramm verwendet. Nach 1995 sind die Einnahmen der Staatskasse zugeflossen, sodass aus der Gebühr eine reine Steuer wurde (ebd.). Insgesamt werden durch die *Skatt på bekämpningsmedel* für 2016 etwa 125 Millionen SEK an Einnahmen erwartet, wobei ungefähr 70 Millionen SEK (ca. 9.3 Mio. CHF) auf PSM aus der Land- und Forstwirtschaft sowie dem Gartenbau zurückzuführen sind ($\sim 2.000.000 \text{ kg} \cdot 34 \text{ SEK/kg}$) (Finansdepartementet, 2015). Abbildung 3 zeigt, dass der PSM-Absatz in Schweden seit den 80er Jahren stark zurückgegangen ist. Auch die PSM-Risikoindikatoren (PRI), die in Schweden zur Evaluierung genutzt werden, sind seit den 1980er Jahren gesunken (Abbildung 4). Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass die Steuer alleine zu dieser Reduktion führte. Bergkvist (2004, S. 10) nennt hierzu u.a. eine bessere Beratung, die auf einen integrierten Pflanzenschutz fokussiert, und stärkere Regulierung durch den Staat. Ausserdem wird der höhere Anteil an gebeiztem Saatgut als ein weiterer Grund für den mengenmässigen Rückgang des PSM-Einsatzes genannt, da dabei weniger Mittel im Vergleich zu einer Blattgabe benötigt werden (ebd.). Des Weiteren bestand in Schweden neben einer PSM-Steuer von 1984 bis 2010 zusätzlich eine Steuer auf Stickstoffkünstdünger (Mohlin, 2013).³³ Es ist möglich, dass diese Düngemittelsteuer zusätzlich einen niedrigeren PSM-Einsatz bewirkt hat. Da beide Abgaben gleichzeitig im Jahr 1984 eingeführt wurden, ist es schwierig, den entscheidenden Faktor zu identifizieren, weil eine gegenseitige Beeinflussung wahrscheinlich ist.

Vor allem aus Abbildung 3 können auch deutliche Probleme mit Vorratskäufen beobachtet werden. Die Sprünge zeigen dabei zwar nicht die eigentlich eingesetzte Menge an PSM, jedoch können PSM auf Vorrat vermehrt in den Folgejahren eingesetzt werden. Kurzfristige Effekte sind deshalb mit einer PSM-Abgabe nicht zu realisieren.

³¹ Eine Dosis entsprach der Standardanwendungsmenge/ha. Bei einem durchschnittlichen Währungskurs in 1990 von 1 SEK \cong 0,234 CHF (Oanda, 2015) sind 4 SEK 0,94 CHF/kg AI und 29 SEK sind 6,79 CHF/Dosis.

³² Bei einem Durchschnittskurs in 2014 von 0,1335 CHF/SEK (Oanda, 2015).

³³ Ab 1994 betrug die Abgabe/Steuer 1,80 SEK/kg N. Bei dem oben genannten Wechselkurs von 1 SEK \cong 0,234 CHF betrug die Steuer 42 Rp./kg N.

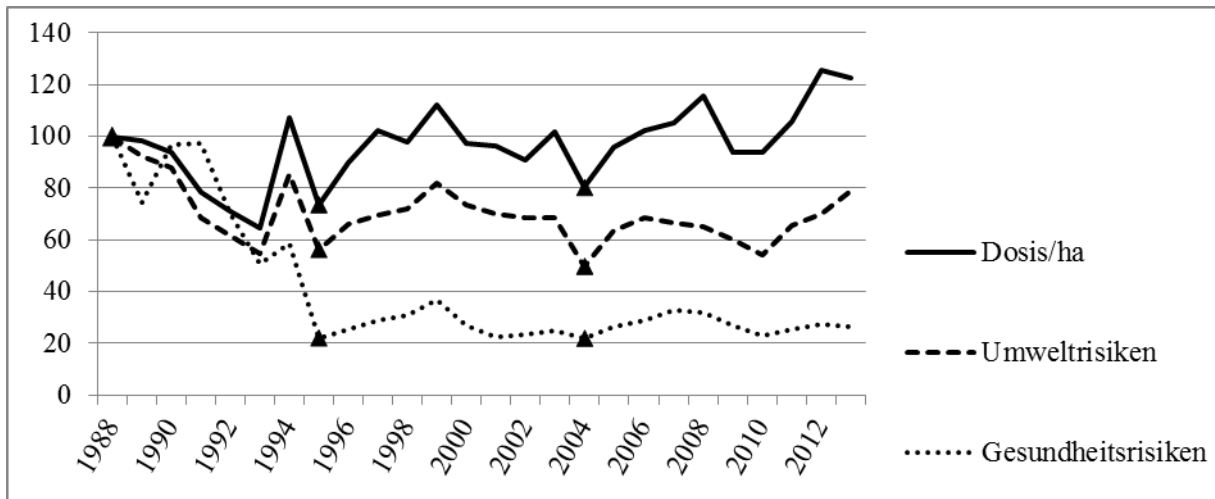


Abbildung 4: Entwicklung der PSM-Einsatzmenge und der PRI bezüglich Umwelt und menschliche Gesundheit in Schweden.

▲ ≙ Steuererhöhung.

Quelle: Naturvårdsverket (2015).

3.2.3 Lenkungsabgabe in Norwegen

Norwegen führte 1988 als zweites europäisches Land eine Steuer auf PSM ein, welche zunächst als Prozentsatz des Importwertes kalkuliert wurde (Spikkerud, 2005). Ab 1999 wurde dann ein neues, kombiniertes System eingeführt. Die Steuer differenziert einzelne Mittel und besteht aus einer Basissteuer plus einer Zusatzabgabe. Die Basissteuer ist eine Hektarabgabe und wird berechnet, indem der Basissatz von 25 NOK/ha mit einem Faktor multipliziert wird. Dabei gibt es sieben verschiedene Abgabeklassen, je nach Schädlichkeit und Nützlichkeit eines PSMs (Strøm Prestvik et al., 2013). Als Bemessungsgrundlage dienen zwei Faktoren: 1) Risiken für die menschliche Gesundheit und 2) Umweltrisiken (Spikkerud et al., 2005). Alle landwirtschaftlichen PSM werden anhand verschiedener Subkriterien in diese beiden Kategorien geprüft und dann jeweils entweder in eine niedrige oder eine hohe Risikokategorie eingestuft (ebd., Tabelle 5). Der Faktor „Risiken für die menschliche Gesundheit“ wird anhand der spezifischen Eigenschaften (basierend auf den R-Sätzen) und dem Gefahrenpotential beim Ausbringen und Mischen bestimmt (ebd.). Der Faktor „Umweltrisiken“ wird anhand der Effekte auf Vögel, Regenwürmer, Bienen, andere Gliederfüsser und Wasserorganismen sowie der Gefahr der Versickerung, der Persistenz, der Bioakkumulation und der Formulierung berechnet (ebd.).

Die Zusatzabgabe wird mit Hilfe der *Normert arealdose (Standard area dose, SAD; Standard-Flächengabe)* ermittelt. Diese bezieht sich auf die maximal vorgesehene Gabe (in g oder ml), die bei den wichtigsten Anbaufrüchten im Anwendungsbereich, z.B. Weizen, Raps etc. empfohlen wird (Spikkerud, 2005; Mattilsynet, 2015, für die aktuelle Liste). Die Steuer errechnet sich somit folgendermassen, beispielhaft für ein flüssiges PSM:

$$(1) \quad \text{Steuer in } \frac{\text{NOK}}{\text{l PSM}} = \left(25 \frac{\text{NOK}}{\text{ha}} * \text{Faktor} \right) * \frac{1000 \frac{\text{ml}}{\text{l}}}{\text{SAD} \frac{\text{ml}}{\text{ha}}}$$

Ein Nachteil bei der Kategorisierung in risikoarm und risikoreich für Mensch und Umwelt im norwegischen System ist laut Spikkerud (2005, S. 284), dass Produkte, die bei mehreren Subkriterien nah am Grenzwert liegen, möglicherweise als risikoarm eingestuft werden, jedoch Produkte, die nur bei einem Subkriterium den Grenzwert überschreiten, aber sonst bei allen Kriterien ein niedriges Umweltrisiko haben, als risikoreich eingestuft werden. So können grosse Steuerunterschiede bei Produkten entstehen, obschon sie wenig unterschiedlich sind (ebd.). Des Weiteren ist das Mass der SAD nicht unproblematisch, da eine niedrige SAD zu einer hohen Besteuerung führt und eine hohe SAD zu einer Niedrigen (ebd.). Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass PSM mit hoher Anwendungsmenge weniger giftig seien. Die Menge an eingesetztem Wirkstoff könnte so insgesamt ansteigen. Der grösste Nachteil liegt nach Spikkerud (2005, S. 284f.) jedoch darin, dass die SAD von der vorgegebenen Menge für den Hauptanwendungsbereich (d.h. eine spezifische Kultur) abgeleitet wird. Dies lässt sich nicht immer ohne weiteres feststellen, sodass eventuell eine falsche Bemessungsgrundlage verwendet wird.

Tabelle 5: Kategorisierung von PSM und Basissteuer in Norwegen

Abgaben- klasse		1	2	3	4	5	6	7
PSM-Eigenschaften	Risiken für die menschliche Gesundheit	Beide Risiken niedrig	Ein niedriges und ein mittleres Risiko	Ein niedriges und ein hohes oder zwei mittlere Risiken	Ein mittleres und ein hohes Risiko	Zwei hohe Risiken	Konzentrierte PSM für den Hobbygebrauch	Gebrauchsfertige PSM für den Hobbygebrauch
	Umweltrisiken							
Faktor (* 25 NOK/ha)		0,5	3	5	7	9	50	150
Abgabe NOK/ha		12,5	75	125	175	225	1.250	3.750

Quellen: §28 *Forskrift om plantevernmidler* (Stand 2015); Strøm Prestvik et al. (2013).

Für die biologische Landwirtschaft geeignete PSM sind von der Steuer ausgenommen (§§ 27-28 *Forskrift om plantevernmidler*). Die Steuer wird auf Ebene der Industrie bzw. des Imports/Grossmarkts erhoben, sodass der Landhandel die Steuer zahlt. Für das Jahr 2015 wird mit Einnahmen von etwa 50 Mio. NOK gerechnet (6.1 Mio. CHF) (Stortingets administrasjon, 2015).³⁴

Der Absatz an PSM ist in Norwegen seit der Steuereinführung leicht zurückgegangen (Abbildung 3). Allerdings ist der PSM-Absatz seit der Umgestaltung im Jahr 1999 auf ein differenziertes System bis auf einen kurzen Einbruch in den Jahren 1999 und 2000 konstant geblieben. Die Betrachtung der Indikatoren für Gesundheitsrisiken und Umweltrisiken zeigen jedoch eine Verbesserung über die Zeit (Abbildung 5). Obschon bei der verkauften Menge kein Rückgang

³⁴ Der angenommene Wechselkurs für 2015 ist: NOK : CHF = 1 : 0,1220.

festgestellt werden kann, sind die Indices für die menschliche Gesundheit und Umwelt gesunken, was den bereits aufgeführten potentiellen Zielkonflikt verdeutlicht. Auch hier wird die Problematik der Vorratskäufe deutlich, da es jeweils nach Steuereinführung oder -erhöhungen zu starken Einbrüchen der Verkaufszahlen kommt, die sich im Zeitablauf wieder normalisieren. Des Weiteren kann beobachtet werden, dass landwirtschaftliche PSM aus den hoch besteuerten Klassen 4 und 5 vom Markt verschwinden, aber PSM der Klassen 1 und 2 hinzukommen (Strøm Prestvik et al., 2013, S 36). Aus dem Bericht von Strøm Prestvik et al. (2013, S. 39) geht ausserdem hervor, dass im Getreide keine Fungizide der Klasse 4 mehr eingesetzt werden. Auch bei den Kartoffeln kann eine starke Substitution von Fungiziden der Klasse 3 zu Mitteln der Klassen 1 und 2 beobachtet werden (ebd., S. 44). Wurden in 2001 noch keine Flächen mit Klasse 1-Mitteln behandelt, so wurden in 2011 in 50% der Anwendungen Klasse 1-Mittel verwendet. Die Anzahl an Zulassungen von Klasse 5-Mitteln ist seit Einführung der differenzierten Abgabe von zehn PSM auf vier zugelassenes PSM gesunken (Strøm Prestvik et al., 2013, S. 36; Mattilsynet, 2016).³⁵ Bei Klasse 4-Mitteln ist die Zahl von 16 auf neun Mittel gesunken (ebd.). Informationen, ob die PSM aus den höheren Klassen seit der Abgabeneinführung ohnehin, d.h. auch ohne eine Abgabe, vom Markt verschwunden wären, konnten jedoch nicht gefunden werden. Ein wichtiger Grund für die Konstanz der eingesetzten Menge PSM in den letzten 10 – 15 Jahren und der fehlenden Mengenwirkung der PSM-Steuer kann zudem der steigende Einsatz des Herbizids Glyphosat und die damit zusammenhängende konservierende Bodenbearbeitung sein (Gianessi et al., 2009, S. 3). Aber auch hohe Erzeugerpreise (z.B. in 2010 und 2012) scheinen einen Einfluss auf den PSM-Einsatz zu haben, da hier ein Anstieg des PSM-Einsatzes beobachtet werden kann (Abbildung 5; aber auch in Abbildung 3 und 4 sichtbar). Dies zeigt, dass neue, lukrative ackerbauliche Systeme den Effekt einer Steuer reduzieren können, obwohl die Möglichkeit bestünde, dass ohne die Steuer der Glyphosat bzw. PSM-Einsatz noch höher wäre.

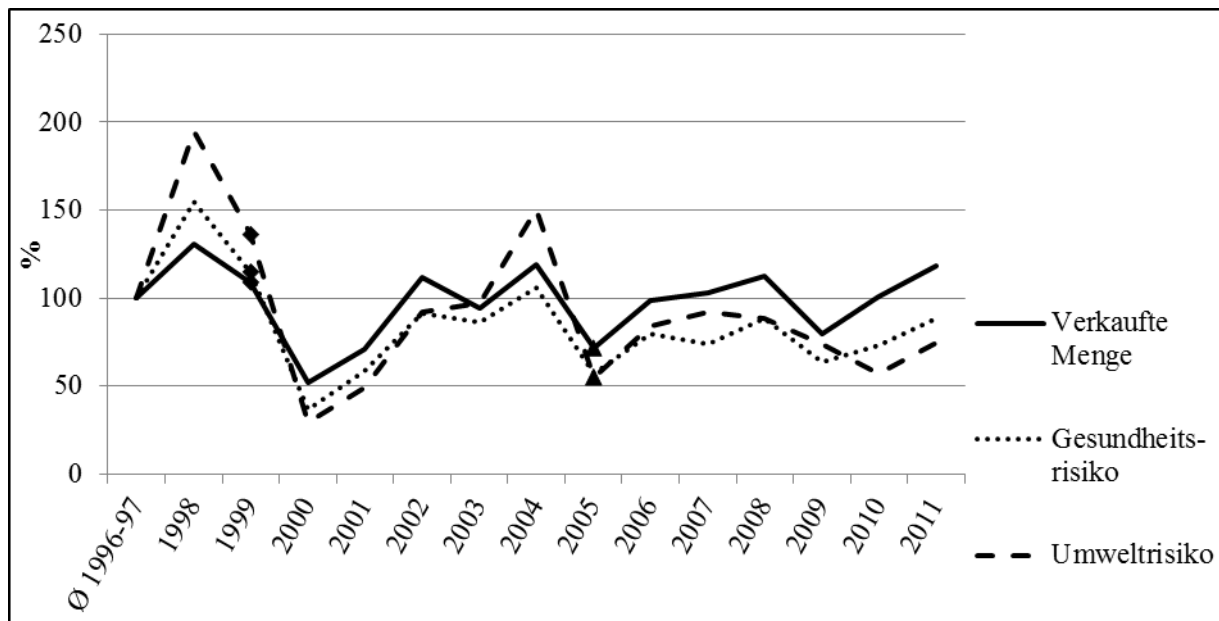


Abbildung 5: Entwicklung des norwegischen PSM-Absatzes und des PRI mit Bezug auf die menschliche Gesundheit und Umwelt

³⁵ Zwischenzeitlich waren auch weniger Klasse 5-Mittel zugelassen (Mattilsynet, 2014).

◆ ≙ Änderung des Steuersystems; ▲ ≙ Steuererhöhung

Quelle: Statistics Norway and the Norwegian Food Safety Authority (Daten von pers. Kommunikation mit Strøm Prestvik, 2015).

Neben der Betrachtung der *intensive margin* gilt es auch die Veränderungen bezüglich der Flächennutzung (*extensive margin*) zu betrachten. In Norwegen lässt sich dabei ein leichter Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche feststellen (Statistics Norway, 2015). Dieser Rückgang ging hauptsächlich auf Kosten der Getreidefläche, vor allem der Gerstefläche (Abbildung 6). Die Fläche der Wiesen und Weiden blieb weitgehend konstant. Ein kausaler Zusammenhang zwischen PSM-Abgabe und Flächenschwund lässt sich jedoch aus den vorliegenden Daten und der Literatur nicht ableiten.³⁶

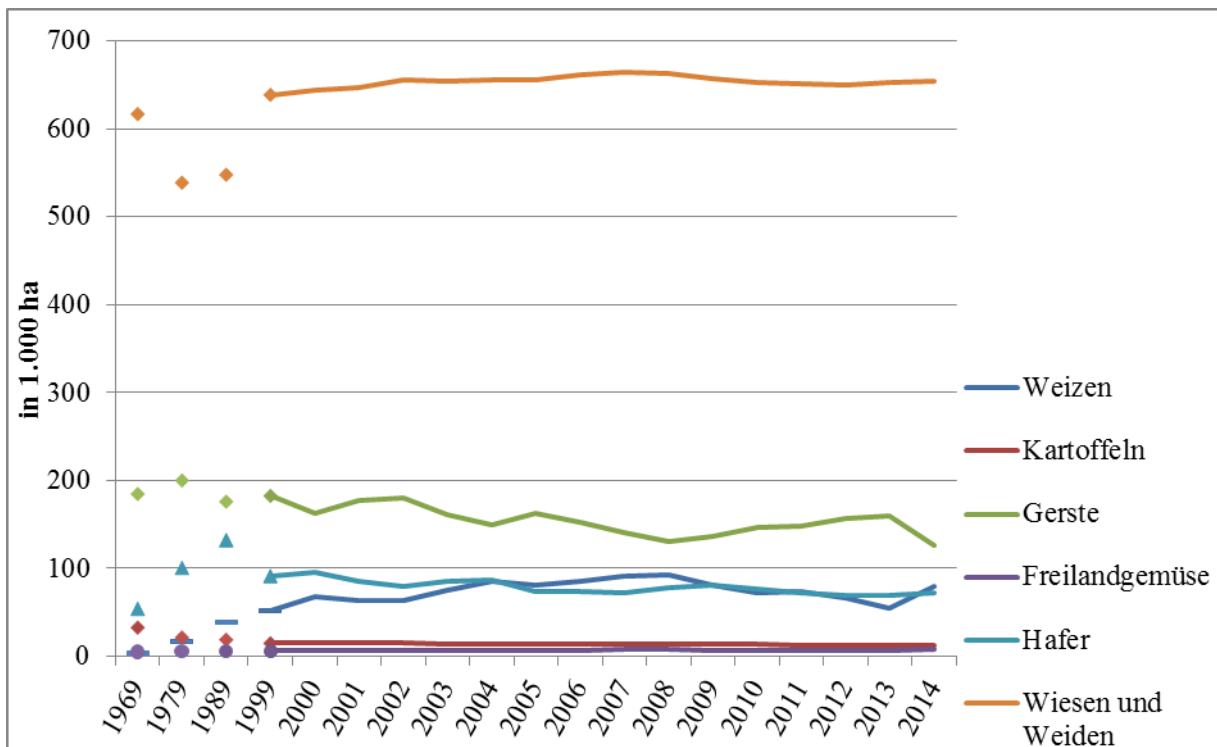


Abbildung 6: Flächenentwicklung ausgewählter Kulturen in Norwegen

Quelle: Statistics Norway (2015).

3.2.4 Lenkungsabgabe in Dänemark

Dänemark führte die erste *ad valorem*- Abgabe im Jahr 1996 ein. Diese war differenziert nach PSM-Kategorie, wobei als Basis der höchste Grossmarktpreis ohne Rabatt galt. Für Insektizide wurde z.B. ein Satz von 35% verlangt, für Herbizide, Fungizide und Wachstumsregler 25% (Miljøministeriet, 2013). Die Grundlage der Evaluierung war zunächst der *Treatment Frequency Index* (TFI). Dieser beinhaltet jedoch keine Umwelteffekte der PSM, sondern bezieht sich auf Verkaufszahlen und Angaben zur landwirtschaftlichen Nutzfläche. Deshalb wurde der

³⁶ Auch in den anderen Staaten, die eine Abgabe auf PSM eingeführt haben, konnten wir anhand von FAOstat (2016)-Daten keine signifikanten Flächenänderungen feststellen. Wichtige Gründe hierfür sind u.a. langfristige Verträge, die spezifische Nachfrage nach heimischen Lebensmitteln und auch pflanzenbauliche Aspekte (z.B. Einhaltung der Fruchtfolge).

TFI durch einen *Pesticide Load Indicator* (PLI) ersetzt; ein PRI, welcher die potenzielle Toxizität eines PSM messen soll (nicht die Effekte eines PSM; siehe Miljøministeriet, 2012). Bis zum Jahr 2013 konnte sowohl ein Anstieg des TFI als auch des PLI beobachtet werden (Miljøministeriet, 2012; siehe ausserdem Abbildung 3). Der auch hier vermehrte Einsatz von Glyphosat in der konservierenden Bodenbearbeitung ist einer der Gründe für den steigenden TFI (Gianessi et al., 2009, S. 5). Aufgrund dieser Entwicklung des TFI wurde in 2013, basierend auf dem PLI, ein weiter ausdifferenziertes Abgabensystem eingeführt, bei dem nahezu jedes PSM einen eigenen Abgabensatz erhält. Für ein flüssiges PSM wird die Abgabe folgendermassen berechnet:

$$(2) \quad \frac{\text{Abgabe}}{\text{l PSM}} = \text{Expositionsabgabe} + \text{Toxizitätsabgabe}$$

$$= 50 \frac{\text{DKK}}{\text{kgAI}} * x \frac{\text{kgAI}}{\text{l PSM}} + \sum_{i=1}^3 107 \frac{\text{DKK}}{\text{l PSM}} * \text{Faktor}_i L$$

50 DKK multipliziert mit der Menge an Wirkstoffen bilden den Basissatz für die Abgabe. Zusätzlich wird die Umweltbelastung (engl. *load*) für drei verschiedene Faktoren errechnet und mit 107 DKK multipliziert:³⁷ 1) Effekte auf die Umwelt (*environmental toxicity load*), 2) Umweltverhalten (*environmental fate and behavior load*) und 3) Effekte auf die menschliche Gesundheit (*health load*). Das heisst, im Vergleich zum norwegischen System wird die Kriterienbasis um das Umweltverhalten erweitert. Für die Berechnung der Umweltbelastung werden bei den drei Faktoren verschiedene Indikatoren herangezogen. Die Umweltbelastung wird mittels der kurzfristigen Effekte auf acht verschiedene Familien von Tieren und Pflanzen³⁸ berechnet. Für Regenwürmer, Fische und Wasserflöhe werden dabei neben kurzfristigen auch langfristige Effekte berücksichtigt. Die Bewertung von Mitteln für die Behandlung von Saatgut oder Erntegut sowie Mitteln, die ausschliesslich im Gewächshaus eingesetzt werden, unterstehen einer separaten Bewertung (erhöhte Abgabensätze). Für den Faktor Umweltverhalten wird dabei die Abbaubarkeit, die Bioakkummulation und die Auswaschung in das Grundwasser berücksichtigt. Der Faktor menschliche Gesundheit wird mittels R-Sätzen des jeweiligen Produktes berechnet.³⁹ Die R-Sätze werden gewichtet und zusätzliche Aufschläge werden vorgenommen (in Höhe eines Faktors von 1,5), wenn das jeweilige Mittel vom Anwender mit Wasser verdünnt werden muss (vorliegend in Form von Pulver oder als Flüssigkeit) (Miljøministeriet, 2013). Für Biozide gilt jedoch weiterhin die alte *ad valorem*-Abgabe (ebd.).

Die dänische Regierung plante im NAP von 2013 bis Ende 2015 die Umweltbelastung durch PSM um 40% zu reduzieren, gemessen am PLI (Danish Government, 2013). Neben einigen anderen Massnahmen, die auch in der Richtlinie 2009/128/EG definiert sind, kommt der differenzierten Abgabe eine zentrale Rolle zu. Derzeit ist jedoch noch nicht bekannt, ob das 40%-Ziel erreicht wurde. Gemessen an den Verkaufszahlen ist eine kurzfristige Zielerreichung vor-

³⁷ Details siehe *Lov om ændring af lov om afgift af bekæmpelsesmidler (Lov nr. 594) af 18/06/2012*, auf Englisch abrufbar unter <http://eng.mst.dk/media/129585/danish-pesticide-tax-law.pdf>.

³⁸ Diese umfassen Vögel, Säugetiere, Fische, Regenwürmer, Bienen, Wasserflöhe, Wasserpflanzen und Algen.

³⁹ Eine Übersicht zu R-Sätzen siehe Commission Directive 2001/59/EC, unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0059:EN:HTML>.

stellbar, da eine Steuereinführung, wie bereits gezeigt, zu Vorratskäufen und damit verbundenen Absatzeinbrüchen führt. Die Einnahmen aus der Abgabe belaufen sich auf ca. 600 Mio. DKK (~85 Mio. CHF)⁴⁰ und fliessen in den dänischen Agrarfonds (sog. *Promilleafgiftsfonden*; 250 Mio. DKK), in Umweltmassnahmen (zum Teil im Rahmen des NAP, ca. 175 Mio. DKK) und werden zur Deckung der Administrationskosten im Rahmen des PSM-Einsatzes verwendet (ca. 75 Mio. DKK) (Natur- og Landbrugskommissionen, 2012; Skatteministeriet, 2016). Ausserdem wurden Landwirtinnen und Landwirten bei Einführung der Abgabe durch eine Senkung der Vermögenssteuer auf landwirtschaftliche Flächen um 62 – 72 DKK/ha je nach Amtsbezirk zumindest teilweise finanziell entlastet (ebd.; ECOTEC et al., 2001, S. 109 u. 366).

Durch die Abgabe werden einige Produkte sehr stark belastet (siehe auch **Error! Reference source not found.** für konkrete Beispiele). Nørring (2013) vom *Danish Agriculture and Food Council* geht davon aus, dass diese Produkte vom Markt verschwinden werden. Dadurch befürchten Kritiker, dass die Anwendung von einigen wenigen PSM-Wirkstoffen begünstigt wird, sodass die Resistenzproblematik vergrössert werden könnte (z.B. Jørgensen und Ørum, 2013). Resistenzen könnten wiederum zu einer häufigeren Anwendung von PSM führen (Lichtenberg und Zilberman, 1986). Auch wenn jene PSM für sich genommen in einer Einzelbehandlung zu geringeren Umweltbelastungen führen würden, ist es dennoch realistisch, dass die häufigere Anwendung zu einer ähnlich hohen Belastung führt. Nørring (2013) weist zudem darauf hin, dass die dänische Landwirtschaft eventuell einen Wettbewerbsnachteil erleiden könnten. Hierzu fehlen jedoch bisher fundierte Belege. Im Gegenteil zeigt Nielsen (2005), dass das 50%ige Reduktionsziel von 1986 erreicht wurde, ohne Einbussen der nationalen Produktion oder der landwirtschaftlichen Einkommen zu beobachten.

Für einige PSM ähneln sich die dänische und die norwegische Steuererhebung (**Error! Reference source not found.**). Bei anderen können jedoch auch recht grosse Unterschiede in der Besteuerung festgestellt werden, z.B. für die Mittel Boxer, Stereo und Roundup Max. Dies verdeutlicht, dass es unterschiedliche Bewertungen von PSM gibt, und dass die Bewertungen innerhalb eines PRI sich stark auf das Steuerniveau auswirken können. Die Wahl des PRI hängt deshalb von der Zieldefinition einer Steuer ab.

3.2.5 Lenkungsabgabe und Begleitmassnahmen in Frankreich

In Frankreich ist seit dem Jahr 2000 eine Volumensteuer auf PSM in Kraft (zunächst die sogenannte *taxe générale sur les activités polluantes (TGAP)*). PSM waren bis 2009 in sieben unterschiedliche Schadkategorien mit differenzierten Steuersätzen eingeteilt: Kategorie 1: 0 €/t, Kat. 2: 381 €/t, Kat. 3: 610 €/t, Kat. 4: 838 €/t, Kat. 5: 1.067 €/t, Kat. 6: 1.372 €/t und Kat. 7: 1.677 €/t.⁴¹ Die Einnahmen der TGAP lagen im Durchschnitt der Jahre 2000 – 2003 bei 32 Millionen Euro/Jahr, was weniger als 2% des Umsatzes entsprach (Aubertot et al., 2005, S. 46).

Im Jahr 2008 verabschiedete die französische Regierung den NAP „*Écophyto 2018*“ mit dem Ziel den PSM-Einsatz bis dahin um 50% zu reduzieren (République Française, 2008). Das heisst, dass der Einsatz von etwa 80.000 t Wirkstoff in 2008 auf 40.000 t reduziert werden muss. Im

⁴⁰ Für die erste Hälfte 2015 betrug der durchschnittliche Wechselkurs DKK : CHF = 1 : 0,1417.

⁴¹ Die Beträge waren ursprünglich in Französische Franc festgelegt und auf 1.000 bzw. 500er Stellen gerundet. Sie sind 1:1 umgerechnet worden bei einem Kurs von 1 € \cong 0,1524 Fr.

Herbst 2015 wurde der NAP „Écophyto II“ verabschiedet, welcher ein Update des ersten Écophyto-Plans ist. Das Reduktionsziel bleibt jedoch ähnlich: Das neue Ziel beinhaltet eine 25%ige Reduktion bis 2020 und eine 50%ige Reduktion des Einsatzes bis 2025 (République Française, 2015b, S. 3f.). Verschiedene Massnahmenpakete wurden im NAP beschlossen. Auch die TGAP wurde im Jahr 2009 in eine Gebühr für diffuse landwirtschaftliche Verschmutzung (*redevance pour pollutions agricoles diffuses* im *code de l'environnement*) umgewandelt (OECD, 2011, S. 155). Die Gebühr muss nicht weiter von den PSM-Produzenten, sondern von den Verteilern gezahlt werden und gliedert sich nun noch in drei Kategorien: Auf mineralischen Wirkstoffen (*chimiques minérales*) gibt es eine Gebühr von 0,90 €/kg AI, auf gefährlichen Stoffen (*danger pour l'environnement*) eine Gebühr von 2 €/kg AI und auf potentiell toxischen Wirkstoffen (*substances toxiques*) 5,10 €/kg AI.⁴² Gegeben der geringen Anwendungsmengen in vielen Bereichen der Landwirtschaft (siehe z.B. Tabelle 1 und Tabelle 2 im Vergleich) sind die daraus resultierenden Abgaben pro Hektar jedoch gering. Die Steuer wird explizit auf der Rechnung ausgewiesen, um bei den Landwirtinnen und Landwirten ein Bewusstsein zu schaffen, weniger PSM einzusetzen. Die Gebühr fliesst zum einen an die Wasserversorger (*Office national de l'eau et des milieux aquatiques*), zum anderen in Massnahmen des NAP. In 2012 und 2013 wurden insgesamt jeweils etwa 60 Millionen Euro durch die Gebühr eingenommen. In 2014 stiegen die Einnahmen auf etwa 70 Mio. € (République Française, 2015a, S. 15). Davon gehen 41 Mio. € an die Wasserversorger (*L.213-10-8 du Code de l'environnement*). Allerdings werden die jährlichen Kosten der Wasserversorger zur Reduktion der PSM-Umweltbelastung auf 50 – 100 Millionen Euro geschätzt (Bommelaer et al., 2012, S. 32). Zusätzlich müssten laut OECD (2011) noch weitere externe Kosten internalisiert werden, wie die Kosten für Biodiversitätsverlust und die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit. Aus diesem Grund wird die Gebühr durch die OECD (2011, S. 155; 2013b, S. 84) als zu niedrig bewertet.

Box 3 PSM Abgaben in Europa: Fazit

Die wichtigsten Erfahrungen aus den bestehenden PSM-Abgabensystemen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Differenzierte Abgaben sind ein effizientes Mittel, um die durch PSM hervorgerufenen Umweltrisiken zu reduzieren.
- Die Identifikation der Nachfrageeffekte einer Abgabe ist oft durch verschiedene andere Faktoren, welche die PSM-Nachfrage beeinflussen, überlagert.
- Aufgrund von Vorratskäufen vor der Einführung oder Erhöhung von Abgaben sind kurzfristige Effekte in der Anwendung gering. Langfristig ist eine deutliche Reduktion möglich.
- Die Ziele der NAPs der vier untersuchten Länder sind teilweise nur wenig abgestimmt auf die Ausgestaltung der Abgabensysteme. Ein positives Beispiel für ein kongruierendes NAP-Ziel und Abgabensystem liefert Dänemark: Der Indikator zur Steuerberechnung ist auch der Zielindikator, der reduziert werden soll.
- Eine explizite Ausweisung der Steuer kann das Bewusstsein zur Reduzierung des PSM-Einsatzes stärken. Beispiele hierfür liefern Frankreich und Norwegen.
- Durch gezielte Rückvergütung kann die Akzeptanz erhöht, sowie ggf. ein Hebeleffekt erzeugt werden, der zu einer höheren Reduktion führt.

⁴² Giftige Wirkstoffe sind potentiell kanzerogen, mutagen oder die Reproduktion störend (CMR-Stoffe: *cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction*).

Im Vergleich zu Dänemark und Norwegen ist die französische Gebühr für die meisten Wirkstoffe niedriger (siehe auch Anhang E). Die durchschnittliche Steuerhöhe von 2% (Aubertot et al., 2005) ist aus ökonomischer Sicht nicht adäquat, um eine gewünschte Mengenwirkung zu erreichen (z.B. Fadhuile et al., 2016). Dennoch wirken auf den ersten Blick die Gebührensätze recht stark differenziert. Bei genauerer Betrachtung wird jedoch deutlich, dass die *substances toxiques* häufig eine niedrigere Dosis benötigen als weniger toxische Wirkstoffe (**Error! Reference source not found.**). Dies führt dazu, dass je Hektar auch weniger toxische Wirkstoffe einer relativ hohen Gebühr unterliegen können. Zum Beispiel sind PSM mit einem Wirkstoffgehalt von 20% Kupfersulfat mit 0.18 €/kg besteuert. Bei einer Dosis von 25 kg/ha summiert sich die Abgabe jedoch auch auf 4,5 €/ha.

Wie in allen europäischen Ländern geht die Abgabe einher mit einer Vielzahl an Begleitmassnahmen. Zu nennen ist hier besonders die Erprobung eines Quotensystems (*certificats d'économie de produits phytopharmaceutiques, CEPP*) in einem Fünfjahreszeitraum von 2016 bis 2020. Als Obergrenze gilt dabei die Standarddosis je Hektar, SAD, bzw. die *Nombre de Doses Unité (NODU)*. Insgesamt dürfen in den kommenden fünf Jahren 15.5 Mio NODU angewendet werden, also im Durchschnitt 3.1 Mio. NODU/Jahr. Diese werden auf die Landwirtschaftskammern und Genossenschaften (sog. *éligibles*) in den verschiedenen Regionen verteilt (23 Regionen sind etabliert). Händler von PSM (*obligés*) erwerben von diesen Vereinigungen die CEPP und weisen sie am Ende einer Kontrollperiode vor (ausführlichere Informationen dazu sind bei Bellassen, 2015, zu finden). Des Weiteren wurde eine Vielzahl weiterer, verwandter Ziele definiert, darunter ein Anteil des organischen Landbaus von 20% bis 2020, Massnahmen zur Reduktion bestimmter Risiken wie das Verbot von Neonicotinoiden und der Ausweitung der Biokontrolle (République Française, 2015b) sowie die Verbesserung der Ausbildung und des Wissenstransfers über resiliente agrarökologische Systeme. Abbildung 3 zeigt, dass seit der Einführung der Steuer bzw. der Gebühr die abgesetzte Menge an PSM stark reduziert wurde. Allerdings gibt die Abbildung auch Anzeichen, dass der Absatz in Frankreich recht volatil zu sein scheint. Eine Rolle dabei spielte die Einführung von Wirkstoffen mit geringen Dosen je Hektar und Begrenzungen sowie Verbote bei PSM mit hohen Dosen (Aubertot et al., 2005, S. 8). Der Marktanteil an Kupfer- und Schwefelwirkstoffen sank um 40% (ebd.), sodass insgesamt der Absatz in 2012 ähnlich wie zu Beginn der 1980er Jahre war. Ob das Ziel einer 50%igen Einsatzreduzierung von 2008 bis 2018 realisiert werden kann, bleibt noch fraglich. Zwar sind die Verkaufszahlen bis 2013 zurückgegangen, aber noch nicht in dem erforderlichen Masse.

3.2.6 Diskussionen und Erfahrungen in anderen europäischen Staaten

In den Beneluxstaaten gab es in den letzten Jahren eine Vielzahl an Diskussionen, ob eine Abgabe auf PSM eingeführt werden soll. In Belgien wird derzeit noch untersucht, ob eine Abgabe sinnvoll erscheint (ARCADIS Belgium, 2014). Bereits in den 90ern kam es dort zu Diskussionen über eine Öko-Steuer und es wurden sogar Gesetze dazu ausgearbeitet, bei der eine Steuer auf bestimmte Pestizide gezahlt werden sollte. Allerdings wurde diese Steuer nie in die Praxis umgesetzt (ECOTEC et al., 2001). Des Weiteren müssen Akteure der Lebensmittelkette, so auch PSM-Produzenten oder Vertreiber, die Belgische Federalagentur für die Sicherheit der Nahrungsmittelkette (AFSCA) mit jährlichen Gebühren finanzieren (*Loi relative au financement de l'Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne alimentaire* vom 09. Dezember 2004).

Die Niederlande führten, ähnlich wie die Schweiz, bereits mehrmals eine Diskussion um eine mögliche Abgabe auf PSM. Eine aktuelle Untersuchung mit einer Beschreibung der politischen Situation liefern Hof et al. (2013) im Auftrag des niederländischen Wirtschaftsministeriums. In einer Diskussion zu Beginn des 21. Jahrhunderts und auch ein Jahrzehnt später haben sich die Niederlande gegen eine Abgabe entschieden und stattdessen einen PSM-Reduktionsplan in Zusammenarbeit mit dem niederländischen Bauernverband (LTO), Zulieferern der Landwirtschaft (agrodīs), Umweltorganisationen, Ministerien und weiteren Akteuren (Tweede Kamer, 2003a) erstellt. Die erste „Nota Nachhaltiger Pflanzenschutz“ lief bis 2010 und wurde danach für die Periode 2013 – 2023 durch die „Zweite Nota Nachhaltiger Pflanzenschutz“ ersetzt. Ein wichtiger Teil dieses Plans war und ist die Bewerbung der integrierten Produktion inklusive einer zielführenden Beratung und Information der Landwirte wie diese Produktionsweise erreicht werden kann. Die Hauptargumente zur Nichteinführung zu Beginn des 21. Jahrtausends waren i) Die niedrige Elastizität der Nachfrage von PSM und ii) Der erwartete hohe organisatorische Aufwand (Tweede Kamer, 2003b). Auch in der Studie von Hof et al. (2013) wird die Nachfrageelastizität als wichtiges Argument angeführt (siehe Kapitel 5.1 des vorliegenden Berichtes zu einer empirischen Einordnung dieser Annahme). Als weiteren Nachteil wird die höhere Belastung von inländischen Produzenten genannt, was zu einem steigenden Import von Waren führen könnte (ebd., S. 11). In diesem Zusammenhang zeigen Boon et al. (2012, S. 65), dass vor allem bei Importware die PSM-Rückstandsnormen häufiger überschritten werden, weshalb die Gesamtqualität abnehmen könnte. In diesem Kontext weisen van Eerdt et al. (2012, S. 74) jedoch darauf hin, dass dieser Zusammenhang nicht überschätzt werden sollte, da Importware, v.a. aus verdächtigen Ländern, häufiger kontrolliert wird als heimische Ware.

Box 4 Reduktion des PSM-Einsatzes in den Niederlanden

Der gesamte PSM-Absatz hat sich in den Niederlanden seit den 1980er Jahren etwa halbiert (Abbildung 3). Hauptursache hierfür ist der verringerte Einsatz von Bodendesinfektionsmitteln. Dessen Einsatz wurde von etwa 10.800 t AI in 1985 auf 1.400 t AI in 2005 reduziert (CBS et al., 2015). Die in der ‚Nota Nachhaltiger Pflanzenschutz‘ bis 2010 festgelegten Ziele bezüglich der Umweltbelastung (in Oberflächenwasser durch Abdrift), der Trinkwasserqualität, der Nahrungsmittelqualität und der Arbeitssicherheit wurden teilweise erreicht. Van Eerdt et al. (2012, S. 16ff.) berichten, dass bei der Umweltbelastung das Ziel einer 95%igen Reduzierung von PSM in Oberflächengewässern zu 85% erreicht wurde. Die Überschreitung von PSM-Rückständen bei der Trinkwasseraufbereitung sollte zu 95% reduziert werden. Dieses Ziel wurde zu etwa 75% erreicht. Bei der Nahrungsmittelqualität wurde das Ziel einer 50%igen Rückstandsreduktion durch eine 70%ige Reduktion überschritten. Beim Thema Arbeitsschutz gab es jedoch nur kleine Verbesserungen, sodass diesem Thema mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte (ebd.). Neben den Auflagen für Bodendesinfektionsmittel und weiteren PSM, werden u.a. höhere Anforderungen der Supermärkte sowie verbesserte Kenntnisse über Schaderreger und damit einhergehende präzisere Anwendungen als Gründe für die Risikoreduktion genannt (Boon et al., 2012).

Im Oktober 2015 wurde ein aktueller Vorschlag zur Besteuerung von PSM in Deutschland veröffentlicht (Möckel et al., 2015). Möckel et al. (2015) verwerfen die anderen europäischen PSM-Besteuerungssysteme als zu kompliziert (und subjektiv) und entscheiden sich deshalb für eine „eigenständige deutsche Abgabe“. Der Vergleich bezüglich Komplexität und Subjektivität (z.B. Gewichtung einzelner Faktoren) bezieht sich jedoch fast nur auf das Dänische Modell. Das Norwegische Modell, dem der Vorschlag von Möckel et al. (2015) stark ähnelt, wird dort nicht beschrieben oder erwähnt. Die vorgeschlagene Abgabenstruktur wird im Folgenden kurz zusammengefasst. Wichtig ist anzumerken, dass die Abgabenhöhe hier erst pro Hektar berechnet wird, um dann in eine Mengenabgabe umgewandelt zu werden. Basierend auf einer Basisabgabe in Höhe von 20 € pro Hektar für jedes Produkt werden Korrekturfaktoren angewendet, um eine finale Abgabenhöhe zu berechnen.

- Ausgangspunkt für eine Grundabgabe ist die maximal zugelassene Anwendungsmenge eines PSMs pro Hektar, welche auf Basis der nach EG 1107/2009 (Art. 31 Abs. 3) für jedes Produkt definierten maximalen Anwendungszahl und der jeweiligen maximalen zugelassenen Menge pro Anwendung berechnet wird. Diese maximal zugelassene Anwendungsmenge eines Produktes wird mit einer Basisabgabe in Höhe von 20 €/ha versehen. Diese Abgabe soll Umwelteffekte berücksichtigen, insbesondere durch die Festlegung der jeweiligen maximalen Anwendungsmengen und -zahlen. Die Grundidee beruht dabei auf der Annahme, dass alle Umwelteffekte über die Wirkstoffmenge abgebildet werden können. Diese Annahme wird durch exemplarische Evidenz bezüglich des Zusammenhangs zwischen Anwendungsmenge und (Umwelt-)Toxizität sowie Abbauraten im Boden (für wenige Beispiele) gestützt (ebd., S. 111-112). Den in anderen Ländern (z.B. Dänemark, Norwegen) gewählten Ansätzen liegen andere Annahmen zugrunde, in denen Explizit die Umweltwirkungen und das Umweltverhalten von (einer Einheit Wirkstoff) PSM berücksichtigt werden. Aufbauend auf dieser Basisabgabe können in weiteren Stufen mittels multiplikativer Faktoren Erhöhungen der Abgabe vorgenommen werden (folgende Punkte).
- Ergänzung des Grundabgabensatzes um einen humantoxikologischen Faktor, folgend dem ADI (*acceptable daily intake*, erlaubte Tagesdosis) und dem AOEL (*acceptable operator exposure level*, annehmbare Anwenderexposition). Diese Werte werden in der *EU Pesticide Database* dokumentiert⁴³ und werden in mg/kg Körpergewicht ausgedrückt.⁴⁴ Die Summe beider Faktoren geht in den Nenner eines Quotienten ein, der den Korrekturfaktor bestimmt (Details siehe ebd., S. 108-109), sodass tiefere Werte einen grösseren Aufschlag induzieren.⁴⁵ Es wird sich explizit gegen die Verwendung von R-Sätzen entschieden, wie es z.B. im dänischen und norwegischen System Anwendung findet (und auch noch die Exposition des Anwenders zum Mittel explizit berücksichtigt wird, siehe Abschnitte 3.2.3

⁴³ <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=DE>.

⁴⁴ Ein Beispiel: Für Glyphosat beträgt der ADI 0,3, der APOE 0,2 mg/kg Körpergewicht, http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=activesubstance_detail&language=DE&selectedID=1438.

⁴⁵ Ein Problem zur praktischen Umsetzung scheint hier, dass in der EU Pesticide Database, die Werte für ADI und APOE oft mit Vermerken wie „Not set due to insufficient data“ oder bei einem Nichtsetzen eines Grenzwertes (z.B. wegen fehlender Toxizität) den Term „Not applicable“ (die Werte müssten hier dann gegen unendlich streben, um einen Aufschlag von Null zu generieren). Möckel et al. (2015, S. 115), weisen darauf hin, dass „ADI-Werte für alle in Deutschland zugelassenen PSM-Wirkstoffe vorliegen“. Fehlende Werte bei APOE sollen durch nochmaliges Zählen des ADI Wertes ersetzt werden (S. 115).

und 3.2.4), sowie vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit als Risikogrösse ausgewiesen wird (www.bvl.bund.de). Diese Entscheidung wird mit der unnötigen Komplexität und der notwendigen (subjektiven) Gewichtung begründet.

- Eine Ergänzung um einen Zusatzfaktor von 1,5 für PSM mit Wirkstoffen, die durch die EU Kommission als Substitutionskandidaten eingestuft wurden. Diese Einstufung identifiziert PSM, die durch weniger riskante (z.B. nicht chemische) Produkte oder Methoden ersetzt werden sollten. Zulassungsperioden dieser Produkte sind auf maximal sieben Jahre begrenzt, wobei aktuelle Zulassungsperioden nicht beeinflusst werden (Details siehe EU Kommission, 2015). Diese Liste umfasste im September 2015 77 Kandidaten, stellt aber explizit keine Verbotsliste dar.⁴⁶ Laut Möckel et al. (2015) soll der Zuschlag für diese Produkte die Suche nach Alternativen beschleunigen.
- Ein weiterer Ergänzungsfaktor von 4 für Produkte, die durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit für den Haus- und Kleingartenbereich zugelassen sind, d.h. ohne Sachkundenachweis angewendet werden dürfen (BVL, 2015). Dieser Zuschlag wird mit einem höheren Risiko für Anwender und Umwelt begründet.

Nach Berechnung einer hektarbasierten Abgabe, wird diese wieder auf das Produkt (z.B. als Abgabe pro Mengeneinheit) umgelegt. Möckel et al. (2015) zeigen am Beispiel von 66 ausgewählten PSM, dass der Basisaufschlag (Punkt 1) im Median zu einer Verteuerung eines PSM um mehr als 40% führt. Im Mittel weisen Möckel et al. (S. 190) eine durchschnittliche Belastung pro Hektar von 59 € aus (Zahlen beruhen aber auf einem Überschlag, den Möckel et al. (2015, S. 190) als „nicht unrealistisch“ einschätzen). Die Abgabe soll auf Stufe der Händler oder Hersteller/Importeure erhoben werden, um die Verwaltungskosten gering zu halten.

Der deutsche Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 2016, S. 404ff) identifiziert in seinem neuesten Gutachten eine Abgabe auf Pflanzenschutzmittel als wichtiges Element im Instrumentenmix zur Reduktion der Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch PSM-Einsatz.

⁴⁶ Details siehe Webseiten der EU Kommission zu Pestiziden: http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/approval_active_substances/index_en.htm

3.3 Diskussion und Schlussfolgerungen von Kapitel 2 und 3

- Lenkungsabgaben auf PSM können ein sinnvolles Instrument sein, wenn sie in Kombination mit anderen Massnahmen eingesetzt werden. Lenkungsabgaben erlauben es den Einsatz risikanter PSM zu reduzieren, ohne das Spektrum der möglichen Pflanzenschutzstrategien zu verkleinern wie dies bei Verboten der Fall wäre.
- Die Analyse bestehender Ansätze zur Besteuerung des PSM-Einsatzes hat gezeigt, dass es verschiedene Möglichkeiten über die Ausgestaltung einer Lenkungsabgabe gibt. In allen Ländern, in denen eine Lenkungsabgabe auf PSM eingesetzt wurde, wurde der PSM-Einsatz oder das von PSM ausgehende Risiko seit der Abgabeneinführung zumindest teilweise reduziert. Jedoch kann bisher nicht mit Sicherheit gesagt werden, in welchem Umfang die Steuer bzw. Abgabe diese Reduktion beeinflusst hat.
- Beispielhaft sei das Norwegische System angeführt, in dem der totale PSM-Einsatz zwar nur wenig zurückging, allerdings eine Reduktion der Risiken für Umwelt und menschliche Gesundheit beobachtet wurden. Hoch besteuerte PSM wurden durch geringer besteuerte, weniger toxische PSM substituiert.
- Die Abgabensysteme wurden meist durch Begleitmassnahmen unterstützt und Entwicklungen des PSM-Einsatzes sind abhängig von sich ändernden politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen. Mit Hilfe von nationalen Aktionsplänen konnten beispielsweise auch Länder wie die Niederlande, ohne die Einführung einer Abgabe, den PSM-Einsatz halbieren.
- In Anbetracht der Zielstellung des Schweizer Aktionsplans zur Reduktion der Risiken, nicht der Menge PSM per se, wäre ein differenziertes Lenkungsabgabensystem erforderlich. Die verschiedenen bestehenden Abgabensysteme zeigen ausserdem, dass das Umwelt- und/oder Gesundheitsrisiko als Erhebungsgrundlage genommen werden könnte, da eine Vielzahl an Information zu diesen Grössen vorliegt. Eine Erhebung einer Abgabe auf der Ebene Industrie oder Handel ist aufgrund geringerer Transaktionskosten sinnvoll (siehe auch Kapitel 7).
- Die Aufhebung der Steuersubvention für PSM, d.h. die Anpassung der Mehrwertsteuerregelung, ist ein notwendiger erster Schritt zur Umsetzung der Ziele des Aktionsplans. Auch in diesem Schritt gibt es Möglichkeiten zur Differenzierung. Im französischen System werden zum Beispiel Produkte, die im Ökolandbau erlaubt sind, mit einem ermässigten MwSt-Satz versehen, chemisch-synthetische Produkte mit dem Normalsatz. Dies erscheint für die Schweiz besonders relevant, da (im Vergleich zu anderen Ländern) vermehrt Produkte wie Öle im Pflanzenschutz eingesetzt werden.
- In der Wein-, Obst- und Kartoffelproduktion werden am meisten PSM eingesetzt. Vor allem die ersten beiden Sektoren sind in der Schweiz relativ stark ausgeprägt, sodass dieser Sektor vergleichsweise stark von einer Lenkungsabgabe betroffen wäre. Landwirtinnen und Landwirte mit hohen Grünlandanteilen (v.a. rinderhaltende Betriebe) wären weniger von einer Abgabe betroffen, da diese kaum PSM einsetzen. Auch Landwirtinnen und Landwirte mit hohem (Extenso-) Getreideanteil oder viel Mais wären weniger stark von einer Abgabe betroffen, da auch hier relativ wenig PSM pro Hektar eingesetzt werden. Die Wein-, Obst- und Kartoffelproduktion könnte also an Wettbewerbsfähigkeit verlieren. Ziel der Analyse in Kapitel 5 ist es deshalb auch, diese Effekte näher zu analysieren und zu quantifizieren.

*Kapitel 3: Wirkung möglicher Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen:
bestehende Politikmassnahmen*

- Abgabensysteme lassen Produzenten mehr Spielräume, als es mit Verboten von PSM der Fall wäre, aber zu hohe Abgaben auf einzelne PSM können diese Spielräume stark einschränken. Wichtig ist dann, dass gegen alle Schaderreger genügend PSM aus verschiedenen PSM-Wirkstoffklassen zur Verfügung stehen, um Resistenzen vorzubeugen oder nicht noch weiter zu verstärken (z.B. anhand der Klassifizierung der *Herbicide/Fungicide/Insecticide Resistance Action Committees*). Dies könnte Herausforderungen für die Zulassung von PSM darstellen, da einerseits neue, ungefährliche Stoffe benötigt werden, andererseits aber auch die sach- und fachgerechte Kontrolle der Wirkstoffe stattfinden muss.

4 Wirkung möglicher Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen: theoretische Fundierung

Im Zentrum der Analyse von Determinanten des PSM-Einsatzes in der Landwirtschaft steht die Entscheidung der Landwirtin bzw. des Landwirtes, PSM einzusetzen. Das bessere Verständnis dieser Entscheidung ist essentiell, um eine zielgerichtete Politikmassnahme auszugestalten. Die Elastizität der Nachfrage nach PSM ist dabei eine entscheidende Grösse zur Quantifizierung der Mengenwirkung einer PSM-Abgabe auf einzelne Anwendungsmengen. Dabei spielen auch Interaktionen mit anderen Inputs, z.B. Düngereinsatz, eine wichtige Rolle, was integrative statt auf einzelne Inputs beschränkte Politiklösungen nötig macht. Risikowirkung und die Risikopräferenzen der Landwirtinnen und Landwirte können wichtige Faktoren für die Menge und Art eingesetzter PSM sein. Mittels theoretischer Analysen und einer Literaturübersicht wird gezeigt, dass PSM nicht notwendigerweise risikoreduzierend sondern in vielen Fällen auch risikoh erhöhend sein können. Die Risikowirkung von PSM ist stark abhängig von der Kultur, dem Anbausystem und dem eingesetzten PSM.

In diesem Kapitel wird eine systematische, **mikroökonomisch fundierte Analyse des Entscheidungsproblems zum Einsatz von PSM** aus Perspektive der Landwirtinnen und Landwirte präsentiert. Die Perspektive der Landwirtin bzw. des Landwirtes ist die, an der es Politikentscheidungen auszurichten gilt.⁴⁷ Dabei wird der optimale PSM-Einsatz in einem deterministischen (Abschnitt 4.1) und stochastischem (Abschnitt 4.2) Kontext analysiert. In Letzterem steht der Zusammenhang von **PSM-Einsatz und Einkommensrisiko** im Vordergrund. Dies ist ein möglicher Kanal, über den Politikmassnahmen einen Einfluss auf den PSM-Einsatz ausüben könnten, z.B. über Versicherungslösungen. In Ersterem werden Aspekte wie das Wertgrenzprodukt des PSM-Einsatzes und die Preiselastizität der Nachfrage nach PSM analysiert, welche bei der Bewertung einer möglichen Lenkungsabgabe eine zentrale Rolle spielen.

Die in diesem Kapitel erarbeiteten theoretischen Aspekte dienen als Grundlage für die quantitative Analyse des PSM-Einsatzes in der Schweizer Landwirtschaft.

In der Literatur wird eine Vielzahl von Konzepten verwendet, um das Kalkül der Landwirtin bzw. des Landwirtes bezüglich des Einsatzes von PSM zu beschreiben. Diese konzeptuelle Basis ist somit auch Grundlage für die Analyse möglicher Politikmassnahmen. Die Wahl der konzeptionellen Basis ist daher zentral und entscheidend für die aus der Analyse resultierenden Politikempfehlungen. Ziel dieses Kapitels ist es daher, die in der Literatur verwendeten Ansätze und Konzepte zu beschreiben, zu bewerten und so das im Weiteren gewählte Vorgehen zu motivieren und einzuführen.

⁴⁷ Siehe auch Waterfield und Zilberman (2012, S. 225): „Because pest management decisions are made at the farm level, albeit constrained by government regulation and resource availability, models of pest management have producer behavior at their core.“

Eine wichtige Grundannahme für die Modellierung des PSM-Einsatzes ist der Fokus auf die schadensvermeidende oder schadensmindernde Wirkung. Oerke (2006) gibt einen Überblick über diverse Studien zu den durch Schaderreger verursachten Ertragsverlusten und damit einhergehenden ökonomischen Nachteilen (siehe Kapitel 1). Diese Ertragsverluste sind dabei Kultur- und PSM-spezifisch. Am Beispiel der US Landwirtschaft zeigen Fernandez-Cornejo et al. (1998, S. 472f.), dass erwartete Ertragseinbussen bei Weizen zwischen 4% (ohne Einsatz von Insektiziden) und 23% (ohne Einsatz von Herbiziden), bei Obstkulturen jedoch zwischen 23% (ohne Einsatz von Herbiziden) und 61% (ohne Einsatz von Insektiziden) liegen. Das heisst, der Einsatz von PSM steigert nicht per se den Ertrag, wie dies bei anderen Inputs (z.B. Dünger) i.d.R. der Fall ist, sondern reduziert mögliche Ertragseinbussen, die z.B. durch Pilze, Insekten oder Unkräuter hervorgerufen werden.⁴⁸ Sei zum Beispiel C der PSM-Einsatz und $K(C)$ die sogenannte Tötungsfunktion (*kill function*), welche die Wirksamkeit des PSM-Einsatzes beschreibt, dann kann die Schaderregerdichte als $S = S_0 * [1 - K(C)]$ dargestellt werden, wobei S_0 die anfängliche Schaderregerdichte ist. Mit Hilfe der Schaderregerdichte lässt sich dann die Schadensfunktion (*damage function*) $D(S)$ bestimmen, die die proportionalen Ertragsverluste unter der jeweiligen S angibt. Wenn dann Y_f der physische Ertrag ohne Schädlingsdruck ist, dann kann der realisierte Ertrag Y als Funktion der beiden oben genannten Grössen definiert werden: $Y = f(Y_f, S)$. Der Ertrag sinkt also mit steigendem S , $\frac{\partial Y}{\partial S} < 0$. Allerdings können der Einsatz von PSM und eine höhere $K(C)$ die Ertragsverluste reduzieren. Mittels dieser Wirkungsbeschreibung kann der PSM-Einsatz in eine Produktionsfunktion integriert werden (z.B. Lichtenberg und Zilberman, 1986).⁴⁹ Das heisst, das Wertgrenzprodukt des Einsatzes von PSM kann über den Wert des entgangenen Ertrags (vermiedenen Ertragsreduktion mal Outputpreis) definiert werden (z.B. Fernandez-Cornejo et al., 1998). Diese Darstellung erlaubt eine konsistente Integration in ein Profitmaximierungsproblem, in dem die Inputallokation so gewählt wird, dass die Zielgrössen (Deckungsbeiträge, Gewinne, o.ä.) maximal werden. Zum Beispiel sollte die profitmaximierende Einsatzmenge PSM so gewählt werden, dass das Wertgrenzprodukt des Einsatzes von PSM gleich den Grenzkosten dessen Einsatzes ist. Dieses Optimierungskalkül spiegelt sich oft auch in linearen oder nicht-linearen Programmierungsmodellen auf verschiedenen Ebenen (z.B. auf Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes) wider (z.B. Falconer und Hodge, 2001; Annetts und Audsley, 2002).

⁴⁸ Ein alternativer Ansatz sind Schwellenwerte (*threshold*)-Modelle, die nur dann eine fixe Anwendungsmenge vorsehen, wenn Schaderregerpopulationen bestimmte Schwellenwerte überschreiten (einen Überblick geben z.B. Mumford und Norton, 1984). Eine ökonomische Schadschwelle liegt dann vor, wenn die Behandlung und Nicht-Behandlung genau zu gleichen Gewinnen führen (Deen et al., 1993). Diese insbesondere von Biologen und Entomologen propagierten Ansätze werden kritisiert, da diese zum Beispiel aus ökonomischer Sicht nie *superior* zu den hier diskutierten marginalen Ansätzen sein können (z.B. Moffit, 1988).

⁴⁹ Guan et al. (2005) zeigen, dass auch eine negative Grenzproduktivität vom PSM-Einsatz relevant sein kann. Diese Aspekte beinhalten Aspekte wie Phytotoxizität (Schädigung der Nutzpflanze durch Überdosierung von PSM, insb. Herbiziden), Resistenzen, die Entwicklung sekundären Schaderregerdrucks und Reduktion der Output-Qualität (Wossink und Rossing, 1998; Guan et al., 2005). Für weitere empirische Evidenz zu diesem Effekt siehe Di Falco und Chavas (2006, S. 301) für italienische Weizenproduzenten.

4.1 Optimaler Einsatz von PSM und Preiselastizität der Nachfrage

Die oben beschriebene Schaderreger-Tötungsfunktion lässt sich in eine Produktionsfunktion integrieren. Basierend auf Pannell (1991) lässt sich die Produktionsfunktion in Abhängigkeit vom PSM-Einsatz wie folgt darstellen:

$$(3) \quad \begin{aligned} Y(Y_f, S) &= Y_f * [1 - D(S)] \\ Y(Y_f, S) &= Y_f * [1 - D(S_0 - S_0 * K(C))] \end{aligned}$$

Der PSM-Einsatz kann dabei in Mengen, Anzahl Anwendung (da Mengenreduktionen innerhalb einzelner Anwendungen nicht zwingend zielführend sind) oder einer weiteren relevanten Grösse erfasst werden. Fokussiert auf den PSM-Einsatz errechnet sich der Gewinn π demnach aus Erlös minus Kosten:

$$(4) \quad \pi = Y(Y_f, D) * p_y - x_{PSM} * p_{PSM} - F$$

Der Erzeugerpreise sei p_y , Menge und Preis des Inputs PSM seien x_{PSM} und p_{PSM} und die sonstigen Produktionskosten seien F . Die gewinnmaximierende PSM-Einsatzmenge ist daher an folgendem Punkt identifiziert:

$$(5) \quad \frac{\partial \pi}{\partial x_{PSM}} = \frac{\partial Y}{\partial x_{PSM}} p_y - p_{PSM} = 0$$

Der Effekt einer Lenkungsabgabe bzw. von Steuern auf PSM sind durch die Preiselastizität der Nachfrage nach PSM (η) determiniert. Diese errechnet sich aus den Differenzen in den PSM-Preisen und der PSM-Anwendungsmenge und gibt an, um wie viel Prozent die Nachfrage bei einer ein-prozentigen Erhöhung des Preises verändert wird. Es gilt also:

$$(6) \quad \begin{aligned} \eta_{x_{PSM}, p_{PSM}} &= \frac{\frac{\Delta x}{x}}{\frac{\Delta p}{p}} = \frac{\Delta x_{PSM}}{\Delta p_{PSM}} * \frac{p_{PSM_{ist}}}{x_{PSM_{ist}}} \\ \Delta x_{PSM} &= \eta_{x,p} * \frac{x_{PSM_{ist}}}{p_{PSM_{ist}}} * \Delta p_{PSM} \\ \Delta p_{PSM} &= \frac{p_{PSM_{ist}}}{x_{PSM_{ist}}} * \frac{\Delta x_{PSM}}{\eta_{x,p}} \end{aligned}$$

Δp_{PSM} bezeichnet die Preissteigerung durch die PSM-Abgabe und Δx_{PSM} ist die aus der Abgabe resultierende Mengenänderung der PSM-Nachfrage. Es zeigt sich, dass die mögliche absolute und relative Reduktionswirkung durch eine Besteuerung von verschiedenen Determinanten, wie zum Beispiel der eingesetzten Menge, dem Preis, der Steuerhöhe und der Preiselastizität der Nachfrage abhängt. Des Weiteren beeinflusst eine Lenkungsabgabe die gewinnmaximierende Bedingung des optimalen PSM-Einsatzes. Eine empirische Analyse von Nachfrageelastizitäten nach PSM wird mittels einer Meta-Analyse im Unterkapitel 5.1 präsentiert.

4.1.1 Das Wertgrenzprodukt der Produktionsfaktors PSM

Die Höhe der Preiselastizität der Nachfrage wird durch die Verfügbarkeit von Substituten und das Wertgrenzprodukt (WGP) des Produktionsfaktors PSM bestimmt. Letzteres errechnet sich

aus dem physischen Mehrertrag durch eine zusätzliche Einheit PSM (der Grenzproduktivität $\frac{\partial f(x_{PSM}, x)}{\partial x_{PSM}}$) und dem dazugehörigen Preis des Ertrag (p_y):

$$(7) \quad WGP_{x_{PSM}} = \text{Grenzproduktivität} * \text{Preis}_y = \frac{\partial f(x_{PSM}(x), x(x_{PSM}))}{\partial x_{PSM}(x)} * p_y,$$

wobei x andere Inputs repräsentiert. x_{PSM} und x können dabei voneinander abhängig sein. Die Relevanz dieser Wechselwirkung zwischen den Inputs wird in einem nachfolgenden Abschnitt analysiert. Die Grenzproduktivität des Produktionsfaktors PSM ist abnehmend, was bedeutet, dass mit steigendem Einsatz von PSM der dadurch erwirtschaftete zusätzliche Ertrag $f(\cdot)$ geringer wird.⁵⁰ Für die zweite Ableitung von $f(\cdot)$ muss also gelten: $\frac{\partial^2 f(x_{PSM}, x)}{\partial x_{PSM}^2} \leq 0$.

Eine höheres WGP eines Produktionsfaktors und eine geringere Möglichkeit zur Substitution (zu anderen PSM oder nicht-chemischen Pflanzenschutzstrategien) reduzieren die Elastizität der Nachfrage nach diesem Faktor. Dieser wird dann gewinnmaximierend eingesetzt, wenn das WGP gleich dem Preis des Produktionsfaktors ist.⁵¹

$$(8) \quad WGP_{x_{PSM}}^* = p_{PSM} = \frac{\partial f(x_{PSM}, x)}{\partial x_{PSM}} * p_y$$

Babcock et al. (1992, S. 171) betonen ausserdem, dass PSM neben der Quantität auch sehr stark die Qualität der Ernte beeinflussen. Waterfield und Zilberman (2012, S. 224) geben eine Übersicht zu verschiedenen Qualitätskomponenten, die unter anderem die kosmetische Erscheinung von Früchten und Gemüse sowie mögliche gesundheitsrelevante Komponenten (am Beispiel von Mykotoxinen begünstigt durch Insektenschaden illustriert). Falls diese Qualitätskomponente ignoriert würde, würde die Höhe des WGP deutlich unterschätzt werden. Waterfield und Zilberman (2012, S. 225) weisen jedoch auch auf die Möglichkeit eines negativen Effekts des Einsatzes von PSM auf die Produktqualität (und Preise) hin, wenn gewisse Anwendungsschwellen überschritten werden.⁵² Das WGP muss deshalb als Summe aller unterschiedlichen Qualitätsstufen k zu deren jeweiligen Preisen gelten:

$$(9) \quad WGP_{x_{PSM}} = \sum_{k=1}^l \frac{\partial f_k(x_{PSM}, x)}{\partial x_{PSM}} * p_{y_k}$$

⁵⁰ Das bedeutet, dass bei niedrigeren Produktionsniveaus mit relativ wenig Mehreinsatz eines Produktionsfaktors relativ viel Mehrertrag erwirtschaftet werden kann. Bei höheren Niveaus wird für den gleichen Mehrertrag mehr Input des Produktionsfaktors benötigt.

⁵¹ Das heisst, es wird so lange mehr vom Input eingesetzt, bis eine Einheit des Inputs teurer ist als eine Einheit des daraus erzielten Ertrags wert ist. Unter Annahme, dass der Akteur ein Preisnehmer ist und die abgesetzte Menge keinen Effekt auf den Marktpreis hat.

⁵² Siehe auch Bazoche et al. (2014) für eine vergleichende Konsumentenstudie in Portugal, den Niederlanden, Griechenland und Frankreich zur Zahlungsbereitschaft für PSM-Reduktion (bei Äpfeln) via diverse Labels. Der oben erwähnte negative Effekt des PSM-Einsatzes zeigt sich in dieser Studie in Form einer Stigmatisierung (ebd., S. 106) der konventionellen Produkte, die durch den höchsten PSM-Einsatz charakterisiert sind, wenn dieser transparent dargestellt wird.

Dies gilt besonders für den Obstbau, da hier die Ernte je nach Qualität unterschiedlich verarbeitet werden kann (Frischobst, Saft, Mus etc.; siehe z.B. Hallmann et al., 2009, S. 456ff. für eine Übersicht von Schaderregern im Kernobst und deren wirtschaftliche Bedeutung; zur Qualität im Apfelanbau aus ökonomischer Sicht siehe auch Babcock et al., 1992).⁵³ Beim Ackerbau gilt hingegen für einen Hektar meistens dieselbe Qualitätsstufe.

Dieses Wertgrenzprodukt des PSM-Einsatzes kann in empirischen Anwendungen dazu verwendet werden, zu überprüfen, ob der PSM-Einsatz gewinnmaximierend vorgenommen wird. So zeigen zum Beispiel Guan et al. (2005) für den Getreide-, Kartoffel-, Zuckerrüben- und Zwiebelanbau der Niederlande, dass das WGP des PSM-Einsatzes (1,25 €/pro eingesetzten Euro) nicht signifikant unterschiedlich zum PSM-Preis (1,10 €) ist, woraus sich ein aus ökonomischer Sicht optimaler (gewinnmaximierender) Einsatz von PSM ableiten lässt (ebd., S. 184).

Skevas et al. (2014) untersuchen in einem weiteren Beispiel für die Niederlande das WGP von PSM hauptsächlich im Hackfrucht- und Getreideanbau. Für stärker toxische PSM wird hierbei ein höheres WGP ermittelt als für weniger toxische Mittel. Eine Abgabe auf toxischere PSM müsste also höher sein, um identische Mengenreduktionen zu realisieren. Beide Varianten sind laut den Ergebnissen der Analyse jedoch zu stark eingesetzt, da der PSM-Preis wesentlich höher liegt als das WGP (ebd., S. 635f.). So setzen laut Skevas et al. (2014, S. 663) 100% der Betriebe zu viele Herbizide, 86% zu viele Fungizide, 67% zu viele Insektizide und 61% zu viele andere PSM ein. Skevas et al. (2013, S. 636) begründen die Unterschiede zu früheren Studien damit, dass die Heterogenität der Betriebe sowie Ausreisser in den Daten in den früheren Studien nicht ausreichend berücksichtigt wurden.

Ähnlich wie Skevas et al. (2014) zeigen Jacquet et al. (2011, S. 1645) am Beispiel der französischen Landwirtschaft, dass eine 30%ige Reduktion des PSM-Einsatzes möglich wäre, ohne dass dies Einschnitte beim Deckungsbeitrag bewirken würde.

Des Weiteren ist die Nützlichkeit der Applikation von PSM abhängig von einer Reihe an Faktoren, wie den Witterungsbedingungen oder der Wachstumsphase der Kulturpflanze (dies untermauert auch die Relevanz des in Abschnitt 4.2.1 präsentierten zustandsabhängigen Ansatzes zur Beschreibung des PSM-Einsatzes). Gotsch und Regev (1996) analysieren das (Wert-)Grenzprodukt für den Fungizideinsatz in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge am Beispiel der schweizerischen Weizenproduktion. Das Grenzprodukt des Fungizideinsatzes liegt dabei bei hohen Niederschlagsmengen höher als bei geringeren Mengen (ebd., S. 5). Beispielsweise liegt das Grenzprodukt pro Applikation bei 350 mm bei 2,24 dt/ha und bei 550 mm Niederschlag bei 2,91 dt/ha. Für die Wertgrenzprodukte gelten bei oben genannten Niederschlagsmengen pro Applikation 224,7 CHF/ha bzw. 302,6 CHF/ha.⁵⁴

⁵³ Kaps (2015, S. 15) fasst die Qualitätsdefinitionen für Äpfel und die jeweiligen Preisabschläge für Deutschland zusammen. Dabei ist der Preis (2015) pro Doppelzentner (100kg) für Tafeläpfel ca. 61€, für Wirtschaftsäpfel ca. 32€ und für Mostäpfel ca. 17€.

⁵⁴ Dieser Aspekt spiegelt sich auch in der Relevanz der klimatischen Eignung des Standortes für den Wechsel zu Extensio wider (siehe dazu auch Finger und Lehmann, 2012a). Diesbezüglich zitiert El Benni (2013, S. 62) Berater wie folgt: „Es gibt Gebiete wo Extensio fast nicht möglich ist wegen dem Infektionsdruck. Wenn man da nicht spritzt, dann ist alles braun und schwarz im Herbst“, und: „Es gibt Gebiete mit viel Nebel wo Extensio nicht möglich ist.“

4.1.2 Effekte einer Lenkungsabgabe: Substituierbarkeit der PSM und Kreuzpreiselastizität der Nachfrage

Bei den Möglichkeiten der Substitution gibt es sowohl Unterschiede zwischen den einzelnen PSM-Kategorien wie Herbizide, Fungizide, Insektizide, etc., aber auch innerhalb dieser Kategorien noch Unterschiede bezüglich der Zielorganismen, die mit dem jeweiligen Herbizid, Fungizid, Insektizid, etc. bekämpft werden können. So wirken im Getreideanbau z.B. viele Fungizide gut bis sehr gut gegen Rost und Blatt- und Spelzenbräune (LfL, 2015a). Hingegen lässt sich der Befall von Mehltau mit diesen Fungiziden weniger bekämpfen, weshalb bei einem etwaigem Mehltaubefall Spezialfungizide zum Einsatz kommen müssen (ebd.).

Die Effekte einer Preissteigerung des Produkts A auf die Nachfrage nach einem anderen Produkt B werden mittels der Kreuzpreiselastizität der Nachfrage beschrieben:

$$(10) \quad \eta_{PSM_B, p_{PSM_A}} = \frac{\frac{\Delta x_B}{x_B}}{\frac{\Delta p_A}{p_A}} = \frac{\Delta PSM_B}{\Delta p_{PSM_A}} * \frac{p_{PSM_A}}{PSM_B}$$

Diese ist bei substitutiven Gütern positiv (die Nachfrage des Substituts B steigt), bei unabhängigen Gütern null (die Nachfrage bleibt gleich) und bei komplementären Gütern negativ (die Nachfrage sinkt). Zwischen einigen PSM wird die Kreuzpreiselastizität nahe null sein, da z.B. der Fungizid- nur wenig den Herbizideinsatz beeinflusst. Innerhalb einer PSM-Kategorie kann sie aber auch positiv sein, wie beispielsweise die Vielzahl an Fungiziden im Getreideanbau suggeriert. Die höhere Abgabenbelastung eines PSM im Vergleich zu einem Mittel mit ähnlicher Wirkung, aber geringerer Abgabenbelastung, wird zu einer Substitution der Mittel führen. Auch ist es möglich, dass die Kreuzpreiselastizität in einigen Fällen negativ ist. Ein Beispiel hierfür wäre, wenn ein PSM A ausgebracht werden würde und dieses mit anderen Mitteln ersetzt werden kann (z.B. Wachstumsregler). Wenn aber nun eine neu eingeführte Abgabe die Landwirtin oder den Landwirten dazu bringt, auf die Ausbringung von PSM A zu verzichten, entscheidet sie oder er sich eventuell gleichzeitig dafür, auch auf die Ausbringung des Wachstumsreglers zu verzichten, um die Kosten der Überfahrt zu sparen.

Box 5 PSM-Einsatz und Düngung

Diverse empirische Studien zeigen signifikante Interdependenzen zwischen dem Einsatz von Stickstoff und PSM. Beispielhafte Interaktionen bestehen über positive Effekte von N-Gaben auf Begleitvegetation (und Herbizideinsatz), Blattlausbefall (Insektizideinsatz) oder Mehltaubefall (Fungizideinsatz) (z.B. Baeumer, 1992; Bürger et al. 2012, S. 60). Aus ökonomischer Sicht beeinflussen sich zudem die optimalen Anwendungsmengen beider Inputs über Wertgrenzprodukte, d.h. das Wertgrenzprodukt des Düngereinsatzes sinkt, da eine Verringerung des Ertrags-Erwartungswertes hervorgerufen wird, worauf die Landwirtin bzw. der Landwirt mit geringerem Inputeinsatz reagiert. Die Kreuzpreiselastizität der Nachfrage ist daher negativ, d.h. die Nachfrage nach PSM sinkt bei steigenden Düngemittelpreisen. Aufgrund dieses Zusammenhangs schlagen Guan et al. (2005) eine Konzentration auf die Reduktion des Einsatzes von Düngemitteln statt einer direkten Fokussierung auf PSM-Reduktionen vor. Da durch dieses Element keine spezifische Anreizsetzung zu einzelnen PSM verschiedener Risikoklassen vorgenommen werden kann, ist dieser Ansatz jedoch nicht in der Lage, Politikziele zur Reduktion des durch den PSM-Einsatz hervorgerufenen Risikos zu erreichen. Hingegen erhöht eine gute Versorgung mit anderen Nährstoffen wie Kalium, Calcium und Bor die Widerstandsfähigkeit von einigen Pflanzen, was beispielsweise den Befall mit parasitären Pilzen reduzieren kann (Krauß, 1969).

Durch die Vielzahl an PSM(-Wirkstoffen) ist es jedoch kaum möglich alle Beziehungen konkret darzustellen oder zu berechnen. Dies spiegelt sich auch in der Zahl der dazu durchgeführten Studien wider. Trotz der grossen ökonomischen und politischen Relevanz dieser Kreuzpreiselastizitäten, konnten in einer Literaturrecherche nur in der Studie von Skevas et al. (2012) empirische Resultate gefunden werden. Insbesondere wurde hier die Kreuzpreiselastizität zwischen wenig und stark toxischen PSM analysiert und dabei eine 100% Abgabe auf stark toxische PSM simuliert, wobei wenig toxische PSM unversteuert blieben. Kurzfristig führte dies nur zu einer Reduktion von 0,03% bei stark toxischen PSM und zu einer Reduktion von 0,21% bei weniger toxischen PSM. Auch Muñoz Piña und Avila Forcada (2004, S. 35) verweisen auf dieses Zusammenspiel, ohne jedoch empirisch diese Kreuzpreiselastizitäten zu ermitteln. Stattdessen wird dort die Annahme von +1 für realistisch erachtet. Das heisst, Muñoz Piña und Avila Forcada (2004) gehen von einer perfekten Substitution zwischen den einzelnen Produkten aus.

Der oben beschriebene Elastizitätsansatz könnte aus pflanzenbaulicher Sicht jedoch zu einem Dilemma führen, falls für stark giftige PSM eine niedrige Elastizität angenommen wird (siehe auch Kapitel 5.1). Unter dieser Annahme müssten wenig elastische PSM häufig für aggressive oder schwer zu bekämpfende Schaderreger eingesetzt werden. Für das Beispiel Mais ist z.B. der Maiszünsler ein teilweise schwer zu bekämpfender Schaderreger, wenn kein *Bacillus thuringiensis*-(Bt)-Mais eingesetzt werden kann (Finger et al., 2011). Zur Bekämpfung reichen bei geringerem bis mittlerem Befall biologische PSM aus (Nützlinge wie die Schlupfwespe *Trichogramma* oder Bt-Präparate). Bei starkem Befall sind Insektizide jedoch deutlich effektiver (z.B. der PSM-Wirkstoff Indoxacarb; LfL, 2015b). Diese benötigen in der Schweiz bereits eine Son-

derbewilligung (Anhang 1 Ziffer 6.2.4, DZV). Unter einer nach Toxizität differenzierten Abgabe würden solche Insektizide zusätzlich vergleichsweise stark besteuert werden, wenn Sonderbewilligungen im Gegenzug nicht abgeschafft werden. So erhebt Dänemark seit der neureformierten PSM-Abgabe auf das Indoxacarb-haltige Insektizid Steward eine Abgabe in Höhe von 736 DKK/kg und auf das ebenfalls Indoxacarb-haltige Insektizid Avaunt 452 DKK/l (dabei allerdings keine Zulassung für Mais, Stand: Mai 2015; Miljøministeriet, 2015). Dies wäre eine zusätzliche Hürde für die Applikation, was zu Engpässen bei der PSM-Verfügbarkeit führen könnte, welche jedoch immer noch mehr Flexibilität lassen würde als ein Verbot einzelner Mittel. Um bei einer möglichen Abgabe solche Engpässe zu umgehen, wäre es sinnvoll, die Abgabe auch danach auszurichten, ob bereits Regelungen zu Gebrauchsminderung bestehen und ob es alternative Bekämpfungsmöglichkeiten gibt – sowohl auf chemischer, biologischer und kulturtechnischer Grundlage. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte, wäre eine Ausweitung der in der Erstellung der Abgabenhöhe bestimmenden Faktoren um eine weitere Dimension notwendig. Falls dies nicht berücksichtigt wird, würde es bedeuten, dass die Abgabe auch Auswirkungen auf das Produktionsprogramm von Landwirtinnen und Landwirten haben könnte.

Goetz et al. (2006) zeigen die Relevanz der *extensive margin*, also der Wirkung auf die flächenmässige Ausbreitung einer Kultur, in Ergänzung zur *intensive margin*, also der Wirkung auf die Anwendung pro Flächeneinheit, auf. Um diese abzuschätzen, muss auf einzelbetriebliche Modellierung zurückgegriffen werden. Darüber hinaus können Interdependenzen zwischen einzelnen Akteuren (z.B. via Märkte oder den Auswirkungen von Schädlingspopulationen) von grosser Relevanz sein, was eine agentenbasierte Modellierung bedingen würde (siehe z.B. Troost und Berger, 2015), wie es für die Schweizer Landwirtschaft mit dem Modell *Swissland* vorhanden ist (www.swissland.org, z.B. Möhring et al. 2010).

4.2 PSM-Einsatz und Einkommensrisiko

Im vorherigen Abschnitt wurde der PSM-Einsatz deterministisch analysiert. In diesem Abschnitt nutzen wir eine stochastische Perspektive auf diese Entscheidungen und zeigen, dass der optimale PSM-Einsatz stark von Unsicherheitsaspekten⁵⁵ abhängen kann. Beispielsweise ist der mögliche Schaden oder gar der Schaderregerdruck selbst oft zum Zeitpunkt der PSM-Anwendung nicht sicher vorherzusagen (z.B. Horowitz und Lichtenberg, 1994). Diese potentiell grosse Relevanz von Risikoaspekten wurde bereits in den Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts erkannt und diskutiert (z.B. Carlson, 1970; Hall und Norgaard, 1973). Daher wird dieser Unsicherheitsaspekt in der PSM-Literatur häufig explizit berücksichtigt oder in vielen neueren Arbeiten sogar in den Vordergrund gestellt (siehe Skevas et al., 2014, für einen aktuellen Überblick). Hierbei wird z.B. der Erwartungsnutzenansatz verwendet, in dem sowohl die Verteilung der jeweiligen Erfolgsgrössen als auch die Präferenzen des Entscheidungsträgers explizit abgebildet werden.

⁵⁵ An dieser Stelle sei angemerkt, dass wir die Begriffe Unsicherheit und Risiko synonym verwenden, da aufgrund des Vorhandenseins subjektiver Wahrscheinlichkeiten die Unterteilung à la Knight ausschliesslich akademisch ist (Moschini und Hennessy, 2001).

Neben Schaderregerdruck und Schadenshöhe sind auch Ertragsniveaus und Outputpreise stochastische Grössen, was zu angepassten Schlussfolgerungen bezüglich des Effektes von Risikopräferenzen führen kann (z.B. Horowitz und Lichtenberg, 1994).

4.2.1 Ansatz der Erwartungsnutzenmaximierung

In der Mehrzahl der Arbeiten wird bei der Darstellung der Entscheidung unter Unsicherheit/Risiko auf Erwartungsnutzenmaximierungsansätze zurückgegriffen. Möglichen Umweltzuständen e_i und die damit verbundenen Zustände der Erfolgsgrösse (z.B. Gewinn) $a(e_i)$ können Auftretenswahrscheinlichkeiten $Pr(a(e_i))$ zugeordnet werden. Die Bewertung einer bestimmten Realisierung der Erfolgsgrösse wird mittels einer Nutzenfunktion $U(\cdot)$ vorgenommen. Bezüglich der mit dieser Nutzenfunktion verbundenen Annahmen sei auf Chavas (2004) verwiesen. Der zu maximierende erwartete Nutzen ist wie folgt definiert: $EU(a) = \sum U(a(e_i))Pr(a(e_i))$. Für eine kontinuierliche Ausprägung von Umweltzuständen und dazugehörigen Erfolgsgrössen a (deren kumulative Dichtefunktion sei $F(a)$) kann der Erwartungsnutzen wie folgt dargestellt werden: $EU(a) = \int U(a)dF(a)$.

Basierend auf den Eigenschaften der Nutzenfunktion kann hier risikoneutrales (d.h. profitmaximierendes), risikoaverses oder risikofreudiges Verhalten abgebildet werden. Es ist wichtig hervorzuheben, dass obschon empirische Studien oft zeigen, dass Landwirtinnen und Landwirte im Mittel oft risikoavers sind (Hardaker et al. 2004), Risikopräferenzen sehr heterogen sind. Das heisst, es gibt in der Regel sowohl risikofreudige, risikoaverse als auch risikoneutrale Landwirtinnen und Landwirte (siehe z.B. Gardebroek, 2006, und Meraner und Finger, 2016, für Beispiele der Heterogenität). Äquivalent zur Maximierung des Erwartungsnutzens ist die Maximierung des Sicherheitsäquivalents (*Certainty Equivalent, CE*) welches sich als Differenz der erwarteten Höhe einer stochastischen Erfolgsgrösse $E(a)$ und eines sogenannten Risikoprämie RP ergibt: $CE = E(a) - RP$. Das Sicherheitsäquivalent ist ein fixer (d.h. nicht-stochastischer) Betrag, für den der Entscheidungsträger indifferent zwischen diesem und der unsicheren Grösse a ist. Ist der Entscheidungsträger risikoavers, ist dieses Sicherheitsäquivalent kleiner als der Erwartungswert der Auszahlung ($CE < E(a)$). Die Risikoprämie gibt also an, auf welchen Betrag ein Entscheidungsträger zu verzichten bereit ist, um keinem Risiko ausgesetzt zu sein. Diese Risikoprämie gibt daher die impliziten Kosten des Risikos an. Die Spezifizierung der Risikoprämie beinhaltet zwei wichtige Komponenten: i) Das Risiko der Entscheidungssituation und ii) Die Risikopräferenz des Entscheidungsträgers. Zur Analyse des Einsatzes von PSM ist der Erwartungsnutzenansatz unter anderen attraktiv, da eine direkte Integration der oben eingeführten Produktionsfunktionskomponenten und Reduzierungen auf Mittelwert-Varianz Kriterien abgeleitet werden können (Hardaker et al., 2004), wobei die Varianz der Erfolgsgrösse hier als Mass des Risikos verwendet wird. Dieser Ansatz wird in folgenden Abschnitten des Berichtes noch ausführlicher eingeführt. Es sei aber noch auf weitere Ansätze (wie der Realoptionen-Ansatz und der zustandsabhängige Ansatz) verwiesen, die in der Literatur in einem geringeren Umfang Anwendung finden. Die Wahl des zugrunde liegenden Entscheidungskriteriums beeinflusst die zu treffenden Aussage bezüglich des PSM-Einsatzes und allfälliger Politikmassnahmen. Eine Vorstellung und Diskussion dieser Ansätze und Übersicht über Literatur in Anwendung zu PSM findet sich im Anhang F.

Ist die Risikoprämie ungleich Null, gilt die Darstellung des Wertgrenzproduktes aus dem vorherigen Abschnitt nicht mehr, sondern muss um die marginale Risikoprämie ergänzt werden. Dies hat zentrale Implikationen für die Wirkung von Steuern (siehe z.B. Finger, 2012a, für eine Analyse zur N-Besteuerung unter Risiko). Ist die marginale Risikoprämie von PSM positiv, d.h. die Landwirtin bzw. der Landwirt ist risikoavers und PSM risikoreduzierend, so ist das Wertgrenzprodukt grösser als im profitmaximierenden Fall und eine Reduktion durch eine PSM-Abgabe wäre, *ceteris paribus*, kleiner. Im Gegenteil, ist ein PSM risikoe erhöhend, würden geringere Abgaben benötigt werden, um eine Mengenreduktion hervorzurufen (siehe dazu auch das folgende Unterkapitel, Gleichung 15).

4.2.2 Mikroökonomische Analyse der Risikowirkung von PSM

In diesem Abschnitt wird analysiert, wie der Einsatz von PSM das Risiko (ausgedrückt durch Schwankungen der Zielgrösse, z.B. des Deckungsbeitrags) beeinflusst. Das Vorzeichen dieses Zusammenhanges hat weitreichende Implikationen auf die optimale Ausgestaltung von Politikmassnahmen. Sind PSM risikoe erhöhend, sind Versicherungen keine möglichen Substitute, sondern Komplemente. Zudem führt bei risikoe erhöhenden PSM eine Reduktion der Risikoaversion durch Direktzahlungen (Koundouri et al. 2009) zu einer Erhöhung des PSM-Einsatzes. Da die bestehenden Übersichten zu den empirischen Arbeiten zur Risikowirkung von PSM veraltet sind (e.g. Horowitz und Lichtenberg, 1994; Fernandez-Cornejo et al., 1998; Marra und Carlson, 2002), wurde im Rahmen dieser Studie eine umfassendere Literaturanalyse durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden in bibliografischen Datenbanken wie Scopus und Google Scholar nach den *key words* „pesticides“, zusammen mit „risk“, „risk increasing“ und „risk decreasing“ gesucht. Wir fokussieren uns auf Arbeiten, die die Risikowirkung von PSM empirisch untersucht haben und halten insbesondere die Kernaussage: risikoe erhöhend, -reduzierend oder -neutral, sowie Charakteristika der Studie fest. Das Resultat dieser Literaturanalyse zur Risikowirkung von PSM ist in Tabelle 6 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die oft postulierte Einschätzung einer risikoreduzierenden Wirkung von PSM nicht in allen empirischen Arbeiten gestützt wird, d.h. PSM können auch risikoe erhöhend wirken oder keinen Einfluss auf Produktionsrisiken haben.

Box 6 PSM und Risikoverhalten

Die Berücksichtigung von Risikoaspekten kann von zentraler Bedeutung für die Analyse des PSM-Einsatzes und die Wirkung von PSM-Abgaben sein. Sind PSM risikoreduzierend, setzen risikoaverse Landwirtinnen und Landwirte, *ceteris paribus*, eine grössere als die gewinnmaximierende Menge PSM ein. Eine Literaturanalyse zeigt jedoch, dass PSM oft nicht risikoreduzierend sondern risikoe erhöhend wirken. Eine theoretische Analyse verschiedener Mechanismen, wie PSM auf Ertrags- und Erlösvariabilitäten wirken können, zeigt, dass die Risikowirkung von der spezifischen Kombination aus Kultur, Anbausystem und berücksichtigtem PSM abhängt. Die nicht notwendigerweise risikoreduzierende Wirkung von PSM ist ein erstes Indiz, dass eine Ertrags- oder Erlösversicherung nicht notwendigerweise ein Substitut zum PSM-Einsatz darstellen muss.

Tabelle 6: Literaturanalyse zur Risikowirkung von PSM

Studie	Studienobjekt	Anmerkung
PSM sind risikoerhöhend		
Farnsworth und Moffitt (1981)	Baumwollproduktion in Kalifornien	Daten für 41 Betriebe. Outputs und Inputs sind in monetären Termen erfasst. PSM-Anwendung bezieht sich auf Insektizide.
Antle (1988)	Tomatenproduktion in Kalifornien	
Regev et al. (1997)	Fungizide in Schweizer Weizenproduktion	898 Beobachtungen Schweizer Weizenproduzenten über den Zeitraum 1984-1991. Die erklärende Variable ist die Anzahl Anwendungen von Fungiziden
Di Falco und Chavas (2006)	PSM erhöht bei italienischen Weizenproduzenten das Downside-Risiko, d.h. reduziert die Schiefe	60 sizilianische Betriebe. Ertrag (kg/ha) und PSM (l/ha) sind in Mengengrössen erfasst. Die Varianz wird jedoch reduziert
Gardebroek et al. (2010)	Spezialisierte Ackerbaubetriebe in den Niederlanden	Ein unbalanciertes Panel mit 3200 Beobachtungen konventioneller Betriebe für den Zeitraum 1990–1999 wurde verwendet. Für Biobetriebe wurde kein Zusammenhang zwischen PSM-Einsatz und Risiko gefunden. Outputs und (PSM) Inputs sind in monetären Termen erfasst.

Fortsetzung Tabelle 6

Koundouri, und Nauges, (2005)	Gemüse- und Getreideproduzenten in Zypern.	Es wurden 239 Betriebe im Jahr 1998 befragt. Outputs und (PSM) Inputs sind in monetären Termen erfasst. Eine Korrektur um die Selektionswahrscheinlichkeit der Betriebe zu den analysierten Kulturen wurde vorgenommen.
-------------------------------	--	---

PSM sind risikoreduzierend

Carpentier und Weaver (1997)	Französische Betriebe	Paneldatensatz (496 Betriebe, 1987-1990)
Di Falco und Chavas (2006)	PSM reduziert bei italienischen Weizenproduzenten die Varianz	60 sizilianische Betriebe. Ertrag (kg/ha) und PSM (l/ha) sind in Mengengrössen erfasst. Das <i>downside</i> – Risiko steigt jedoch
Koundouri et al. (2009)	Finnische Betriebe	Paneldatensatz über den Zeitraum 1992–2003 mit totalen 443 Beobachtungen. Erträgen sind in Mengen, PSM in monetären Termen erfasst.
Liu und Huang (2013)	Risikoaverse Baumwollproduzenten in China setzen grössere Mengen von PSM ein	Landwirtinnen und Landwirte mit einer höheren Verlustaversion (<i>loss aversion</i>) setzen weniger PSM ein. ⁵⁶ Daten für 320 Betriebe (940 <i>plots</i>), PSM Einsatz in kg/ha.

PSM sind risikoneutral

Hurd (1994)	Baumwollproduzenten in Kalifornien	Verwendung von 94 Beobachtungen auf Feldebene. Ausgaben für PSM als Proxy für Einsatz.
-------------	------------------------------------	--

Quelle: Eigene Darstellung.

⁵⁶ Aber Liu und Huang (2013) zeigen auch, dass Landwirtinnen und Landwirte mit einer höheren Verlustaversion (*loss aversion*) weniger PSM einsetzten. Sie begründen dieses Resultat damit, dass dies innerhalb ihres konzeptionellen Rahmens sei, da Landwirtinnen und Landwirten mit einer höheren Verlustaversion eine steigende Relevanz des Faktors „Gesundheit“ zugeschrieben wird (Gesundheit ist wichtiger als finanzielle Anreize).

Die Literaturanalyse zeigt, dass PSM nicht notwendigerweise risikoreduzierend sein müssen. Aufgrund der grossen Heterogenität der Ergebnisse ist es notwendig, im Rahmen dieses Berichtes spezifische Fälle und Mechanismen deutlicher hervorzuheben, in denen PSM risikoreduzierend- oder steigernd wirken können. Zu diesem Zweck erweitern wir die bisher präsentierten Konzepte um stochastische Komponenten, welche in verschiedenen Szenarien diskutiert werden. Des Weiteren wird versucht, Anwendungen für die Schweizer Landwirtschaft zu identifizieren.

Ausgangspunkt ist die oben eingeführte Produktionsfunktion $f(\cdot)$, die den Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Produktionsfaktoren x und Erträgen aus landwirtschaftlichen Kulturen y abbildet $y = f(x)$, unter der Annahme, dass ein höherer Inputeinsatz einen höheren Ertrag bewirkt, $\frac{\partial f(x)}{\partial x} > 0$.

Wir betrachten zudem den Effekt von Inputeinsatz auf das Risiko der Produktion (d.h. die Variabilität der Erträge). Dazu definieren wir die stochastischen Umweltbedingungen (z.B. Niederschlags- oder Temperaturschwankungen), die die Produktion beeinflussen als ε , sodass $f(x, \varepsilon)$. Umweltzustände können geordnet werden und führen, *ceteris paribus*, zu einem höheren Ertrag: $\frac{\partial f(x, \varepsilon)}{\partial \varepsilon} > 0$.

Multiplikative oder additive Verknüpfungen der stochastischen Umweltbedingungen mit der Produktionsfunktion führen zu stark restriktiven Annahmen bezüglich des Einflusses von Inputs auf die Varianz des Ertrages.⁵⁷ Im Gegensatz dazu erlaubt die folgende Spezifizierung nach Just und Pope (1978, 1979) eine flexible Berücksichtigung dieser Beziehung, d.h. Inputs können i) risikoe erhöhend, ii) risikoreduzierend oder iii) ohne Einfluss auf das Risiko sein:

$$(11) \quad y = f(x, \varepsilon) = g(x) + \varepsilon[l(x)]^{1/2},$$

wobei $l(x)$ den Effekt des Inputeinsatzes auf die Ertragsvariabilität determiniert. Die Varianz des Ertrages hängt also von der Variabilität der Umweltbedingungen und dem Inputeinsatz ab ($Var(y) = Var(\varepsilon)l(x)$). Ein Input ist risikoe erhöhend, risikoreduzierend oder hat keinen Effekt auf Produktionsrisiken, wenn: $\frac{\partial l(x)}{\partial x} > 0$, $\frac{\partial l(x)}{\partial x} < 0$ oder $\frac{\partial l(x)}{\partial x} = 0$. Beispiele für risikoe erhöhende und risikoreduzierende Inputs sind N-Dünger (aufgrund höheren, aber auch variableren Ernteerträgen) beziehungsweise Bewässerung (z.B. Finger, 2012a, b).

Gegeben schwankender Produktionsniveaus ist die Zielgrösse (z.B. Profit oder Deckungsbeitrag) nun also stochastisch, deren Erwartungswert eine Funktion des Inputeinsatzes und deren Variabilität eine Funktion der Umweltzustände und des Inputeinsatzes ist:

$$(12) \quad \pi(x, \varepsilon) = pf(x, \varepsilon) - wx,$$

p und w stehen für deterministische Output- respektive Inputpreise.

⁵⁷ Insbesondere führen additive Ansätze (z.B. $y(x, \varepsilon) = f(x) + \varepsilon$) dazu, dass der Inputeinsatz keinen Einfluss auf die Ertragsvariabilität hat, und multiplikative Ansätze (z.B. $y(x, \varepsilon) = \varepsilon f(x)$) dazu, dass Inputs immer risikosteigernd sind (z.B. Chavas, 2004).

Erwartungswert und Varianz dieses Deckungsbeitrages sind daher:

$$(13) \quad \begin{aligned} E(\pi(x, \varepsilon)) &= pg(x) - wx \\ \text{Var}(\pi(x, \varepsilon)) &= p^2 \text{Var}(\varepsilon) l(x) \end{aligned}$$

Das Sicherheitsäquivalent $CE = E(a) - RP$ kann nun weiter spezifiziert werden. Die Risikoprämie RP kann vereinfachend wie folgt approximiert werden:⁵⁸ $RP \approx 0,5r\text{Var}(\pi)$, wobei r der Koeffizient der Risikoaversion nach Arrow-Patt ist (definiert als $r \equiv -\frac{\partial^2 U}{\partial \pi^2} / \frac{\partial U}{\partial \pi}$, wobei $U(\cdot)$ die Nutzenfunktion des Entscheidungsträgers darstellt). Ist der Entscheidungsträger risikoavers, risikoliebend oder risikoneutral, so ist $r > 0, r < 0$ oder $r = 0$.

Zur Berücksichtigung von Risikoaspekten in optimalen Entscheidungen, werden diese nun über ein Sicherheitsäquivalentmaximierungsproblem anstatt über ein Profitmaximierungsproblem bestimmt.

In unserem allgemeinen Beispiel ist das Sicherheitsäquivalent gleich:

$$(14) \quad CE \approx pg(x) - wx - 0,5 r p^2 \text{Var}(\varepsilon) l(x).$$

Das Maximum des CE wird erreicht, wenn die Wahl des PSM-Einsatzes folgende Bedingung erfüllt:

$$(15) \quad \frac{\partial CE}{\partial x} \approx p \frac{\partial g(x)}{\partial x} - w - 0,5 r p^2 \text{Var}(\varepsilon) \frac{\partial l(x)}{\partial x} = 0$$

Im Falle eines risikoneutralen Entscheidungsträgers ($r = 0$) reduziert sich dieser Ausdruck zum Profitmaximierungsproblem in dem im Optimum das Wertgrenzprodukt des Inputs gleich den Kosten dieses Inputs in Höhe des Faktorpreises w sind, $p \frac{\partial g(x)}{\partial x} = w$. Der Term $0,5 r p^2 \text{Var}(\varepsilon) \frac{\partial l(x)}{\partial x}$ stellt die marginale Risikoprämie dar, welche die zusätzlichen impliziten „Kosten“ des Risikos ausdrückt, die dem Entscheidungsträger durch den Einsatz einer weiteren Einheit x entstehen. Ist der Input risikoerhöhend (risikoreduzierend) und der Entscheidungsträger risikoavers, so ist die optimale Einsatzmenge eines Inputs kleiner (grösser) als in der profitmaximierenden Situation. Das heisst, wären zum Beispiel PSM risikoreduzierend (risikoerhöhend), so würden i) von einem risikoaversen Landwirt mehr (weniger) PSM eingesetzt, als dies zur Maximierung des erwarteten Gewinns nötig wäre und ii) mit höherer Risikoaversion mehr (weniger) PSM eingesetzt werden.

Eine typische Annahme ist, dass PSM das Produktionsrisiko reduzieren und Landwirtinnen und Landwirte risikoavers sind. Daraus wurde die These abgeleitet, dass mit einer Reduktion der Unsicherheit bezüglich der Umweltbedingungen (z.B. der Reduktion von $\text{Var}(\varepsilon)$ mittels einer Ertragsversicherung) oder der Reduktion der Risikoaversion (z.B. mittels eines Einkommens-transfers), eine Reduktion des PSM-Einsatzes induziert werden kann. Beide Annahmen sind

⁵⁸ Der Relevanz von *downside*-Risiken Rechnung tragend, kann hier durch eine Erweiterung auf höhere Momente der Verteilung wie Schiefe eine sinnvolle Ergänzung vorgenommen werden (siehe z.B. Finger, 2013, für Beispiele).

nicht notwendigerweise immer erfüllt. Im Folgenden wird der Effekt des PSM-Einsatzes auf das Risiko (d.h. die Variabilität des Einkommens) näher betrachtet.

4.2.2.1 Anwendung auf PSM

Das oben präsentierte Modell wird nun erweitert, in dem die Umweltzustände ε differenziert werden, die für den Ertrag (θ) und den Schaderregerdruck (ω) relevant sind: $\varepsilon = \{\theta, \omega\}$. Die stochastische Produktionsfunktion ist nun $f(x, \theta, \omega)$. Ein grösserer Wert von θ repräsentiert bessere Wachstumsbedingungen, $\frac{\partial f(x, \theta, \omega)}{\partial \theta} > 0$, und ein grösserer Wert von ω schlechtere Bedingungen für den Schaderregerdruck (z.B. tiefere Schaderregerpopulationen durch stärkere Populationen natürlicher Feinde, geringe Ertragswirkungen der Schaderregerpopulation), $\frac{\partial f(x, \theta, \omega)}{\partial \omega} > 0$. Im Folgenden fokussieren wir uns auf die schadensreduzierende, ertragssteigernde, Wirkung des Einsatzes von PSM, d.h. $\frac{\partial f(x, \theta, \omega)}{\partial x} > 0$.⁵⁹ Um dies abzubilden, spezifizieren wir die Produktionsfunktion als:

$$(16) \quad f(x, \theta, \omega) = h(\theta)(1 - d(x, \omega)),$$

wobei $h(\theta)$ der potentielle Output und $d(x, \omega)$ der Anteil des Ertragsverlustes ist, welcher durch den Einsatz von PSM reduziert wird, sodass gilt: $\frac{\partial d(x, \omega)}{\partial x} < 0$. Beide Grössen ($h(\theta)$ und $d(x, \omega)$) sind stochastisch und hängen von den Umweltbedingungen ab. Der Anteil des Ertragsverlustes wird durch den Einsatz von PSM reduziert, sodass gilt: $\frac{\partial d(x, \omega)}{\partial x} < 0$. Die oben beschriebenen Effekte der Umweltzustände auf Ertrag und Schaderregerdruck implizieren $\frac{\partial d(x, \omega)}{\partial \omega} < 0$ (der potentielle Anteil des zusätzlichen Outputs sinkt mit steigendem ω) und $\frac{\partial h(\theta)}{\partial \theta} > 0$ (die Ertragspotentiale steigen in θ).

Basierend auf diesen Grundlagen analysieren Horowitz und Lichtenberg (1994) verschiedene Fälle, wie der Einsatz von PSM die Variabilität von Deckungsbeiträgen oder Gewinnen (d.h. das Einkommensrisiko) verändert. Im Folgenden greifen wir diese Argumentationskette von Horowitz und Lichtenberg (1994) auf, erweitern sie punktuell, präsentieren alternative Darstellungen zur Illustration der jeweiligen Aussagen und verknüpfen die Fälle mit Anwendungen zur schweizerischen Landwirtschaft. Die Ergebnisse werden am Ende dieses Abschnitts in Tabelle 7 zusammengefasst.

4.2.2.2 Fall 1: Stochastischer Schaderregerdruck

Im ersten Fall liegt ausschliesslich ein stochastischer Schaderregerdruck vor, sodass Ertragspotentiale und die sie determinierenden Umweltbedingungen als fix angesehen ($\bar{\theta}$) werden. Das heisst, in Abwesenheit von Schaderregerdruck würden jedes Jahr identische Erträge in Höhe von $h(\bar{\theta})$ realisiert. Es gilt:

$$(17) \quad f(x, \bar{\theta}, \omega) = h(\bar{\theta})(1 - d(x, \omega))$$

Die Varianz des Ertrags ist daher über den Verschiebungssatz vereinfacht darstellbar als:

⁵⁹ Wie in Abschnitt 4.1.2 eingeführt, gibt es auch Spezifizierungen, die Beschreibung der ertragsreduzierenden Wirkung (d.h. ein negatives Grenzprodukt) des PSM-Einsatzes erlauben (Guan et al., 2005).

$$(18) \quad \text{Var} \left(f(x, \bar{\theta}, \omega) \right) = E \left[\left(f(x, \bar{\theta}, \omega) - E \left(f(x, \bar{\theta}, \omega) \right) \right)^2 \right] = h(\bar{\theta})^2 \text{Var}(d(x, \omega))$$

Die marginale Schadvermeidung (gemessen in absoluten Einheiten des Ertrages) durch PSM-Einsatz ist in Situationen mit hohem Schaderregerdruck, d.h. tiefen ω , grösser als in Situationen mit kleinem Schaderregerdruck, d.h. hohen ω . Das bedeutet, dass $\frac{\partial^2 f(x, \bar{\theta}, \omega)}{\partial x \partial \omega} < 0$, was damit impliziert, dass $\frac{\partial^2 d(x, \omega)}{\partial x \partial \omega} > 0$ (im Anhang G wird dieser Zusammenhang für ein Beispiel bewiesen). Dies spiegelt die intuitive und realistische Annahme wider, dass die Wirkung einer eingesetzten Einheit PSM mit grösserer Relevanz des Schaderregerdrucks steigt. Aus diesen Zusammenhängen resultiert, dass $\frac{\partial \text{Var}(d(x, \omega))}{\partial x} < 0$, d.h. dass der PSM-Einsatz risikoreduzierend wirkt. Das heisst, in einer Situation, in der ausschliesslich der Schaderregerdruck eine stochastische Grösse darstellt, hat der PSM-Einsatz eine risikoreduzierende Wirkung. Dieses Ergebnis resultiert allerdings aus den zu restriktiven Annahmen und erscheint daher nur für bestimmte Konstellationen realistisch. Insbesondere betrifft dies die in diesem Fall getroffene Annahme, dass die Ertragsvariabilität nur vom Schaderregerdruck abhängt. Es schliesst daher nur Fälle ein, in denen ein sehr hohes Mass an Kontrolle der Wachstumsbedingungen vorgenommen wird. Dies kann zum Beispiel durch den Einsatz von Bewässerung und weiteren physischen Risikoreduktionsmassnahmen (z.B. Hagelnetze) geschehen. Zudem müssen nicht kontrollierte Bedingungen (z.B. Temperatursummen) nicht stark variieren. Der Schaderregerdruck jedoch bleibt schwer zu prognostizieren und zu kontrollieren und stellt somit eine signifikante Risikoquelle dar. Als Anwendungsbeispiel für solche Bedingungen geben Horowitz und Lichtenberg (1994) bewässerte Kulturen in semiariden Gebieten an.

In der Schweiz könnte man hier Parallelen zu Produktionsverfahren im Obst- und Gemüsebau ziehen, in denen Ertragsschwankungen durch Bewässerung, Hagelnetze und ähnliches vermieden werden, der Schaderregerdruck aber von Anbauperiode zu Anbauperiode zum Teil stark variiert.

4.2.2.3 Fall 2: Stochastische Produktionsmengen

Der zweite Fall fokussiert sich auf die Situation mit stochastischen Umweltbedingungen, die ausschliesslich das Ertragspotential nicht aber den Schaderregerdruck beeinflussen. Die den Schaderregerdruck beeinflussenden Umweltbedingungen werden als deterministisch angesehen, d.h. $\bar{\omega}$.

$$(19) \quad f(x, \theta, \bar{\omega}) = h(\theta)(1 - d(x, \bar{\omega}))$$

Die marginale Schadvermeidung (gemessen in Einheiten des Ertrags) durch PSM-Einsatz ist nun abhängig vom Umweltzustand θ . Diese ertragsverlustreduzierende Wirkung steigt mit besseren Produktionsbedingungen, $\frac{\partial^2 f(x, \theta, \bar{\omega})}{\partial x \partial \theta} = -\frac{\partial h(\theta)}{\partial \theta} \frac{\partial d(x, \bar{\omega})}{\partial x} > 0$. Bei hohen Ertragspotentialen resultiert der PSM-Einsatz in höheren Ertragssteigerungen (Reduktion der Ertragsverluste). Das heisst, die ertragserhöhende Wirkung wäre unter schlechten Umweltbedingungen kleiner als unter guten Umweltbedingungen. Dadurch steigt die Varianz der Erträge durch die Anwendung von PSM. Analytisch kann dies mittels der Varianz des physischen Ertrages gezeigt werden:

$$(20) \quad \text{Var}(f(x, \theta, \bar{\omega})) = E \left[\left(f(x, \theta, \bar{\omega}) - E(f(x, \theta, \bar{\omega})) \right)^2 \right] = \text{Var}(h(\theta))(1 - d(x, \bar{\omega}))^2$$

Der Effekt von PSM-Einsatz auf die Varianz des Ertrages ist dementsprechend:

$$(21) \quad \frac{\partial \text{Var}(f(x, \theta, \bar{\omega}))}{\partial x} = \text{Var}(h(\theta))2(1 - d(x, \bar{\omega})) \left(-\frac{\partial d(x, \bar{\omega})}{\partial x} \right) > 0$$

Da PSM im Optimum eine ertragsverlustreduzierende Wirkung haben, d.h. $\frac{\partial d(x, \bar{\omega})}{\partial x} < 0$, sind PSM in der hier skizzierten Situation risikoerhöhend. Auch hier wird aufgrund der Annahme deterministischer anderer Faktoren von steigenden Produktionsschwankungen auf höheres finanzielles Risiko geschlossen. Wichtig ist jedoch anzumerken, dass PSM immer noch zu höheren Erträgen führen – aber auch die Ertragsvariabilität erhöhen.⁶⁰ Der Investition in PSM steht damit bei steigendem Einsatz ein unsichereres Wertgrenzprodukt gegenüber, was für einen risikoaversen im Vergleich zu einem risikoneutralen Entscheidungsträger, *ceteris paribus*, eine geringere optimale Einsatzmenge bedingt.

Die hier skizzierte Situation ist relevant, wenn z.B. der Schaderregerdruck stark aus der Vorperiode determiniert wird, d.h. nicht mehr deutlich durch Witterungsbedingungen beeinflusst wird, und daher nicht stochastisch sondern deterministisch ist. Zudem können Situationen, in denen der Schaderregerdruck konstant hoch ist, z.B. jedes Jahr wieder gleich stark ist, zu risikoerhöhenden Wirkungen des PSM-Einsatzes führen. Dieser Fall wird von Pannell (1990) anhand des Beispiel von Raygras (*Lolium rigidum*) illustriert, wo der Unkrautdruck primär aus dem Vorkommen des Vorjahres und Management am Beginn der Wachstumsperiode determiniert ist, innerhalb dieser aber als deterministisch angesehen werden kann. Allgemein könnte dieser Wirkungsmechanismus daher insbesondere für den Herbizideinsatz relevant sein.⁶¹

4.2.2.4 Fall 3 Preise als einzige stochastische Grösse

In den vorherigen Fällen sind wir von deterministischen Outputpreisen ausgegangen. Die Preisvolatilität in der Schweizer Landwirtschaft ist zwar deutlich geringer als in anderen Europäischen Ländern, jedoch stark kulturspezifisch (Finger und El Benni, 2012). Im folgenden Fall nehmen wir an, nur der Erzeugerpreis sei volatil, sodass das Ertragspotential und der Schaderregerdruck deterministisch sind. Es zeigt sich, dass in diesem Fall der Einsatz von PSM risikoerhöhend ist. Das heisst, die Rückflüsse aus dem PSM-Einsatz sind nicht deterministisch und erhöhen, *ceteris paribus*, die Varianz des Erlöses. Die Varianz des Produktes aus volatilen Preisen \tilde{P} und deterministischen Erträgen ist gleich:

$$(22) \quad \text{Var}(\pi = \tilde{P} \cdot f(x, \bar{\theta}, \bar{\omega})) = \text{Var}(\tilde{P})f(x, \bar{\theta}, \bar{\omega})^2.$$

⁶⁰ Daher ist der Begriff steigendes Risiko in diesem Fall eher unscharf, da nicht eineindeutig ein mittelwerterhaltender Anstieg der Varianz (*mean preserving spread*) zu beobachten ist (vgl. Rothschild und Stiglitz, 1970). Das Sicherheitsäquivalent gibt Möglichkeiten diesen *trade-off* anhand spezifischer, individueller Präferenzen auszu-leuchten. Stochastische Dominanzkriterien geben den allgemeingültigen Rahmen für diese Aussagen.

⁶¹ Des Weiteren könnte hier eine sehr gute Prognose als Beispiel für deterministischen Schädlingdruck dienen (siehe Hirschi et al., 2012).

Da der PSM-Einsatz verlustreduzierend (den realisierten Ertrag erhöhend) wirkt, steigt die Varianz des Deckungsbeitrages mit Nutzung von PSM:

$$(23) \quad \frac{\partial \text{Var}(\pi)}{\partial x} = \text{Var}(\tilde{P}) 2f(x, \bar{\theta}, \bar{\omega}) \frac{\partial f(x, \bar{\theta}, \bar{\omega})}{\partial x} > 0$$

Mit zunehmender Risikoaversion des Entscheidungsträgers würde hier also, *ceteris paribus*, weniger PSM eingesetzt werden. In dieser Situation liegen also sehr kontrollierte Produktionsbedingungen vor, in denen sowohl das Ertragspotential als auch der Schaderregerdruck keinen starken Schwankungen oder Unsicherheiten unterworfen sind. Diese Situation ist in Gewächshauskulturen zu finden, in denen sowohl die Produktionsbedingungen konstant gehalten werden können als auch ein nicht stochastischer Schädlingsdruck vorliegt.

4.2.2.5 Fall 4: PSM Einsatz zur Qualitätsverbesserung

Babcock et al. (1992) zeigen in einem Beispiel der Apfelproduktion, dass PSM-Einsatz oft nicht zwingend ertragswirksam ist (in physischen Mengen der Produktion), sondern als entscheidender Faktor die Produktqualität beeinflusst. Eine höhere Produktqualität (z.B. geringere Schäden im Obst oder geringere Mykotoxin-Werte im Getreide), aber auch verbesserte kosmetische Erscheinung bei Früchten und Gemüse (Waterfield und Zilberman, 2012, S. 224) führen zu höheren Erzeugerpreisen, d.h. $\frac{\partial P}{\partial x} > 0$. Wie in Fall 2 nehmen wir an, dass stochastische Umweltbedingungen vorliegen, die ausschliesslich das Ertragspotential nicht aber den Schaderregerdruck beeinflussen, d.h. $f(x, \theta, \bar{\omega}) = h(\theta)(1 - d(x, \bar{\omega}))$. Zur Vereinfachung wird zudem angenommen, dass die Outputpreise nur durch das Qualitätsniveau beeinflusst werden, sonst aber deterministisch sind. Die Varianz des Erlöses ist also:

$$(24) \quad \text{Var}(\pi = P \cdot f(x, \theta, \bar{\omega})) = P^2 \left[\text{Var}(h(\theta))(1 - d(x, \bar{\omega}))^2 \right]$$

Der marginale ertragserhöhende Effekt ist unter guten Umweltbedingungen grösser als unter schlechten Umweltbedingungen. Dieser die Varianz der Produktionsmenge erhöhende Effekt wird nun noch dadurch verstärkt, dass auch die Qualitäten und damit die Preise durch den PSM-Einsatz steigen, das Wertgrenzprodukt des PSM-Einsatzes hängt also von dem Umweltzustand ab.⁶² In Situationen, in denen Ertragspotentiale hoch sind, sind die Grenzerlöse des PSM-Einsatzes höher als in Situationen mit tiefen Ertragspotentialen. Das heisst, der PSM-Einsatz erhöht zwar die Erlöse, aber auch deren Varianz:

$$(25) \quad \frac{\partial \text{Var}(\pi = P \cdot f(x, \theta, \bar{\omega}))}{\partial x} = 2 \frac{\partial P}{\partial x} \text{Var}(h(\theta))(1 - d(x, \bar{\omega}))^2 + P^2 \text{Var}(h(\theta)) 2(1 - d(x, \bar{\omega})) \left(-\frac{\partial d(x, \bar{\omega})}{\partial x} \right) > 0$$

⁶² Siehe auch das Beispiel von Gotsch und Regev (1996) zur schweizerischen Weizenproduktion und (niederschlagsabhängigen) Wertgrenzprodukten von Fungiziden.

Ein Beispiel für die hier skizzierte Konstellation können in der Obst- und Gemüseproduktion gefunden werden, in der der Schädlingsdruck insbesondere Qualitätskomponenten betrifft, aber in der Wachstumsphase tendenziell deterministisch ist.

4.2.2.6 Fall 5 Stochastische Produktionsmenge und stochastischer Schaderregerdruck

Im fünften Fall werden stochastische Umweltbedingungen betreffend sowohl des Ertragspotentials als auch des Schaderregerdrucks berücksichtigt.

$$(26) \quad f(x, \theta, \omega) = h(\theta)(1 - d(x, \omega))$$

Horowitz und Lichtenberg (1994) argumentieren, dass oft Situationen mit positiven Einfluss auf die Ertragspotentiale (ein hohes θ) mit guten Bedingungen für die Schaderregerpopulation einhergehen (tiefes ω). Eine gute Entwicklung der Zielkultur bedeutet dementsprechend auch gute Nahrungsangebote, z.B. für Schädlinge und/oder gute Bedingungen für unerwünschte Begleitkulturen oder Krankheiten. Aus diesem Grund kann eine negative Korrelation zwischen θ und ω angenommen werden, was eine positive Korrelation von $h(\theta)$ und $d(x, \omega)$ (oder negative Korrelation zwischen $h(\theta)$ und $1 - d(x, \omega)$) impliziert. Norton et al. (2016) weisen jedoch darauf hin, dass auch Wetterbedingungen, die dem Ertrag nicht zuträglich sind (in diesem Fall Kälte und Nässe) den Schaderregerdruck fördern können. Die Korrelation kann also auch positiv ausgestaltet sein. Der Zusammenhang ist also in hohem Masse schaderreger-, kultur- und regionsspezifisch.

Die Varianz der Produktionsmenge ist nun abhängig von der Varianz zweier miteinander korrelierter stochastischer Grössen $h(\theta)$ und $d(x, \omega)$ (nach Bohrnstedt und Goldberger, 1969):

$$(27) \quad \begin{aligned} \text{Var}(f(x, \theta, \omega)) &= E(h(\theta))^2 \text{Var}(1 - d(x, \omega)) + E(1 - d(x, \omega))^2 \text{Var}(h(\theta)) + \\ &\text{Var}(1 - d(x, \omega)) \text{Var}(h(\theta)) + 2E(h(\theta))E(1 - d(x, \omega)) \text{Cov}(h(\theta), 1 - \\ &d(x, \omega)) + \text{Cov}(h(\theta), 1 - d(x, \omega))^2 \end{aligned}$$

Der Effekt des Einsatzes von PSM auf diese Varianz ist:

$$(28) \quad \begin{aligned} \frac{\partial \text{Var}(f(x, \theta, \omega))}{\partial x} &= E(h(\theta))^2 \frac{\partial \text{Var}(1 - d(x, \omega))}{\partial x} \\ &+ 2E(1 - d(x, \omega)) \frac{\partial(1 - d(x, \omega))}{\partial x} \text{Var}(h(\theta)) \\ &+ \frac{\partial \text{Var}(1 - d(x, \omega))}{\partial x} \text{Var}(h(\theta)) \\ &+ \frac{\partial(1 - d(x, \omega))}{\partial x} 2E(h(\theta)) \text{Cov}(h(\theta), 1 - d(x, \omega)) \end{aligned}$$

Aus vorherigen Überlegungen ist bekannt, dass $\frac{\partial \text{Var}(1-d(x,\omega))}{\partial x} < 0$ (da $\frac{\partial \text{Var}(d(x,\omega))}{\partial x} < 0$), $\frac{\partial 1-d(x,\omega)}{\partial x} > 0$ (da $\frac{\partial d(x,\omega)}{\partial x} < 0$) und es wurde eine positive Korrelation von $h(\theta)$ und $d(x, \omega)$ angenommen, d.h. $\text{Cov}(h(\theta), 1 - d(x, \omega)) < 0$. Der Effekt des Einsatzes von PSM auf die

Varianz des Ertrages ist nicht eindeutig bestimmt, da der erste Term auf der rechten Seite von Gleichung (28) negativ, die weiteren Terme jedoch positiv sind. Horowitz und Lichtenberg (1994) zeigen an einem vereinfachten Beispiel jedoch, dass der PSM-Einsatz im Falle der hier angenommenen negativen Korrelation zwischen θ und ω zu einem risikoerhöhenden Effekt des PSM-Einsatzes führt.

Tabelle 7 fasst die in diesem Abschnitt analysierten Fälle zusammen. Eine eindeutig risikoreduzierende Wirkung von PSM gibt es nur in seltenen Fällen, wenn zum Beispiel der Schädlingsdruck die einzige stochastische Grösse ist. Die Heterogenität der Risikowirkung von PSM, die in den hier analysierten theoretischen Szenarien aufgezeigt wurde, erklärt die in Tabelle 6 dargestellte Heterogenität in den empirischen Arbeiten. Auch wenn die empirischen Arbeiten verschiedene Agrarsysteme abbilden, ist die Bandbreite der Literatur nicht ausreichend gross, um eine allgemeine Schlussfolgerung für die Schweizer Landwirtschaft zu ziehen. Im Gegenteil, die Resultate der theoretischen Analyse und der empirischen Studien zeigen, dass die risikoerhöhende oder risikoreduzierende Wirkung sehr spezifisch von der Kombination von Kultur, Anbaumethode und Schaderregerdruck abhängt.

Tabelle 7: Zusammenfassung Risikowirkung von PSM: verschiedenen theoretische Szenarien und möglichen Anwendungen auf die Schweizer Landwirtschaft

Fall	Risikowirkung von PSM	Anwendung auf die Schweiz	Anmerkung
I) Ausschliesslich der Schaderregerdruck ist stochastisch; andere Grössen der Ertragsbeeinflussung sind deterministisch	PSM wirken risikoreduzierend.	Produktionsverfahren im Obst- und Gemüsebau, in denen Ertragsschwankungen durch Bewässerung, Hagelnetze und ähnliches vermieden werden, der Schaderregerdruck aber von Anbauperiode zu Anbauperiode zum Teil stark variiert.	Risikoaverse Entscheider setzen, <i>ceteris paribus</i> , mehr PSM ein. Versicherungen wären ein Substitut für PSM.
II) Der Schaderregerdruck ist deterministisch; andere Grössen der Ertragsbeeinflussung sind stochastisch	PSM wirken risikorehöhend, da die erwarteten Rückflüsse aus dem PSM-Einsatz unsicher sind.	Fälle in denen Schädlingsdruck primär aus dem Vorkommen des Vorjahres und Management am Beginn der Wachstumsperiode determiniert sind. Insbesondere relevant für Unkräuter und Herbizideinsatz.	Risikoaverse Entscheider setzen, <i>ceteris paribus</i> , weniger PSM ein. Versicherungen wären ein Komplement für PSM.
III) Outputpreise sind die einzige stochastische Grösse; Erträge und Schädlingsdruck sind deterministisch.	PSM wirken risikorehöhend, da die erwarteten Rückflüsse aus dem PSM Einsatz unsicher sind.	Fälle von deterministischen Schädlingsdruck und wenig variablen sonstigen Produktionsbedingungen, jedoch mit ausgeprägter Preisvariabilität. Mögliche Anwendung auf Kulturen in Gewächshäusern.	
IV) Der Schaderregerdruck ist deterministisch; andere Grössen der Ertragsbeeinflussung sind stochastisch; und PSM-Einsatz zur Qualitätsverbesserung	PSM wirken risikorehöhend, da die in Fall II dargelegte Wirkung von PSM um eine Preisdimension erweitert wird.	Obst- und Gemüseproduktion, in der der Schädlingsdruck insbesondere Qualitätskomponenten betrifft, aber in der Wachstumsphase tendenziell deterministisch ist.	
V) Stochastische Produktionsmenge und stochastischer Schaderregerdruck	Nicht eindeutig, und u.a. abhängig von der Korrelation von Ertragspotential und Schaderregerdruck.	Häufigste Situation im Ackerbau, da in der Regel sowohl Schaderregerdruck als auch Produktionspotentiale nicht deterministisch sind.	

Quelle: Eigene Darstellung.

4.3 Diskussion und Schlussfolgerungen aus Kapitel 4

- Die Eigenpreiselastizität der Nachfrage nach PSM bemisst die Höhe der Verhaltensänderung im Falle eine Abgabeneinführung. Jedes PSM hat eine eigene Elastizität, da PSM als Produktkategorie sehr heterogen sind. Im nächsten Kapitel wird diese Preiselastizität der Nachfrage nach PSM in einer Meta-Analyse empirisch untersucht.
- Die Reduktion des PSM-Einsatzes wird u.a. durch das Wertgrenzprodukt des PSM-Einsatzes bestimmt. Falls Landwirtinnen und Landwirte einen höheren Nutzen bzw. Profit aus einer PSM-Anwendung ziehen als die dazugehörigen Kosten, wird mehr PSM eingesetzt und umgekehrt.
- Im Gegensatz zu ertragssteigenden Produktionsfaktoren wie beispielsweise Dünger, gelten PSM als schadenvermeidende bzw. schadenmindernde Produktionsfaktoren, deren Einsatz durch das Aufkommen von Schaderregern und Unkräutern bestimmt wird.
- Auch das Risikoverhalten der Landwirtinnen und Landwirte spielt potentiell eine wichtige Rolle beim PSM-Einsatz. Dabei wird zwischen risikoaversen, risikoneutralen und risikoaffinen Landwirtinnen und Landwirten unterschieden. Obschon Risikopräferenzen sehr heterogen sind, sind Landwirtinnen und Landwirte im Mittel risikoavers. Dies ist relevant, da risikoaverse Landwirtinnen und Landwirte, *ceteris paribus*, eine grössere als die gewinnmaximierende Menge PSM einsetzen, wenn diese risikoreduzierend sind.
- Unsere Analysen zeigen jedoch, dass PSM oft nicht notwendigerweise risikoreduzierend, sondern auch risikoerhöhend wirken können. Die jeweilige Risikowirkung hängt dabei stark von der spezifischen Kombination aus Kultur, Anbausystem und berücksichtigten PSM ab. Das heisst, das Zusammenspiel von Risikopräferenz ist nicht eindeutig, sondern kultur-, PSM- und landwirtschaftspezifisch. Diese Heterogenität gilt es bei der Ausgestaltung von Politikmassnahmen zu berücksichtigen.

5 Wirkung möglicher Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen: Analyse und Bewertung

Erfahrungen aus anderen Ländern (Kapitel 3) und theoretische Analysen (Kapitel 4) haben gezeigt, dass die Preiselastizität der Nachfrage ein massgebliches Kriterium für die Nutzung und Ausgestaltung einer Lenkungsabgabe auf PSM ist. In einer Meta-Analyse wird ein quantitativer Überblick zu Studien der Preiselastizität der PSM-Nachfrage und deren Determinanten gegeben. Ergebnisse der Meta-Analyse deuten auf eine signifikante, jedoch nicht grosse Elastizität hin. Diese Elastizität ist jedoch stark von den betroffenen Kulturen und Arten von PSM abhängig. Zudem ist die Nachfrage nach PSM in langfristig deutlich elastischer. In einem nächsten Schritt wird mittels eigener Berechnungen von Indikatoren zu Mengen, Intensität und potenziellem Risiko des PSM-Einsatzes der Schweizer PSM Einsatz von 2009-2013 analysiert. Dazu werden die Daten der Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren mit Informationen zu deren Formulierung, empfohlener Standarddosis und potenziellem Risiko für Umwelt und menschliche Gesundheit kombiniert, um Auskunft über den detaillierten PSM-Einsatz zu erhalten. Die in der Analyse aufgezeigte Heterogenität zwischen landwirtschaftlichen Betrieben bezüglich der analysierten Indikatoren zeigt mögliche Substitutionspotenziale zu anderen PSM oder nicht-chemischen Pflanzenschutzstrategien auf. Um die möglichen Auswirkungen einer differenzierten PSM-Abgabe zu verdeutlichen, wird eine gemäss den potenziellen Risiken differenzierte PSM-Abgabe (dänisches Modell) beispielhaft für die Schweiz simuliert. Ergebnisse zeigen, dass dies zu stark differenzierten Steuersätzen führt, die durchschnittliche Belastung der PSM jedoch gering ist. Eine Anpassung des Abgabensystems an spezifische Schweizer Erfordernisse wäre nötig und gut realisierbar.

Da die theoretische Analyse im vorhergehenden Kapitel gezeigt hat, dass bei der Bewertung möglicher Lenkungsabgaben auf PSM insbesondere die Preiselastizität der Nachfrage eine bedeutende Rolle spielt, präsentieren wir in **Abschnitt 5.1** daher zunächst eine umfassende und einzigartige **Meta-Studie zur Nachfrageelastizität nach PSM**.

In **Abschnitt 5.2** wird anhand von Daten der Zentralen Auswertung Umweltindikatoren (ZAAUI), in Kombination mit Informationen der *Pesticides Properties Database* (PPDB) und des Pflanzenschutzmittelverzeichnisses des BLW in einem Sample von Schweizer landwirtschaftlichen Betrieben für die Jahre 2009-2013 der **Pflanzenschutzmitteleinsatz in den Kernkulturen** detailliert analysiert. Dabei werden einerseits Dimensionen wie Wirkstoffmenge und Überfahrten, aber auch Intensität der Anwendung und potenzielles Risiko der eingesetzten Mittel für menschliche Gesundheit und Umwelt berücksichtigt. Die Meta-Analyse der Nachfrageelastizitäten zusammen mit der ausführlichen Analyse des Schweizer PSM-Einsatzes erlauben eine erste Empfehlung für die Ausgestaltung einer Lenkungsabgabe zu geben.

Abschliessend erfolgt in **Abschnitt 5.3** eine statische *ex-post* **Analyse einer hypothetischen PSM-Abgabe** für die Schweiz, basierend auf den Empfehlungen der Abschnitte 5.1 und 5.2.

Dabei werden die von der Abgabe gesetzten Anreize, aber auch mögliche Verteilungswirkungen analysiert.

Für alle Analysen werden zunächst kurz der Hintergrund und die verwendete Methodik besprochen, bevor die Analyse der Ergebnisse und eine Zusammenfassung erfolgen.

5.1 Analyse der Preiselastizität der Nachfrage

Die empirische Analyse der Preiselastizität der Nachfrage nach PSM war Bestandteil einer Vielzahl von Studien. Die dort identifizierten Werte sind eine wichtige Grundlage für Politikentscheidungen, Benchmark für positive Analysen des PSM-Einsatzes und oft wichtiger Input für normative Modelle. Daher wurden in verschiedenen Arbeiten tabellarische Übersichten über Nachfrageelastizitäten nach PSM gegeben (z.B. Fernandez-Cornejo et al., 1998; Hoevenagel et al., 1999; Falconer und Hodge, 2000; Skevas et al., 2013; Möckel et al., 2015). Diese Übersichten haben jedoch keine Studien nach dem Jahr 1998 berücksichtigt. Darüber hinaus wurde keine Meta-Analyse durchgeführt, die es erlaubt, relevante Determinanten der Nachfrageelastizität nach PSM zu identifizieren und wichtige Trends zu isolieren. Dieses Unterkapitel analysiert zunächst systematisch die bestehenden Studien im Rahmen einer Meta-Analyse. Im darauf folgenden Abschnitt werden zudem einige Ergebnisse grafisch erläutert.

5.1.1 Eine Meta-Analyse zur Preiselastizität der Nachfrage nach PSM⁶³

Basierend auf den vorherigen Ausführungen in diesem Bericht sind insbesondere folgende Aspekte für eine Meta-Analyse relevant: Die Unterscheidung von kurz- und langfristigen Effekten einer Preiserhöhung, die Unterscheidung der Nachfrageelastizität nach Kulturen und Arten von PSM sowie die Entwicklung von Nachfrageelastizitäten über die Zeit.

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine neue Literaturübersicht erstellt, die alle Arbeiten in Europa und Nordamerika umfasst, in denen Nachfrageelastizitäten nach PSM berechnet wurden. Um diese Studien zu identifizieren, wurde in bibliografischen Datenbanken wie Scopus und Google Scholar nach den *key words* "pesticide tax/levy/charge" zusammen mit "elasticity" (Singular und Plural, in verschiedenen Sprachen) gesucht. Es wurden 31 Veröffentlichungen mit insgesamt 94 Beobachtungen zu Nachfrageelastizitäten identifiziert. Eine Studie kann mehrere Beobachtungen beinhalten, wenn zum Beispiel Elastizitäten für verschieden Kulturen, Regionen und Arten von PSM betrachtet werden. Von den identifizierten Studien wurden folgende Variablen erhoben:

i) Das Publikationsjahr, ii) Der Analysezeitraum/Zeitraum der Datenerhebung, iii) Das Land bzw. die Region, iv) Das analysierte Anbausystem mit Einteilung in Acker-/Grünland, Spezialkulturen (Obst-, Garten- und Weinbau) und einem aggregierten Sektor, falls keine Spezifikation vorliegt, v) Die Art der analysierten PSM, d.h. Herbizide, Fungizide, Insektizide und PSM

⁶³ Der Inhalt dieses Kapitels ist in ausführlicherer Form in folgendem Aufsatz erschienen: Böcker und Finger (2017). A Meta-Analysis on the Elasticity of Demand for Pesticides. *Journal of Agricultural Economics* (im Druck).

allgemein (nicht spezifiziert), vi) Die Flexibilität/Variabilität, d.h. kurzfristig/fix oder langfristig/variabel⁶⁴, vii) Die in der jeweiligen Studie identifizierte Preiselastizität der Nachfrage nach PSM, viii) Min-max-Werte dieser Elastizitäten, ix) Die Methodik der Studie mit Einteilung in ökonometrische und normative Modelle und x) Informationen, ob die Studie begutachtet (*peer-reviewed*) ist oder nicht. Hierbei sei berücksichtigt, dass einzelne Studien (Publikationen) mehrere Beobachtungen beinhalten können, wenn z.B. mehrere Regionen oder Kulturen analysiert wurden. Ein Ausschnitt des daraus resultierenden Überblicks ist in Tabelle 8 dargestellt.⁶⁵ Eine komplette Aufstellung aller erhobenen Merkmale ist in elektronischer Form als Online-Anhang zu Böcker und Finger (2017) verfügbar⁶⁶.

In einem ersten Schritt werden Wilcoxon-Mann-Whitney Tests verwendet, um zu überprüfen, ob die Nachfrageelastizitäten von PSM: a) verschieden von Null sind, b) zwischen Regionen verschieden sind (Europa und Nordamerika), c) zwischen Landwirtschaftssystemen verschieden sind, d) durch die peer-review von Studien beeinflusst werden, e) durch verwendete methodische Ansätze beeinflusst werden (ökonometrische vs. normative Modelle) und f) von den berücksichtigten Zeithorizonten abhängen.

Um die wichtigsten Determinanten zu identifizieren und marginale Effekte zu quantifizieren, die den PSM-Einsatz beeinflussen, wird ausserdem eine multivariate Regressionsanalyse durchgeführt. Um das Auftreten von Ausreissern zu berücksichtigen, wird eine robuste Regressionsmethode verwendet (mittels des MM-Schätzers; siehe Finger, 2010b). Zudem wird eine Korrektur der Standardfehler mittels Clustering vorgenommen, um dem Vorliegen mehrere Beobachtungen aus einzelnen Studien Rechnung zu tragen. Folgende Variablen werden im Regressionsmodell als die Nachfrageelastizität erklärende Grössen betrachtet: Das mittlere Jahr des Analysezeitraums, Herbizide (Ja/Nein-Dummyvariable), Spezialkulturen (Dummyvariable), begutachtete Publikation (Dummyvariable), Europa (Dummyvariable), langfristig (Dummyvariable) sowie ökonometrische Methodik (Dummyvariable). Falls in den gesammelten Studien ein Intervall für die Elastizitäten angegeben ist, werden für die oben beschriebenen Analysen Mittelwerte verwendet.

⁶⁴ Falls die Zeitspanne und Flexibilität nicht explizit definiert sind, wurde die Variabilität der Inputs benutzt, um zwischen kurzfristiger und langfristiger Produktion zu differenzieren.

⁶⁵ Angemerkt sei hier auch noch eine Studie des deutschen JKI. Bezüglich der Substituierung von Glyphosat durch maschinelle Massnahmen wird kalkuliert, dass der Preis von Glyphosat um etwa 75% ansteigen müsste, um die maschinelle Unkrautbekämpfung mit dem Pflug gleich wirtschaftlich zu machen (Kehlenbeck et al., 2015).

⁶⁶ Verfügbar unter folgendem Link: <http://onlinelibrary.wiley.com/wo11/doi/10.1111/1477-9552.12198/supinfo>

Tabelle 8: Preiselastizitäten der Nachfrage von PSM aus verschiedenen Studien

Autor (Jahr der Publikation)	Land/Region	PSM-Typ (allgemein oder: f/Fungizid, h/Herbizid, i/Insektizid, gr/Wachstumsregulator; (Wert in Klammern ggf. min. - max.)	Variabilität (langfristig/variabel, kurzfristig/fix)	Analysezeitraum
Brown & Christensen (1981)	USA	-0.19 (-0.20 – -0.19)	Langfristig	1947-1974
Schulte (1983)	Deutschland/Rheinland	f: -0.32 (-0.45 – -0.19)	Kurzfristig	1978-1980
Schulte (1983)	Deutschland/Rheinland	f: -0.32 (-0.45 – -0.19)	Langfristig	1978-1980
Schulte (1983)	Deutschland/Bayern	f: -0.17 (-0.33 – 0.00)	Kurzfristig	1978-1980
Schulte (1983)	Deutschland/Bayern	f: -0.50 (-0.67 – -0.33)	Langfristig	1978-1980
Schulte (1983)	Deutschland/Schleswig-Holstein	f: -0.21 (-0.27 – -0.14)	Kurzfristig	1978-1980
Schulte (1983)	Deutschland/Schleswig-Holstein	f: -0.53 (-0.80 – -0.25)	Langfristig	1978-1980
Schulte (1983)	Deutschland/Südoldenburg	f: -0.32 (-0.44 – -0.20)	Kurzfristig	1978-1980
Schulte (1983)	Deutschland/Hessen	f: -0.63 (-0.76 – -0.50)	Langfristig	1978-1980
Antle (1984)	USA	-0.19	Langfristig	1910-1946
Antle (1984)	USA	-0.25	Langfristig	1947-1978
Dubgaard (1987)	Dänemark	-0.30	Langfristig	1971-1985
Dubgaard (1987, 1991)	Dänemark	h: -0.69 f: -0.81 i: -0.81	Langfristig	1971-1985
Capalbo (1988)	USA	-0.19	Langfristig	1948-1983
Capalbo (1988)	USA	-0.88	Langfristig	1948-1983
Capalbo (1988)	USA	-0.41	Langfristig	1948-1983
Capalbo (1988)	USA	-0.47	Langfristig	1948-1983
Capalbo (1988)	USA	-0.61	Langfristig	1948-1983
Capalbo (1988)	USA	-0.70	Langfristig	1948-1983
Elhorst (1990)	Niederlande	-0.29	Kurzfristig	1980-1986
Aaltink (1992), Masterarbeit, zit. nach Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.13 (-0.23 – -0.03)	Kurzfristig	Unbekannt
Aaltink (1992), Masterarbeit, zit. nach Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.39 (-0.55 – -0.23)	Langfristig	Unbekannt
Aaltink (1992), Masterarbeit, zit. nach Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.39 (-0.55 – -0.23)	Langfristig	Unbekannt
McIntosh & Williams (1992)	USA/Georgia	-0.11	Langfristig	1950-1986
Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.21	Kurzfristig	1970-1988
Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.22	Mittelfristig	1970-1988
Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.22	Langfristig	1970-1988
Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.25	Kurzfristig	1970-1988
Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.26	Mittelfristig	1970-1988
Oskam et al. (1992)	Niederlande	-0.29	Langfristig	1970-1988
Rude (1992)	Dänemark	-0.20 (-0.22 – -0.17) h: -0.07 (-0.08 – -0.06) f: -0.32 (-0.33 – -0.31) i: -0.35 (-0.40 – -0.29)	Kurzfristig	1987-2004
Rude (1992)	Dänemark	-0.24 (-0.27 – -0.20) h: -0.09 (-0.10 – -0.08) f: -0.39 (-0.42 – -0.35) i: -0.34 (-0.38 – -0.29)	Medium-term	1987-2004
Rude (1992)	Dänemark	-0.28 (-0.32 – -0.23) h: -0.11 (-0.13 – -0.09) f: -0.49 (-0.57 – -0.40) i: -0.40 (-0.47 – -0.33)	Langfristig	1987-2004

*Kapitel 5: Wirkung möglicher Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen:
Analyse und Bewertung*

Tabelle 8: Fortsetzung

Autor (Jahr der Publikation)	Land/Region	PSM-Typ (min. - max.)	Variabilität	Zeitraum
Villezca-Becerra & Shumway (1992)	USA/California	-0.09	Langfristig	1951-1982
Villezca-Becerra & Shumway (1992)	USA/Florida	-0.17	Langfristig	1951-1982
Villezca-Becerra & Shumway (1992)	USA/Iowa	-0.04	Langfristig	1951-1982
Villezca-Becerra & Shumway (1992)	USA/Texas	-0.21	Langfristig	1951-1982
Fernandez-Cornejo (1993)	USA/Illinois	-0.10	Kurzfristig	1949-1982
Fernandez-Cornejo (1993)	USA/Illinois	-0.10	Kurzfristig	1949-1982
Fernandez-Cornejo (1993)	USA/Illinois	-0.12	Langfristig	1949-1982
Fernandez-Cornejo (1993)	USA/Illinois	-0.38	Langfristig	1949-1982
Fernandez-Cornejo (1993)	USA/Indiana	-0.08	Kurzfristig	1949-1982
Fernandez-Cornejo (1993)	USA/Indiana	-0.08	Kurzfristig	1949-1982
Fernandez-Cornejo (1993)	USA/Indiana	-0.09	Langfristig	1949-1982
Fernandez-Cornejo (1993)	USA/Indiana	-0.60	Langfristig	1949-1982
Chambers & Lichtenberg (1994)	USA	-1.53	Langfristig	1949-1990
Chambers & Lichtenberg (1994)	USA	-1.50	Langfristig	1949-1990
Chambers & Lichtenberg (1994)	USA	0.05	Langfristig	1949-1990
Chen et al. (1994)	USA/Alabama	-2.42	Langfristig	1949-1986
Gren (1994a)	Schweden	h: -0.97 f: -0.34 i: -0.15	Langfristig	1950-1989
Gren (1994b)	Schweden	h: -0.93 f: -0.39 i: -0.52	Langfristig	1948-1989
Oude Lansink (1994)	Niederlande	-0.12	Kurzfristig	1970-1988
Papanagiotou (et al.) (1994, 1997)	Griechenland	-0.28	Kurzfristig	1961-1990
Papanagiotou (et al.) (1994, 1997)	Griechenland	-0.28	Kurzfristig	1961-1990
Shumway & Chesser (1994)	USA/Texas	h: -0.70 (-2.00 – +0.60) f: -0.24 (-1.08 – +0.60) i: -1.18 (-2.04 – -0.32) gr: 0.00	Langfristig	1972-1986
Bauer et al. (1997)	Deutschland/Hessen	f: -0.02	Kurzfristig	1991-1993
Carpentier & Weaver (1997)	Frankreich/Ile-de-France, Centre, Champagne	-1.55 (-1.97 – -1.13)	Langfristig	1987-1990
Falconer (1997), Dissertation zit. nach Falconer (1998)	UK/East Anglia	-0.20 (-0.30 – -0.10)	Unbekannt	Unbekannt
Komen et al. (1997)	Niederlande	-0.14	Kurzfristig	1990
Komen et al. (1997)	Niederlande	-0.11	Kurzfristig	1990
Komen et al. (1997)	Niederlande	-0.25	Langfristig	1990
Oude Lansink & Peerlings (1997)	Niederlande	-0.48	Langfristig	1970-1992
Russell et al. (1997)	UK/North West	-1.11 (-1.12 – -1.09)	Kurzfristig	1989-1993
Jacquet et al. (2011)	Frankreich	-0.77 (-1.25 – -0.28)	Kombiniert	2002-2007
Ivanova et al. (2012)	Bulgarien	-0.11 (-0.12 – -0.09)	Langfristig	2002-2008
Ivanova et al. (2012)	Bulgarien	-0.16 (-0.19 – -0.12)	Langfristig	2002-2008
Ivanova et al. (2012)	Portugal	-0.19 (-0.22 – -0.16)	Langfristig	2002-2008
Ivanova et al. (2012)	Portugal	-0.20 (-0.23 – -0.16)	Langfristig	2002-2008
Skevas et al. (2012)	Niederlande	-0.02 (-0.03 – -0.0003)	Kurzfristig	2003-2004
Fadhuile et al. (2016)	Frankreich	h: -0.63 f: -0.86 i: -0.37	Langfristig	2001

Tabelle 8: Fortsetzung

Autor (Jahr der Publikation)	Land/Region	PSM-Typ (min. - max.)	Variabilität	Zeitraum
Fadhuile et al. (2016)	Frankreich	h: -0.68 f: -0.77 i: -0.18	Langfristig	2006
Femenia & Letort (2016)	Frankreich/Meuse	-0.17 (-0.24 – -0.10)	Langfristig	2007-2012

Quelle: Eigene Darstellung nach Böcker und Finger (2017).

Der Median über alle Nachfrageelastizitäten beträgt -0.28 und ist signifikant kleiner als Null. Das bedeutet, dass, *ceteris paribus*, eine 10%ige Preiserhöhung zu einer Reduktion des PSM-Einsatzes von 2.8% führen würde. Allerdings unterscheiden sich die Ergebnisse der Studien sehr stark. So bestimmen Skevas et al. (2012) für die Niederlande eine Elastizität von -0.03 bis -0.0003, auf der anderen Seite errechnen Chen et al. (1994, S. 130f.) für die USA sogar eine Elastizität von -2.42. In Abbildung 7 werden die Elastizitätswerte in Abhängigkeit vom Jahr der Veröffentlichung grafisch dargestellt. Dabei gibt es eine leichte Tendenz, dass neuere Studien geringere Elastizitäten aufzeigen. Auch Skevas (2012, S. 85) und Fadhuile et al. (2016) weisen darauf hin, dass die Elastizitäten neuerer Studien geringer sind als diejenigen früherer Arbeiten. Dies wird durch bessere ökonometrische Modellierung (dynamischer statt statischer, betriebsspezifischer statt aggregierter Analyse) begründet. Zudem wird auf die gestiegene Relevanz des PSM-Einsatzes in der (bei Skevas et al., 2012, niederländischen) Landwirtschaft hingewiesen. Des Weiteren könnte eine geringere Mittelauswahl aufgrund zunehmender PSM-Verbote eine unelastischere Nachfrage nach zugelassenen PSM bewirken (Fadhuile et al., 2016).

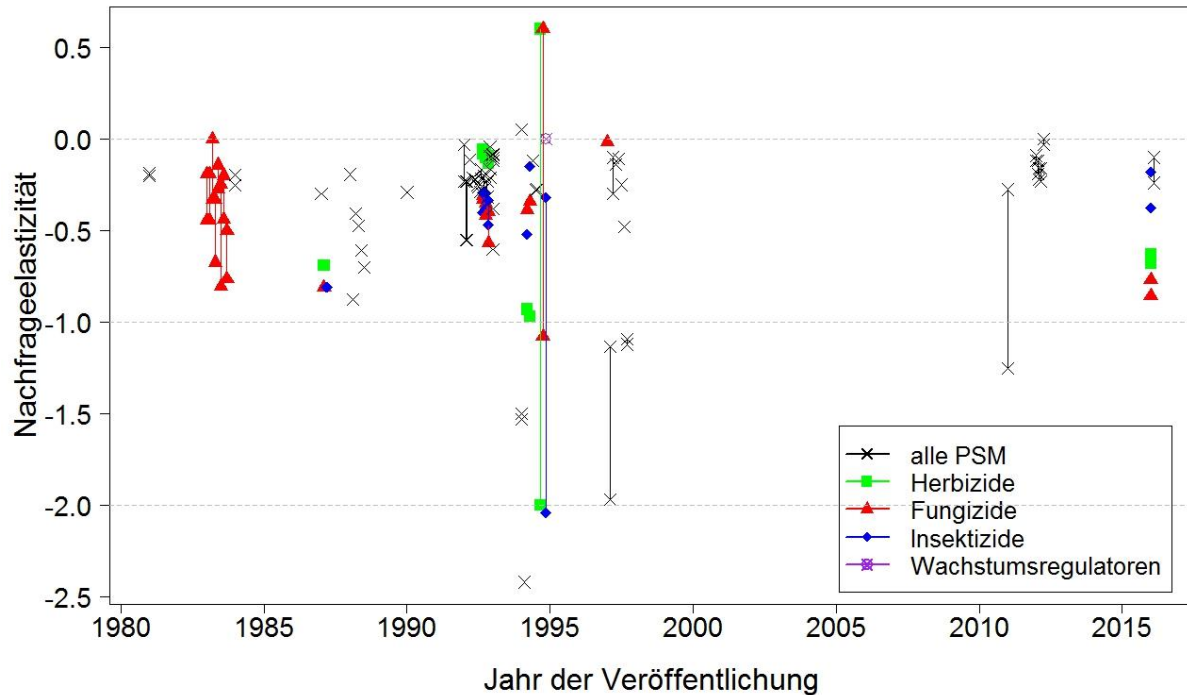


Abbildung 7: Darstellung der errechneten Preiselastizitäten der Nachfrage aus Tabelle 8 nach dem Jahr der Studie

Quelle: Eigene Darstellung nach Böcker und Finger (2017).

Insgesamt lagen für unsere Analyse 22 Studien aus Europa mit totalen 64 Beobachtungspunkten zu Preiselastizitäten vor (Tabelle 8 und Abbildung 8). Aus den USA konnten zudem 9 Studien mit 30 Werten zu Elastizitäten identifiziert werden. Der Median der amerikanischen Studien ist mit -0,20 tiefer als derjenige aus den europäischen Studien (-0,30). In diesem Kontext ist insbesondere die Studie von Shumway und Chesser (1994) hervorzuheben. Die Autoren simulieren eine 25% *ad valorem*-Steuer auf alle PSM und zeigen potentielle Nachfrageänderungen für einzelne PSM auf. Einige PSM werden daraufhin stark reduziert, andere vermehrt eingesetzt, wodurch vereinzelt positive Elastizitäten zustande kommen (Abbildung 8).

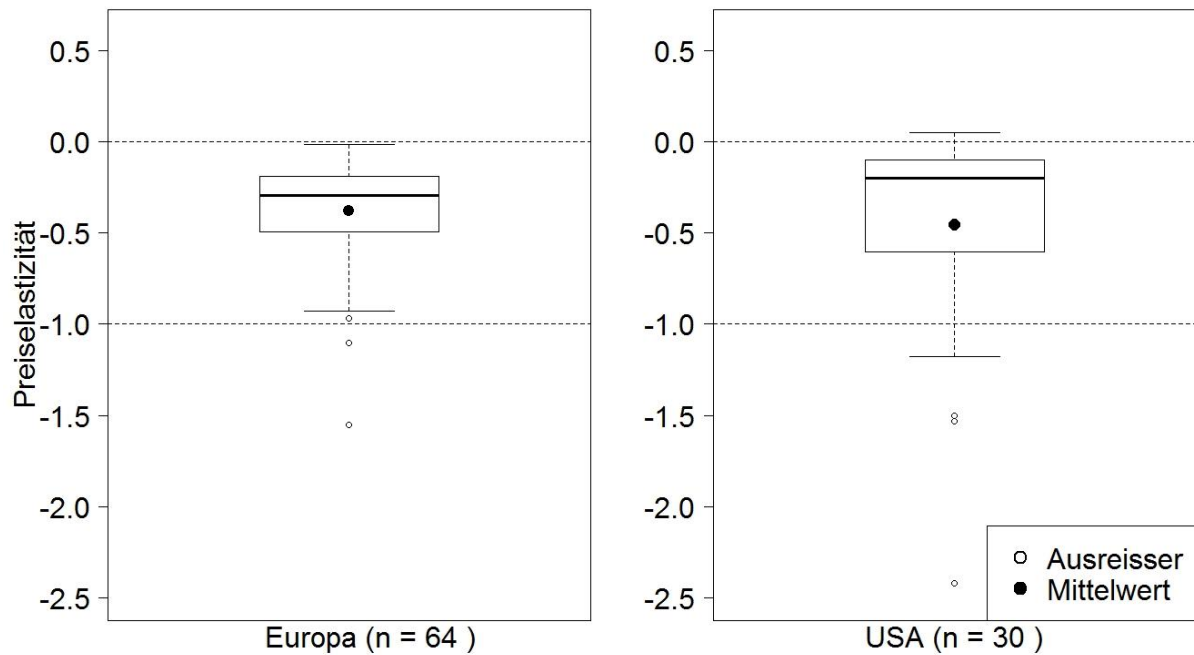


Abbildung 8: Kontinentale Unterschiede der Preiselastizitäten der Nachfrage

Quelle: Eigene Darstellung nach Böcker und Finger (2017).

In Abbildung 9 werden die Ergebnisse in eine kurzfristige und eine langfristige Preiselastizität eingeteilt. Kurzfristig können Landwirtinnen und Landwirte weniger auf Preissteigerungen reagieren, da das Produktionsprogramm relativ fix ist. Langfristig sind hingegen mehr Änderungen am Produktionsprogramm möglich (z.B. Änderung der Fruchtfolge), sodass auch der PSM-Einsatz variabler wird. Der Median der kurzfristigen Preiselastizität beträgt unter den berücksichtigten Studien etwa -0.18. Der Median der langfristigen Preiselastizität ist deutlich höher und beträgt unter den berücksichtigten Studien -0.39. Kurzfristig sind daher nur geringe Wirkungen einer PSM-Abgabe zu erwarten. Die kurzfristig geringen Mengenänderungen werden durch die in Kapitel 3 skizzierten Vorratskäufe noch zusätzlich verstärkt.

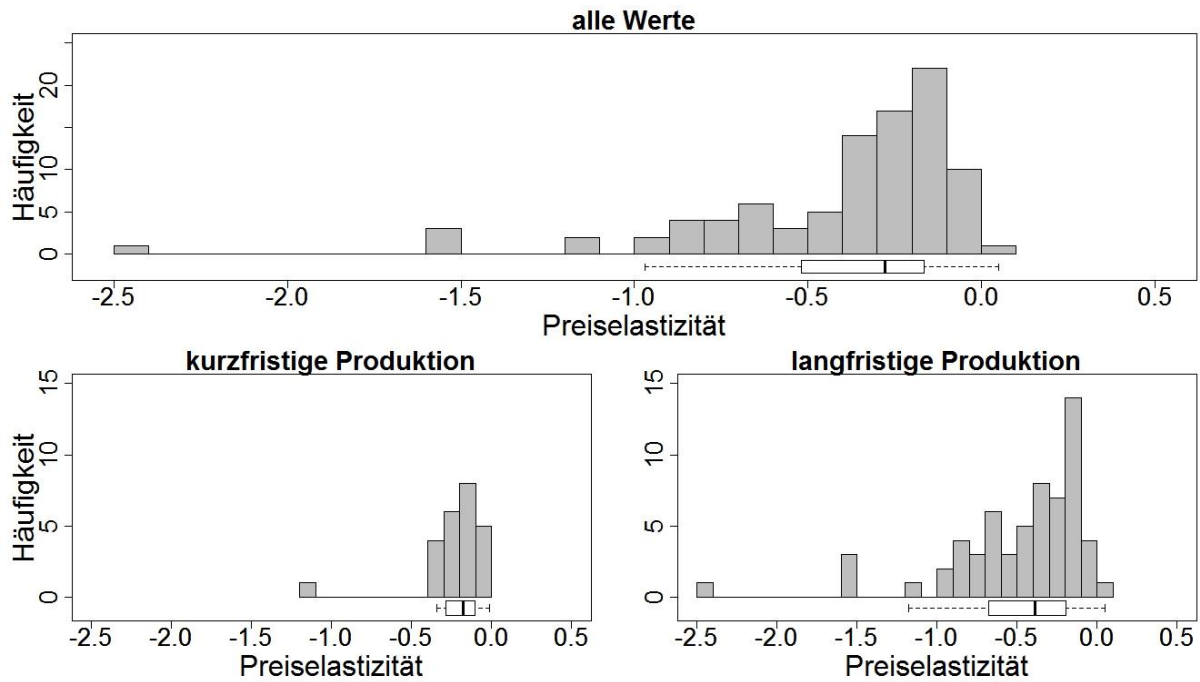


Abbildung 9: Einteilung der errechneten Preiselastizitäten der Nachfrage aus Tabelle 8 in Kurzfristige und Langfristige

Quelle: Eigene Darstellung nach Böcker und Finger (2017).

Ausserdem können Unterschiede zwischen den untersuchten landwirtschaftlichen Sektoren festgestellt werden (Abbildung 10). Studien, die Spezialkulturen wie Obst, Gemüse oder Wein explizit berücksichtigen, finden mit einem Median von -0,19 eine signifikant tiefere Elastizität als Studien, die sich auf Ackerbau fokussieren (Median = -0,30) bzw. die aggregierte Nachfrage nach PSM analysieren (Median = -0,28). Das heisst, dass obwohl der Einsatz von PSM hier am grössten ist, liegt ein relativ kleines Reduktionspotential vor. Dies beruht unter anderem auf i) der geringen räumlichen Mobilität des Anbaus der Kulturen im Vergleich zum Ackerbau, ii) dem höheren Wert der Produktion pro Flächeneinheit und der hohen Preisrelevanz von Qualitätsaspekten und iii) dem insgesamt kleinen Angebot an PSM für Schädlinge. Die geringe Preissensitivität der Nachfrage nach PSM bei Spezialkulturen ist für die Schweiz besonders relevant, da deren Anteil relativ gross ist (Kapitel 2) Diese Betriebe würden demnach den Einsatz weniger reduzieren als Ackerbäuerinnen und Ackerbauern oder tierhaltende (Gemischt-)Betriebe.⁶⁷

⁶⁷ Bei weiterer Aufschlüsselung kann beobachtet werden, dass die Nachfrage nach PSM im Maisanbau unelastischer ist als in anderen Ackerbaukulturen. Dieser Zusammenhang wird auch in Abschnitt 5.1.2 näher erläutert.

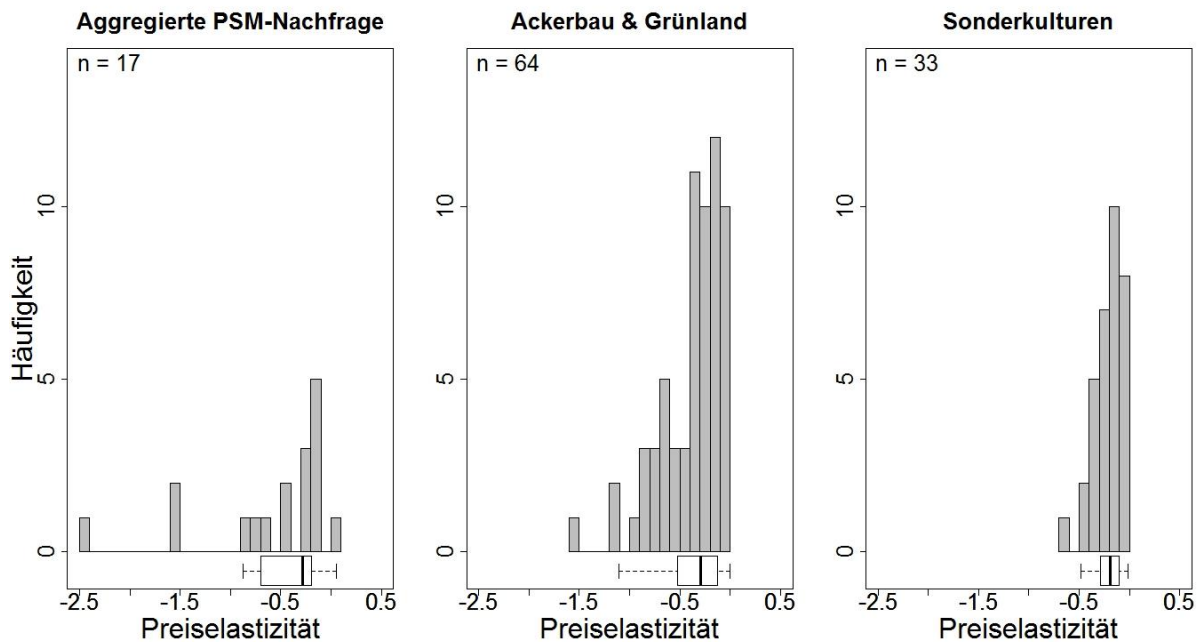


Abbildung 10: Preiselastizität der Nachfrage geordnet nach dem Produktionssystem

Quelle: Eigene Darstellung nach Böcker und Finger (2017).

Bezüglich der in der jeweiligen Studie verwendeten Methodik zur Bestimmung der Nachfrageelastizität lässt sich eine Tendenz zu einer unelastischeren Nachfrage bei normativen Modellierungsmethoden feststellen (Median = - 0.21) im Vergleich zu ökonometrischen Methoden (Median = -0.30). Die Nullhypothese gleicher Elastizitäten in beiden Gruppen wird mittels des Wilcoxon-Mann-Whitney Test auf dem 5% Niveau verworfen. Keine signifikanten Unterschiede lassen sich hingegen beim Publikationskanal messen, auch wenn die Elastizitäten in begutachteten Veröffentlichungen dazu tendieren, unelastischer zu sein (Median = -0.21 im Vergleich zu -0.29).

Abschliessend wird eine Regressionsanalyse durchgeführt, um die wichtigsten Determinanten zu identifizieren und marginale Effekte zu quantifizieren (weitere Details siehe Böcker und Finger, 2017). Die Variablen „Publikationsjahr“ und „Begutachtung“ sind nicht unabhängig voneinander. Neuere Studien werden häufiger in begutachteten Fachzeitschriften veröffentlicht als dies bei älteren Studien der Fall ist. Des Weiteren hat die Dummyvariable für Ökonometrie eine Reihe fehlender Werte. Aus diesem Grund werden in Tabelle 9 vier verschiedene Regressionsmodelle präsentiert, jeweils mit unterschiedlichen Variablen. Die Ergebnisse zeigen, dass für Herbizide eine signifikant elastischere Nachfrage ermittelt werden kann als für andere PSM, u.a. begründet durch das Vorhandensein von nicht-chemischen Substituten in der Unkrautbekämpfung. Eine Preiserhöhung führt also, *ceteris paribus*, zu grösseren Mengenreduktionen bei Herbiziden als bei anderen PSM. Die Ergebnisse zeigen,⁶⁸ dass aktuellere Studien signifikant unelastischere Werte bestimmen. Auf diesen Zusammenhang weisen auch Skevas et al. (2012)

⁶⁸ Zudem führen begutachtete Studien zu signifikant unelastischeren Nachfrageschätzungen.

und Fadhuile et al. (2016) hin (siehe oben). Die Regressionsanalyse zeigt auch einen signifikanten Unterschied zwischen Europa und den USA. In der kleiner strukturierten europäischen Landwirtschaft scheint also die Nachfrage nach PSM elastischer zu sein. Zudem führen begutachtete Studien zu signifikant unelastischeren Nachfrageschätzungen.

Tabelle 9: Parameterschätzung der Regression bzgl. der Preiselastizitäten der Nachfrage

Parameter	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
Y-Achsenabschnitt	-0.627 (-11.016)***	-0.216 (-5.068)***	-0.420 (-2.381)**	-0.201 (-4.819)***
Mittleres Jahr des Analysezeitraums (Basisjahr 1900)	0.007 (12.241)***	---	0.004 (1.738)*	---
Dummy für Langfristig	-0.173 (-5.610)***	-0.212 (-7.232)***	-0.177 (-5.198)***	-0.215 (-7.743)***
Dummy für Spezialkulturen	0.106 (2.279)**	0.119 (3.316)***	0.086 (1.789)*	0.108 (4.022)***
Dummy für Herbizide	-0.416 (-7.555)***	-0.406 (-5.906)***	-0.262 (-1.955)*	-0.308 (-3.179)***
Dummy für Europa	-0.207 (-4.854)***	-0.044 (-1.146) (n.s.)	-0.200 (-2.693)***	-0.058 (-1.495) (n.s.)
Dummy für Begutachtete Studien	---	0.184 (6.908)***	---	0.194 (5.029)***
Dummy für Ökonometrie	0.042 (1.587) (n.s.)	0.030 (0.979) (n.s.)	---	---
Freiheitsgrade	60	60	74	74

z-Werte sind in Klammern. (n.s.) bedeutet nicht signifikant, *, ** und *** heisst Signifikanz zum 10%, 5% und 1% Niveau. Für die Regression wurde das Programm R verwendet (Package ‚MASS‘ mit MM-Methodik und Package ‚multiwayvcov‘). Quelle: Eigene Darstellung nach Böcker und Finger (2017).

5.1.2 Mikroökonomische Erklärung tiefer Nachfrageelastizitäten

Die Gründe für die tiefe Preiselastizität der Nachfrage werden in Abbildung 11 bis Abbildung 13 veranschaulicht. Beispielhaft dargestellt sei hier die Herbizidanwendung im Maisanbau bei gewöhnlichem Unkrautauflkommen. Die horizontale Achse zeigt die Anwendungshäufigkeit und die jeweilige PSM-Menge einer Anwendung. Die vertikale Achse gibt auf der linken Seite die Kosten der PSM-Applikation an, auf der rechten Seite den Deckungsbeitrag (DB) des Maisanbaus. In den Abbildungen zeigt die schwarze, ansteigende Kurve den Kostenverlauf der Herbizidanwendungen, wobei die Sprünge im Anstieg eine jeweilige Anwendung bedeuten (Kosten der Überfahrt). In Anlehnung an die Richtwerte der Deckungsbeiträge (AGRIDEA und FiBL, 2014) hat eine Anwendung unabhängig vom Herbizid Kosten (K_{ist}) von etwa 91 CHF/ha, wobei vereinfachend angenommen sei, dass die Hälfte der Kosten für das PSM anfallen und die andere Hälfte Kosten der Überfahrt sind.

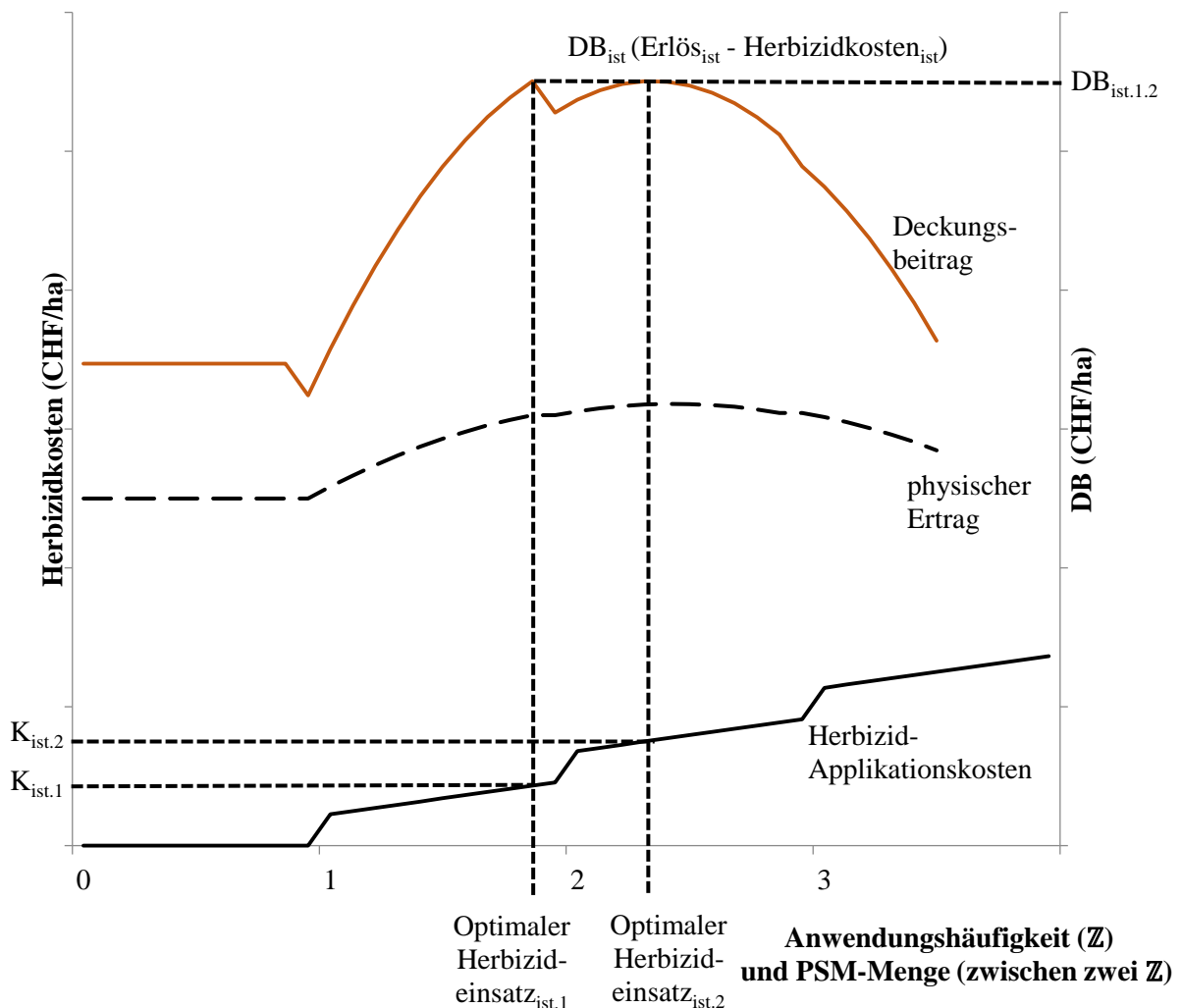


Abbildung 11: Beispielhafte Herbizidanwendung sowie Anwendungsmenge im Maisanbau und dazugehöriger Ertrag

Quelle: Eigene Darstellung. Der Verlauf der Kurven ist geschätzt und entspricht nicht zwingend der Realität.

Die schwarze, gestrichelte Kurve sei der Maisertrag pro Hektar. Es sei angenommen, dass das Herbizid zunächst (teilweise) ertragssteigernd (bzw. ertragsverlustmindernd, siehe Kapitel 4) wirkt. Wenn keine Herbizide eingesetzt werden, ist der Ertrag somit auf konstant tiefem Niveau. Durch den Herbizideinsatz kann dann ein höherer Ertrag erzielt werden. Ab einem gewissen Punkt sinkt der Ertrag jedoch wieder, z.B. durch Schäden am Mais bei zu intensiver Herbizidapplikation (in Anlehnung an Guan et al., 2005). Die rote Kurve zeigt den DB, der durch die Landwirtinnen und Landwirte zu maximieren versucht wird. Dieser nimmt zunächst mit steigendem PSM-Einsatz zu und erreicht zwei Maxima: Eins bei einer Anwendung mit hoher Anwendungsmenge und das zweite bei zwei Anwendungen, wobei eine Anwendung eine hohe Anwendungsmenge hat und die zweite eine mittlere. Das zweite Optimum hat dadurch einen höheren physischen Ertrag, gleichzeitig aber auch höhere Herbizidkosten.⁶⁹ Der Einschnitt beim DB ist bedingt durch die Überfahrtskosten, aber gleichzeitig nur einer sehr geringen PSM-Anwendung und dem dadurch bedingten geringen Mehrertrag (z.B. weil nur eine Teilfläche gespritzt wird oder eine sehr geringe Dosis benutzt wird). Nach dem zweiten Maximum sinkt der DB wieder, da ein Mehreinsatz von Herbizid ab einem bestimmten Punkt nur zusätzliche Kosten bringt und der Maisertrag nicht weiter gesteigert oder sogar, z.B. durch Schäden bei der Überfahrt oder durch zu intensive PSM-Applikation, wieder absinkt (siehe dazu auch Guan et al., 2005). Ohne Berücksichtigung der Überfahrtskosten wäre in dieser Darstellung nur das rechte Maximum (bei zwei Anwendungen) vorhanden, was mit dem Verlauf der Ertragskurve zusammenhängt. Bei alleiniger Betrachtung des physischen Ertrags würde also tendenziell mehr Herbizid eingesetzt werden, da nur das Ertragsmaximum optimal wäre. Eine solche nicht-ertragsmaximierende Nutzung von PSM auf Betriebsebene wurde kürzlich z.B. für die Niederlande durch Oude Lansink und Carpentier (2001) sowie Oude Lansink und Silva (2004) festgestellt oder auch in einer früheren Studie durch Campbell (1976) für Kanada. Auch in einer aktuelleren Studie von Pedersen et al. (2012) zur dänischen Landwirtschaft wird gezeigt, dass Landwirtinnen und Landwirte verschiedene Verhaltensmuster aufweisen. Eine Gruppe von Landwirtinnen und Landwirten (etwa die Hälfte der Stichprobe) agiert gewinnorientiert und legt viel Augenmerk auf PSM-Kosten (ebd., S. 1106f.). Diese Gruppe wäre demzufolge eher beim linken Maximum einzuordnen. Ein Drittel der Landwirtinnen und Landwirte, ist jedoch fokussiert auf hohe Erträge. Diese wäre somit eher beim rechten Maximum einzuordnen.⁷⁰

In Abbildung 12 stellen die grauen Kurven mögliche Nachfragekurven nach einem bestimmten Herbizid dar. Unterschiedliche, nicht-lineare Preiselastizitäten der Nachfrage nach PSM werden in der Abbildung gezeigt. Das derzeitige Anwendungsoptimum sei im Schnittpunkt der Kostengerade und der Elastizitätsfunktionen bei einer Herbizidanwendung mit hoher Anwendungsmenge. Nun sei angenommen, dass politisch eine Mengenreduktion durchgesetzt werden soll. In Abbildung 12 wird beispielsweise eine um die Hälfte reduzierte Anwendungsmenge durch die blaue Linie illustriert. Dazu sei eine 100%ige *ad valorem*-Abgabe eingeführt worden (die graue Kurve über der Herbizidkostenfunktion). Durch diese Abgabe wird jedoch noch nicht

⁶⁹ Für die meisten Kulturen trifft es nicht zu, dass das Ertragsoptimum auch ein DB-Maximum bildet. Für das Beispiel Mais ist dieser Fall jedoch aufgrund des geringen notwendigen Einsatzes von PSM annähernd möglich. Mit relativ wenig PSM können somit recht hohe Erträge erwirtschaftet werden. Die höheren Erlöse durch den Mehreinsatz von PSM wiegen somit die höheren Kosten auf.

⁷⁰ Oskam (1997, S. 368) merkt hierbei zudem an: „[...] it could be that farmers prefer to see a crop that is clearly free of pests, diseases and weeds. This would belong to their utility function.“

die gewünschte Mengenreduzierung erreicht aufgrund der niedrigen Preiselastizität. Um die gewünschte Reduktion zu erreichen, müsste jedes PSM in Abhängigkeit von seiner Elastizität differenziert besteuert werden.

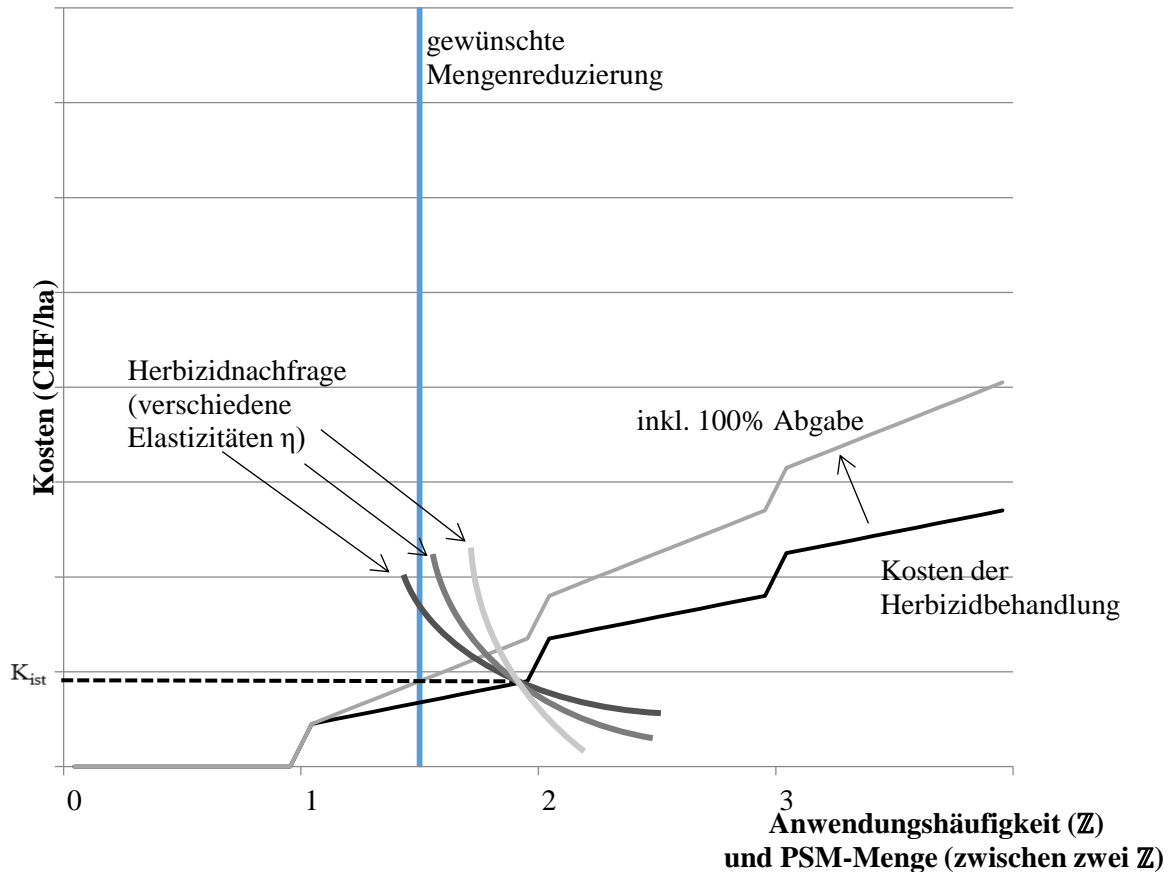


Abbildung 12: Beispielhafte Herbizidanwendung sowie Anwendungsmenge im Maisanbau und Herbizidnachfrage bei verschiedenen Elastizitäten (η)

Quelle: Eigene Darstellung.

Bei einem stetigen Verlauf der Nachfragefunktion, sollte die Nachfrage nach einem Herbizid sinken (z.B. weniger Mittel pro Flächeneinheit oder mehr Teilflächenbehandlung) bei einem Anstieg der Kosten durch eine Abgabe auf PSM. Bei Betrachtung des DB wird jedoch deutlich, dass der PSM-Einsatz bei Einführung einer Abgabe zunächst gleich bleibt. In der Situation ohne die Abgabe wird nämlich unter ertragsmaximierenden Gesichtspunkten aufgrund der zusätzlichen Mehrkosten für eine zweite Überfahrt zu wenig Herbizid eingesetzt (Abbildung 13). Dies führt dazu, dass das Maximum der DB_{neu} -Kurve ohne Betrachtung der Applikationskosten zwar nun weiter links liegt, aber nicht soweit, dass eine Reduktion des Einsatzes bei allen Betrieben zustande käme. Dafür wäre eine höhere Abgabe nötig. Lediglich die Betriebe, die sich vorher auf dem rechten Maximum befunden haben, würden ihren PSM-Einsatz hin zum neuen Maximum optimieren.

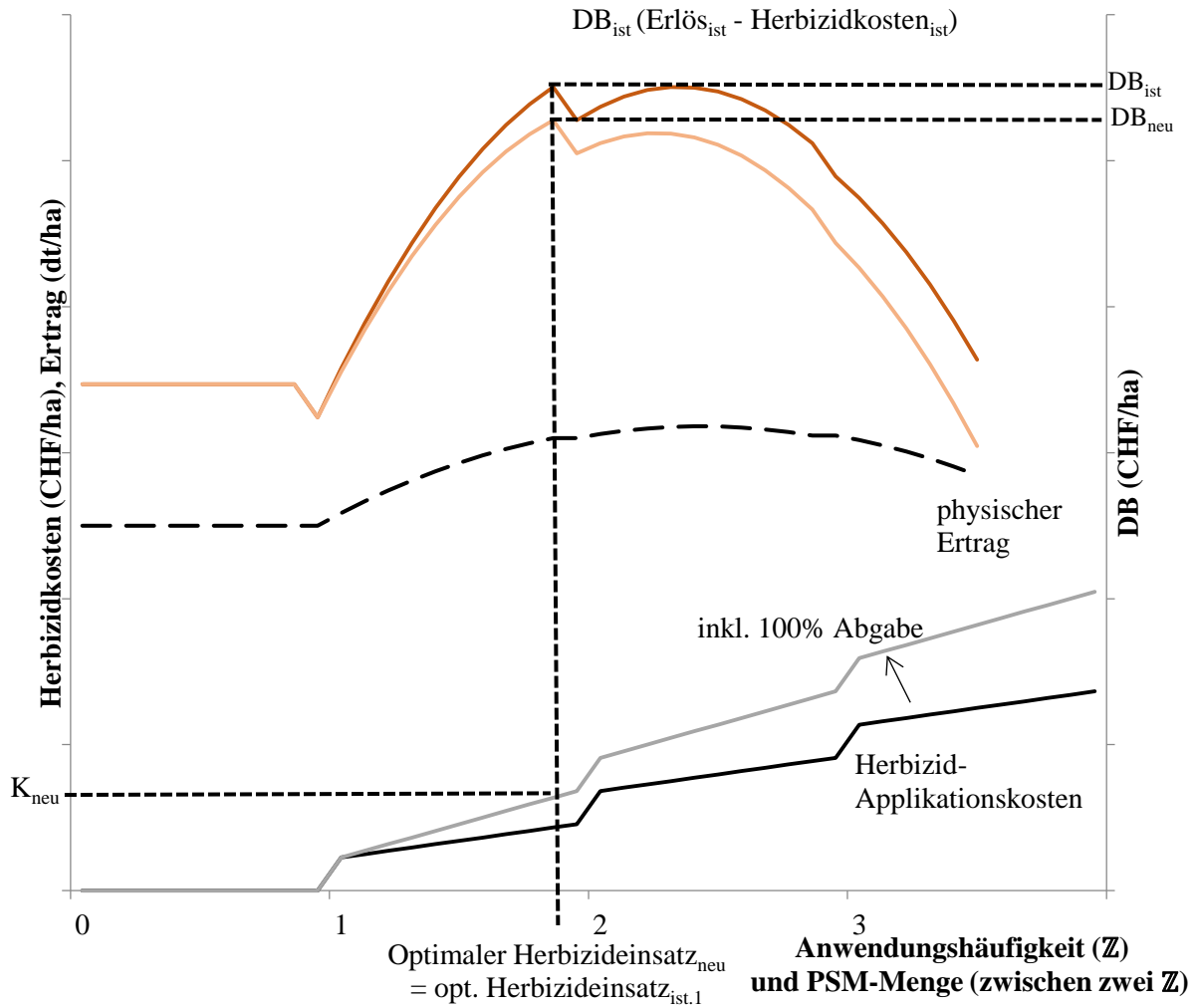


Abbildung 13: Beispielhafte Herbizidanwendung im Mais und Entwicklung des DB bei Einführung einer 100%-Abgabe

Quelle: Eigene Darstellung.

5.2 Deskriptive Analyse des Schweizer PSM-Einsatzes

Pflanzenschutz und der Einsatz von PSM kann sehr spezifisch sein, d.h. sich zwischen Kulturen, Regionen und Landwirten stark unterscheiden. Unterschiede können u.a. bezüglich der Auswahl der PSM (Tankmischung oder einzelne Mittel, Auswahl aus Mitteln mit verschiedenen Wirkstoffen, Dosierungen und Formulierungen), der Ausbringung (Dosierung, technische Mittel der Ausbringung, Ausbringungszeitpunkt) und Differenzierung (räumlich und/oder zeitlich) auftreten und reduzieren sich daher nicht nur auf die Frage der Anwendung oder Nicht-Anwendung. Eine genaue Beschreibung des PSM-Einsatzes ist deshalb nötig, um geeignete Politikmassnahmen zu finden (siehe auch Kapitel 3). Die üblicherweise zur Beschreibung verwendeten Indikatoren lassen sich grob in solche unterteilen, welche den PSM-Einsatz in Mengeneinheiten messen (kg/l Produkt oder Wirkstoff), welche die Häufigkeit und Intensität der PSM-Anwendung messen (Wirkstofffrankings, Überfahrten, Behandlungskoeffizienten) und

welche die (potenziellen) Risiken der PSM für Umwelt und menschliche Gesundheit beurteilen (*Load, Area Load*) (siehe auch Abschnitt 3.1). Zudem werden Kombinationen der Indikatoren genutzt (Behandlungsindex, *Load Index*). Im folgenden Abschnitt werden Erkenntnisse von Studien zu PSM-Indikatoren aus der Schweiz und anderen europäischen Ländern diskutiert. Dabei hat der Literaturüberblick keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern ist dazu gedacht einen Überblick über wesentliche Erkenntnisse zu PSM-Indikatoren in der Schweiz und anderen europäischen Ländern zu geben.

Eine systematische Beschreibung des PSM-Einsatzes erfolgt in der Schweiz und Nachbarländern seit den 90er Jahren. So beschreiben Dugon et al. (2010) den Schweizer PSM-Einsatz gebietsweise von 1992-2004. Dabei werden Anzahl der Interventionen, Anzahl der Applikationen und Wirkstoffmengen beschrieben und gezeigt, wie diese u.a. zwischen den Jahren und Kulturen variieren. Auch langfristige Änderungen bei Einführungen neuer Wirkstoffgruppen können im Rahmen der Analyse gezeigt werden. In Deutschland wird der PSM-Einsatz seit Begründung des NEPTUN Projektes (nun PAPA genannt, Rossberg et al., 2002) regelmässig erfasst. Zentrale Indikatoren sind dabei die Behandlungshäufigkeit, Wirkstofffrankings, der Behandlungskoeffizient und der Behandlungsindex. Im Rahmen des NEPTUN Projektes wurden diese Indikatoren auch auf ihre Aussagekraft und Heterogenität mit Hilfe von Daten des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung untersucht. So zeigt sich, dass eine Unterteilung des Behandlungsindex nicht nur in Kulturen, sondern auch in PSM-Kategorien (Herbizide, Fungizide und Insektizide) zusätzliche Informationen über Heterogenität des PSM-Einsatzes birgt. Verch und Kächele (2005) finden, dass der Behandlungsindex für den Insektizideinsatz in den einzelnen Jahren deutlich stärker zwischen den Landwirtinnen bzw. Landwirten variiert als für Herbizid- und Fungizideinsatz. Auch finden sie eine starke Variation des Behandlungsindex innerhalb einzelner Betriebe (über verschiedene Schläge), welches für eine räumliche differenzierte Pflanzenschutzstrategie der Landwirtinnen und Landwirten spricht. Ein Hinweis darauf, dass das Pflanzenschutzmanagement einzelner Betriebe unter ähnlichen Bedingungen unterschiedlich ausfällt geben Heyer et al. (2005). Sie werten im Rahmen des REPRO Konzeptes die „Pflanzenschutzmittelintensität“ einzelner Betriebe in Deutschland im Vergleich zur jeweiligen Region aus. Bürger und Gerowitt (2009) schliesslich zeigen für Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern, wie der Behandlungsindex mit der Anzahl der eingesetzten Präparate und der Behandlungshäufigkeit korreliert. Sie schlussfolgern, dass Betriebe, die PSM mit geringerer Intensität anwenden, auch weniger häufig PSM anwenden und somit einen niedrigeren Behandlungsindex aufweisen. Eine regelmässige, systematische Erfassung des schweizweiten PSM-Einsatzes erfolgt seit 2009 im Rahmen der Zentralen Auswertung der Agrarumweltindikatoren“ (ZA-AUI). Spycher und Daniel (2013) und de Baan et al. (2015) beschreiben Anzahl der Interventionen, Wirkstoffmenge und Wirkstofffrankings von 2009-2012. Sie zeigen, dass eine geringe Variabilität des PSM-Einsatzes zwischen den Jahren auftritt, jedoch eine hohe Variabilität des PSM-Einsatzes zwischen den Kulturen aber auch zwischen verschiedenen Schlägen gleicher Kulturen zu beobachten ist. Damit werden obige Ergebnisse auch für die Schweiz bestätigt. Diese Heterogenität sehen sie als möglichen Ansatzpunkt für eine PSM-Reduktion. Auch wird die Relevanz einer Umweltbewertung des PSM-Einsatzes hervorgehoben. Eine solche Bewertung, nicht nur der Häufigkeit und Intensität des PSM-Einsatzes, aber auch der potentiellen Wirkung der eingesetzten PSM auf die Umwelt Rechnung tragend,

wird in Deutschland bspw. im Rahmen des SYNOPSIS Programmes durchgeführt (Gutsche und Strassemeyer, 2015).⁷¹ In Dänemark erfolgt regelmässig eine Bewertung der potenziellen Risiken der eingesetzten PSM pro Kultur mittels des dort entwickelten Load Indikators (Miljøministeriet, 2012). Es zeigt sich bei einer Auswertung des dänischen PSM-Einsatzes nach Kulturen (ebd.), dass nicht nur Häufigkeit und Intensität der PSM-Anwendungen stark über die Kulturen variieren, sondern auch deren potenzielles Risiko, gemessen in Load Einheiten. Der aus den oben genannten Studien gewonnene Überblick zeigt, dass einzelne Indikatoren nur ein unzureichendes Bild des PSM-Einsatzes geben können und als eine Grundlage für Politikempfehlungen eine Vielzahl von Indikatoren mit unterschiedlichen Aussagen nötig ist.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wird eine umfassende deskriptive Analyse des Schweizer PSM-Einsatzes mit Daten der ZA-AUI von 2009 – 2013 durchgeführt (für eine ausführliche Beschreibung der Datenbanken siehe Anhang H). Dabei werden die oben genannten und in Tabelle 10 beschriebenen Indikatoren für den Schweizer PSM-Einsatz dargestellt, um ein umfassendes Bild des PSM-Einsatzes zu erhalten. Die in den vorherigen Kapiteln gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Indikatoren werden berücksichtigt; beispielsweise wird eine Unterteilung in Wirkstoffgruppen in der Analyse erfolgen. Ausserdem werden zusätzlich Indikatoren zu potenziellem Risiko der eingesetzten PSM berechnet werden, wie dies bspw. bereits in Dänemark geschieht (Miljøministeriet, 2012). Es wird untersucht, ob diese nicht nur auf Ebene der Kulturen, sondern auch auf Ebene der Betriebe und Schläge eine Heterogenität aufweisen. Zudem wird analysiert, ob auch hier eine Unterteilung in Subindikatoren angezeigt ist. Des Weiteren wird die bereits beschriebene Heterogenität der Indikatoren auf Kultur-, Betriebs- und Schlagebene bezüglich möglicher Aggregationseffekte untersucht. Die durchgeführte Analyse gibt somit einen sehr ausführlichen und weitreichenden Überblick über den Schweizerischen PSM-Einsatz. Die Daten der ZA-AUI enthalten detaillierte, taggenaue Informationen der Aktivitäten der Landwirtinnen und der Landwirten auf Betriebs-, Parzellen- und Schlagebene. Mit Hilfe von Produktinformationen über die eingesetzten PSM lassen sich somit Indikatoren des PSM-Einsatzes in der Schweiz abbilden. Spycher et al. (2013) sowie de Baan et al. (2015) benutzen die Daten beispielsweise, um die Indikatoren Wirkstoffmenge pro Hektar, Anzahl der Interventionen pro Kultur und Hauptwirkstoffe pro Kultur und Produktgruppen für die Jahre 2009 bzw. 2009-2012 zu berechnen. Die Vorgehensweise bei der Berechnung der Indikatoren ist in Spycher und Daniel (2013) beschrieben.

⁷¹ Andere *Pesticide Risk Indicators* werden in Reus et al. (2002) diskutiert. Eine regelmässige Bewertung solcher Indikatoren erfolgt auch seitens der „Expert Group on Pesticide Risk Indicators (EGPRI)“ der OECD.

Tabelle 10: Übersicht Indikatoren des PSM-Einsatzes

Bezeichnung Indikator	Basiseinheit*	Datengrundlage	Berechnung	Aussage (kurz)
Wirkstoffmenge	AI / (ha, Schlag, Kultur, Jahr)	Menge AI (L, Kg)	Wirkstoffmenge / Anwendungsfläche	Quantifizierung von PSM-Einsatzmengen
Überfahrten	Überfahrt / (Schlag, Kultur, Jahr)	Anzahl PSM-Anwendungen	Summe [Anzahl Überfahrten**]	Häufigkeit der PSM-Anwendung
Behandlungskoeffizient	Behandlungskoeffizient / (ha, Landwirt, Kultur, Jahr)	Menge AI (L, Kg), Standardanwendung PSM (AI/ha)	Angewandte Wirkstoffmenge / Standardanwendungsmenge	Durchschnittliche Dosierung / Intensität der PSM Anwendung
Behandlungsindex	Behandlungsindex / (ha, Schlag, Kultur, Jahr)	Menge AI (L, Kg), Standardanwendung PSM (AI/ha), Anzahl PSM-Anwendungen	Summe [Behandlungskoeffizienten (pro Schlag)]	Absolute Intensität der PSM-Anwendung
Area Load***	Load / (ha, Landwirtin oder Landwirt, Kultur, Jahr)	Menge AI (L, Kg), Load / AI	Wirkstoffmenge x Load	Quantifizierung potentieller Risiken
Load Index (incl. Health-, Fate-, Toxicity Load****)	Load Index/(ha, Landwirtin oder Landwirt, Kultur, Jahr)	Menge AI (L, Kg), Load/ AI, Standardanwendung PSM (AI/ha), Anzahl PSM-Anwendungen	Summe [Behandlungskoeffizient x Load] pro Schlag	Absolute Intensität der PSM-Anwendung, gewichtet mit potentielltem Risiko der Anwendung

*Wird eine weitere (Dis-)Aggregation der Indikatoren, ausgehend von der Basiseinheit, für Darstellungen oder Tabellen vorgenommen wird immer darauf hingewiesen.

**Als Überfahrt wird jegliche Ausbringung von PSM gezählt, jedoch maximal eine pro Tag und Schlag.

***Der Load eines PSM berechnet sich aus produktspezifischen Eigenschaften, welche z.B. für die Zulassung des PSM ermittelt werden und in der PPDB verfügbar sind. Bei der Berechnung nach einem festen Schema werden Informationen zu Auswirkungen auf menschliche Gesundheit, Umweltverhalten und Giftigkeit für Nichtziel-Organismen verwendet. Jedes PSM hat somit einen individuellen Load. Die Berechnung ist ausführlich in Miljøministeriet (2013) beschrieben.

**** Der (Gesamt)Load eines PSM ergibt sich aus Load = Health Load+ Fate Load + Toxicity Load. Sollen Kategorie spezifische Risiken abgeschätzt werden kann anstatt der Summe aller drei Kategorien auch nur eine einzelne Kategorie zur Bewertung genutzt werden.

Quelle: Eigene Darstellung.

Für die hier durchgeführten Analysen werden die Daten der ZA-AUI mit anderen Datenquellen kombiniert. Die Datenquellen sind, wie in Abbildung 14 dargestellt, integriert. Die taggenauen Einträge über PSM-Anwendungen (ZA-AUI) dienen als Grundlage für die Datenauswertung. Dort beschriebene PSM-Anwendungen werden ergänzt um Angaben zu Ökotoxizität, Umweltverhalten und Zusammensetzung von Wirkstoffen aus Informationen der Pesticides Properties Database (PPDB; Lewis et al., 2016). Anhand der Bezeichnungen eingesetzter Mittel sowie der Kultur, in welcher sie eingesetzt wurden, können empfohlene Standarddosierungen für erfolgte PSM-Anwendungen aus dem BLW Pflanzenschutzmittelverzeichnis von 2009-2013 hinzugefügt werden. Da keine Informationen zu Bewuchsdichte oder Schadorganismus bei PSM-Anwendung in der Datenbank vorliegen wird jeweils die höchste der möglichen Aufwandmengen aus dem Pflanzenschutzmittelverzeichnis ausgewählt. Informationen über die empfohlenen Preise der PSM in den jeweiligen Jahren werden schliesslich aus den Preiskatalogen der Agridea sowie über Informationen aus dem Landhandel generiert.

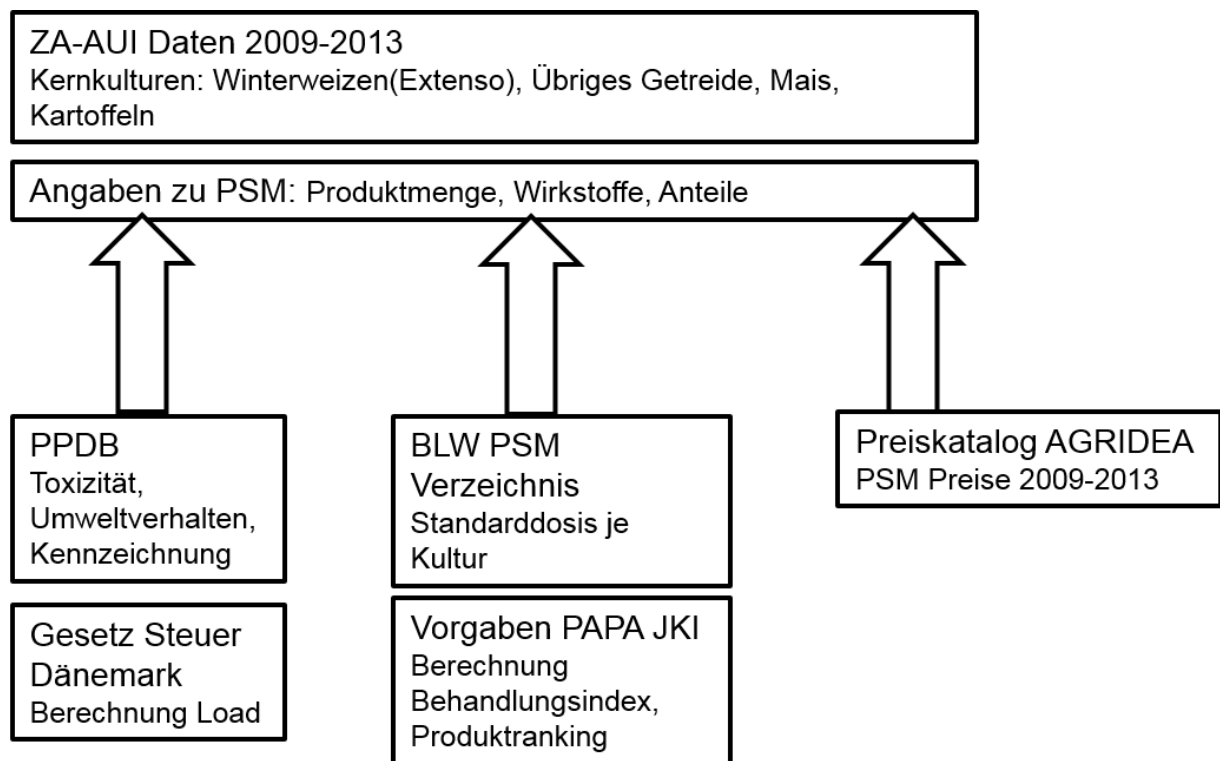


Abbildung 14: Benutzte Datenquellen

*Zu 40 PSM konnten keine Angaben in der PPDB gefunden werden. Das entspricht 6,5% der in den ZA-AUI Daten erwähnten PSM.

**Bei 186 PSM konnte aufgrund fehlender Einträge pro Kultur keine Standardanwendung zugeordnet werden. Das entspricht 2009-2013 durchschnittlich 8% der Anwendungen.

***Bei 67 PSM konnten aufgrund unterschiedlicher Bezeichnungen keine Preise ermittelt werden: das entspricht einem Anteil am kumulierten Behandlungsindex von 7,3%.

Quelle: Eigene Darstellung.

Bei dem verwendeten ZA-AUI Datensatz handelt es sich um ein unbalanciertes Paneldatenset. D.h. die Anzahl der teilnehmenden Betriebe verändert sich von Jahr zu Jahr (zwischen 261 und 305). Im Durchschnitt machten Ausgaben für den Pflanzenschutz bei teilnehmenden Betrieben

4% des Betriebseinkommens und 10% des landwirtschaftlichen Einkommens aus. Im Folgenden ist in Tabelle 11 die Anzahl der teilnehmenden Betriebe dargestellt. Bei der Analyse wurden nur Betriebe berücksichtigt, zu welchen auch Buchhaltungsdaten vorlagen:

Tabelle 11: Anzahl der ausgewerteten Betriebe

Jahr	Alle Betriebe	Mit Buchhaltungsdaten
2009	305	275
2010	301	274
2011	292	267
2012	276	252
2013	261	240

Quelle: Eigene Berechnungen.

Ein Betrieb kann jeweils mehrere Schläge (zusammenhängende Fläche gleicher Kultur) beinhalten. Nicht auf allen dieser Schläge werden jedoch Pflanzenschutzmittel eingesetzt (Biolandwirte werden nicht berücksichtigt). Die von Spycher et al. (2013), aber auch vom deutschen Panel Pflanzenschutz (Julius-Kühn Institut, 2013) verwendete Vorgehensweise berücksichtigt bei der Berechnung von Durchschnitten (über alle Schläge) für die Indikatoren jeweils auch Schläge ohne PSM-Anwendung. Diese Vorgehensweise wird übernommen. Die Anzahl der für die Analyse zur Verfügung stehenden Schläge, der Anteil von Schlägen mit PSM-Anwendung, sowie von diesen der Anteil von Schlägen mit Herbizid-, Fungizid- und Insektizid-Anwendung ist im Folgenden in Tabelle 12 dokumentiert:

Tabelle 12: Kulturen ausgewerteter Betriebe

Kultur	2009	2010	2011	2012	2013	Σ	Mit PSM	Davon Herbizid	Davon Fungizid	Davon Insektizid
Kartoffeln	124	144	138	125	102	633	95%	93%	98%	49%
Mais	380	342	329	328	272	1651	87%	99%	0	0
Winterweizen	236	216	171	162	166	951	97%	97%	87%	2%
Winterweizen Extenso	272	268	250	244	257	1291	92%	100%	0	0
Übriges Getreide	326	297	338	310	257	1528	89%	96%	38%	1%
Obst	154	189	222	182	145	892	71%	60%	94%	86%

Quelle: Eigene Berechnungen.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass besonders Getreide und Mais mit vielen Schlägen im Datensatz repräsentiert sind. Weiterhin werden auf einem Grossteil der Schläge PSM verwendet. Die Repräsentativität des Datensatzes für Obst ist unserer Meinung nach nur teilweise gegeben, da auf nur 71% der untersuchten (Anmerkung: nicht-biologisch bewirtschafteten) Schläge PSM angewendet werden, wengleich der Obstbau einige der PSM-intensivsten Kulturen beinhaltet. Im Rahmen der weiteren Auswertung wird deshalb nur der PSM-Einsatz im Winterweizen (intensiv und extensiv), übrigen Getreide, Mais und Kartoffeln analysiert. Eine Betrachtung der behandelten Schläge nach Wirkstoffgruppen zeigt starke Unterschiede pro Kultur. Herbizide werden in allen Kulturen (bis auf den Obstbau) und fast auf jedem Schlag verwendet. Für Fungizide und Insektizide ist das Bild hingegen differenzierter. Fungizide finden in hohem Masse Anwendung im Kartoffel-, Winterweizen- und Obstbau und im geringeren Masse im Anbau übriger Getreidearten. Insektizide werden hingegen fast ausschliesslich im Kartoffel- und Obstbau verwendet. Im Kartoffel- und Obstbau sind somit die eingesetzten Produkte am breitesten über Produktgruppen verteilt.

Ein wichtiger Schritt vor der Datenanalyse ist die Aufbereitung der ZA-AUI Daten. Spycher und Daniel (2013) beschreiben etwa, dass die Daten fünf Stufen einer Plausibilitätsprüfung durchlaufen, bevor sie verwendet werden. Ausreisser können durch fehlerhafte Eingabe und Softwareanwendung hervorgerufen werden. Eine grosse Heterogenität in den Daten liegt jedoch auch aufgrund der natürlichen Variation zwischen Indikatoren vor, z.B. sehr hohe Wirkstoffmenge bei der Applikation von Ölen. Eine differenzierte Entfernung von Ausreissern welche Eingabefehler beseitigt, unter Berücksichtigung der Heterogenität in den Daten, ist deshalb wichtig. Um den starken Einfluss von Ausreissern auf den Indikator Wirkstoffmenge (kg/ha) aufzuzeigen, wird der Indikator im Folgenden für die Kernkulturen ohne Obst (extensiver und

intensiver Weizen, übriges Getreide, Mais, Kartoffeln) jeweils mit und ohne Bereinigung⁷² von Ausreissern dargestellt. Um Ausreisser zu identifizieren, werden zunächst PSM-Anwendungen nach Kultur und Wirkstoffgruppen verglichen. Unterscheiden sich angewendete Wirkstoffmengen stark vom Median (mehr als doppelt so hohe Wirkstoffmengen), werden diese Anwendungen genauer untersucht. Es wurde einerseits überprüft, ob auf Produktebene die Anwendung deutlich über der empfohlenen Standarddosis (mehr als doppelt so hoch) liegt. Andererseits wurde geprüft, ob die Anwendungsmenge deutlich über denen anderer Landwirtinnen und Landwirten liegt. Sind beide Kriterien erfüllt, wird diese einzelne Anwendung als Ausreisser aus dem ZA-AUI Datensatz entfernt, da ihre Validität nicht mehr gesichert ist. Ausserdem wird überprüft, ob die Landwirtin oder der Landwirt mehrfache Eintragungen derselben Anwendung vorgenommen hat (d.h. Anwendungen am selben Tag, in derselben Produktmenge auf demselben Schlag eingetragen wurden). Liegen doppelte Eintragungen vor, wird nur eine der Anwendungen gezählt.

⁷² Aufgrund der starken Heterogenität von möglichen Indikatorwerten wurde hier pro Kultur und Wirkstoffgruppe die Verteilung der Werte betrachtet und sodann nur eindeutige Fehleingaben entfernt (sehr starker Ausreisser, Einzelfall in Bezug auf Wirkstoff und Indikatorhöhe, Landwirtinn bzw. Landwirt hat bereits Eingabefehler begangen).

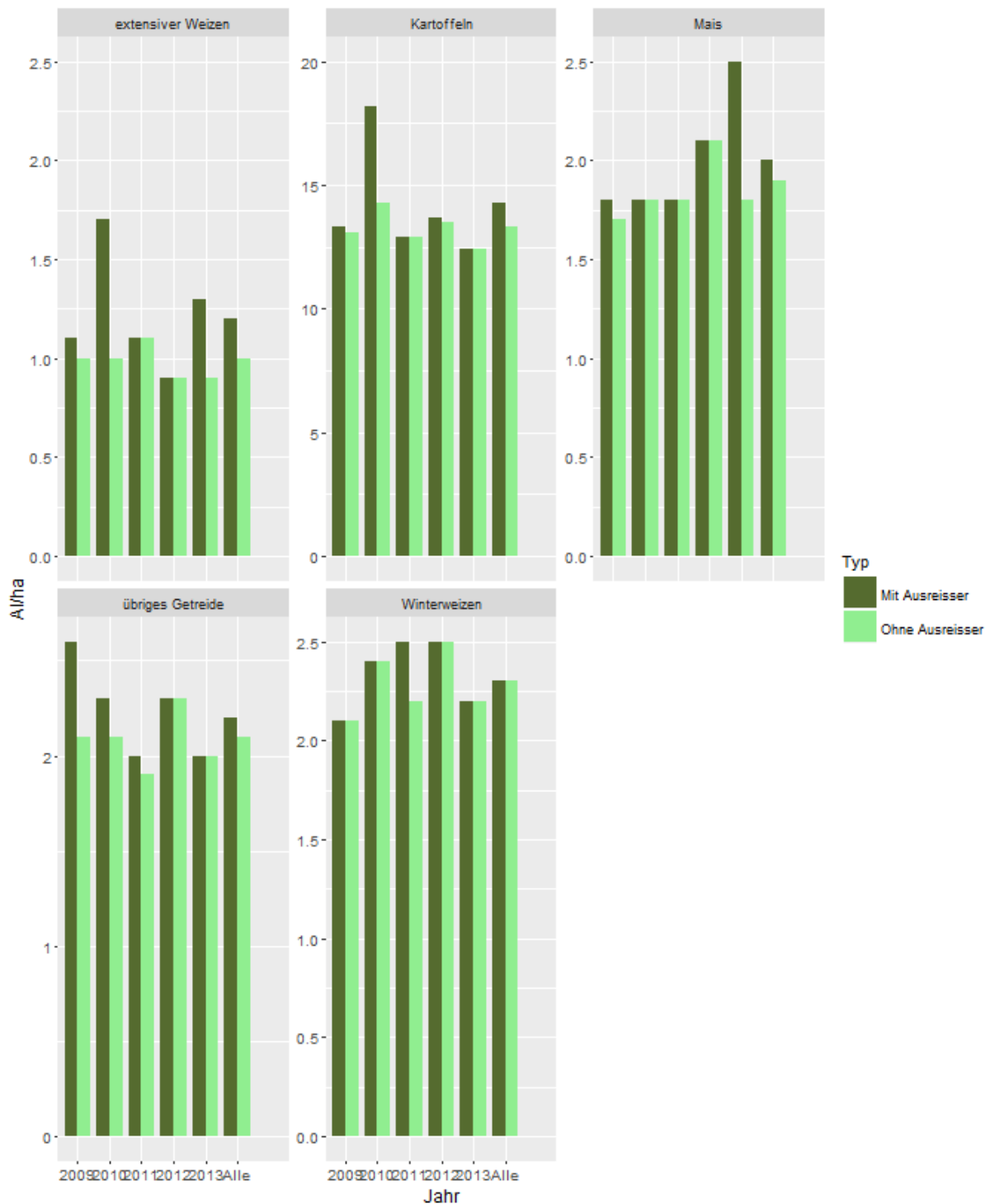


Abbildung 15: Durchschnittliche Wirkstoffmengen mit und ohne Ausreisser je Kultur

Quelle: Eigene Berechnungen.

Es zeigt sich für alle Kulturen, dass eine Bereinigung um Ausreisser notwendig ist, da diese starken Einfluss auf Durchschnittswerte haben können (Abbildung 15). Im Folgenden wird daher auf ausreisserbereinigte ZA-AUI Datensätze zurückgegriffen.

5.2.1 Ergebnisse Wirkstoffmenge und Überfahrten

Details zu den verwendeten Indikatoren des PSM-Einsatzes werden in Tabelle 10 präsentiert. Eine ausführliche Beschreibung des Load Indikators findet sich zudem in Abschnitt 3.2.4. Indikatoren des PSM-Einsatzes können auf verschiedenen Aggregationsniveaus berechnet werden (Produkt, Schlag, Betrieb, Kultur, PSM-Kategorie). Da dies einen Einfluss auf die jeweilige Interpretation des Indikators hat, werden Aggregationslevel bei der Analyse jeweils explizit angegeben. Im Folgenden werden die verwendeten Indikatoren des PSM Einsatzes genauer beschrieben.

Der Indikator Wirkstoffmenge (AI) kg/ha gibt darüber Auskunft, welche Menge an Wirkstoff die Landwirtin oder der Landwirt im Jahr auf einem Schlag pro ha ausgebracht hat. Wird die Wirkstoffmenge pro ha getrennt für Kulturen dargestellt, lässt sich zeigen, wie stark der PSM-Einsatz sich (pro Wirkstoffkategorie) unterscheidet. Mittelwerte werden dann jährlich über die Schläge gleicher Kulturen im Sample ermittelt.

Zudem lässt sich die Veränderung des durchschnittlichen, jährlichen PSM-Einsatzes in jeder Kultur vergleichen. Dies gibt einen Hinweis darauf, wie stark der PSM-Einsatz sich verändernden Umweltbedingungen (z.B. Wetter, Schaderregerdruck), aber auch PSM-Preisen angepasst wird.

Der PSM-Einsatz, gemessen in Wirkstoffmenge kg/ha, ist aufgeteilt in die wichtigsten PSM-Kategorien Herbizide, Fungizide und Insektizide, sowie eine Residualgrösse, die sonstige PSM beinhaltet, dargestellt (Abbildung 16). Das Aggregationslevel ist somit die jeweilige Kultur und PSM-Kategorie. Aus Abbildung 16 ist bereits ersichtlich, dass im Kartoffelanbau im Vergleich zu den anderen Kulturen PSM aus allen drei Kategorien häufig eingesetzt werden. Abbildung 18 illustriert, dass im Kartoffelanbau auch im Mittel wesentlich höhere PSM-Wirkstoffmengen eingesetzt werden als im Getreide- und Maisanbau. Dabei werden im extensiven Weizenanbau und im Maisanbau die geringsten Wirkstoffmengen verwendet. Zudem setzt sich der Hauptteil der eingesetzten PSM im Getreide- und Maisanbau aus Herbiziden zusammen (mit der Ausnahme von Fungiziden bei Winterweizen), wohingegen im Kartoffelanbau am meisten Fungizide, aber auch grosse Mengen Insektizide eingesetzt werden.⁷³ Abbildung 16 zeigt weiterhin, dass der PSM-Einsatz in allen Kulturen keinen starken, jährlichen Schwankungen unterliegt. Es sind jedoch Unterschiede zwischen den Kulturen, insbesondere bezogen auf die verschiedenen Produktkategorien, zu beobachten. So hat sich der Fungizid- und Herbizideinsatz bei Kartoffeln von 2009-2013 im Durchschnitt weniger stark verändert als der Insektizideinsatz. Im Winterweizen hingegen schwankte der Herbizideinsatz am stärksten, und der Fungizideinsatz sowie der Einsatz restlicher PSM wiesen geringere Schwankungen auf. Wie bereits die Literaturanalyse ergab, scheint eine Differenzierung zwischen verschiedenen Kulturen und Produktkategorien bei der Bewertung des PSM-Einsatzes daher sinnvoll zu sein (vgl. Abschnitt 5.2). Mögliche Politikmassnahmen sollten daher in ihrer Ausgestaltung (je nach Zielsetzung) zwischen verschiedenen PSM oder Produktkategorien differenzieren.

⁷³ Ein Teil der höheren Wirkstoffmengen an Insektiziden lässt sich damit erklären, dass in Kartoffelanbau oft Mineralöle eingesetzt werden, welche als Insektizide klassifiziert werden können, und hohe Wirkstoffmengen benötigen

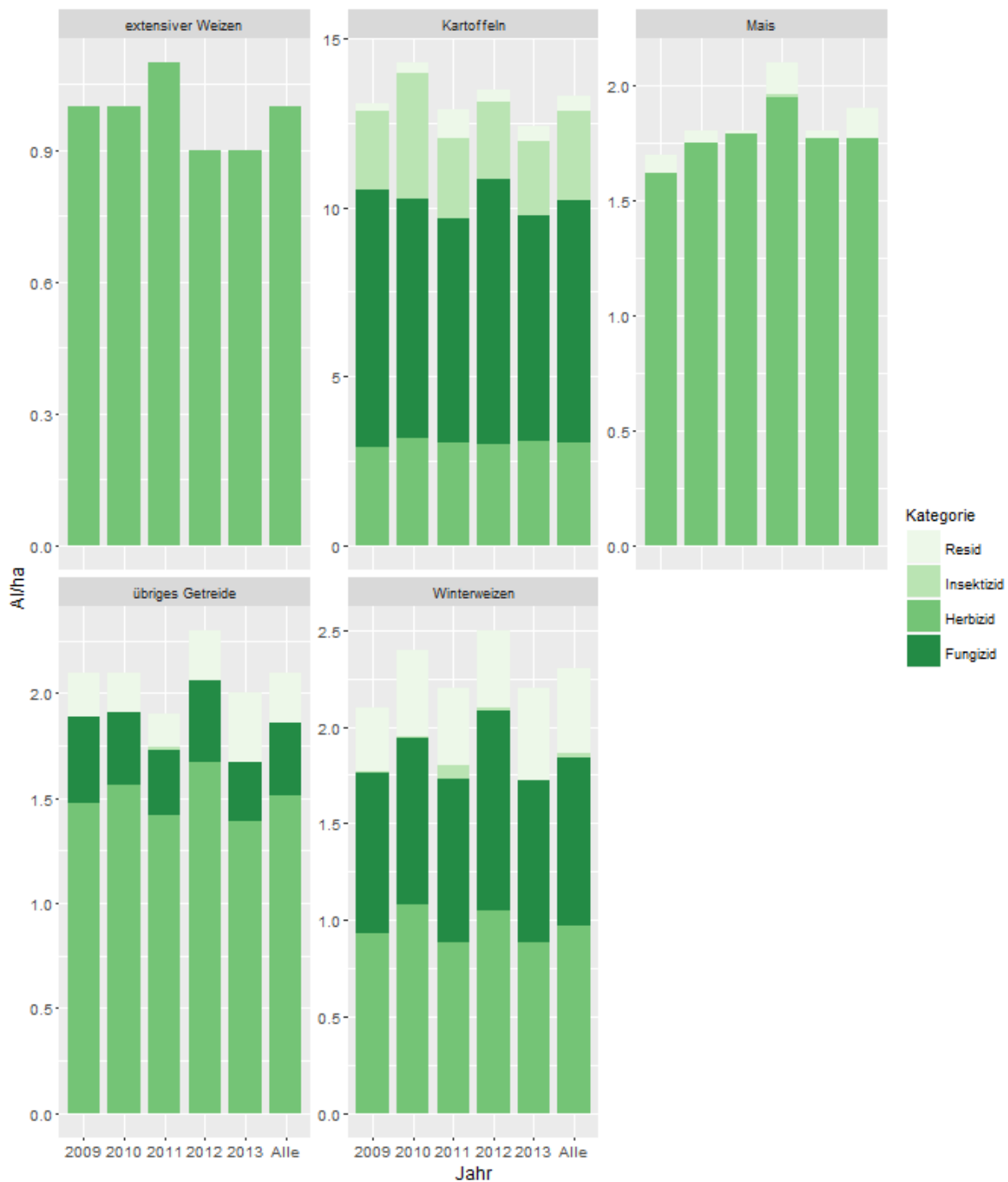


Abbildung 16: Wirkstoffmenge nach Produktgruppen je Kultur

Quelle: Eigene Berechnungen.

Der Indikator „Überfahrten“ stellt dar, wie oft ein Landwirt im Jahr PSM-Anwendungen in einer Kultur durchführt. Dabei wird als eine Überfahrt jeweils die Ausbringung einer Tankfüllung gewertet (max. 1 Überfahrt pro Tag), sodass kumulierte Überfahrten einzelner Produktgruppen auch über der Zahl absoluter Überfahrten liegen können. Der Indikator ist ähnlich wie die Wirkstoffmenge ein Intensitätsmass der PSM-Anwendungen pro Kultur. Es ist zu erwarten,

dass jährliche Schwankungen des Indikators „Überfahrten“ niedriger als beim Indikator „Wirkstoffmenge“ ausfallen, da die Anzahl der ausgebrachten Mittel oder ihre Dosierung nicht vom Indikator bewertet werden. Diese sind z.B. über eine unterschiedliche Zusammensetzung von Tankfüllungen beim Ausbringen der PSM zu variieren. Eine zusätzliche Überfahrt geht hingegen auch mit deutlich höheren Ausbringungskosten einher (vgl. Abschnitt 5.1.2). Der Indikator „Anzahl der Überfahrten“ ist im Folgenden in Abbildung 17 auf dem Aggregationslevel der jeweiligen Kultur und PSM-Kategorie dargestellt:

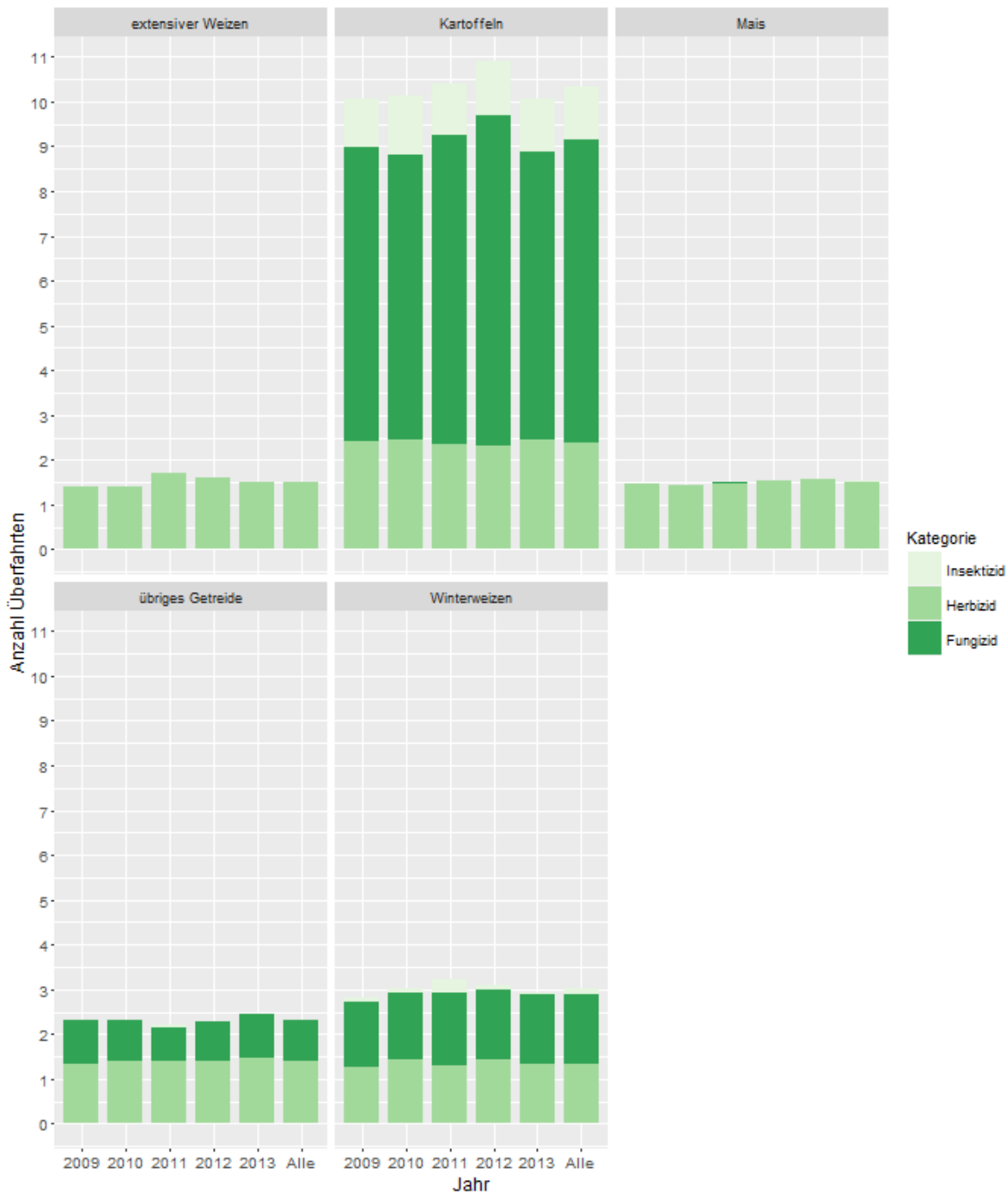


Abbildung 17: Überfahrten nach Produktgruppen je Kultur

Quelle: Eigene Berechnungen.

In Abbildung 17 ist wie schon beim Indikator Wirkstoffmenge zu erkennen, dass die Intensität der PSM-Anwendungen bei Kartoffeln (10-11 Überfahrten) am höchsten ist, gefolgt von Getreide (2-3 Überfahrten). Im extensiven Weizen und Mais hingegen war durchschnittlich nur eine Überfahrt zu beobachten. Wichtigste Produktkategorien sind, wie schon bei dem Indikator „Wirkstoffmenge“, für Getreide und Mais die Herbizide und für Kartoffeln Fungizide und Insektizide. Die durchschnittliche Anzahl der Überfahrten im Jahr ändert sich zwischen 2009 und 2013, wie erwartet, kaum. So ist nur bei Kartoffeln ein leichter Anstieg der Überfahrten in 2012 zu erkennen. Der Indikator scheint somit eher dazu geeignet zu sein, unterschiedliche Pflanzenschutzstrategien (Regime), bzw. deren Intensität, zu identifizieren. Variiert die Anzahl der Überfahrten in derselben Kultur zwischen zwei Betrieben, deutet dies auf unterschiedliche Anbaubedingungen (Wetter, Schaderregerdruck etc.) oder unterschiedliche Pflanzenschutzstrategien hin (Extenso vs. konventionellem Anbau, unterschiedlicher Einsatz von mechanischen Methoden etc.).

5.2.2 Ergebnisse Behandlungsintensität und Gefährdungspotenzial

Die bisher analysierten Indikatoren (Wirkstoffmenge und Überfahrten) beziehen sich auf Menge und Intensität des PSM-Einsatzes, stellen aber keinen Bezug zu Dosierungen bzw. zur Toxizität der eingesetzten Stoffe für Mensch und Umwelt her. Indikatoren wie der Behandlungskoeffizient und der Behandlungsindex setzen Informationen zur empfohlenen Standarddosierung in Verhältnis zum tatsächlich erfolgten PSM-Einsatz und können daher genutzt werden, um zusätzliche Erkenntnisse über die Intensität des PSM-Einsatzes zu gewinnen. Der in Dänemark entwickelte Load Indikator setzt den PSM-Einsatz zusätzlich in Bezug zu potenziellem Umweltverhalten, Ökotoxizität und Gefährdung für die menschliche Gesundheit der eingesetzten Mittel und kann daher potenzielle Risiken eingesetzter PSM bewerten (vgl. auch Abschnitt 3.2.4). Behandlungskoeffizient, Behandlungsindex und Load Indikator werden im Folgenden analysiert.

5.2.2.1 Durchschnittlicher Behandlungskoeffizient

Im Rahmen des Zulassungsverfahrens für PSM werden sogenannte Standardanwendungen (Aufwandsmengen) spezifisch für Kulturen und/oder Bewuchsdichte definiert (für die Schweiz siehe BLW Pflanzenschutzmittelverzeichnis).⁷⁴ Aus dem Quotienten von tatsächlich eingesetzter Menge eines spezifischen Mittels in einer bestimmten Kultur und der Standarddosis lässt sich eine Aussage über die Intensität der Dosierung einzelner PSM-Anwendungen im Vergleich zur empfohlenen Anwendung treffen. Ein Durchschnitt dieser Quotienten pro Landwirt und Kultur lässt sich dann vergleichen. Für einen Vergleich der Behandlungskoeffizienten pro Kultur wird der Median aller Durchschnittswerte pro Kultur gebildet.⁷⁵

Der beobachtete Behandlungskoeffizient in Abbildung 18 liegt für alle Kulturen und Jahre im Median unter eins (ein Wert von eins entspräche der Anwendung der empfohlenen Standarddosis), variiert jedoch stark über die einzelnen Betriebe (in der gleichen Kultur). Unterschiede

⁷⁴ Informationen zur Datengenerierung und Datenlücken finden sich in Anhang H.

⁷⁵ Da die Intensität über die Standardanwendung normalisiert ist lassen sich Mediane verschiedener Kulturen vergleichen, obwohl Anwendungsmengen unterschiedlich sind.

zwischen den Kulturen (im Median) sind ausserdem zu beobachten. Die Behandlungskoeffizienten sind im Median für Kartoffeln und extensiven Winterweizen am höchsten, gefolgt von übrigem Getreide. Am niedrigsten ist der Median der Behandlungskoeffizienten für Mais.

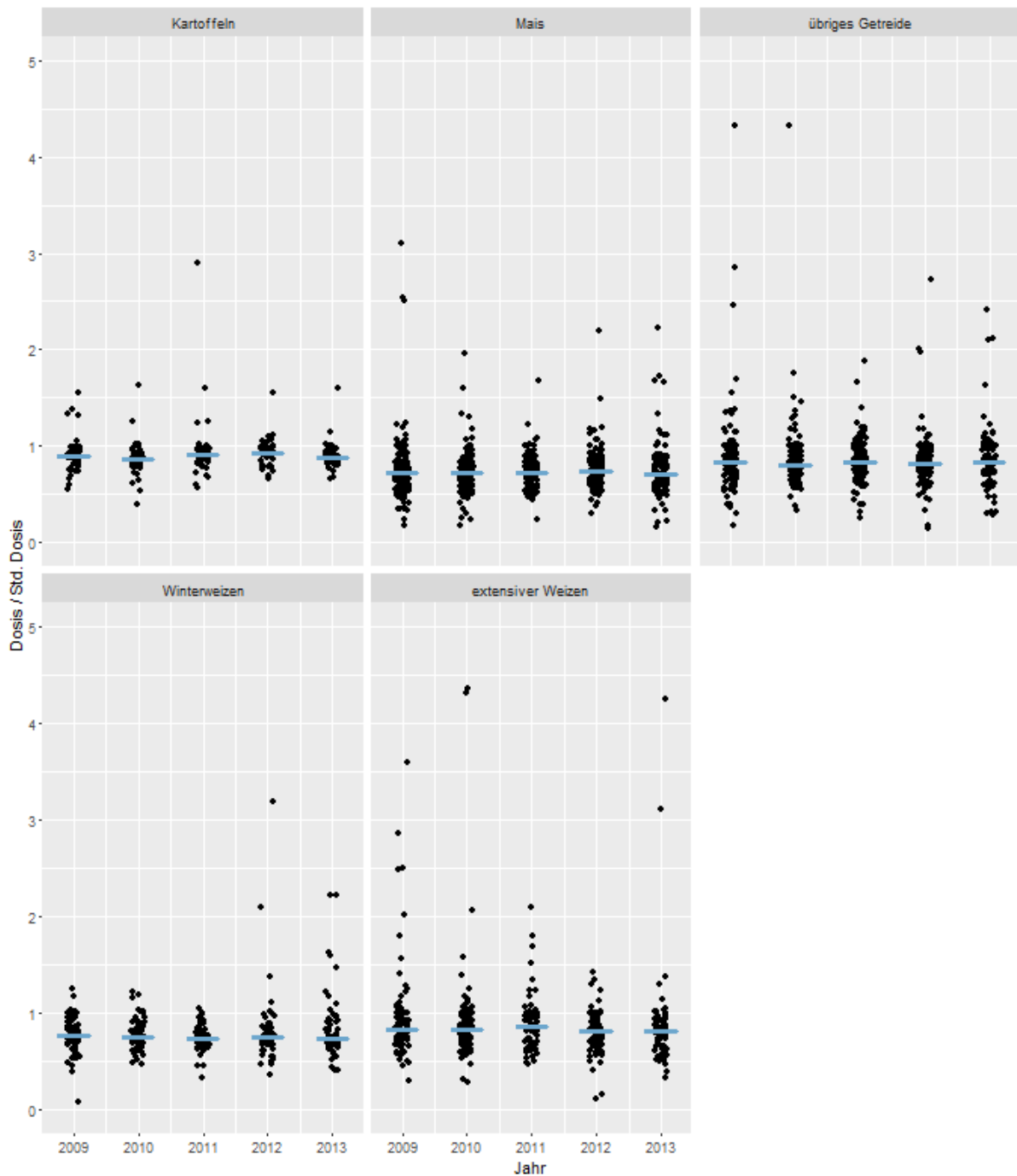


Abbildung 18: Durchschnittlicher Behandlungskoeffizient je Landwirt und Kultur

Durchschnitte werden über alle Anwendungen pro Landwirtin bzw. Landwirt, Jahr und Kultur berechnet. Blaue Striche zeigen jeweils den Median der Behandlungskoeffizienten pro Jahr und Kultur.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 18 illustriert die Varianz des Behandlungskoeffizienten zwischen landwirtschaftlichen Betrieben für die fünf analysierten Kulturen und Jahre 2009-2013. So änderte sich der durchschnittliche Behandlungskoeffizient je Landwirt und Jahr in allen fünf Kulturen zwischen 2009 und 2013 im Median kaum. Es ist jedoch bei allen Kulturen eine starke Heterogenität des durchschnittlichen Behandlungskoeffizienten zwischen den Betrieben pro Kultur und Jahr zu beobachten. Ein Vergleich über mehrere Jahre ist nur eingeschränkt möglich, da wie oben beschrieben, die Anzahl der analysierten Schläge und Betriebe sich über die Jahre verändert. Mögliche Erklärungen für heterogene Behandlungskoeffizienten zwischen Betrieben (gleicher Kulturen) sind Unterschiede in der Risikoeinstellung der Landwirtin bzw. des Landwirtes (vgl. 4.2.2), der Pflanzenschutzausbildung, dem individuellen (lokalen) Schaderregerdruck, der eigenen Erfahrung mit einzelnen Mitteln oder der erhaltenen Pflanzenschutzempfehlungen (sowie deren Quellen). Zu berücksichtigen ist zudem, dass teilweise zum Resistenzmanagement mehrere Produkte geringerer Dosierung als Tankmischung ausgebracht werden oder „Split-Behandlungen“ desselben PSM durchgeführt werden – die durchschnittliche Dosierung also geringer ausfällt bei einer solchen Praxis. Zudem konnten, wie bereits erwähnt, Bewuchsdichte und Schaderreger zum Zeitpunkt des PSM-Einsatzes nicht berücksichtigt werden. Die hier berücksichtigte empfohlene Standarddosierung dürfte deshalb teilweise zu hoch und der Behandlungskoeffizient damit zu niedrig ausfallen. Fehler bei der Dateneingabe sind zudem, wie oben diskutiert (vgl. Abbildung 15), auch nach einer Bereinigung von Ausreissern möglicherweise noch vorhanden und schwer zu identifizieren.

5.2.2.2 *Behandlungsindex*

Aus der Summe der Anwendungskoeffizienten pro Schlag in einem Jahr lässt sich der Behandlungsindex berechnen. Dieser wird etwa für das Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen des Julius Kühn-Instituts jährlich für Deutschland berechnet (JKI, 2013). Der Behandlungsindex gibt nicht nur Auskunft über Häufigkeit der Anwendungen (wie der Indikator „Überfahrten“) oder deren Dosierung (wie der Behandlungskoeffizient), sondern gewichtet Anwendungen mit deren Behandlungskoeffizienten und summiert alle gewichteten PSM-Anwendungen. Eine detailliertere Aussage über die Intensität der jährlichen PSM-Anwendungen auf einem Schlag ist somit möglich, da Landwirtinnen und Landwirten mit identischer Anzahl von Anwendungen von PSM aber unterschiedlicher Dosierung der Anwendungen unterschiedliche Indikator Werte zugeordnet werden. Im Vergleich zum Behandlungskoeffizienten sind beim Behandlungsindex grössere Unterschiede der Median Werte des Indikators pro Kultur zu erwarten, da eine Summe der einzelnen Anwendungen für die Berechnung des Indikators gebildet wird und nicht ein Durchschnitt. Wie die Indikatoren Behandlungsmenge und Überfahrten gezeigt haben, sind bei der Anzahl der Anwendungen grosse Unterschiede zwischen den Kulturen zu beobachten. In Kulturen mit einer höheren Anzahl von PSM-Anwendung ist somit in der Regel auch ein höherer Behandlungsindex zu erwarten. Im Vergleich zu den Indikatoren Wirkstoffmenge oder Überfahrten werden Anwendungen jedoch mit der Standarddosis gewichtet.

Abbildung 19 zeigt, dass Kartoffeln den höchsten Median der Behandlungsindizes aller fünf Kulturen aufweisen. Dies resultiert aus hohen Anwendungszahlen (Abbildung 16 und Abbildung 17) und hohen Behandlungskoeffizienten (Abbildung 18) im Kartoffelanbau. Den zweithöchsten Median weist Winterweizen auf, gefolgt von Mais, übrigen Getreide und extensiven Weizen. Im Vergleich der betrachteten Indikatoren treten dabei scheinbare Inkonsistenzen auf.

Obschon Mais und extensiver Weizen eine ähnliche Anzahl von Überfahrten aufweisen (Abbildung 17), wies extensiver Weizen einen höheren Behandlungskoeffizienten (Abbildung 18) auf – der Behandlungsindex zeigt jedoch eine leicht geringere Intensität der PSM-Anwendung für extensiven Weizen im Vergleich zu Mais.⁷⁶ Gleiches gilt für Winterweizen und übriges Getreide. Behandlungskoeffizient und Anzahl von Überfahrten waren sehr ähnlich, der Behandlungsindex für Winterweizen ist jedoch im Median deutlich höher als für übriges Getreide. Eine mögliche Erklärung für diese scheinbaren Widersprüche in den Ergebnissen ist, dass in einer der Kulturen bei derselben Anzahl von Überfahrten eine kleinere Anzahl an PSM ausgebracht wird⁷⁷, allerdings in einer durchschnittlich höheren Dosierung. Auch andere Ausbringungsstrategien, wie „Split-Behandlungen“ oder ein Ausbringen von (Tank-)Mischungen mit geringeren Dosierungen einzelner PSM wären eine Erklärung.⁷⁸ Anhand dieser Diskussion lässt sich gut illustrieren, dass die kohärente Analyse mehrerer Indikatoren zusätzliche Einsicht in Unterschiede in der PSM-Anwendung geben kann. Eine Betrachtung der Mediane des Behandlungsindex pro Kultur zeigt kaum jährliche Schwankungen. Dies war schon bei einem anderen Indikator der Intensität des PSM-Einsatzes, nämlich dem Indikator „Überfahrten“, zu beobachten. Einzig bei Kartoffeln ist ein deutlicher Anstieg des Behandlungsindex in 2012 zu erkennen. Diese Beobachtung ist konsistent mit dem beobachteten leichten Anstieg der Überfahrten bei Kartoffeln (vgl. Abbildung 17) in 2012.

⁷⁶ Es gilt zu beachten, dass sich der Behandlungsindex aus der Summe der einzelnen Behandlungskoeffizienten aller PSM-Anwendungen berechnet, in einer Überfahrt jedoch eine unterschiedliche Anzahl an PSM-Anwendungen ausgebracht werden kann.

⁷⁷ Im extensiven Weizen beispielsweise nur Herbizide.

⁷⁸ Ein Vorteil des Indikators Behandlungsindex ist, dass solche Behandlungen mit gleicher Gewichtung in die Berechnung des Indikators einfließen und daher keinen Einfluss auf die Aussage des Indikators haben.

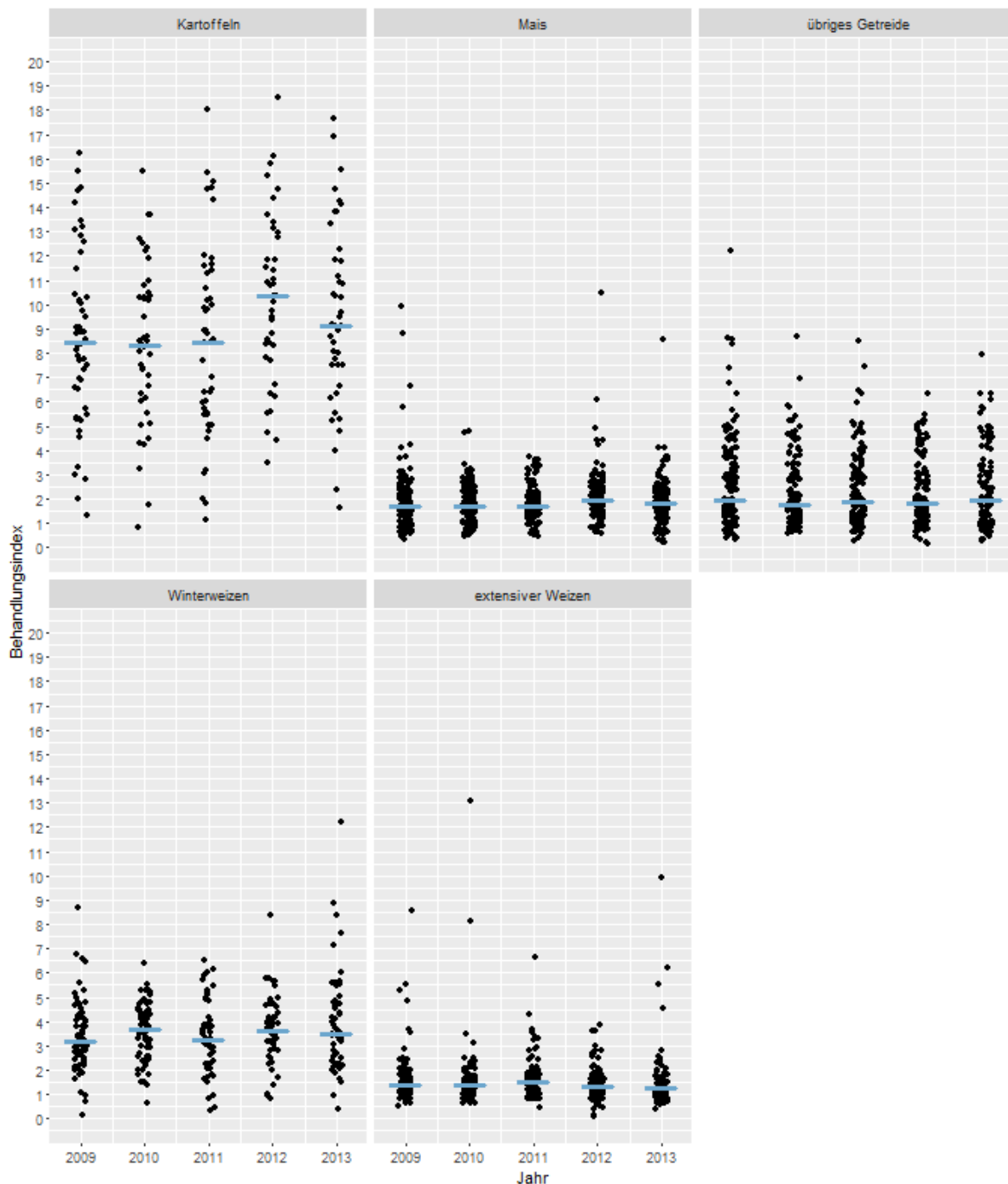


Abbildung 19: Durchschnittlicher Behandlungsindex je Landwirt und Kultur

Durchschnitte pro Landwirtin bzw. Landwirt, Jahr und Kultur. Blaue Striche zeigen jeweils den Median des Behandlungsindex aller Beobachtungen pro Jahr und Kultur.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Wird hingegen die Variabilität des Behandlungsindex zwischen den einzelnen Betrieben betrachtet, zeigt sich wie schon beim Behandlungskoeffizienten ein heterogenes Bild (vgl. Abbildung 18). Innerhalb aller untersuchten Kulturen ergeben sich grosse Unterschiede zwischen den durchschnittlichen Behandlungsindices einzelner Betriebe. Ein Vergleich der Ergebnisse für den Behandlungsindex und den Behandlungskoeffizienten erlaubt weitere Rückschlüsse. Ist die

Variabilität des Behandlungsindex im Vergleich zum Behandlungskoeffizienten klein, deutet dies darauf hin, dass Landwirtinnen und Landwirte, die hoch dosieren, weniger häufig PSM anwenden. Ist die Variabilität des Behandlungsindex im Vergleich zum Behandlungskoeffizienten gross, wie wir es für Kartoffeln beobachten können, deutet dies daraufhin, dass Landwirtinnen und Landwirte, die durchschnittlich hoch dosieren, auch öfter PSM einsetzen (und umgekehrt).⁷⁹

5.2.2.3 Load Indikatoren

Bisher betrachtete Indikatoren bewerten die Wirkstoffmenge (Abbildung 16), Anzahl der Überfahrten (Abbildung 17), Dosierung (Abbildung 18) oder Intensität (Abbildung 19) von PSM-Anwendungen, stellen aber keinen Bezug zu potenziellen Gefährdungen für Menschen und Umwelt her. Zu diesem Zweck wird im Folgenden eine Analyse der potenziellen Gefährdung durch eingesetzte PSM auf Grundlage des in Dänemark entwickelten „Pesticide Load“ Indikators durchgeführt.

Der sogenannte Load Indikator wurde im Rahmen der Einführung einer Produkt-spezifischen Abgabe auf PSM in Dänemark entwickelt (vgl. Abschnitt 3.2.4), um potenzielle Risiken der PSM zu quantifizieren. Der Indikator drückt die potenzielle Gefährdung eines PSM für Mensch und Umwelt aus und wird anhand eines festgelegten Schemas (wie in Abschnitt 3.2.4 detailliert dargelegt) mit Hilfe von Informationen über Formulierung, Gefährdungspotenzial für Menschen, Umweltverhalten und Toxizität für Flora und Fauna für jedes Produkt individuell berechnet. Dabei setzt er sich aus den drei Unterindikatoren für 1) menschliche Gesundheit, 2) Umweltverhalten und 3) Ökotoxizität zusammen (siehe Abschnitt 3.2.4). Die Berechnung des Indikators erfolgt anhand von Informationen über Formulierung und Eigenschaften von Inhaltsstoffen der PSM. Solche Informationen können aus Zulassungsverfahren für PSM oder anderweitigen wissenschaftlichen Studien entnommen werden. Für die hier durchgeführten Berechnungen wurde auf Informationen der *Plant Protection Data Base* (PPDB) zurückgegriffen. Die Zusammenführung der Informationen der PPDB (vgl. Anhang H) mit den Daten zum Schweizer PSM-Einsatz (ZA-AUI Daten) erlaubt anhand des Load Indikators eine Bewertung hinsichtlich der potenziellen Gefährdung für die menschliche Gesundheit, des Umweltverhaltens und der Ökotoxizität der von der Landwirtin oder des Landwirtes gewählten PSM. Dabei kann ein geringer Anteil der eingesetzten PSM nicht bewertet werden, da Informationen in der PPDB fehlen (s. Tabelle 10). Es handelt sich beim Load Indikator immer um eine Bewertung der potenziellen und nicht tatsächlichen Gefährdung der eingesetzten PSM, da nicht die Einhaltung von Anwendungsvorschriften (wie zum Beispiel Nähe zu Gewässern bei Anwendung, Spritzausrüstung oder Schutzausrüstung) oder die Umstände des Einsatzes (Wetter, Bodenbeschaffenheit etc.) bewertet werden, sondern potenzielle Effekte des Einsatzes eines bestimmten PSM (Miljøministeriet, 2012). Substituiert eine Landwirtin oder ein Landwirt ein Mittel mit hohem Load durch ein Mittel mit tiefem Load, wird in diesem Konzept angenommen, dass sich Risiken für menschliche Gesundheit und Umwelt bei PSM-Anwendungen reduzieren.

Eine Bewertung kann jeweils einzeln anhand der drei Unterindikatoren oder anhand deren Summe, welche potentielle Gefährdung für menschliche Gesundheit, Umweltverhalten und

⁷⁹ Einen solchen Zusammenhang haben bereits Bürger und Gerowitt (2009) für Winterweizen und Wintertraps in Deutschland untersucht.

Ökotoxizität aggregiert zusammenfasst, erfolgen. Wir bezeichnen im Folgenden als Load Indikator die Summe aller drei Unterindikatoren, soweit nicht anders erklärt. Ein durchschnittlicher Load Indikator pro Betrieb, Jahr und Kultur sagt damit aus, welche potenzielle Gefährdung die von den Landwirtinnen und Landwirten in einer bestimmten Kultur eingesetzten Mittel durchschnittlich haben (s.u. „Area Load“).

5.2.2.4 Area Load

Der Load Indikator wird typischerweise als „Area Load“ ausgedrückt, d.h. durchschnittlicher „Load“ pro Hektar⁸⁰. Zunächst soll der Median des Area Load pro Kultur verglichen werden. Dabei weisen von den fünf Kulturen Kartoffeln den höchsten Wert auf (Abbildung 20), gefolgt von übrigen Getreide und Winterweizen, sowie Mais und extensivem Weizen. Das bedeutet, dass die im Kartoffelanbau angewendeten Mittel die potenziell höchste Gefährdung für Mensch und Umwelt bergen. Diese Rangfolge zeigt sich auch bei allen Subindikatoren des Area Load (für menschliche Gesundheit, Umweltverhalten und Ökotoxizität), weshalb diese hier nicht explizit abgebildet werden. Zwischen 2009-2013 lässt sich in allen Kulturen nur eine leichte Veränderung der Median Werte beobachten. Die Abbildung zeigt wiederum eine hohe Variabilität innerhalb der Indikatorwerte pro Kultur, also eine hohe Variabilität der Indikatorwerte zwischen einzelnen Betrieben. So scheinen sich Pflanzenschutzstrategien bezüglich ihres durchschnittlichen Area Loads stark zu unterscheiden. Dies ist eine interessante Information für die Gestaltung von Politikmassnahmen, welche eine Reduktion (potentieller) Risiken aus der PSM-Nutzung zum Ziel haben. So sollten Anreize gesetzt werden, die PSM-Strategien mit der geringeren potentiellen Gefährdung zu wählen.

Zusammen mit den vorherigen Indikatoren ergibt sich so ein umfassenderes Bild des PSM Einsatzes. Es lässt sich feststellen, dass im Vergleich der fünf analysierten Kulturen Kartoffeln die höchsten Indikatorwerte für eingesetzte PSM-Menge (Indikator Wirkstoffmenge), Intensität des PSM-Einsatzes (Indikator „Überfahrten“ und Behandlungsindex), durchschnittlicher Dosierung eingesetzter PSM (Indikator „Behandlungskoeffizient“) und potentieller Gefährdung durch eingesetzte PSM (ausgedrückt in „Area Load“) aufweist.

⁸⁰ Um einen Eindruck von der Grössenordnung des Load Indicators und seiner Subindikatoren zu bekommen sei auch auf Tabelle 13 verwiesen, welche die zwanzig am häufigsten genutzten Herbizide im Winterweizen mit Load Werten vorstellt.

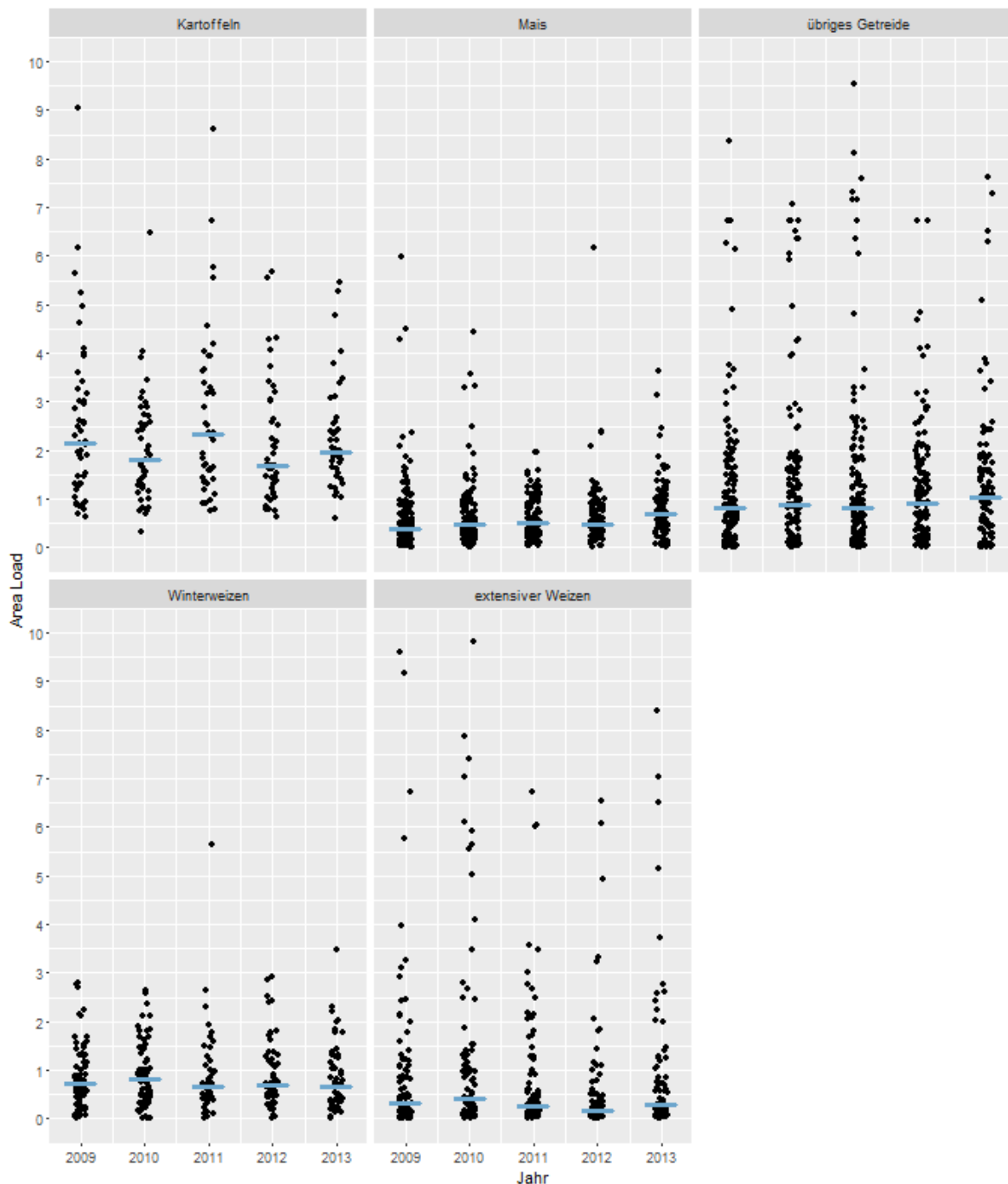


Abbildung 20: Durchschnittlicher Area Load je Betrieb und Kultur

Durchschnittlicher Area Load pro Betrieb, Jahr und Kultur. Blaue Striche zeigen jeweils den Median aller Indikatorwerte pro Jahr und Kultur.

Quelle: Eigene Berechnungen.

5.2.2.5 Load Index

Der Indikator Area Load (Abbildung 20) bewertet die durchschnittlichen Risiken der angewendeten PSM, berücksichtigt jedoch nicht, mit welcher Intensität diese PSM angewendet werden. Der „Load Index“ hingegen, ergibt sich aus dem Produkt des Behandlungsindex (Abbildung 19) mit dem „Load“ Indikator und gewichtet somit die Intensität der Anwendungen mit dessen

Gefährdungspotenzial.⁸¹ Der Load Index kann deshalb als ein Indikator für das „akkumulierte Gefährdungspotenzial“ der von einem Landwirt in einem Jahr und einer Kultur eingesetzten PSM bezeichnet werden. Ein Ziel der in diesem Bericht diskutierten Politikmassnahmen ist die Reduzierung der Risiken für Umwelt und menschliche Gesundheit aus dem PSM-Einsatz. Eine Bewertung des „akkumulierten Gefährdungspotenzials“ der in einem Jahr in einer Kultur eingesetzten PSM, wie sie der Behandlungsindex vornimmt, ist daher von besonderem Interesse. Es werden deshalb Ergebnisse sowohl für den Load Index (Abbildung 21) als auch seine Subindikatoren für menschliche Gesundheit (Abbildung 22), Umweltverhalten (Abbildung 23) und Ökotoxizität (Abbildung 24) dargestellt. Abweichende Erkenntnisse, im Vergleich zu den bereits besprochenen Indikatoren Behandlungsindex (Abbildung 19) und Area Load (Abbildung 20), sind jedoch nur zu erwarten wenn Area Load und Behandlungsindex positiv (negativ) korreliert sind. Der Indikator würde dann zeigen, dass potenziell sehr gefährliche PSM auch in hoher Dosierung eingesetzt werden (oder umgekehrt), also diesbezüglich eine ungleiche Verteilung auftritt.

Der Median der Indikatorwerte pro Kultur ist, über die betrachteten Kulturen verglichen, bei Kartoffeln am höchsten. Wie bereits beim Behandlungsindex (Abbildung 19), folgen darauf Winterweizen, übriges Getreide, Mais und extensiver Weizen. Der höhere Median für Winterweizen als für übriges Getreide lässt sich auf den bereits besprochenen höheren Wert des Behandlungsindex zurückführen. Es ergeben sich somit zunächst keine neuen Erkenntnisse über den PSM-Einsatz pro Kultur aus der Betrachtung des Load Index. Werden die einzelnen Subindikatoren des Load Index betrachtet, zeigt sich, dass Kartoffeln auch für alle Subindikatoren den höchsten Median pro Kultur aufweisen. Ein Unterschied zwischen dem Median der drei Subindikatoren für Winterweizen und übriges Getreide besteht nur beim Subindikator für menschliche Gesundheit. Die Medianwerte für die Subindikatoren Umweltverhalten und Ökotoxizität unterscheiden sich für Winterweizen und übriges Getreide kaum bezüglich ihres „akkumulierten Gefährdungspotenzials“. Dies ist eine relevante Information für die Gestaltung möglicher Politikmassnahmen. Es zeigt, dass Politikmassnahmen je nach Ausdifferenzierung⁸² unterschiedlich starken Einfluss auf verschiedene Kulturen haben können. Eine Schwerpunktsetzung auf potenzielle Gefährdung menschlicher Gesundheit würde z.B. stärker Landwirtinnen und Landwirten mit Winterweizen betreffen, wohingegen eine Schwerpunktsetzung auf Umweltverhalten oder Ökotoxizität Winterweizen, übriges Getreide, Mais und extensiven Weizen in ähnlichem Masse betreffen würde.⁸³

Bei der Betrachtung des Load Index und seiner Subindikatoren pro Kultur fällt auf, dass wiederum eine grosse Heterogenität der Indikatorwerte einzelner Betriebe zu beobachten ist. Wie bereits bei den bisher betrachteten Indikatoren zu erkennen war, scheint es deutlich unterschiedliche Pflanzenschutzstrategien der Landwirtinnen und Landwirte zu geben. So liegen beispielsweise die Werte für den Behandlungsindex für Kartoffeln im Jahr 2009 zwischen 1 und 18.

⁸¹ Somit könnte die wiederholte Anwendung eines potentiell wenig gefährlichen PSM zu einem geringeren Load Index führen als die einmalige Anwendung eines potentiell stark gefährlichen PSM.

⁸² Eine stärkere Gewichtung einer der Subindikatoren für menschliche Gesundheit, Umweltverhalten und Ökotoxizität ist beispielsweise möglich bei der Berechnung des Pesticide Load.

⁸³ Angenommen der Load Indikator wird zur Bewertung potenzieller Risiken herangezogen.

Dies zeigt, dass eine zusätzliche Analyse der Heterogenität zwischen den Betrieben sowie ihrer Determinanten notwendig ist (vgl. das folgende Unterkapitel 5.3).

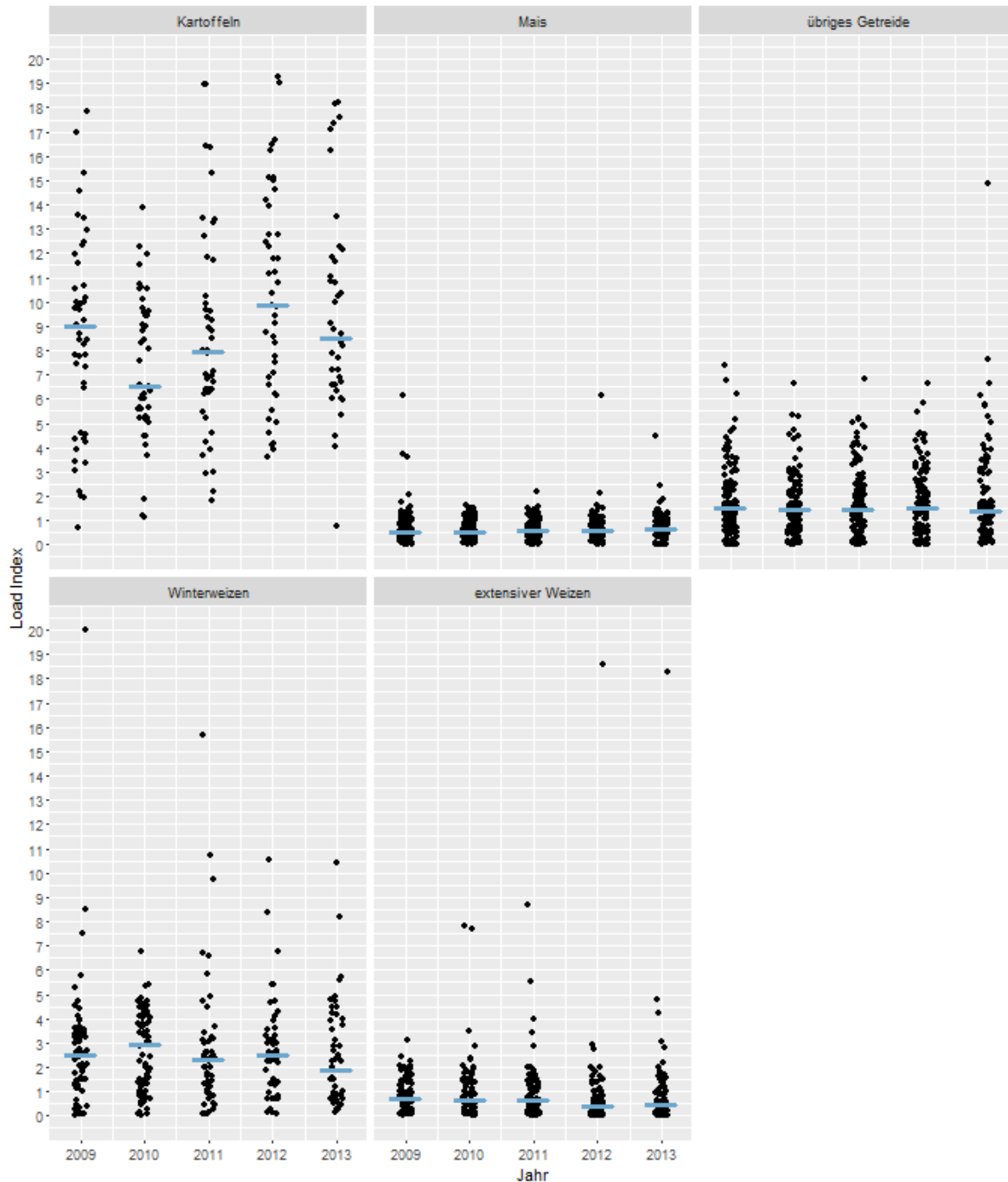


Abbildung 21: Durchschnittlicher Load Index je Betrieb und Kultur (berücksichtigt Risiken für menschliche Gesundheit, Umweltverhalten und Ökotoxizität)

Durchschnittlicher Load Index pro Betrieb, Jahr und Kultur. Blaue Striche zeigen jeweils den Median aller Indikatorwerte pro Jahr und Kultur.

Quelle: Eigene Berechnungen.

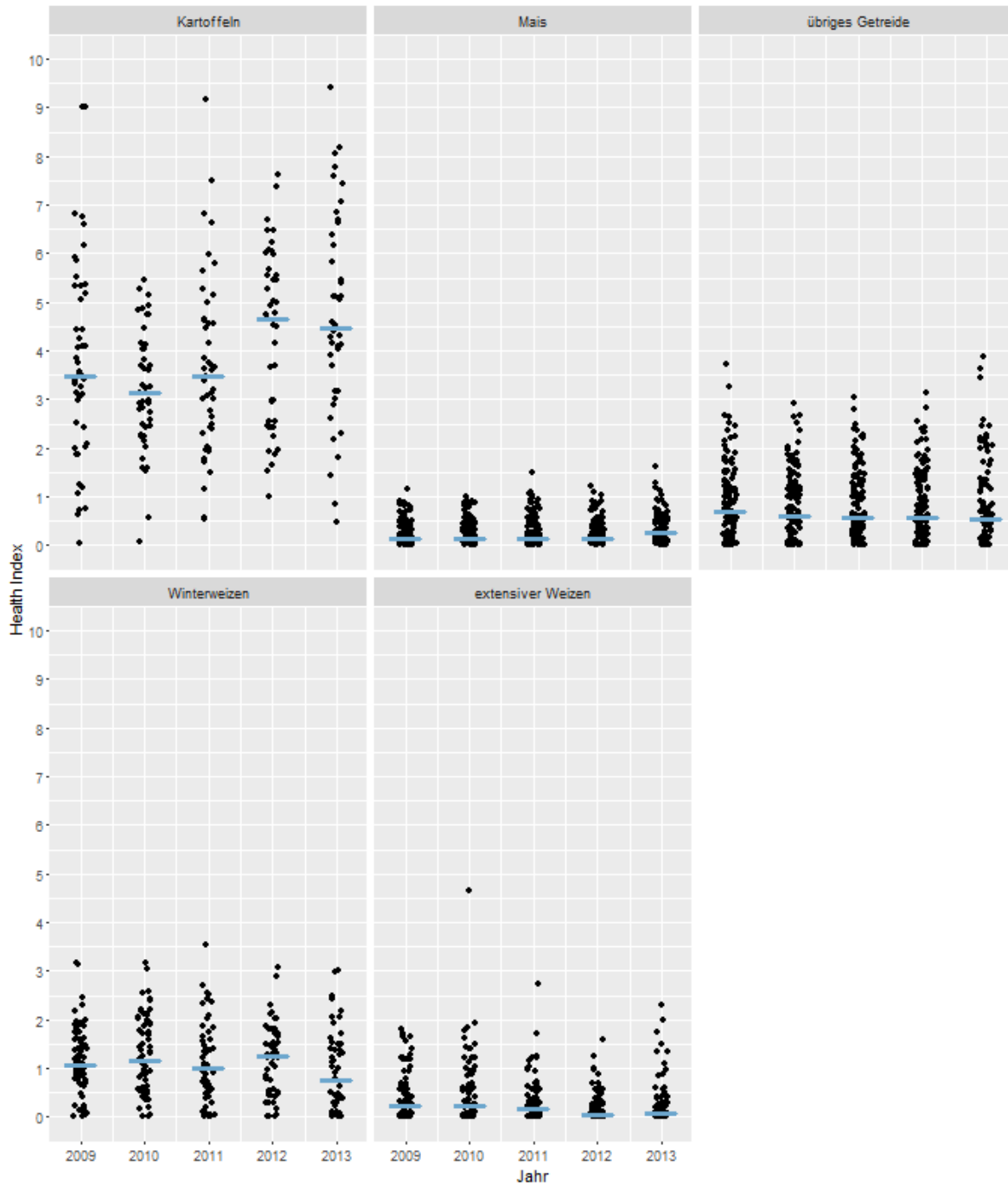


Abbildung 22: Durchschnittlicher Load Index menschliche Gesundheit je Betrieb und Kultur (berücksichtigt nur Risiken für menschliche Gesundheit)

Durchschnittlicher Load Index für menschliche Gesundheit pro Betrieb, Jahr und Kultur. Blaue Striche zeigen jeweils den Median aller Indikatorwerte pro Jahr und Kultur.

Quelle: Eigene Berechnungen.

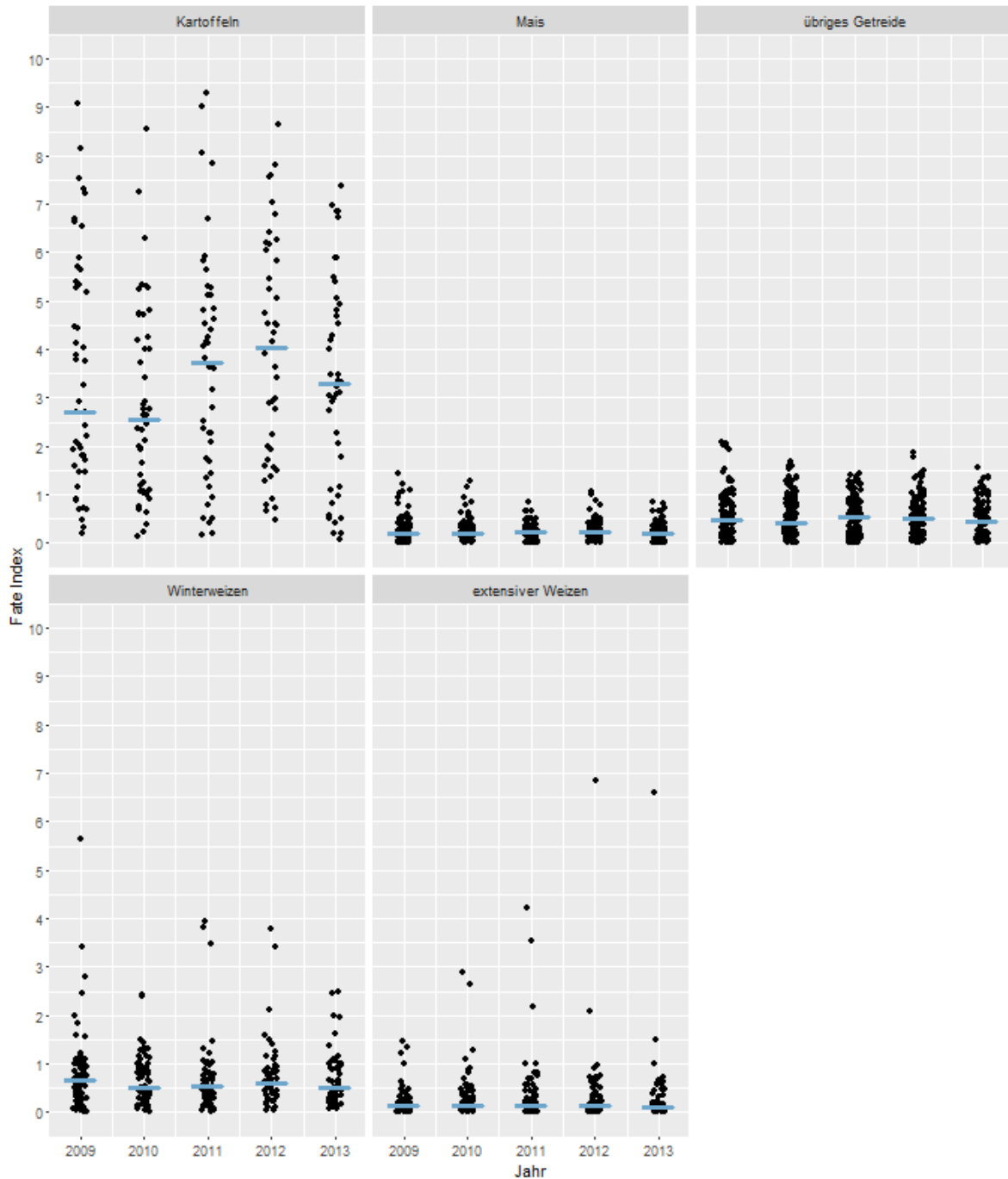


Abbildung 23: Durchschnittlicher Load Umweltverhalten je Betrieb und Kultur (berücksichtigt nur Risiken durch das Umweltverhalten)

Durchschnittlicher Load Index für Umweltverhalten pro Betrieb, Jahr und Kultur. Blaue Striche zeigen jeweils den Median aller Indikatorwerte pro Jahr und Kultur.

Quelle: Eigene Berechnungen.

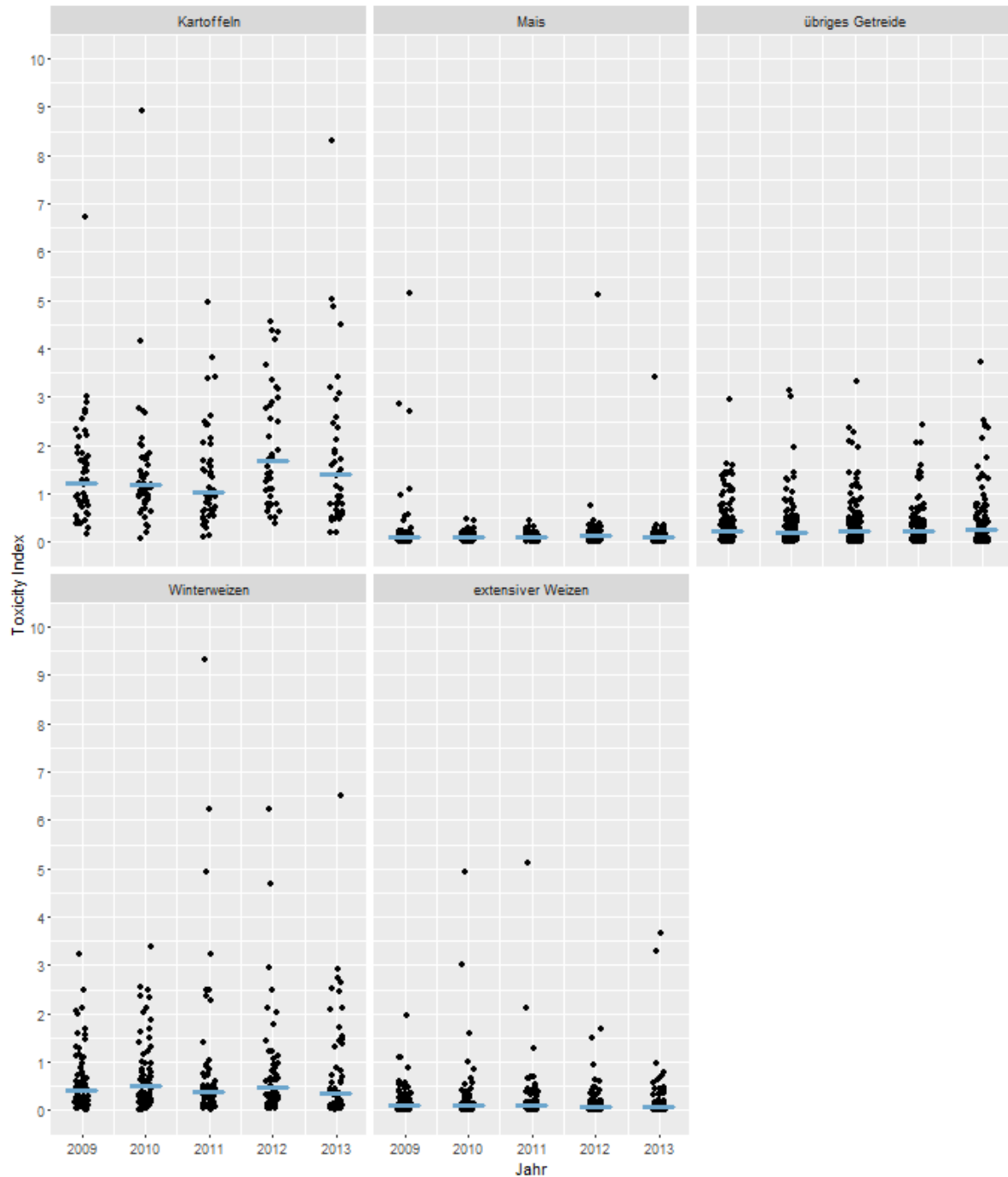


Abbildung 24: Durchschnittlicher Load Index Ökotoxizität je Betrieb und Kultur (berücksichtigt nur Risiken durch Ökotoxizität)

Durchschnittlicher Load Index für Ökotoxizität pro Betrieb, Jahr und Kultur. Blaue Striche zeigen jeweils den Median aller Indikatorwerte pro Jahr und Kultur.

Quelle: Eigene Berechnungen.

5.3 Statische Analyse einer auf potenziellen Umwelt- und Gesundheitsrisiken basierenden Pflanzenschutzmittelabgabe für die Schweizer Landwirtschaft

Die deskriptive Analyse des Schweizer PSM-Einsatzes mittels der ZA-AUI Daten zeigte, dass eine grosse Heterogenität des PSM-Einsatzes zwischen den einzelnen Betrieben vorherrscht. Um diese Heterogenität genauer herauszuarbeiten, wird eine statische, historische Analyse einer potenziellen Abgabe durchgeführt. Potenzielle Verhaltensänderungen nach Einführung einer Abgabe werden daher nicht berücksichtigt. Diese Fokussierung ist notwendig, da die detaillierte Abbildung von Verhaltensänderungen auf der hier adressierten Mikroebene, d.h. einzelne PSM analysierende Betrachtung, im Rahmen dieses Projekts nicht möglich ist. Die Berücksichtigung dieser Anpassungsreaktionen (siehe Kapitel 4) ist jedoch ein logischer und zentraler nächster Schritt zur detaillierteren Analyse der Auswirkungen einer Abgabeneinführung. Daher erfolgt keine Prognose für mögliche zukünftige Auswirkungen einer Abgabe, sondern eine *ex-post* Analyse der Jahre 2009 – 2013 mittels der bereits in Unterkapitel 5.2 verwendeten ZA-AUI Daten.⁸⁴ Analysen werden auf Grundlage der bereits diskutierten ZA-AUI Daten, in Kombination mit Informationen aus dem BLW Pflanzenschutzmittelverzeichnis und der PPDB durchgeführt.

Basierend auf der in Abschnitt 3.2 präsentierten Analyse verschiedener Abgabenmodelle und in Abstimmung mit der Begleitgruppe beschränkt sich die hier präsentierte Analyse auf die Anwendung des dänischen Abgabensystems. Da genaue Ziele für die Reduzierung des PSM-Einsatzes in der Schweiz noch nicht festgelegt sind, wird die folgende Analyse die Abgabenhöhe und die identische Ausgestaltung wie im dänischen System annehmen. Das heisst, Zielkriterien, Gewichtung und Abgabenbasissätze (siehe Abschnitt 3.2.4) werden eins zu eins übernommen. Die effektive Ausgestaltung dieser Komponenten obliegt jedoch dem Gesetzgeber und soll den Zielen im Nationalen Aktionsplan spezifisch Rechnung tragen. Das dänische System bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Abgabe explizit an Schweizer Besonderheiten und Zielsetzungen anzupassen (z.B. eine weniger starke Fokussierung auf Grundwassereinträge zu wählen, da diese in der Schweiz ein geringeres Problem darstellen). Zusätzlich könnten Ausnahmen für bestimmte PSM z.B. im Zusammenhang mit der Problematik von Pflanzenschutz in Spezialkulturen (Lückenindikation) und Resistenzen hinzugefügt werden. So sind beispielsweise im Gemüsebau oft nur ein oder wenige Wirkstoffe für viele spezifische Anwendungen verfügbar. Die hier dargestellte Analyse soll also nur ein illustratives Beispiel aufzeigen, welches als Referenzpunkt für Veränderungen und Verbesserungen dienen kann. Diese Schritte könnten durch die zuständigen Bereiche bei Agroscope und BLW vollzogen werden.

Das dänische Abgabensystem beruht auf zwei Säulen: Einem Basis-Abgabensatz, welcher einer Mengenabgabe entspricht, sowie einer Load Komponente, welche potenzielle Risiken des PSM anhand des Load Indikators (siehe Abschnitte 3.2.4 und 5.2.2) betrifft. Diese Aufteilung der

⁸⁴ Die Analyse beschränkt sich hierbei auf den PSM-Einsatz im Schweizer Ackerbau und insbesondere auf die genannten Kernkulturen Winterweizen (extensiv und intensiv), übriges Getreide, Mais und Kartoffeln.

Abgabe erlaubt eine hohe Flexibilität in der Ausgestaltung. Je nach Bedarf könnten Mengenkomponekte oder Risikokomponekte stärker gewichtet werden. Zudem ist die Definition der Risikokomponekte dem Gesetzgeber überlassen – und somit flexibel auf unterschiedliche Ziele der Risikominderung anpassbar. Die Risikokomponekte im dänischen System gewichtet die Bereiche menschliche Gesundheit, Umweltverhalten und Ökotoxizität der Produkte in etwa gleich. Im dänischen Abgabensystem wird jede Einheit Wirkstoff (in kg oder l) aktuell mit einer Abgabe von umgerechnet 7,3 CHF belegt. Je höher der „Load“ des Produktes (also das potentielle Risiko) zudem ist, desto mehr steigt dieser Basis-Abgabensatz, nämlich aktuell um weitere (umgerechnet) 15 CHF pro Load Einheit.⁸⁵ Das heisst, ein Kilogramm eines Produktes, welches eine Wirkstoffkonzentration von 100% hat und mit 0 Load Einheiten bewertet ist würde mit einer Abgabe von 7,3 CHF belastet. Ein Kilogramm eines Produktes, welches mit 1 Load Einheit bewertet ist, würde mit 22,3 CHF belastet bei 100% Wirkstoffanteil – mit 11,15 CHF pro (kg/l) bei 50% Wirkstoffanteil. Die hier verwendeten Abgabenhöhen entsprechen also genau den Annahmen im dänischen System.

Die Analyse setzt sich aus zwei Schritten zusammen: Erstens erfolgt eine Analyse auf Ebene einzelner Produkte. Dies erlaubt das Aufzeigen der Heterogenität produktspezifischer Abgabenhöhen. Des Weiteren kann gezeigt werden, wie eine PSM-Abgabe zwischen potenziell risikoreichen und risikoarmen Produkten diskriminieren kann. Zweitens erfolgt eine Analyse auf Ebene des einzelnen landwirtschaftlichen Betriebes. Hierzu werden i) die angebauten Kulturen, ii) die verwendeten PSM und iii) verwendete Mengen dieser PSM berücksichtigt. Durch diese Analyse können Abgabenbelastungen zwischen Gruppen verschiedener Betriebe aufgezeigt werden, wie sich diese Belastungen über die Zeit verändern und welchem durchschnittlichen Steuersatz (äquivalent einer Wertsteuer) das hier analysierte Abgabensystem entsprechen würde.

5.3.1 Vorgehensweise Simulation der PSM-Abgabe und Datengrundlage

Um die dänische Abgabe auf PSM zu simulieren wird zunächst die Datenbasis der ZA-AUI um Informationen über Gefahrenhinweise, Umweltverhalten und Ökotoxizität der Wirkstoffe/Produkte aus der PPDB erweitert. Da diese Datenbanken nicht exakt deckungsgleich sind, können nur ca. 93% der PSM-Anwendungen pro Jahr für die Analyse berücksichtigt werden (vgl. Anhang H).

In einem ersten Schritt werden die oben genannten Daten genutzt, um für jedes PSM, welches Anwendung in den ZA-AUI Daten fand, einen Load Indikator zu berechnen (vgl. 5.2.2). Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, lässt sich nun eine Abgabenhöhe pro Einheit (kg/l) Produkt berechnen. Berücksichtigt man nun die Wirkstoffkonzentrationen in jedem Produkt und die empfohlenen Anwendungsmengen pro Kultur, lässt sich für jedes Produkt und Kultur eine potenzielle Abgabenhöhe pro ha berechnen (bei Einhaltung empfohlener Dosierungen).

Empfohlene Preise für die PSM-Produkte werden aus AGRIDEA-Angaben (Agridea Preiskatalog, Ausgaben 2009-2013) sowie Preislisten von Landhändlern (FENACO/LANDI) für die

⁸⁵ Enthält ein Produkt mehrere Wirkstoffe, so werden Load und Wirkstoffanteil auf (kg/l) des Gesamtproduktes umgerechnet.

jeweiligen Jahre entnommen. Eine ausführliche Beschreibung der Preisentwicklung eingesetzter PSM von 2009-2013 findet sich in Anhang I. Die absolute Abgabenhöhe pro ha wird in Relation zu den absoluten Kosten der PSM pro ha gesetzt, um einen relativen Steuersatz pro Produkt und Kultur zu erhalten.

Die weitere Analyse erfolgt in zwei Schritten: Im ersten Schritt werden Produktrankings erstellt. In den Produktrankings werden die eingesetzten Produkte pro Wirkstoffgruppe und Kultur nach ihrer Wichtigkeit mit dem kumulierten Behandlungsindex gerankt. Mit Hilfe der Angaben zur Höhe der drei Load Komponenten, zur absoluten Abgabenhöhe pro ha, dem Preis pro ha und der relativen Steuerhöhe lässt sich vergleichen, wie heterogen Produkte unter diesem System belastet würden, wie wichtig sie in der Anwendung waren und auf welchen Komponenten die Abgabenhöhe hauptsächlich basiert. Das Produktranking erfolgt dabei über eine auch vom JKI (JKI, 2013) benutzte Methode: Pro Kultur und Wirkstoffgruppe wird der kumulierte Behandlungsindex (vgl. Abschnitt 5.2.2.2) über alle Betriebe berechnet. Nun wird für jedes in der Kultur und Wirkstoffgruppe eingesetzte Produkt wiederum der kumulierte Behandlungsindex über alle Landwirtinnen und Landwirte berechnet. Das Ranking der Produkte erfolgt dann anhand des Anteils der jeweiligen Produkte am kumulierten Behandlungsindex pro Kultur und Wirkstoffgruppe. Auf die Ausweisung der jeweiligen Mittel mit genauer Bezeichnung wurde auf Wunsch der Begleitgruppe verzichtet, da das hier angenommene Abgabensystem nicht notwendigerweise den Präferenzen für ein Schweizer Abgabensystem entsprechen muss. Ziel dieses Berichtes ist es zudem nicht, die Toxizität einzelner PSM zu diskutieren, sondern auf die Implikationen von deren Heterogenität auf die Verteilung von Abgabenhöhen einzugehen.

Im zweiten Teil der Analyse stehen einzelbetriebliche Auswirkungen der Abgabe im Vordergrund. Anhand der oben berechneten Abgabenhöhe pro Produkt, ZA-AUI Daten über zwischen 2009 und 2013 tatsächlich eingesetzte PSM der Betriebe und den dazugehörigen jährlichen, durchschnittlichen Preisdaten werden jährliche Aufwendungen für PSM, sowie absolute und relative Abgabenhöhe für jeden Betrieb berechnet. Dies wird wiederum aufgeschlüsselt in Belastung verschiedener Einkommensgruppen und Zonen. Ausserdem wird eine durchschnittliche Belastung aller PSM für das jeweilige Jahr berechnet. Sie zeigt, wie hoch eine äquivalente Wertsteuer sein müsste mit gleichem Steuerertrag. Dabei beziehen sich alle Analysen immer auf die Kulturen Winterweizen (extensiv und intensiv), übriges Getreide, Mais und Kartoffeln.

5.3.2 Produktrankings

Die Analyse der Produktrankings ergibt ein Ranking der benutzten PSM-Produkte für jede Kombination der analysierten Kulturen und Wirkstoffgruppen (Herbizide, Fungizide, Insektizide) im Durchschnitt der Jahre 2009-2013. Da eine komplette Darstellung aller Ergebnisse in diesem Bericht nicht möglich ist, wird im Folgenden nur eine Auswahl der Resultate vorgestellt. Die wichtigste Feldfrucht in der Schweizer Landwirtschaft ist Winterweizen, bei welchem wiederum die Herbizide die wichtigste Produktkategorie bilden. In Tabelle 13 wird daher das Produktranking der 20 wichtigsten Herbizide im Winterweizen dargestellt:

Tabelle 13: Produktranking Herbizide in Winterweizen

Rang	Anteil BI	Anteil Betriebe	Health Load	Fate Load	Toxicity Load	Load Total	Kosten CHF/ha	Abgabe CHF	rel. Abgabenhöhe
1	10.3%	27.4%	0.00	0.11	0.02	0.14	106.00	2.71	2.6%
2	9.8%	13.2%	0.56	0.56	0.37	1.48	102.72	24.52	23.9%
3	5.9%	19.8%	0.00	0.06	0.01	0.07	56.54	2.76	4.9%
4	4.7%	5.7%	0.09	0.02	0.00	0.11	119.88	2.58	2.2%
5	3.5%	16.0%	1.45	0.14	0.08	1.67	106.31	36.82	34.6%
6	3.4%	7.5%	0.35	0.24	0.06	0.65	121.75	19.97	16.4%
7	3.2%	10.4%	0.00	0.02	0.02	0.04	90.57	0.89	1.0%
8	3.1%	7.5%	0.00	0.06	0.07	0.12	81.51	2.13	2.6%
9	3.1%	7.5%	0.00	0.00	0.06	0.07			
10	3.1%	4.7%	0.00	3.04	5.25	8.29	83.97	125.20	149.1%
11	3.1%	3.8%	0.10	1.30	0.11	1.51			
12	2.9%	12.3%	0.00	0.55	0.02	0.57	54.37	10.13	18.6%
13	2.9%	9.4%	0.80	0.15	0.12	1.07	72.00	18.93	26.3%
14	2.8%	9.4%	0.00	0.05	0.46	0.51	72.50	8.08	10.9%
15	2.7%	5.7%	0.03	0.10	0.03	0.17	75.00	2.89	3.9%
16	2.4%	14.2%	0.00	0.00	0.05	0.06	61.86	0.87	1.4%
17	2.0%	6.6%	0.00	0.11	0.13	0.25	73.16	3.97	5.4%
18	2.0%	5.7%	0.35	0.12	0.03	0.51	72.00	18.54	25.8%
19	1.9%	6.6%	0.00	0.09	0.78	0.87	75.47	13.50	17.9%
20	1.9%	1.9%	0.45	0.00	0.00	0.46	25.80	7.30	28.2%

Fehlende Einträge aufgrund fehlender Preisdaten der Hersteller. Anmerkung: Auf die Ausweisung der genauen Bezeichnungen der hier gelisteten PSM wurde auf Wunsch der Begleitgruppe verzichtet.

Quelle: Eigene Berechnungen.

In der ersten Spalte von Tabelle 13 ist die Relevanz des PSM im Bereich der Herbizide im Winterweizen dargestellt. Dies bezieht sich auf den Anteil des Wirkstoffes am kumulierten Behandlungsindex (BI) in der zweiten Spalte. Der Anteil Betriebe sagt aus, wie viele der Betriebe mit Winterweizen das Produkt eingesetzt haben (ein einmaliger Einsatz reicht aus). Die Angaben zum Load Indikator und seinen Unterkategorien geben einen Eindruck davon, auf welche Komponenten die Abgabenhöhe zurückzuführen ist. Die Kosten in CHF pro ha geben an, wieviel das PSM im Durchschnitt der Jahre 2009-2013 im Einkauf gekostet hat pro behandelte

Fläche in ha.⁸⁶ Die letzte und vorletzte Spalte geben schliesslich Auskunft darüber, wie hoch die Abgabe nach dänischem Steuersystem absolut (pro ha) und relativ zu den Kosten pro ha ausgefallen wäre. Die hier dargestellten Kosten sind immer nur als Produktkosten zu verstehen und beinhalten z.B. keine Ausbringungskosten. Die Abgabe ist immer als Summe der beiden Komponenten Basissatz und Load Komponente zu verstehen. Fehlende Einträge kommen zustande wenn Preisdaten nicht vorhanden waren (vgl. Anhang H).

Es ist deutlich zu sehen, dass die Abgabenbelastung der PSM stark heterogen ausfallen würde. Wären das erste, dritte und vierte Mittel relativ zu den Kosten mit nur einer 5%igen Abgabenhöhe belastet, wäre das zweitwichtigste Mittel mit einer Abgabenhöhe von über 20% belastet. Innerhalb der 20 wichtigsten Mittel läge die höchste relative Abgabenbelastung sogar bei 150%. Dabei ist deutlich zu sehen, dass stärker belastete Mittel auch einen höheren Load Faktor haben, also potenziell gefährlicher sind für Umwelt und menschliche Gesundheit. Die Abgabe würde also deutlich gewünschte Anreize hin zu potenziell weniger gefährlichen Mitteln setzen. Dabei spielt bei einigen PSM die menschliche Gesundheit (*Health*) eine grössere Rolle, bei anderen Umweltverhalten (*Fate*) oder Ökotoxizität (*Toxicity*). Dies macht wiederum deutlich, dass eine Gewichtung der Komponenten, je nach Zielstellung der Politik, möglich wäre und einen deutlichen Effekt hätte. Da die Abgabe nicht an den Verkaufspreis gekoppelt ist, werden günstigere Mittel zudem, relativ gesehen, höher belastet bei ähnlichen Load Werten. Dies ist jedoch im Sinne einer umweltrisikominimierenden Politik: Günstige PSM mit hohen Load Werten dürften auch potenziell ein grosses Risiko für die menschliche Gesundheit und Umwelt darstellen. Einen Eindruck von einer anderen Wirkstoffgruppe vermittelt das Produktranking der Fungizide in Kartoffeln⁸⁷ (Tabelle 14):

⁸⁶ Bei Einhaltung der Standardddosis (einmalige Anwendung).

⁸⁷ Abschnitt 5.2 hat gezeigt, dass Fungizide im Kartoffelanbau eine höhere Relevanz haben als in den anderen analysierten Kulturen.

Tabelle 14: Produktranking Fungizide in Kartoffeln

Rang	Anteil BI	Anteil Betriebe	Health Load	Fate Load	Toxicity Load	Load Total	Kosten CHF/ha	Abgabe CHF	rel. Abgabenhöhe
1	11.9%	57.5%	0.88	0.42	0.62	1.92	55.80	30.72	55.1%
2	9.6%	27.4%	0.09	0.16	0.03	0.27	69.42	10.66	15.4%
3	6.8%	23.3%	0.30	0.05	0.12	0.48	80.80	20.64	25.5%
4	4.7%	16.4%	0.09	0.46	0.02	0.56	74.01	16.48	22.3%
5	4.5%	17.8%	0.85	0.00	0.13	0.98	52.88	25.81	48.8%
6	3.9%	15.1%	0.85	0.00	0.12	0.97			
7	3.8%	20.5%	0.90	0.12	0.17	1.19	64.76	27.52	42.5%
8	3.6%	15.1%	0.30	0.00	0.13	0.43	73.98	14.84	20.1%
9	3.6%	5.5%	0.57	0.41	0.25	1.23	67.70	20.92	30.9%
10	3.2%	12.3%	0.30	0.00	0.12	0.42	73.99	18.69	25.3%
11	2.9%	8.2%	1.35	0.10	0.14	1.59	26.66	29.41	110.3%
12	2.9%	13.7%	0.30	0.02	0.11	0.44	71.20	18.36	25.8%
13	2.9%	9.6%	0.00	0.09	0.05	0.14	57.90	2.72	4.7%
14	2.7%	12.3%	0.30	0.00	0.14	0.44	41.90	22.73	54.2%
15	2.5%	5.5%	0.88	0.42	0.62	1.92	50.64	30.72	60.7%
16	2.4%	17.8%	0.88	0.35	0.50	1.73	80.78	28.29	35.0%
17	2.2%	21.9%	0.35	0.08	0.04	0.46	100.60	8.59	8.5%
18	2.1%	8.2%	0.04	0.28	0.01	0.33	77.07	5.91	7.7%
19	2.0%	2.7%	0.85	0.00	0.01	0.86			
20	1.6%	8.2%	1.35	0.04	0.11	1.50	63.08	36.34	57.6%

Fehlende Einträge aufgrund fehlender Preisdaten der Hersteller. Anmerkung: Auf die Ausweisung der genauen Bezeichnungen der hier gelisteten PSM wurde auf Wunsch der Begleitgruppe verzichtet.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Das Produktranking für Fungizide in Kartoffeln vermittelt zunächst einen ähnlichen Eindruck wie für Herbizide im Winterweizen. Die Abgabenhöhe ist stark heterogen verteilt und reicht von 7% bis 110% bei den wichtigsten 20 Produkten. Es ist jedoch auffällig, dass die relative Abgabenhöhe im Schnitt etwas höher ausfällt. Das liegt zum grossen Teil daran, dass die wichtigsten eingesetzten Mittel einen höheren Load aufweisen als die Herbizide im Winterweizen. Da die Steuer pro Einheit Produkt erhoben wird, lässt sich jedoch auch erkennen, dass die empfohlenen Produktdosierungen einen Einfluss auf die Abgabenhöhe pro ha haben. Die an 14. und

17. Stelle gerankten Mittel weisen einen sehr ähnlichen Load auf. Die Abgabenhöhe ist jedoch stark unterschiedlich. Hier wird deutlich, dass Mittel, welche in hoher Dosierung angewendet werden und zusätzlich einen hohen Load aufweisen, besonders stark belastet werden.⁸⁸ Auch dies ist im Sinne einer Politik, welche Anreize zur Risikominimierung setzen will. So könnten ökonomische Anreize gesetzt werden, die Dosierungen im Rahmen der empfohlenen Standarddosis zu halten sowie verwendete PSM mit weniger riskanten PSM oder nicht-chemischen Pflanzenschutzstrategien zu substituieren. Um einen Eindruck von der Verteilung der Abgabenhöhe zu erhalten, ist in Abbildung 25 ein Histogramm der relativen Abgabenhöhe aller Mittel und Kulturen (ungewichtet) zu sehen:

⁸⁸ Bei Betrachtung von einmaligen Anwendungen pro ha.

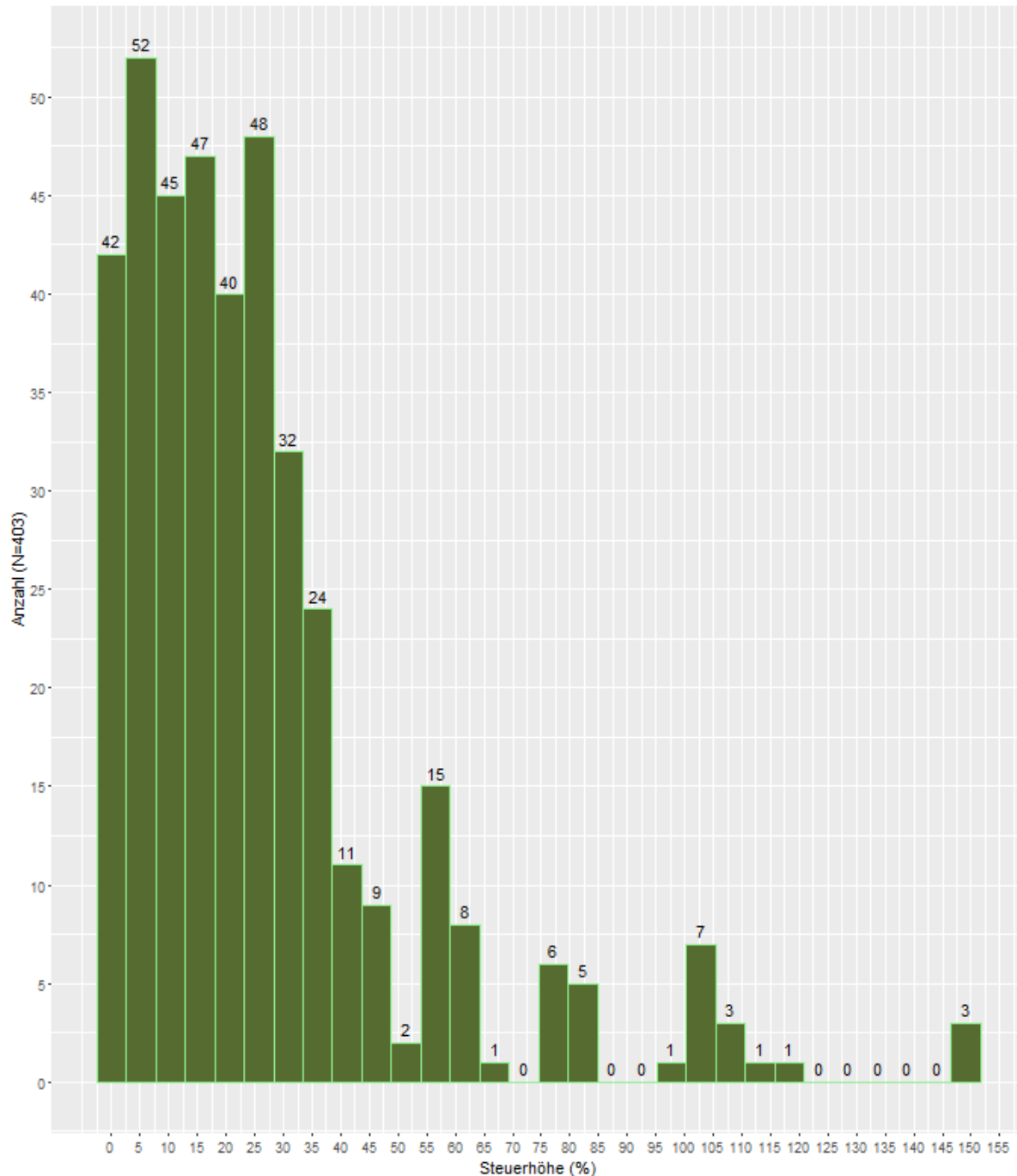


Abbildung 25: Histogramm relative Abgabenhöhe aller analysierter PSM

Quelle: Eigene Berechnungen.

Das Histogramm der Abgabenhöhe aller PSM⁸⁹ bestätigt eindrücklich den aus den Produktran-
kings gewonnenen Eindruck. Die Hälfte aller Mittel würde in dem dänischen Steuersystem mit
einem Steuersatz (relativ zu den Kosten pro ha) von unter 20% besteuert werden. Nur ca. ein
Achtel aller Mittel wäre mit einer Abgabe von über 50% belastet. Das Abgabensystem wäre
damit stark ausdifferenziert und Anreize gemäss dem potenziellen Risiko wären gesetzt. Aus

⁸⁹ Berücksichtigt sind alle Kulturen und Produktkategorien der fünf betrachteten Kernkulturen.

dieser Analyse wird jedoch nicht klar, inwiefern sich die Belastung durch die Abgabe über Landwirtinnen und Landwirte bzw. Kulturen verteilt hätte. Dies wird in der folgenden einzelbetrieblichen Analyse verdeutlicht.

5.3.3 Einzelbetriebliche Analyse

Für die einzelbetriebliche Analyse werden die Preise der eingesetzten Mittel und Mengenangaben genutzt, um Ausgaben für PSM pro Betrieb und Jahr zu berechnen. Diese sind nicht gleichzusetzen mit den buchhalterischen Kosten für PSM, da in den Ausgaben nicht mögliche Ausbringungskosten oder Kosten für die Anwendung durch Dritte berücksichtigt werden. Zudem können nur die PSM mit vollständigen Angaben in der Analyse berücksichtigt werden (vgl. Anhang H). Eine Analyse der Ausgaben gibt jedoch ein genaueres Bild von den Auswirkungen der Abgabe. Zunächst werden durchschnittliche Ausgaben aller Betriebe⁹⁰ pro Jahr berechnet sowie potenzielle Ausgaben mit Abgabe und der sich daraus ergebende durchschnittliche Abgabensatz auf die PSM-Ausgaben (Tabelle 15).

Tabelle 15: Durchschnittliche Pflanzenschutzmittelausgaben mit und ohne Abgabe

Jahr	Ausgaben Pflanzenschutzmittel CHF	Ausgaben mit Abgabe CHF	Durchschnittlicher realisierter Abgabensatz
2009	Fr. 2'237	Fr. 2'624	17,3%
2010	Fr. 2'148	Fr. 2'543	18,4%
2011	Fr. 2'036	Fr. 2'439	19,7%
2012	Fr. 2'301	Fr. 2'751	19,5%
2013	Fr. 2'062	Fr. 2'444	18,5%
Alle Jahre	Fr. 10'784	Fr. 12'801	18,7%

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die durchschnittlichen Ausgaben schwanken im betrachteten Zeitraum 2009-2013 nur leicht.⁹¹ Da die Abgabenhöhe sowohl von der relativen Einsatzmenge als auch von dem Load der eingesetzten Mittel abhängt, schwankt jedoch die relative Abgabenhöhe auf die PSM Ausgaben. Mit den hier übernommenen Abgabensätzen und Gewichtungen des dänischen Systems ergibt sich für die Jahre 2009-2013 eine geringe Fluktuation des relativen Abgabensatzes im Bereich von 17% – 20%. Im Mittel über alle fünf Jahre⁹² ergibt sich daraus ein durchschnittlicher Abgabensatz von 18,7 %. Da benutzte Mittel zwischen verschiedenen Kulturen jedoch stark unterschiedlich sind, wurde weiterhin der relative Abgabensatz getrennt für jeden Betrieb und jede

⁹⁰ Also im ZA-AUI Sample vertretene Landwirte, welche im betrachteten Zeitraum 2009-2013 zumindest eine der Kernkulturen angebaut haben (ohne biologischen Anbau). Betrachtet werden Ausgaben für Winterweizen (intensiv und extensiv), übriges Getreide, Mais und Kartoffeln.

⁹¹ Die berücksichtigten Ausgaben für Pflanzenschutzmittel, inklusive potenzieller Abgabe entsprechen im Median über alle Jahre 1,63% des Gesamteinkommens.

⁹² Gewichtet mit den totalen Ausgaben pro Jahr.

Kultur (sofern diese angebaut wird) berechnet. Um die Variabilität des relativen Abgabensatzes auf die Ausgaben darzustellen, wurden Boxplots gewählt (Abbildung 26, Abbildung 27).

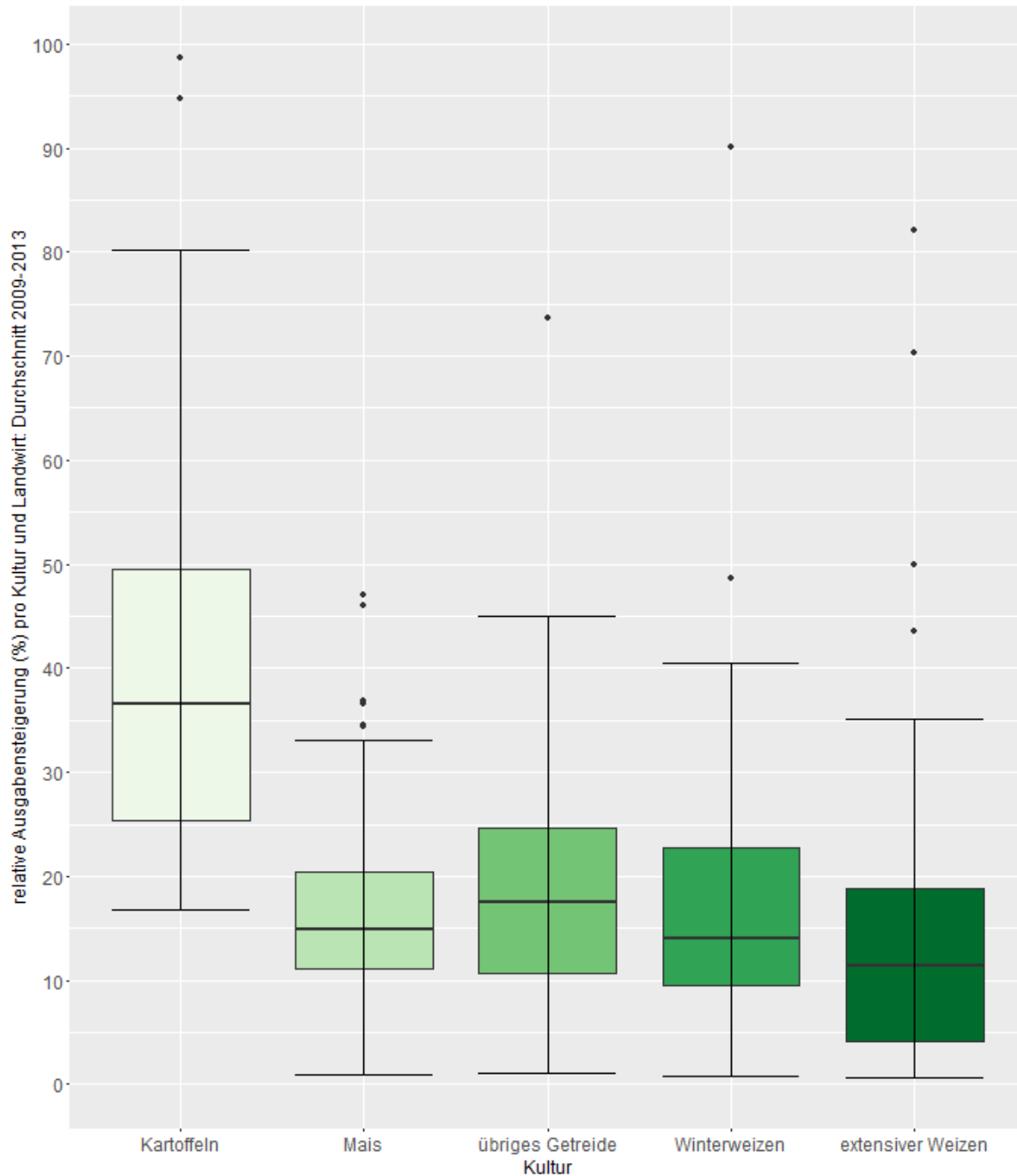


Abbildung 26: Durchschnittliche relative Ausgabensteigerung Pflanzenschutzmittel pro Kultur und Landwirt

Mittellinien der Boxen geben jeweils die Mediane der Verteilung an.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Es ist deutlich zu sehen, dass sowohl der Median als auch die Varianz der relativen Abgabenhöhe bei Kartoffeln am höchsten ist. Dies deckt sich mit der Analyse der deskriptiven Statistiken (Abschnitt 5.2), bei denen die in Kartoffeln eingesetzten Mittel sowohl den durchschnittlich

höchsten Load aufwiesen, als auch eine hohe Variabilität der beobachteten Werte aufzeigten. Eine hohe Varianz der relativen Abgabenhöhe pro Kultur zwischen verschiedenen Betrieben ist ein Hinweis darauf, dass durchaus unterschiedliche Pflanzenschutzstrategien existieren, wobei der Load der eingesetzten Mittel je nach Strategie stark variiert. Dies war bereits ein Ergebnis der Analyse deskriptiver Statistiken und es scheinen diesbezügliche Anreize mit dem untersuchten Abgabensystem gesetzt zu werden. Eine weitere Untersuchung der Determinanten unterschiedlicher Strategien scheint daher angebracht zu sein. Die durchschnittliche Belastung durch die Abgabe ist bei intensiven Kulturen wie Kartoffeln höher. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass hier nicht Kosten für die Ausbringung berücksichtigt wurden (welche nicht von der Steuer beeinflusst werden). Zudem erzielen Kulturen mit hohen PSM-Ausgaben oft auch höhere Erlöse, sodass der Anteil der PSM-Ausgaben im Verhältnis zu den Erlösen relativ gering ist.

In einem nächsten Schritt wird untersucht, inwiefern eine solche Abgabe landwirtschaftliche Betriebe in verschiedenen Einkommensgruppen und verschiedenen geographischen Zonen belastet. Dazu wird wieder die durchschnittliche Abgabenhöhe über alle Jahre und pro Betrieb berechnet. Die Betriebe werden den im Sample existenten geographischen Zonen (Tal – Hügel – Berg) zugeordnet und anschliessend werden pro Zone Boxplots mit der Verteilung der Abgabenhöhe erstellt und mit den anderen Zonen verglichen (Abbildung 27).

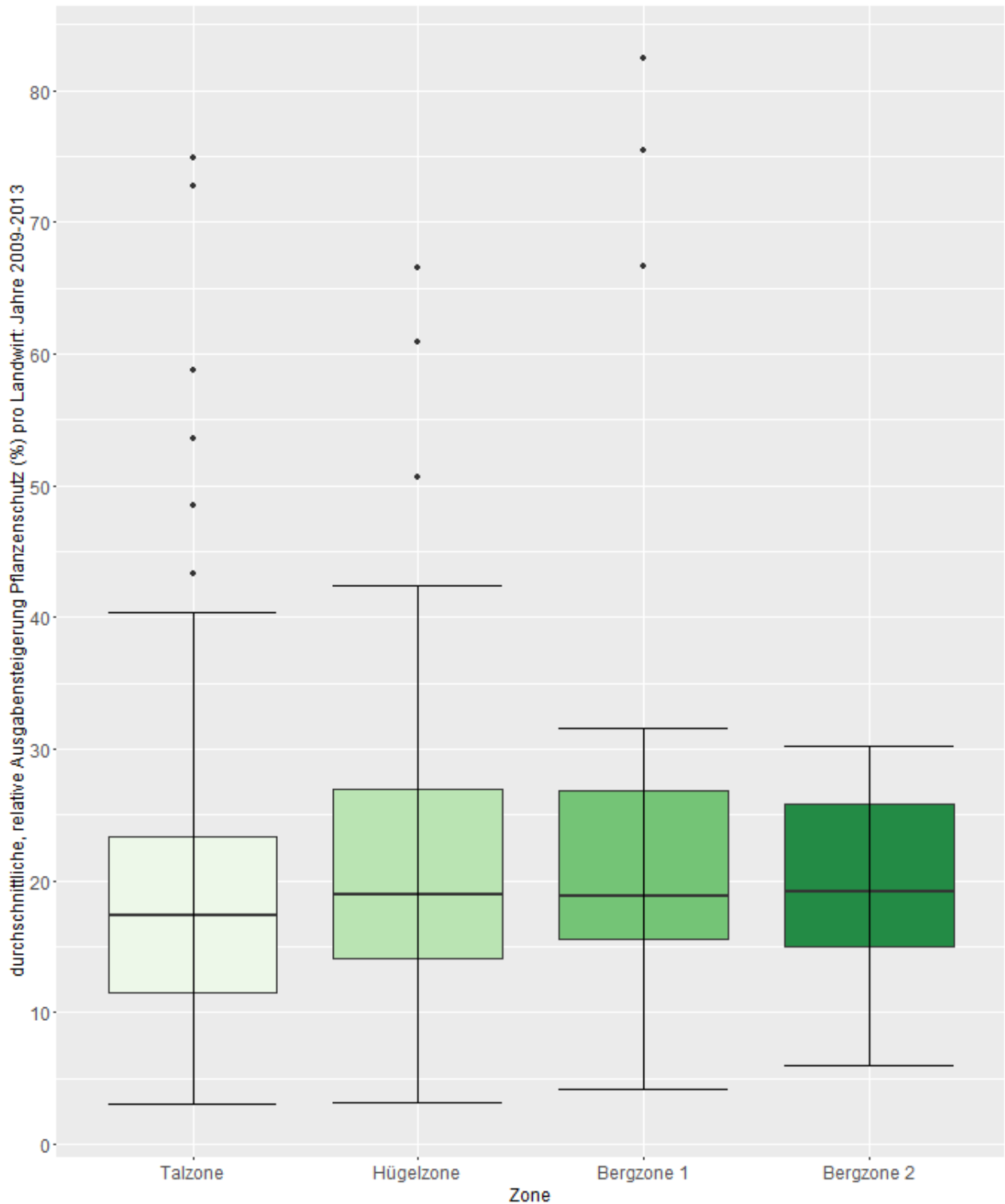


Abbildung 27: Durchschnittliche relative Ausgabensteigerung Pflanzenschutzmittel pro Landwirt (über Zonen)

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die relative Abgabenhöhe nach dem dänischen System verteilt sich im analysierten Sample relativ ausgeglichen auf die verschiedenen Zonen Tal, Hügel und Berg.⁹³ Im Median liegt die durchschnittliche Belastung bei 17% – 20% in allen Zonen.

Um abzuschätzen, ob eine Abgabe eine Verteilungswirkung hätte, wird abschliessend die Verteilung der durchschnittlichen Abgabenbelastung für verschiedene Einkommensgruppen dargestellt (hier gilt Gleiches wie in Fussnote 93). Die Einteilung der Betriebe erfolgt dabei anhand des durchschnittlichen buchhalterischen Gesamteinkommens des landwirtschaftlichen Betriebes über die Jahre, welche sich der Betrieb im Sample befindet. Es werden Einkommensdezile dargestellt, d.h. in der ersten Gruppe befinden sich die 10% der Betriebe mit dem geringsten Einkommen, in der letzten Gruppe die 10% der Betriebe mit dem höchsten Einkommen usw.

Die durchschnittliche Belastung der verschiedenen Einkommensgruppen schwankt leicht, ist aber insgesamt sehr ähnlich (zwischen 16% und 22%). So hätten das erste und letzte Dezil, also die Betriebe mit dem niedrigsten und höchsten Einkommen eine nahezu identische durchschnittliche Belastung erfahren. Tendenziell scheint die Varianz in den niedrigeren Einkommensgruppen etwas grösser zu sein, wobei die Gruppe der Betriebe mit den zweithöchsten Einkommen eine Ausnahme bildet. Auf Grundlage dieser beschreibenden Analyse ist jedoch keine grössere Verteilungswirkung einer dem dänischen Abgabensystem ähnlichen Abgabe zu erwarten.

⁹³ Zu berücksichtigen ist jedoch, dass der jeweilige Produktionsanteil der betrachteten fünf Kulturen zwischen den verschiedenen Zonen schwanken kann. Dies wird hier nicht berücksichtigt und sollte noch ausführlicher untersucht werden.

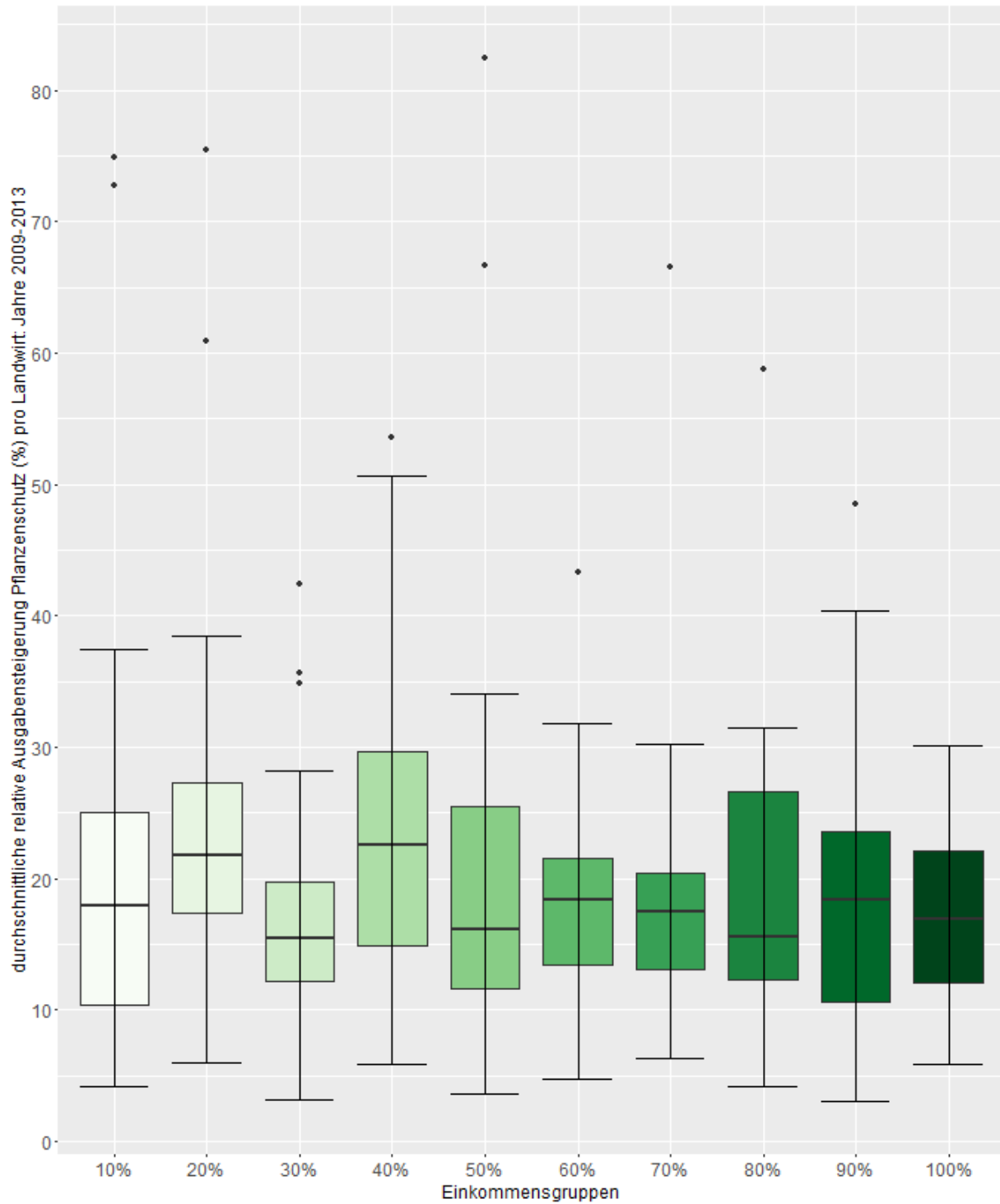


Abbildung 28: Durchschnittliche relative Ausgabensteigerung Pflanzenschutzmittel pro Landwirt (über Einkommensgruppen)

Quelle: Eigene Berechnungen. Die berücksichtigten Ausgaben für Pflanzenschutzmittel, inklusive potenzieller Abgabe, entsprechen im Median über alle Jahre 1,63% des Gesamteinkommens.

5.4 Diskussion und Schlussfolgerungen aus Kapitel 5

5.4.1 Meta-Analyse Nachfrageelastizitäten

Aus der Literaturrecherche und der darauf aufbauenden Meta-Analyse der Preiselastizität der Nachfrage nach PSM lassen sich zunächst folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die Eigenpreiselastizität der Nachfrage nach PSM ist signifikant kleiner als 0, jedoch mit einem Median von -0,28 unelastisch.
- Langfristig, d.h. unter variablen Produktionsfaktoren, ist die Nachfrage elastischer als kurzfristig, d.h. unter fixen Produktionsfaktoren. Langfristig sind also Produktionsanpassungen, sei es eine Veränderung des Produktionsprogramms oder eine Intensitätsreduzierung, zu erwarten. Die Nachfrage nach PSM ist signifikant unelastischer in Spezialkulturen, obwohl in diesen je Hektar ein hoher PSM-Einsatz beobachtet werden kann. Hier müssten andere, flankierende Massnahmen ein grösseres Gewicht erhalten, um Hebelwirkungen auf den PSM-Einsatz zu induzieren und Einkommenseffekte zu kompensieren.
- Des Weiteren kann für Herbizide eine signifikant elastischere Nachfrage beobachtet werden. Dieser Punkt ist für die Schweiz besonders relevant, da es in einigen Fließgewässern Probleme mit Herbizideinträgen gibt. Für den separat analysierten Maisanbau konnte jedoch eine unelastischere Nachfrage beobachtet werden, obwohl hier fast ausschliesslich Herbizide eingesetzt werden. Begründet werden kann dies allerdings mit der insgesamt sehr niedrigen Einsatzmenge von PSM im Mais.

5.4.2 Deskriptive Analyse des PSM Einsatzes in der Schweiz

Die Analyse verschiedener Indikatoren des PSM-Einsatzes mit einem repräsentativen Sample Schweizer Landwirte (ZA-AUI Daten) hat ein umfassendes Bild des PSM-Einsatzes in der Schweiz von 2009-2013 ergeben. Insbesondere wurden Indikatoren zu Anwendungsmengen (Wirkstoffmenge pro ha), Dosierung (durchschnittlicher Behandlungskoeffizient), Intensität des PSM-Einsatzes (Überfahrten, Behandlungsindex) und potenziellem Risiko für Umwelt- und menschliche Gesundheit der eingesetzten Mittel (Area Load, Load Index) pro Kultur verglichen. Zudem wurde die Variation der Indikatoren über die Zeit (2009-2013) und zwischen verschiedenen Betrieben aufgezeigt. Es haben sich folgende Erkenntnisse ergeben:

- Daten für den Obstbau waren wenig repräsentativ, da Schläge ohne PSM-Einsatz einen hohen Anteil im Sample hatten. Die Analyse fokussierte sich daher auf Winterweizen (extensiv und intensiv), übriges Getreide, Mais und Kartoffeln.
- PSM-Einsatz, gemessen in Überfahrten und Wirkstoffmenge, sowie der Einsatz von PSM verschiedener Wirkstoffgruppen sind stark kulturspezifisch: Die höchste Menge pro ha wird im Kartoffelanbau eingesetzt, die niedrigste in Mais und extensivem Weizen. In allen untersuchten Kulturen werden fast immer Herbizide eingesetzt, Fungizide kommen bei Kartoffeln und Winterweizen zum Einsatz und Insektizide fast ausschliesslich bei Kartoffeln.
- Es besteht eine grosse Heterogenität des PSM-Einsatzes über Raum und Zeit. Eine differenzierte Behandlung von PSM in möglichen Politikmassnahmen, beispielsweise nach Einsatzgebiet und Produktkategorie scheint daher angemessen.
- Wird der Median der Indikatoren Behandlungskoeffizient, Behandlungsindex sowie Area Load und Load Index pro Kultur verglichen, ergibt sich eine ähnliche Rangfolge wie bei der Analyse der eingesetzten PSM-Mengen. Dabei zeigt sich für den Kartoffelanbau nicht nur

der höchste Einsatz von Wirkstoffmenge und die höchste Anzahl von Überfahrten, sondern auch die höchste durchschnittliche Dosierung (Behandlungskoeffizient) und höchste potenzielle Gefährdung (Area Load und Load Index) durch eingesetzte PSM. Danach folgen Winterweizen und übriges Getreide und mit den geringsten Indikatorwerten Mais und extensiver Weizen.

- Die Variation der Indikatoren zwischen den Betrieben ist deutlich relevanter als die Variation über die Jahre und teilweise so stark wie die Varianz zwischen den Kulturen. Zwischen 2009-2013 sind Unterschiede im Median der Indikatoren am ehesten für Wirkstoffmengen auffällig.
- Weitergehend sollte die Heterogenität der Indikatoren zwischen den Landwirtinnen und Landwirten auf mögliche Determinanten untersucht werden, als auch die Heterogenität der Auswirkungen möglicher Politikmassnahmen auf unterschiedliche Gruppen von Landwirten.

5.4.3 Analyse einer Abgabe auf PSM

Mittels der ZA AUI Daten⁹⁴ wurde die Einführung einer auf Risikoindikatoren basierenden Pflanzenschutzabgabe simuliert. Für die Analyse wurde das dänische Abgabensystem angewendet. Die Abgabenhöhe orientiert sich dabei sowohl an der Anwendungsmenge als auch dem potenziellen Risiko der PSM in den Bereichen menschliche Gesundheit, Umweltverhalten und Ökotoxizität. Das System bedarf einer Anpassung an Schweizer Anforderungen sowie Kulturen, in welchen Lückenindikationen und Resistenzen eine grosse Rolle spielen. Die *ex-post* Analyse für die Jahre 2009-2013 hat gezeigt, dass die Belastung unterschiedlicher Produkte in diesem Steuersystem stark differenziert gewesen wäre. So variieren relative Abgabenhöhen auf PSM⁹⁵ von 2% bis 150%. Anreize zur Substitution, bzw. Verminderung des Einsatzes, können daher, trotz tiefer Preiselastizitäten der Nachfrage (siehe Abschnitt 5.1), geschaffen werden, wobei durchschnittliche Abgabenhöhen auf PSM-Ausgaben nicht mehr als 19% über alle untersuchte Jahre betragen hätten.⁹⁶ Dabei können die durch das Abgabensystem gesetzten Anreize den identifizierten und relevanten Risiken für Umwelt und menschliche Gesundheit angepasst werden. Die Analyse ergab weiterhin, dass die durchschnittliche Belastung einer solchen Abgabe sich relativ gleichmässig über Zonen als auch Einkommensgruppen verteilen würde.⁹⁷ Bei einem Vergleich der durchschnittlichen Belastung einer solchen Abgabe pro Kultur ergaben sich grosse Unterschiede zwischen den Kulturen. Auch die Varianz der Belastung innerhalb der Kulturen, d.h. über alle analysierten Betriebe, unterschied sich je nach Kultur stark. Kartoffeln lagen sowohl in der Analyse der durchschnittlichen Belastung als auch in der Varianz der Belastung vor den anderen Kulturen. Eine hohe Varianz deutet auf die Existenz verschiedener PSM-Strategien mit unterschiedlichen potenziellen Risiken hin. Eine Steuer könnte eine Substitutionswirkung zu Strategien mit niedrigerem Risiko (d.h. weniger toxische PSM oder nicht-chemische Pflanzenschutzstrategien) haben. Das hier vorgestellte Abgabensystem scheint dazu gut geeignet zu sein. Es sollte jedoch auf die spezifische Definition der

⁹⁴ Für die hier analysierten Kulturen Winterweizen (extensiv und intensiv), übriges Getreide, Mais und Kartoffeln.

⁹⁵ Berechnungsgrundlage sind PSM-Kosten pro Hektar für einmalige Anwendungen. Die Flächenumrechnung erfolgt anhand empfohlener Standarddosierungen.

⁹⁶ Als Berechnungsgrundlage dient der Durchschnitt gewichteter PSM-Ausgaben von 2009 – 2013.

⁹⁷ Für die im Sample enthaltenen Betriebe unter der Annahme dass die Verteilung der Kulturen über Einkommensgruppen und Zonen annähernd gleich ist.

Risiken im Schweizer Kontext und deren Gewichtung angepasst werden. Sonderproblematiken wie Lückenindikationen und das Auftreten von Resistenzen müssen dabei berücksichtigt werden. Es ist zudem zu empfehlen, die Definition und Umsetzung einer solchen Abgabe regelmässig zu beurteilen und anzupassen, damit etwaigen Änderungen der Zielsetzungen und der äusseren Bedingungen Rechnung getragen werden kann. Eine weiterführende Evaluierung verschiedener Ausgestaltungen einer PSM-Abgabe sollte dabei explizit die Heterogenität zwischen Kulturen und Betrieben berücksichtigen, die Interdependenzen von Akteuren und Effekten (z.B. über Märkte) abbilden und neben kulturspezifischen auch Effekte auf die Flächenallokation und deren Produktionswirkung analysieren. So könnte eine solche Abgabe auch im Sinne einer standortgerechten Produktion wirken.

6 Auswirkungen von Einkommensrisiken auf den PSM-Einsatz: Begleitmassnahmen und Direktzahlungen

Begleitmassnahmen können die Effektivität einer Lenkungsabgabe auf PSM erhöhen (Kapitel 3). Mögliche Begleitmassnahmen, wie landwirtschaftliche Versicherungen, werden daher genauer untersucht. Eine Literaturanalyse bezüglich des Zusammenhangs von PSM-Einsatz und Versicherung zeigt zunächst, dass es keinen einheitlichen Zusammenhang zwischen Versicherungen und PSM-Einsatz gibt. Das heisst, Versicherungen führen oft auch zu einem höheren PSM-Einsatz. Insbesondere Effekte auf die Flächenallokation spielen hier eine wichtige Rolle. In einer empirischen Analyse des Zusammenhangs von (Hagel)-Versicherung und PSM-Einsatz für die Schweiz wird deshalb zunächst gezeigt, dass ein solcher Zusammenhang für die Schweiz existiert und sowohl über Landnutzungsentscheidungen als auch Risikopräferenzen wirken kann. Weiterhin zeigt eine theoretische Analyse von Direktzahlungen, insbesondere dem Extenso Programm, und von präventiven biologischen Strategien, dass eine in der Regel positive Zusammenwirkung mit einer Lenkungsabgabe besteht.

Die Effektivität einer Lenkungsabgabe kann durch entsprechende Begleitmassnahmen verbessert werden (Kapitel 3). In diesem Kapitel sollen deshalb zu einer Lenkungsabgabe komplementäre (substitutive) Begleitmassnahmen diskutiert und bewertet werden. Aus der theoretischen, mikroökonomischen Bewertung des PSM-Einsatzes in Kapitel 4 wurde zudem klar, dass der PSM-Einsatz stark mit dem Einkommensrisiko der Landwirtin bzw. des Landwirtes zusammenhängen kann. Diese Risiken werden daher bei allen im Kapitel durchgeführten Analysen berücksichtigt. Es werden in Abschnitt 6.1 zunächst verschiedene **landwirtschaftliche Versicherungslösungen** vorgestellt und untersucht, ob eine Versicherungslösung als Substitut für eine Lenkungsabgabe betrachtet werden kann. Die theoretische Analyse und Literaturanalyse wird mit einer empirischen Analyse des Zusammenhanges von (Hagel-)Versicherung und PSM Einsatz komplementiert (Abschnitt 6.2).

Zudem wird das Zusammenspiel einer Lenkungsabgabe mit anderen Politikinstrumenten beleuchtet. Dabei soll ein spezieller Fokus auf **Direktzahlungen** (Abschnitt 6.3) und dabei insbesondere auf dem **Extenso Programm** und einer möglichen Erweiterung dieses Programms liegen (Abschnitt 6.4). Zum Abschluss des Kapitels wird untersucht wie **alternative Pflanzenschutzstrategien** den PSM-Einsatz substituieren können (Abschnitt 6.5).

6.1 Landwirtschaftliche Versicherungssysteme

Zur Absicherung gegen Mengen- oder Produktionsrisiken in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion werden verschiedene Versicherungssysteme angeboten. Dieser Abschnitt bietet eine Übersicht über verbreitete Arten der Ernteversicherung, deren Bepreisung und Finanzierung

sowie Anwendungsbeispiele im internationalen und europäischen Kontext. Der Abschnitt schliesst mit einem Literaturüberblick über Wirkungen der verschiedenen Versicherungsstrategien auf den PSM-Einsatz.

Wie Abbildung 29 zeigt, können Ernteversicherungen zunächst in Schadens- und Indexversicherungen unterteilt werden. Diese beiden Versicherungsarten werden anhand ihrer Auszahlungsabhängigkeit unterschieden (Mußhoff und Hirschauer, 2013, S. 366).

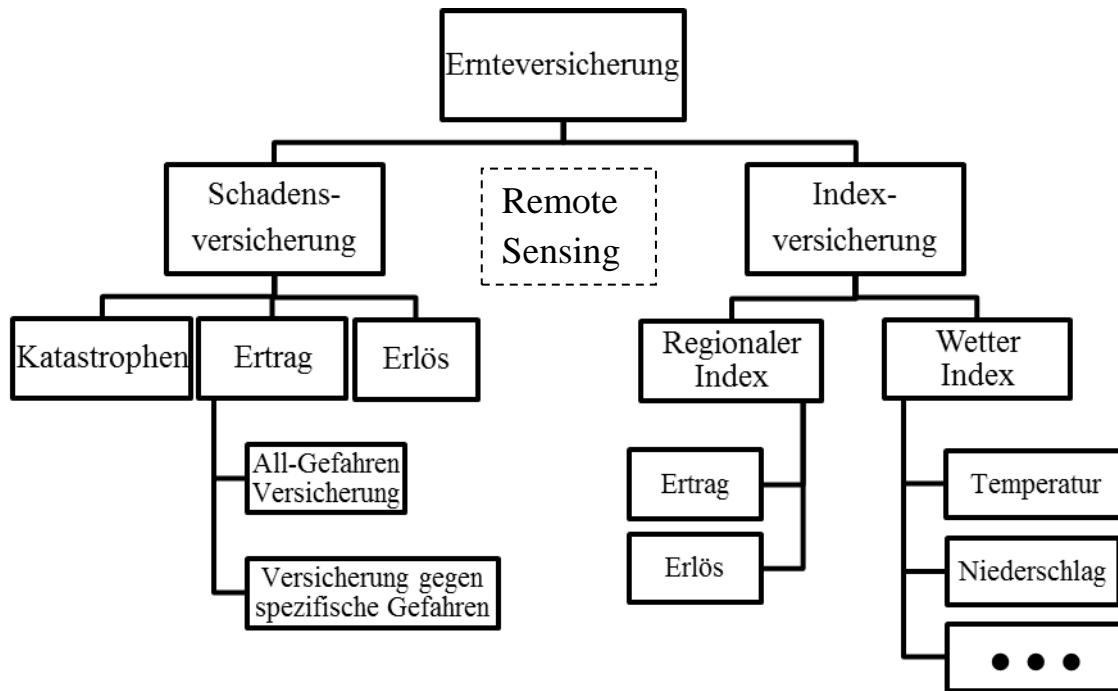


Abbildung 29: Klassifikation von Ernteversicherungen in der Landwirtschaft

Quellen: Mußhoff und Hirschauer, 2013, S. 366ff.; Breustedt, 2004, S. 33ff.; Mahul und Stutley, 2010, S. 22

Schadensversicherungen gewähren eine Auszahlung im Falle eines erkennbaren Ernteverlustes, der durch vorher festgelegte Gefahren hervorgerufen wurde (z.B. Hagel, Dürren oder Überflutungen). Im Versicherungsvertrag werden abgesicherte Gefahren, der Minimalertrag,⁹⁸ der Deckungsgrad sowie die Auszahlung pro Ertragseinheit festgehalten. Die Höhe der Auszahlung ist schadensbasiert und richtet sich schliesslich nach der Schätzung eines Gutachters (Breustedt, 2004, S. 33ff.; Mußhoff und Hirschauer, 2013, S. 366ff.).⁹⁹

⁹⁸ In der zugrunde liegenden Literatur wird die zu unterschreitende Ertragsgrenze ausserdem sowohl als Normertrag (Mußhoff und Hirschauer, 2013, S. 367) oder als *Strike*-Ertrag (Breustedt, 2004, S. 34) bezeichnet.

⁹⁹ Neben der reinen Absicherung gegen niedrige Ertragsmengen ist mit Hilfe einer Erlösversicherung eine doppelte Absicherung gegen negative Ertrags- sowie Preisverläufe möglich (ebd., S. 367; Bielza et al., 2008, S. 32ff.).

Bei Indexversicherungen ist die Auszahlung nicht direkt von tatsächlichen Ertragsverlusten abhängig, sondern wird bestimmt durch den Wert eines zugrundeliegenden Index. Das sogenannte *Underlying* des Index kann hierbei ein regionaler Index, wie der regionale Durchschnittsertrag bzw. -erlös, oder ein Wetterindex,¹⁰⁰ wie die Niederschlagssumme in einer bestimmten Zeitperiode, sein. Dies impliziert, dass eine Auszahlung stattfindet, wenn ein bestimmtes *Strike-Level* des Indexes unter oder überschritten wird. Die Wahl des Index, des Strike Levels und der Auszahlung pro Indexpunkt (*Ticksizes*) wird im Versicherungsvertrag festgehalten und sollte möglichst effizient den tatsächlich entstandenen Schaden decken (Mußhoff und Hirschauer, 2013, S. 367ff.). Als nicht exakt zu definierende Mischlösungen können *Remote Sensing*-Technologien entweder unterstützend oder gar eigenständig indexbildend eingesetzt werden. Häufig werden optisch erfasste Daten zur Ertragsbestimmung herangezogen.¹⁰¹ Hierbei ist zu unterscheiden, ob der tatsächliche Ertrag des versicherten Betriebs gemessen oder ein Ertragsindex auf aggregierter Ebene festgehalten wird. De Leeuw et al. (2014) geben hierzu einen Überblick. Neben der Anwendung einfacher Wetter- oder Regionsertragsindizes können auch mehrere Variablen zu einem Index aggregiert werden, um bestimmte Risiken exakter darzustellen. Hierzu schlagen Richards et al. (2008) die Nutzung eines Insektenpopulationsmodells vor, um auf Basis einer Schaderregerprognose eine Versicherungsauszahlung zu generieren¹⁰². Gerade diese Verknüpfungsstelle der Themenfelder Versicherung und Pflanzenschutz scheint vielversprechende Lösungen generieren zu können. Dies ist insbesondere in der Schweiz der Fall, da Hirschi et al. (2012) im Schweizer Kontext bereits Kausalitäten zwischen Schaderregerpopulationen und Wetterparametern aufgezeigt haben.

6.1.1 Höhe der Versicherungsprämie

Zur Bestimmung der Versicherungsprämie stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Ziel einer jeden Methode ist die Schadenserwartung (*expected loss*) festzustellen, die der fairen Versicherungsprämie (*fair premium*) entspricht. Gemeinsam mit einem Verwaltungs-, Risiko- und Gewinnaufschlag bildet die faire Prämie die gesamte vom Versicherungsnehmer zu zahlende Versicherungsprämie (z.B. Collier et al. 2009, S. 406ff.; Mußhoff und Hirschauer, 2013, S. 369).

Um die tatsächliche Schadenserwartung für eine landwirtschaftliche Nutzfläche zu bestimmen, sind verlässliche und lange Datenreihen über Erträge auf dieser Fläche nötig (Ozaki et al., 2008, S. 1152). Aus diesen Daten wird anschliessend die Wahrscheinlichkeit berechnet, dass ein be-

¹⁰⁰ Für wetterindexbasierte Absicherungsprodukte existiert keine einheitliche Terminologie. Die Begriffe „Wetterderivat“, „wetterindexbasierte Versicherung“ werden meist äquivalent verwendet. Dennoch existieren noch weitere Bezeichnungen: „weather index-based insurance“ (Conradt et al., 2015a), „index-based risk transfer products“ (Skees, 2008, S. 197ff.), „weather derivatives“ (Turvey, 2001, S. 333) oder „weather option“ (Turvey, 2005, S. 59). Alle wetterindexbasierten Ertragsabsicherungen werden im Weiteren als wetterindexbasierte Versicherungen bezeichnet.

¹⁰¹ Eine verbreitete Lösung ist hier die Nutzung des „Normalized Differenced Vegetation Index“ (NDVI) auf Basis von Satellitenbildern.

¹⁰² In diesem Kontext schlagen Norton et al. (2016) vor, den Schaderregerdruck einzelner Pilzkrankungen anhand von Witterungsparametern zu modellieren und den modellierten Schaderregerdruck mit Hilfe einer Indexversicherung abzusichern.

stimmtes Ertragsniveau unterschritten wird (Goodwin, 1994, S. 388). Zwei Variablen aus diesen Daten sind also von besonderer Bedeutung: Die Schadenserwartung und die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritt (Ozaki et al., 2008, S. 1155). Ein höherer Wert einer oder beider Variablen führt zu höheren zu zahlenden Versicherungsprämien des Betriebs. Zur Bestimmung der tatsächlichen Prämie stehen verschiedene parametrische und nicht-parametrische Verfahren zur Verfügung.¹⁰³

6.1.2 Finanzierung der Versicherung und Probleme bei der Etablierung

Für gewöhnlich finanzieren sich Versicherungen durch die Prämie der Versicherungsnehmer. Diese müssen höher sein, als die schadensbezogenen Ausgaben. Generell lässt sich feststellen, dass ein Risiko versicherbar ist, wenn Versicherter und Versicherungsanbieter nach Abschluss der Versicherung mindestens gleich gut gestellt sind wie vor dem Abschluss der Versicherung (Chambers, 1989, S. 607). Damit ein Risiko durch einen Versicherungsgeber versicherbar ist, müssen deshalb folgende Punkte erfüllt sein:

- i. Das Risiko muss unabhängig und zufällig unter den Individuen auftreten.
- ii. Symmetrische Informationen müssen bei der Versicherung und den Versicherten vorliegen.
- iii. Verluste durch das Risiko müssen abschätzbar und eindeutig sein.
- iv. Die Auszahlungen für die Versicherung müssen finanziell tragbar sein.
- v. Etwaige Ertragsverluste müssen möglichst genau durch die Versicherungsauszahlung abgedeckt werden (gerade im Hinblick auf Indexlösungen).

Werden einzelne oder mehrere Punkte nicht erfüllt, so kann dies zu Marktversagen der Versicherung führen. Häufigste Ursachen sind hier Verletzungen von Punkten i) und ii), d.h. aufgrund systemischer Risiken und asymmetrischer Information (Miranda und Glauber, 1997).

Vor allem das systemische Risiko ist im Zusammenhang mit PSM von Belang. Durch Schädlinge hervorgerufene Ertragsverluste sollten idealerweise über die Region, in der die Versicherung handelt, verteilt sein, sodass die Versicherungsauszahlungen an betroffene Betriebe durch Prämien aller Betriebe gedeckt werden können (der sogenannte Risikoausgleich). Schaderreger treten jedoch häufig nicht nur auf einem Schlag auf, sondern befallen zeitgleich eine ganze Region. Um dieses systemische Risiko auszugleichen, müssen Rückversicherungsstrategien entwickelt werden, was zu Risikoaufschlägen führen kann. (Carlson, 1979, S. 151). Das systemische Risiko ist für alle in Abbildung 29 aufgeführten Versicherungsarten relevant.

Asymmetrische Informationsverteilung unter Versicherungskäufer und Anbieter führt zu zwei zentralen Problemen bei der Etablierung von Versicherungssystemen. Zum einen verhindert es die Kalkulation der fairen Versicherungsprämie. Ein Problem dabei ist, dass die Prämienhöhe nicht anhand einer Landwirtin oder eines Landwirtes mit durchschnittlichem Risiko stattfinden darf, da ansonsten Landwirtinnen und Landwirte mit niedrigem Risiko eine zu hohe Prämie zu zahlen hätten und Landwirtinnen und Landwirte mit hohem Risiko eine zu niedrige (z.B. Good-

¹⁰³ Für einen Überblick zur Bepreisung von Schadens- bzw. Indexversicherungen siehe Ozaki et al. (2008) bzw. Odening et al. (2007).

win, 1994, S. 382f.). Dies führt zur sogenannten *Adversen Selektion*: Landwirtinnen und Landwirte mit niedrigem Schadensrisiko fragen die Versicherung weniger nach, Landwirtinnen und Landwirte mit hohem Schadensrisiko fragen die Versicherung vermehrt nach und nutzen zu günstige Konditionen (ebd.). Der Versicherungsnehmer hat also genauere Informationen als der Versicherungsanbieter (*hidden information*) (z.B. Skees und Reed, 1986, S. 653; Quiggin et al., 1993). Der Versicherungsanbieter müsste zu hohe Entschädigungen zahlen. Individuelle Verträge sind deshalb nötig.

Das zweite Problem von (landwirtschaftlichen) Versicherungen aufgrund von asymmetrischer Informationsverteilung und nicht-zurückverfolgbarem Handeln (*Hidden Action*) ist der sogenannte *Moral Hazard* (z.B. Chambers, 1989, S. 605; Smith und Goodwin, 1996, S. 428f.). Dies beschreibt die Situation, in der eine versicherte Person keinen Anreiz hat, allfällige Schäden zu vermeiden, da sie gegen mögliche Ausfälle versichert ist. Die versicherte Person hat also mehr Informationen (über ihr Verhalten, usw.) und kann versteckt handeln oder nicht handeln. Mögliche Lösungsansätze sind hier das Sammeln von möglichst vielen Informationen über den Versicherten, die Implementierung einer Selbstbeteiligung (*deductible*) oder ein mehrjähriger Versicherungsvertrag (Chambers, 1989, S. 615).

Motiviert von der Thematik der asymmetrischen Informationsverteilung sind indexbasierte Versicherungslösungen von wachsendem Interesse, da die Verteilung der versicherten Grösse (z.B. Wettervariable/ Regionaler Durchschnittsertrag) hier von beiden Vertragsparteien eingesehen werden kann (historische Wetter- und Ertragsaufzeichnungen). Aus der Tatsache folgend, dass die Versicherungsauszahlung nicht durch den tatsächlich realisierten Ertrag determiniert wird, sondern durch einen zugrunde liegenden Parameter, tritt hier jedoch das Problem des Basisrisikos auf. Dies bezeichnet die Diskrepanz zwischen realisierter Auszahlung und tatsächlich entstandenem Schaden.¹⁰⁴

6.1.3 Globale Situation und Beispiele

Bielza Diaz-Caneja et al. (2009) geben einen Überblick zu Anwendungsbeispielen von Ernteversicherung. Es folgt eine Auswahl von Produkten auf einigen wichtigen Märkten:

USA¹⁰⁵:

- Actual Production History (APH): klassische Schadensversicherung, welche Ertragschäden verursacht durch Dürren, Überflutungen, Hagel, Wind, Frost, Insekten und Krankheiten absichert. Die Landwirtin oder der Landwirt wählt einen Deckungsgrad des Durchschnittsertrages zwischen 50 und 75 Prozent sowie einen Anteil des Produktpreises zwischen 55 und 100 Prozent und erhält dementsprechend eine Auszahlung im Schadensfall. (Prämiensumme 2015: ca. 840 Mio. US\$)

¹⁰⁴ Verschiedene Ansätze schlagen Lösungen vor, um mit dieser Problematik umzugehen (siehe z.B. Conradt et al., 2015a, 2015b; oder Dalhaus und Finger, 2016).

¹⁰⁵ Neben den Dargestellten existieren noch einige weitere Produkte. Eine Übersicht ist unter <http://www.rma.usda.gov/policies/> einzusehen.

Prämiensummen können unter https://www3.rma.usda.gov/apps/sob/current_week/insplan2015.pdf eingesehen werden.

- Revenue Protection (RP): Das RP Produkt ist eine Erlösversicherung, die ebenso aufgebaut ist wie das APH Produkt, jedoch sichert sie zusätzlich gegen Preisschwankungen ab. (Prämiensumme 2015: ca. 7,5 Mrd. US\$)
- Rainfall Index (RI): Indexversicherung, die Auszahlung auf Basis von Wetterdaten generiert. Während die vorangegangenen Versicherungen für rund 100 landwirtschaftliche Kulturen zur Verfügung stehen, sichert dieses Produkt insbesondere witterungsbedingte Ertragsverluste im Futterbau respektive Grasland ab. (Prämiensumme 2015: ca. 200 Mio. US\$)

Kanada (vier Kategorien):

- AgriInvest: Kommt für kleine Einkommensschwankungen auf und fördert Investitionen in risikoreduzierende Massnahmen.
- AgriStability: Kommt für grössere Einkommensschwankungen auf (ab 15% Reduktion des Durchschnittseinkommens).
- AgriRecovery: Ein Mittel zum Katastrophenmanagement.
- AgriInsurance: Ersetzt die vorige Ertragsversicherung PI (*Production Insurance*).

In den USA sind 45% der Ackerbaukulturen versichert (Bielza Diaz-Caneja et al., 2009). Die staatlichen Beihilfen für Versicherungsprämien betragen hierbei rund 6 Mrd. US\$ (62% der Prämien) (RMA, 2016). Zusätzlich werden administrative Kosten der Versicherungsanbieter subventioniert, wodurch sich die Gesamtsubvention der Prämien auf 72% erhöht (Bielza Diaz-Caneja et al., 2009). In Kanada werden die Versicherungen mit 425,5 Millionen Euro unterstützt, was einer Prämiensubventionierung von 66% entspricht. Laut Aubertot et al. (2005, S. 25) sind die Versicherungen in Nordamerika somit eher ein Subventionssystem als ein reines Versicherungssystem gegen Ernterisiken.

Mit Blick auf Indexversicherungen gibt es ebenfalls zahlreiche Beispiele sowohl für Pilot- als auch etablierte Projekte. Der grösste Markt für Indexversicherungen befindet sich derzeit in Indien. Dort sind ca. 9 Millionen Landwirtinnen und Landwirte versichert (z.B. Barnett 2007). Für weitere Beispiele siehe Hazell et al. (2010).

6.1.4 Unternehmen im europäischen Raum und deren Angebote

Das Versicherungsangebot im europäischen Raum ist traditionell eher auf Einzelrisikoversicherungen fokussiert, die Hagel, weitere Niederschläge, Fluten, Sturm, Dürre und weitere Risiken abdecken. Mittlerweile bieten die meisten Anbieter die Abdeckung dieser Risiken auch kombiniert in einer Police an.¹⁰⁶ Dabei gibt es sowohl rein private, rein staatliche als auch gemischte Systeme. Im südeuropäischen Raum ist das Angebot tendenziell grösser als im nord-europäischen Raum. So werden in Italien, Frankreich, Spanien und Slowenien z.B. auch staatlich unterstützte Ertragsversicherungen angeboten (Meuwissen et al., 2003; Bielza Diaz-Caneja et al., 2009).

¹⁰⁶ Dies lag z.B. in Deutschland u.a. daran, dass bis 2013 nur die Hagelversicherung einem ermässigten Steuersatz unterlag. Andere Schadensversicherungen unterlagen den üblichen 19% Mehrwertsteuer (§ 6 Versicherungsteuergesetz). Mittlerweile unterliegen die Risiken Hagelschlag, Sturm, Starkfrost, Starkregen oder Überschwemmungen dem ermässigten Steuersatz von derzeit 0,03%.

Insgesamt wurden laut Bielza Diaz-Caneja et al. (2009, S. 16) in den EU-25-Staaten (ohne Kroatien, Rumänien und Bulgarien) etwa 1,54 Milliarden Euro Versicherungsprämien gezahlt und 1,06 Milliarden wurden als Entschädigungen ausgezahlt. Auch hier werden die Versicherungen teilweise subventioniert: In Italien betrug der Anteil der Subventionen an den Prämien 67%, in Spanien 49% und in Österreich 50% (bei Hagel und Frost).

Neben der klassischen Ertragsversicherung sind in Frankreich (Mosnier 2015), Spanien (Bielza Diaz-Caneja et al. 2009), Österreich (www.Hagel.at) und Deutschland (www.die-wetterversicherung.de, www.wetterprotect.de, VHV, 2015) Indexlösungen verfügbar. Hierbei handelt es sich sowohl um wetterindex-basierte als auch NDVI- basierte Produkte.

Hauptversicherungsanbieter in der Schweiz ist die Schweizer Hagel. Eine Landwirtin oder ein Landwirt kann hier für nahezu jede Kultur eine Versicherungspolice abschliessen.¹⁰⁷ Je nach Kultur deckt die Versicherung die Risiken Hagel, Ab-/Überschwemmung, Erdbeben, Blitz und Brand für alle Kulturen sowie für einzelne Kulturen Sturm, Schnee, Frost (nur Reben), Trockenheit und Starkregen. Zusätzlich werden auch die Kosten für die Rekultivierung nach einem Schaden gezahlt, falls ein Schwellenwert überschritten wird. Die Schweizer Hagel ist als Genossenschaft organisiert und neben der Schweiz auch in Frankreich und Italien aktiv (Schweizer Hagel, 2015). Eine Übersicht zu verschiedenen Risikomanagement- und Versicherungslösungen in der Schweizer Landwirtschaft wird in El Benni (2012) dargestellt.¹⁰⁸ In der Schweiz sind neben der klassischen Ertragsabsicherung auch index-basierte Lösungen verfügbar. Hierzu bietet die in Zürich ansässige CelsiusPro parametrische Lösungen auf Basis von Temperatur, Niederschlag, Schnee, Wind, Sonnenstunden oder Globalstrahlung an. Auch wird der Vegetationssindex NDVI genutzt, um den Ertrag von Weideland zu schätzen (CelsiusPro, 2015). Zudem erforscht die Schweizer Hagel derzeit gemeinsam mit Agroscope im Rahmen eines Pilotprojektes Chancen und Möglichkeiten einer Wetterindex-basierten Graslandversicherung (BAFU, 2014).

6.1.5 Einfluss einer Versicherung auf den PSM-Einsatz¹⁰⁹

Unter Berücksichtigung des mit der Pflanzenproduktion verbundenen Risikos verhält sich der PSM-Einsatz im Falle einer Versicherungseinführung abhängig von der Wirkung des PSM auf das Risiko (siehe Unterkapitel 4.2). Wird PSM, wie in vielen Studien, als risikoreduzierender Input angesehen, so sollten die risikoaverse Landwirtin und der risikoaverse Landwirt den PSM-Einsatz reduzieren, wenn der Ertrag versichert ist. Dies entspricht der erwarteten Inputreduktion verbunden mit der oben genannten *Hidden Action* Problematik. Wie in Kapitel 4.2 dargelegt, muss der PSM-Einsatz keineswegs in allen Fällen risikoreduzierend sein. Ein Überblick über empirische Evidenz für den Zusammenhang zwischen PSM-Aufwand und Erntever-

¹⁰⁷ Das Produktportfolio der im deutschsprachigen Raum tätigen Versicherungen ist bis auf einige Details deckungsgleich (www.vereinigte-hagel.net, www.Hagel.at)

¹⁰⁸ Hier sei angemerkt, dass eine Subventionierung von landwirtschaftlichen Versicherungslösungen – mit Ausnahme der geringfügigen Subventionierung der Hagelversicherung in wenigen Kantonen – in der Schweiz keine Rolle spielt (siehe z.B. LID, 2005, und Finger und Lehmann, 2012b, für Details).

¹⁰⁹ Der Inhalt dieses Abschnittes ist Bestandteil eines Artikels, der als Konferenzbeitrag erschienen ist: Finger, R., Möhring, N., Dalhaus, T. & Enjolras, G. (2016). Crop Insurance and Pesticide Use. 156th EAAE Seminar, Prospects for agricultural insurance in Europe. Wageningen, The Netherlands, October 3-4, 2016.

sicherungen wird in den nachfolgenden Absätzen gegeben. Hierzu wurde die vorhandene Literatur, in der die Interdependenzen zwischen PSM-Einsatz und Verwendung einer Versicherung analysiert werden, systematisch erfasst und geprüft. Die nachfolgende Darstellung der Literatur verwendet die in Abbildung 29 vorgenommenen Systematik. Im Folgenden wird eine Literatürübersicht aller Studien, die den Zusammenhang zwischen Versicherungen und PSM-Einsatz untersucht haben, präsentiert. Anschliessend wird eine empirische Anwendung zur schweizerischen Landwirtschaft durchgeführt.

Anhand einer Modellsimulation prüfen Feinerman et al. (1992) die Auswirkungen einer Ertragsversicherung auf die Ausbringung von Insektiziden für repräsentative Maisbauern in Iowa, USA. Sie finden heraus, dass der Insektizidaufwand bei Einführung einer Versicherung sinkt, wobei das Ausmass der Reduktion signifikant vom Grad der Risikoaversion innerhalb der Gruppe der Landwirtinnen und Landwirte abhängig ist. In einem zweiten Schritt wurde versicherten Landwirtinnen und Landwirten verboten, Insektizide zu nutzen, was zur Folge hatte, dass sich Landwirtinnen und Landwirte mit moderater Risikoaversion gegen die Versicherung entschieden und lediglich hoch risikoaverse Entscheider den Versicherungskauf vorzogen. Dies führte insgesamt zu einer Erhöhung des Insektizidaufwandes im Vergleich zum ersten Schritt. Da die Einführung der Versicherung also insgesamt zu der erwartete Moral Hazard Reaktion (s.o. *Hidden Action*) geführt hat, werden Insektizide hier als risikoreduzierende Inputs angesehen.

Im Anschluss an obige Simulation nutzen Horowitz und Lichtenberg (1993) Querschnittsdaten aus einer 1987 durchgeführten Befragung, um empirische Evidenz zu erhalten. Hierbei werden 376 maisproduzierende Einzelbetriebe in zehn verschiedenen US-Bundesstaaten einbezogen, von denen Informationen über Versicherung, Dünger- (Stickstoff, Phosphor und Kalium) und Pflanzenschutzausbringung (Herbizide, Insektizide und PSM-Gesamt) vorliegen. Es werden sowohl Ausgaben als auch Aufwandmengen berücksichtigt. Als Proxy für die Versicherungsauszahlung werden die totalen Ausgaben für Versicherungen herangezogen, ohne eine Einteilung in die Art der Versicherung vorzunehmen.¹¹⁰ Die Ergebnisse der Studie sind, bezogen auf die vorherrschende Annahme PSM seien risikoreduzierend, konträr. So stellen Horowitz und Lichtenberg heraus, dass die versicherten Landwirtinnen und Landwirte in ihrer Stichprobe einen um 19% höheren Stickstoffaufwand aufweisen. Zusätzlich wird ein Anstieg in den Gesamtausgaben für PSM von 21% und in den Herbizid- sowie Insektizidaufwandmengen von 7% respektive 63% beobachtet. Die Autoren ziehen die Schlussfolgerung, dass PSM risikoe erhöhend wirken.

Nachfolgend prüfen Smith and Goodwin (1996) erneut empirisch die Auswirkungen einer Versicherung auf den Einsatz chemischer Inputs. Hierbei werden verschiedene Zeitrahmen berücksichtigt, in denen PSM- und Versicherungsentscheidung getroffen werden (simultan, chemische Inputs vor Versicherung, Versicherung vor chemischen Inputs). Sollten also chemische Inputs bereits vor der Entscheidung sich zu versichern, appliziert worden sein, wäre eine Schätzung des Zusammenhangs chemische Inputs ~ Versicherung fehlerhaft, wenn diese Information nicht

¹¹⁰ 93% aller 1988 in den USA abgeschlossenen Ernteversicherungen waren Ertragsversicherungen (Horowitz und Lichtenberg, 1993).

miteinbezogen worden wäre. Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Annahme, dass der zeitliche Horizont der PSM- und Versicherungsentscheidung berücksichtigt werden muss. Diese Tatsache einbeziehend, schätzen die Autoren anhand von Querschnittsdaten von 235 Ackerbauern in Kansas, USA, den Zusammenhang zwischen chemischen Inputs und der Versicherungsentscheidung. Die Ergebnisse bestärken die traditionelle Annahme, dass versicherte Landwirtinnen und Landwirte ihren Einsatz an chemischen Inputs reduzieren. Sie stehen damit in Kontrast zu Horowitz und Lichtenberg (1993).

Losgelöst von einzelnen Feldfrüchten stellt Wu (1999) den Zusammenhang zwischen versicherungsinduzierten Fruchtfolgeeffekten und deren Auswirkungen auf erhöhten gesamtbetrieblichen Inputeinsatz her. Für ein Sample in Nebraska, USA, stellt der Autor hierbei heraus, dass versicherte landwirtschaftliche Betriebe signifikant mehr Mais anbauen und weniger Grasland haben im Vergleich zu nicht-versicherten Betrieben. Anfällig für diesen Effekt seien besonders erosions- und auswaschungsgefährdete Standorte. Als Folge dieser Verschiebung werden insgesamt mehr chemische Inputs ausgebracht, da Grasland hier eher geringere Aufwandmengen benötigt als Mais. Verschiedene Studien belegen die Fruchtfolge-Effekte von Ernteversicherungen, gerade die Auswirkungen auf die Graslandproduktion scheinen hier vordergründig.¹¹¹ Zusätzlich stellen Goodwin et al. (2004) heraus, dass eine Versicherung die insgesamt genutzte Anbaufläche vergrössert. Je nach Flächenverfügbarkeit ist dieser Effekt jedoch eher gering.

Aubert und Enjolras (2014) analysieren für den französischen Weinanbau die Wirkung von Ernteversicherung auf den Einsatz von PSM, Düngern und chemischen Inputs in Gänze. Hierbei wird jedoch nicht eindeutig geklärt, um welche Art der Versicherung es sich handelt.¹¹² Die Ergebnisse der Studie zeigen keine signifikanten Einflüsse der Versicherung auf eine der abhängigen Variablen PSM, Dünger oder chemische Inputs.

Wie oben beschrieben bieten Erlösversicherungen zusätzlich zur Ertragsabsicherung auch eine Absicherung gegen fallende Preise. Bei vielen landwirtschaftlichen Kulturen gelten PSM nicht nur als ertrags- sondern auch als qualitätssichernde Mittel, wobei sich bessere Qualität oft in einem höheren Preis niederschlägt (Babcock et al. 1992). Ist der Betrieb also mittels Erlösversicherungen gegen einen individuellen Preisverlust abgesichert, so hat er einen Anreiz, weniger PSM zu applizieren und erhält im Falle schlechter Qualitäten eine Versicherungsauszahlung aufgrund des niedrigeren Marktpreises.¹¹³

Mishra et al. (2005) untersuchen die Auswirkungen der Erlösversicherungspartizipation auf Dünger- und PSM-Aufwand bei US-Amerikanischen Weizenproduzenten. Sie finden heraus, dass bei versicherten Landwirtinnen und Landwirten der Düngereinsatz eine signifikante Reduktion und der PSM-Einsatz keine signifikante Änderung erfährt. Diese Ergebnisse decken

¹¹¹ Vor dem Hintergrund der hohen Bedeutung der Graslandproduktion in der Schweiz, sollten solche Auswirkungen von Ernteversicherungen auf die Fruchtfolge genauer betrachtet werden. Siehe dazu auch Claassen et al. (2011), Wu und Adams (2001) für Erlösversicherungen und Fuchs und Wolff (2011) für Indexversicherungen; Zraggen (2005) findet eine ähnliche Fruchtfolgewirkung der Teilnahme am Extensio Programm.

¹¹² Ein Verweis auf Enjolras und Sentis (2011) lässt vermuten, dass hauptsächlich Hagelversicherungsinformationen verwendet wurden.

¹¹³ Siehe Kapitel 4 für eine mikroökonomische Betrachtung dieser Thematik.

sich mit denen von Smith und Goodwin (1996) für Ertragsversicherung. Aus der Literaturrecherche hat der erwartete Unterschied zwischen Ertrags- und Erlösversicherungen also nicht ergeben. Für Hagelversicherungen besteht keine klassische Moral Hazard Problematik (Goodwin, 2001). Es gibt also wenige bis keine Möglichkeiten die Produktion so umzustellen, dass eine Versicherungsauszahlung provoziert wird (siehe hierzu auch Quiggin, 1993). Nichtsdestotrotz zeigt die Analyse von Chakir und Hardelin (2014) einen positiven Zusammenhang zwischen der gezahlten Prämie für eine Hagelversicherung und dem PSM-Aufwand je ha. Hierzu untersuchen die Autoren Paneldaten französischer Rapsbauern der Jahre 1993 – 2004. Sie schliessen daraus auf eine alternative kausale Kette als die obigen Studien, indem Sie annehmen, dass der PSM-Einsatz den Versicherungskauf beeinflusst. So führe ein höherer PSM-Aufwand, *ceteris paribus*, zu einem höheren Erwartungswert des Ertrages und somit zu einem höheren Anreiz, eine Hagelversicherung abzuschliessen, da mögliche Verluste grösser sind als im Falle niedriger Ertrags Erwartungen.

Zudem haben Norton et al. (2016) eine Wetter-Indexversicherungslösung zum Management von Schädlingsdruck vorgeschlagen. Das empirische Beispiel fokussiert sich auf ein spezifisches Risiko (*Stewart's disease*) und sie nutzen das Stevens-Boere-Modell, um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Krankheit abzubilden. Die von Norton et al. (2016) präsentierte Analyse ist ein erster Schritt, die hier aufgezeigten Probleme von Versicherungslösungen im Kontext des PSM-Einsatzes zu lösen, geht aber nicht über eine spezifische Fallstudie hinaus. Hier ist weiterer Forschungsbedarf angezeigt und eine Weiterentwicklung vielversprechend.

Die hier zusammengefasste Literatur erlaubt keine einheitliche Schlussfolgerung, wie Versicherungslösungen auf den PSM-Einsatz wirken. Es ist jedoch festzustellen, dass Versicherungen nicht per se zu einer Reduktion des PSM-Einsatzes führen. Im Kontext der hier analysierten Literatur existieren drei kritische Bereiche, die eine Vergleichbarkeit zwischen Studien erschweren und in der hier durchgeführten empirischen Anwendung adressiert werden müssen. Erstens, verwenden viele Studien chemische Inputs (PSM und Dünger) als Aggregat. Diese müssen jedoch nicht notwendigerweise die gleiche Risikowirkung haben¹¹⁴ (e.g. Chavas, 2004). Zweitens wird in den Studien der PSM-Einsatz entweder über monetäre Grössen (Ausgaben für PSM) oder auch über Mengenangaben zum PSM-Einsatz analysiert. Beides muss aber nicht notwendigerweise die gleiche Aussagekraft haben. Zudem wurde in keiner der Studien eine Unterteilung in verschiedene PSM vorgenommen, obschon die Risikowirkung nicht notwendigerweise identisch ist (siehe Kapitel 4). Drittens wurde bis auf die Studie von Wu (1999) der Effekt einer Versicherung auf die Flächenallokation (*extensive margin*) nicht spezifiziert. In keiner existierenden Studie wurden Effekte auf die Landnutzung und die Wirkung auf die spezifische Intensivität des PSM-Einsatzes zusammen analysiert. Im nachfolgenden Abschnitt werden diese Punkte in einer empirischen Analyse des PSM-Einsatzes für die Schweizer Landwirtschaft adressiert. Darüber hinaus, wurden in einer weiterführenden Analyse auch französische Daten verwendet, da dort in breites Spektrum an Versicherungslösungen durch Landwirte genutzt wird. Auf die Darstellung dieser Ergebnisse für die französische Fallstudie wird hier verzichtet, ist aber in Finger et al. (2016) verfügbar.

¹¹⁴ Insbesondere ist Dünger häufig risikoe erhöhend (siehe Finger 2012a für eine ausführliche Diskussion).

6.2 Empirische Analyse des Zusammenhangs zwischen Versicherungsnutzung und dem PSM-Einsatz im Schweizer Ackerbau

Der Literaturreview zum Zusammenhang von Versicherung und PSM-Einsatz (vorheriger Abschnitt) hat gezeigt, dass es verschiedene Möglichkeiten der gegenseitigen Beeinflussung gibt. Diese Analyse hat auch gezeigt, dass es selbst empirische Evidenz für den Zusammenhang von PSM-Einsatz und der Hagelversicherung gibt (Chakir und Hardelin, 2014). Im Folgenden wird dieser Zusammenhang für Schweizer Ackerbaubetriebe analysiert. Der folgende Abschnitt ist wie folgt gegliedert: Nach der Präsentation des konzeptuellen Rahmens unserer Analyse wird das ökonometrische Vorgehen näher erörtert sowie auf die spezifische Schnittmenge der verwendeten Daten eingegangen. Zum Abschluss werden Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

6.2.1 Konzeptuelles Modell

Die folgende empirische Analyse beruht auf einem Zweiperiodenmodell, welches die Abfolge der relevanten Entscheidungen widerspiegelt. In einer ersten Stufe entscheidet die Landwirtin oder der Landwirt, welche Kulturen in welchem Umfang angebaut werden und ob eine Versicherung abgeschlossen wird.¹¹⁵ Die unserer Analyse zugrunde liegende Hypothese ist, dass Landnutzungs- und Versicherungsentscheidungen nicht unabhängig voneinander sind. Die Verfügbarkeit einer Versicherung kann dann Landnutzungsentscheidungen beeinflussen, wenn bestimmte Kulturen durch die Versicherung bevorteilt werden. Wird zum Beispiel eine Versicherung nur für Ackerkulturen angeboten, wird die Nutzung als Grünlandfläche weniger attraktiv. Zudem kann innerhalb der Ackerkulturen eine Substitution von extensiven durch (PSM)-intensivere, riskantere Kulturen wie Kartoffeln, Spezialkulturen o.ä. durch eine Versicherung hervorgerufen werden. Beispiele werden u.a. in Wu (1999), Claassen et al. (2011), Wu und Adams (2001) und Fuchs und Wolff (2011) gegeben. Diese Art von Verschiebung kann sehr grosse Auswirkungen auf den PSM-Einsatz haben, wenn Flächen mit geringem PSM-Einsatz (z.B. Grünland) durch intensive Ackerflächen substituiert werden (Wu, 1999). Die deskriptive Analyse des PSM-Einsatzes in Abschnitt 5.2 illustriert diese grossen Unterschiede.

Obschon die Hagelversicherung in der Schweiz (die auch andere Elementarschäden absichert, siehe www.hagel.ch) auch eine Absicherung von Grünland ermöglicht (z.B. Absicherung von Schäden durch Hagel, aber auch Erdbeben, Überschwemmung und Übersäuerung), sind Betriebe mit grösserem Anteil Ackerkulturen eher für den Abschluss einer Hagelversicherung prädestiniert (Finger und Lehmann, 2012b). Daher ist ein deutlich kleinerer Anteil des Grünlands versichert, als dies im Ackerbau der Fall ist (ca. 20% vs. ca. 80%, pers. Kommunikation Schweizer Hagel, Juni, 2016). Zudem gibt es keine kulturspezifische Versicherungsprämie innerhalb der Ackerkulturen, so dass auch innerhalb dieser eine Anreizverschiebung möglich sein kann.

Landnutzungs- und Versicherungsentscheidungen (erster Schritt der Analyse) werden durch verschiedene Determinanten beeinflusst: i) Charakteristika des Betriebs (Lage, Ausrichtung, klimatische Bedingungen), ii) Charakteristika des Betriebsleiters (Alter, Ausbildung) und iii)

¹¹⁵ Die Entscheidung die Hagelversicherung nicht weiterzuführen muss bis September, der Neueintritt bis Ende Dezember getroffen werden (www.hagel.ch).

in der Vergangenheit getroffenen Landnutzungs- und Versicherungsentscheidungen. Die Berücksichtigung der letzteren Punkte erlaubt es, die generelle Eignung der Flächen für bestimmte Kulturen, Transaktionskosten und Fruchtfolgerestriktionen zu berücksichtigen.

Die zweite berücksichtigte Stufe fokussiert sich auf den Einsatz von PSM als präventive oder behandelnde Massnahme. Die in der ersten Stufe getroffenen Landnutzungsentscheidungen beeinflussen die Notwendigkeit des PSM-Einsatzes in Stufe 2 massgeblich und werden daher berücksichtigt.

Eine Ertragsversicherung könnte an dieser Stufe ein Substitut für den PSM-Einsatz darstellen. Für eine Hagelversicherung ist dieser Zusammenhang viel weniger klar – eine Hagelversicherung ist im Gegensatz zur Ertragsversicherung kein mögliches Substitut für den PSM-Einsatz (siehe Finger et al., 2016, für ausführliche Diskussionen). Ein Zusammenhang kann jedoch dadurch entstehen, dass sowohl PSM-Einsatz als Versicherungsnutzung durch Risikopräferenzen beeinflusst werden (siehe auch Abschnitt 4.2).

6.2.2 Ökonometrisches Modell

Unsere empirische Vorgehensweise trägt der Zweistufigkeit des Entscheidungsprozesses Rechnung, indem in einem ersten Schritt die Landnutzungsentscheidungen und die Entscheidung der Versicherungsnutzung abgebildet werden.

Die Kulturwahl wird in vier Gruppen abgebildet: Gruppe 1 (Extenso-Kulturen und Mais), Gruppe 2 (nicht-Extenso Getreide), Gruppe 3 (PSM-intensivere Hackfrüchte wie Kartoffeln und Zuckerrüben, ‚root crops‘) und Gruppe 4 (Grasland).¹¹⁶ In diesem Schritt ist die abhängige Variable in jeder Gleichung die Anbaufläche jedes Betriebes. Aufgrund der vorkommenden Null-Beobachtungen bei den Flächenallokationen (d.h. einer Zensierung der abhängigen Variable) wird eine Tobit Regression verwendet (z.B. Wu, 1999; Schoengold et al., 2006):

$$(29) \quad \begin{aligned} S_{ij}^* &= \beta_S X_S + \epsilon_{ij} \\ S_{ij} &= \begin{cases} S_{ij}^* & \text{falls } S_{ij}^* \geq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}, \end{aligned}$$

wobei S_{ij}^* die latente und S_{ij} die beobachtete Landnutzungsentscheidung von Betrieb $i=1, \dots, N$ bezüglich Kulturgruppe $j=1, \dots, K$ darstellt. X_S repräsentiert den Vektor unabhängiger Variablen, die die Landnutzungsentscheidung determinieren, und ϵ_{ij} repräsentiert Fehlerterme. Die Entscheidung der Versicherungsnutzung wird mittels eines Probit-Modells geschätzt (e.g. Di Falco et al., 2015):

$$(30) \quad \begin{aligned} I_i^* &= \beta_I X_I + v \\ I_i &= \begin{cases} I_i^* & \text{falls } I_i^* \geq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}, \end{aligned}$$

¹¹⁶ Verbleibende Kulturen werden im Residualterm der Fläche des Betriebes erfasst.

wobei I_i^* die latente und I_i die beobachtete (dichotome) Versicherungsentscheidung des Betriebes repräsentiert. X_I repräsentiert den Vektor unabhängiger Variablen und v den Fehlerterm des Probit-Modells.

Die vier Landnutzungsentscheidungen sind nicht unabhängig voneinander und zudem auch potentiell mit der Versicherungsentscheidung korreliert. Um diese Abhängigkeiten adäquat in der Koeffizientenschätzung zu berücksichtigen, werden die fünf Gleichungen im System geschätzt. Roodman (2009) folgend wird das Gleichungssystem mit *Maximum Likelihood* Methoden zu schätzen. Für die hier durchgeführten Schätzungen wird das STATA Paket „cmp“ (Roodman, 2007) genutzt, welches bei kumulativen Dichtefunktionen der dritten Dimension oder höher (wie hier vorliegend) *Simulated Likelihood* Methoden zur Berechnung nutzt.

Die erklärenden Variablen umfassen Charakteristika des Betriebes und des Betriebsleiters, die in der Literatur als relevant für Landnutzungs- und Versicherungsentscheidungen angegeben wurden (siehe Finger et al. 2016). Diese umfassen die Betriebsgrösse (in ha), Anteil der tierischen Produktion am Gesamterlös, das Alter des Betriebsleiters und einen Dummy für höhere Bildung. Zudem wird für die klimatischen Bedingungen des Betriebes kontrolliert¹¹⁷.

Für die Gleichung 29 werden des Weiteren die Landnutzungsentscheidungen aus dem Vorjahr als erklärende Grössen berücksichtigt. Dies erlaubt Fruchtfolgerestriktionen zu berücksichtigen und kann abbilden, welche Eignung ein Betrieb für bestimmte Kulturen hat, die wir nicht beobachten können (z.B. Bodenverhältnisse) und welche Transaktionskosten für die Wahl bestimmter Kulturen (z.B. durch den Aufbau von Wissen, Maschinenausstattung etc.) auf den jeweiligen Betrieben vorliegen. Für die Versicherungsentscheidung wird das Hagelrisiko des Betriebes ausgedrückt als Hagelwahrscheinlichkeit auf Gemeindeebene (siehe Finger und Lehmann, 2012b) sowie die Vorjahresentscheidung bezüglich der Hagelversicherung berücksichtigt. Des Weiteren wird in diesem Schritt der Verschuldungsgrad des Unternehmens berücksichtigt (Enjolras und Senti, 2011).

In einem zweiten Schritt wird die Anwendung von PSM mittels Regressionsanalysen untersucht. Dabei wird auf verschiedene Quantifikationen des PSM-Einsatzes zurückgegriffen. Erklärende Variablen sind hierbei sowohl die oben beschriebenen Charakteristika des Betriebs und des Betriebsleiters, die Durchschnittstemperatur und die Niederschlagssumme im Jahr t sowie die Ausgaben für Dünger. Zudem werden Instrumente für die (endogenen) Landnutzungsentscheidungen und Wahrscheinlichkeit eines Versicherungsabschlusses, welche in Stufe 1 analysiert wurden, berücksichtigt. Dabei werden als Instrumente die geschätzten Landnutzungsentscheidungen aus dem ersten Schritt (folgt Schoengold et al., 2006) sowie die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit eines Versicherungsabschlusses genutzt:

$$(31) \quad PSM_{ik} = \gamma_{PSM} X_{PSM} + \gamma_S \widehat{S}_{ij} + \gamma_I \widehat{I}_i + \varphi,$$

wobei PSM_{ik} den PSM-Einsatz von Betrieb i repräsentiert. Der Indikator k gibt an, wie der PSM-Einsatz bestimmt wird, wobei totale Menge PSM, totale Ausgaben für PSM und eine

¹¹⁷ Dabei wurden jedem Betrieb mittels grid-Daten der MeteoSchweiz ein jeweiliges Mittel der Jahrestemperatur und des Jahresniederschlags der letzten fünf Jahre zugeordnet (siehe Frei et al., 2006, und Frei, 2014).

Aufgliederung der physischen Mengen nach Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden berücksichtigt wird. X_{PSM} repräsentiert den Vektor unabhängiger Variablen, \widehat{S}_{ij} die geschätzten Landnutzungen (in ha für j Kulturen), \widehat{I}_i die aus Gleichung 30 abgeleitete Wahrscheinlichkeit des Betriebes i eine Hagelversicherung abzuschliessen und φ den Fehlerterm des Modells. Zudem werden die PSM-Nutzungsgleichungen von Herbizid, Fungizid und Insektizid als System von drei Gleichungen geschätzt, unter der Annahme, dass Fehlerterme der drei Gleichungen nicht unabhängig voneinander sind. Da alle Landwirtinnen und Landwirte des Samples Herbizide nutzen, wird diese Gleichung als kontinuierliche Entscheidung dargestellt. Fungizid- und Insektizideinsatz werden jedoch als Tobit Gleichung geschätzt, da Nullanwendungen dieser PSM vorliegen. Die Schätzung des Mehrgleichungssystems wird wie zuvor schon mit dem STATA Paket „cmp“ durchgeführt.

Die Verwendung der diversen Darstellung von PSM-Einsatz in diesem Schritt erlaubt eine nuancierte Analyse der Determinanten des PSM-Einsatzes und ermöglicht, die nicht eindeutigen Ergebnisse früherer Arbeiten bezüglich des Zusammenhangs zwischen PSM-Einsatz und Versicherungsnutzung zu erklären. Diese Analyse führt eine Querschnittsanalyse mittels der ZA-AUI Daten aus dem Jahr 2010 durch, wobei Daten aus dem Jahr 2009 als Information für die Land- und Versicherungsnutzung im Vorjahr verwendet werden. Die Ergebnisse zeigen auch Einflüsse möglicher Fruchtfolgen auf, da zum Beispiel der Anbau von Hackfrüchten nach Getreide wahrscheinlicher und umfangreicher wird.

6.2.3 Resultate

Die Resultate des ersten Schrittes zur Analyse der Landnutzungsentscheidungen sind in Tabelle 16 dargestellt. Für alle Kulturen führt der grössere Anbau der jeweiligen Kultur im Jahr t-1 zu einer höheren Anbaufläche im Jahr t, auch wenn dieser Zusammenhang nur für Hackfrüchte signifikant ist. Die Korrelation zwischen der Gleichung für intensive und extensive Getreide ist signifikant negativ, was die fehlende Möglichkeit der Substitution zwischen Extensio- und nicht-Extensiogetreide widerspiegelt. Ausbildung hat einen negativen Einfluss auf die Graslandfläche, jedoch einen positiven Effekt auf die Anbaufläche von intensiven Hackfrüchten. Betriebe mit höheren Durchschnittstemperaturen weisen eine grössere Anbaufläche von intensiven Hackfrüchten jedoch eine geringere Grünlandfläche aus.

Tabelle 16: Ergebnisse des ersten Schritts der Regressionsanalyse

	Grassland (1)	Weizen intensiv (2)	Weizen extensiv (3)	Hackfrüchte (4)	Versicherung (5)
Lag Grasland	0.42 (0.39)	0.05 (0.29)	0.65 (0.29)	0.03 (0.17)	X
Lag Weizen Intensiv	0.10 (0.24)	0.45 (0.32)	0.01 (0.27)	-0.09 (0.18)	X
Lag Weizen Extensiv	0.31 (0.41)	0.30 (0.32)	0.20 (0.31)	0.20 (0.19)	X
Lag Hackfrüchte	0.51 (0.52)	0.36 (0.44)	0.34 (0.38)	0.47** (0.24)	X
Lag Ha Total	-0.38 (0.37)	-0.09 (0.26)	0.00 (0.27)	0.04 (0.17)	0.03** (0.01)

*Kapitel 6: Auswirkungen von Einkommensrisiken auf den PSM-Einsatz:
Begleitmassnahmen und Direktzahlungen*

Anteil Tierhaltung	5.81 (4.24)	0.45 (3.09)	1.37 (1.97)	-9.00*** (1.79)	-0.18 (0.51)
Alter	-0.03 (0.09)	0.01 (0.08)	0.04 (0.04)	-0.07* (0.04)	0.00 (0.01)
Ausbildung	-5.56*** (1.77)	0.63 (1.46)	-0.17 (0.89)	2.46*** (0.78)	0.20 (0.25)
5-Jahre Temp. avg.	-3.04** (1.28)	0.53 (0.76)	1.36** (0.61)	1.33*** (0.51)	X
5-Jahre Ndschlg. Avg.	-0.00 (0.01)	-0.01* (0.01)	-0.00 (0.00)	-0.01*** (0.00)	X
Lag Versicherung	X	X	X	X	1.14*** (0.24)
Hagel Jahre	X	X	X	X	-0.00 (0.01)
Log Asset-Debt Ratio	X	X	X	X	-0.04** (0.02)
Konstante	27.6 (19.2)	2.57 (12.87)	-10.48 (9.64)	0.98 (7.17)	-0.39 (0.86)

Werte in Klammern sind robuste Standardfehler. *, ** und *** bezeichnen jeweils Signifikanzlevel von 10%, 5% und 1%.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Der Abschluss einer Hagelversicherung ist wahrscheinlicher, wenn grössere Betriebe betrachtet werden, schon im Vorjahr eine Police bestand und der Verschuldungsgrad des Unternehmens grösser ist. Für die hier präsentierte Analyse sind insbesondere die Korrelationen zwischen der Aufnahme der Hagelversicherung und den Landnutzungsentscheidungen relevant, da diese auf mögliche Flächenwirkungen einer Versicherung hinweisen. Tabelle 17 zeigt positive Korrelation zwischen der Versicherungsentscheidung und Landnutzung für Hackfrüchte, extensivem Getreide und intensivem Getreide (nicht signifikant). Diese Ergebnisse stützen die erwarteten (leichten) Landnutzungseffekte (extensive margin) der Hagelversicherung, mit einer Substitution von Grasland mit wenig PSM-Einsatz hin zu intensiveren Ackerkulturen.

Tabelle 17: Korrelationskoeffizienten der Systemschätzung (erster Schritt)

Atanrho 1_2	-0.15 (0.10)
Atanrho 1_3	-0.31*** (0.12)
Atanrho 1_4	-0.05 (0.13)
Atanrho 1_5	0.00 (0.13)
Atanrho 2_3	-0.24** (0.10)
Atanrho 2_4	0.53*** (0.12)

*Kapitel 6: Auswirkungen von Einkommensrisiken auf den PSM-Einsatz:
Begleitmassnahmen und Direktzahlungen*

Atanrho 2_5	0.15 (0.16)
Atanrho 3_4	0.27*** (0.09)
Atanrho 3_5	0.52*** (0.17)
Atanrho 4_5	0.38** (0.18)

Werte in Klammern sind Standardfehler. *, ** und *** bezeichnen jeweils Signifikanzlevel von 10%, 5% und 1%. Atanrho steht für die (arc-Tangens hyperbolicus) transformierten, unbegrenzten Korrelationskoeffizienten eines Paares von Gleichungen (siehe Roodman, 2007). Die Nummern beziehen sich auf die Kopfteile von Tabelle 16.
Quelle: Eigene Berechnungen.

Im zweiten Schritt werden Effekte auf die Ausgaben für PSM, die totale eingesetzte (physische) Menge PSM sowie Effekte auf Mengen einzelner Wirkstoffgruppen analysiert. Die Ergebnisse der ersten beiden Analysen sind im Anhang J dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass grössere Anbauflächen von intensiven Hackfrüchten und extensivem Getreide die Ausgaben für PSM und Einsatzmenge erhöhen. Dieser Zusammenhang ist jedoch nicht signifikant. Im Gegensatz dazu hat die Grünlandfläche einen negativen Einfluss auf die PSM-Ausgaben. Der Effekt der Versicherung ist in beiden Fällen positiv, jedoch nicht signifikant.

Im letzten Schritt werden die Determinanten der eingesetzten Mengen nach PSM-Typen separat analysiert (Tabelle 18). Eine grössere Fläche unter Hackfrüchten und höhere Düngerausgaben führen zum höheren Einsatz von Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden. Die Korrelationen zwischen dem Einsatz von Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden sind positiv und signifikant (Tabelle A.VII im Anhang J). Das heisst, Landwirtinnen und Landwirte zeigen generelle Muster eines hohen oder tiefen PSM-Einsatzes, über alle Typen von PSM. Die Nutzung der Hagelversicherung hat einen positiven Einfluss auf die eingesetzte Fungizidmenge. Anders als in den ersten beiden Modellen ist dieser Zusammenhang auch signifikant. Das heisst, die im vorherigen Abschnitt aufgezeigten gegensätzlichen Schlussfolgerungen in der Literatur, resultieren auch auf den unterschiedlichen Wegen, den PSM-Einsatz zu quantifizieren. Ein aktuelle Studie von Ramseier et al. (2016) zeigt mögliche Gründe für dieses Resultat auf. Ihre Studie zeigt, dass die meisten befragten Schweizer Landwirtinnen und Landwirte die gängigen Prognosetools für Fusarien und Kraut- und Knollenfäule, wichtige Determinanten des Fungizideinsatzes im intensiven Getreide und Kartoffeln, nicht nutzen. Die Studie zeigt auch, dass Landwirtinnen und Landwirte zur Bekämpfung von Rhizoctonia mittels Fungiziden sehr selten Schadschwellen berücksichtigen. Im Gegensatz dazu werden präventive Anwendungen beobachtet (Ramseier et al., 2016), deren Umfang eine grosse subjektive Risikopräferenzkomponente birgt. Unsere Resultate stützen diese Hypothese. Unser Ergebnis deutet darauf hin, dass risikoaverse Landwirtinnen und Landwirte sowohl wahrscheinlicher eine Versicherung abschliessen als auch wahrscheinlicher Fungizide einsetzen.

Tabelle 18: Ergebnisse des zweiten Schrittes der Regressionsanalyse: Systemschätzung der Wirkstoffmenge nach Wirkstoffgruppen

	Herbizide	Fungizide	Insektizide
--	------------------	------------------	--------------------

*Kapitel 6: Auswirkungen von Einkommensrisiken auf den PSM-Einsatz:
Begleitmassnahmen und Direktzahlungen*

Grasland Instr.	-15.81 (90.40)	94.81 (134.54)	-113.92 (134.23)
Weizen intensiv (Instrument)	-74.49 (85.51)	-3.62 (119.00)	-45.35 (74.24)
Weizen extensiv (Instrument)	-20.92 (102.50)	-78.50 (147.65)	-93.41 (131.07)
Hackfrüchte (Instrument)	149.63 *** (53.06)	140.42* (80.38)	121.01* (67.53)
Versicherung (Instrument)	113.68 (228.10)	1182.10** (480.46)	273.64 (530.46)
Alter	-2.91 (5.74)	2.82 (9.93)	-4.12 (11.38)
Ausbildung	-71.60 (244.84)	675.00 (412.31)	66.71 (354.34)
Log Dünger Ausgaben	20.70 * (10.86)	354.04** (156.57)	308.89** (149.20)
Temperatur 2010	-20.15 (165.45)	183.76 (251.10)	-158.10 (255.77)
Niederschlag 2010	-0.59 (0.39)	-0.81 (0.63)	-1.45** (0.65)
Konstante	1080.28 (1523.1)	-4844.14 (3184.16)	-331.52 (3031.79)

Werte in Klammern sind robuste Standardfehler. *, ** und *** bezeichnen jeweils Signifikanzlevel von 10%, 5% und 1%.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Zusammenfassend zeigt unsere Analyse einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Hagelversicherung und Landnutzung, da mehr Ackerkulturen von der Versicherung profitieren, wohingegen Grasland weniger in Zusammenhang mit der Hagelversicherung steht. Für andere Versicherungslösungen (wie Ertrags- oder Erlösversicherungen) sind die in diesem Zusammenhang zu erwartenden Effekte grösser. Dieses Ergebnis zeigt, dass eine allfällige Einführung und/oder Subventionierung einer Versicherungslösung explizit die Diskriminierung von Grasland vermeiden muss, da sonst Landnutzungsveränderungen hervorgerufen werden, die einen sehr starken Hebel auf die gesamte ausgebrachte PSM-Menge haben. Unsere Analyse erlaubt es, die widersprüchlichen Ergebnisse früherer Studien bezüglich der Korrelation des PSM-Einsatzes und der Nutzung der Hagelversicherung zu erklären.¹¹⁸ Der aufgezeigte positive Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Fungiziden und der Versicherungsnutzung geht auf die Risikopräferenzen der Landwirtin und des Landwirtes zurück. Risikoaverse Landwirtinnen und Landwirte nehmen mehr Fungizid Applikationen vor und schliessen eine Versicherung ab. Dieses Resultat eröffnet Räume für das Ausgestalten einer PSM-reduzierenden Versicherung, der oben skizzierte indirekte Effekt auf die Flächennutzung scheint jedoch zu kritisch zu sein. Obschon Versicherungslösungen auch im Kontext der schweizerischen Landwirtschaft sehr sinnvolle Instrumente zum Risikomanagement sein können (z.B. El Benni et al. 2016), sollten

¹¹⁸ Zudem zeigt unsere Analyse die Relevanz der berücksichtigten Grösse des PSM Einsatzes, da Effekte einer Versicherung auf PSM-Ausgaben nicht mit den Effekten auf Mengen des PSM Einsatzes übereinstimmen.

deren generelle Unterstützung nicht Schritte zu strikterer Ausgestaltungen von PSM-Anwendungen ersetzen. Jedoch könnten Versicherungslösungen, die gezielt Schädlingsdruck absichern (z.B. mittels einer Indexlösung, Norton et al., 2016), oder spezifisch nur für Landwirte angeboten werden, die zu PSM reduzierten Anbauverfahren wie Extenso oder biologischem Landbau wechseln (Finger, 2014, und Abschnitt 6.2.2).

6.3 Allgemeine und ökologische Direktzahlungen

In den aktuellen Agrarpolitiken sind in der EU und der Schweiz entkoppelte Direktzahlungen etabliert. Entkoppelte Direktzahlungen gelten laut WTO als Massnahmen der „Grünen Box“ und sind unabhängig von der Produktionsmenge, dem Faktoreinsatz oder dem Marktpreis. Hierdurch soll eine (direkte) Beeinflussung der Produktionsentscheidung der Landwirtin bzw. des Landwirtes vermieden werden. Im ersten Teil dieses Abschnitts wird generell auf den Effekt von Direktzahlungen eingegangen. Eine Sonderrolle spielen ökologische Direktzahlungen, wie z.B. für die Teilnahme am Extenso-Programm der Schweiz, auf das auch bezüglich seiner Interdependenz mit einer Abgabe auf PSM im zweiten Teil dieses Abschnitts eingegangen wird. Dafür wird ebenfalls ein theoretisches, mikroökonomisches Modell entwickelt.

Doch selbst wenn die Zahlungen weitestgehend produktionsunabhängig sind, können sogenannte *Coupling*-Effekte entstehen, also ein Zusammenhang zwischen den entkoppelten Direktzahlungen und der Produktionsentscheidung bzw. der Produktionsmenge des Betriebs (Bhaskar und Beghin, 2009). Die Gründe für diese Effekte können sehr unterschiedlich sein. Die Zahlung eines Pauschalbetrages kann einen Einfluss auf die Produktionsentscheidung und den PSM-Einsatz haben, indem sie...

- 1) ...die Kapitaleinschränkungen des Produzenten lockert,
- 2) ...das finanzielle Risiko, das dem Produzenten gegenübersteht, reduziert (sicheres Einkommen reduziert die Einkommensvariabilität),
- 3) ...die Risikoaversion des Produzenten reduziert,
- 4) ...dem Produzenten dabei hilft, Produktionskosten abzudecken oder
- 5) ...einen Einfluss auf den strukturellen Wandel in der Landwirtschaft hat (Vgl. Serra et al. (2005b)).

Nach Hennessy (1998) lassen sich bei Landwirtinnen und Landwirten mit abnehmender absoluter Risikoaversion (*decreasing absolute risk aversion*, DARA: Risikoaversion nimmt mit wachsenden Einkommen ab) zwei Haupteffekte einer entkoppelten Direktzahlung unterscheiden. Der *Wealth*-Effekt entsteht durch einen gesteigerten Wohlstand und einer damit verbundenen Verringerung der Risikoaversion. Der *Insurance*-Effekt hingegen entsteht aufgrund eines reduzierten Risikos, dem die Landwirtin und der Landwirt gegenüberstehen. Bezogen auf den Produktionseffekt einer Politikmassnahme ist laut Hennessy (1998) sowie Bhaskar und Beghin (2009) der *Wealth*-Effekt im Gegensatz zu dem *Insurance*-Effekt jedoch meist nur sehr gering.

Wäre die Landwirtin oder der Landwirt hingegen risikoneutral, so würden entkoppelte Direktzahlungen keine Auswirkungen auf seine Produktionsentscheidung und den Faktoreinsatz haben und eine vollständige Entkopplung der Einkommensstützung läge vor (Serra et al., 2006). Änderungen in Einkommensniveaus können jedoch auch zu Änderungen der Risikopräferenzen führen (siehe Abschnitt 4.2). Da entkoppelte Direktzahlungen bei Unsicherheit das Risiko und die Risikoaversion vermindern, führt eine Erhöhung der Unterstützung durch Direktzahlungen zu einer gesteigerten Einsatzmenge von Inputfaktoren und folglich auch zu einer zunehmenden Produktionsmenge, *ceteris paribus* (Serra et al., 2005a; Bhaskar und Beghin, 2009). Dabei muss zwischen risikosteigernden und risikomindernden Produktionsfaktoren unterschieden werden (Serra et al., 2006). Die Zahlung einer Direktzahlung führt nur dann zu einem gesteigerten Faktoreinsatz, wenn der Faktor risikosteigernd ist (z.B. Dünger). Der Einsatz eines Produktionsfaktors wird reduziert, wenn dieser risikomindernd wirkt (z.B. Hagelnetze oder Bewässerung). Bei risikoneutralen Faktoren hat die Zahlung keinen Einfluss auf dessen Verwendung. Wie in Abschnitt 4.2 gezeigt wurde, ist die Zuteilung von PSM zu risikomindernden, risikoneutralen oder risikosteigernden Produktionsfaktoren nicht immer eindeutig möglich. Auch hinsichtlich der EU-Direktzahlungen, die in Folge der MacSharry Reform beschlossen wurden, kommen Serra et al. (2005b) zu dem Ergebnis, dass sie zu einer gestiegenen Verwendung von PSM führen. In einer anderen empirischen Studie von Serra et al. (2006) hat eine Erhöhung von Direktzahlungen zwar einen positiven, jedoch keinen signifikanten Effekt auf die Verwendung von Produktionsfaktoren, die Produktionsmenge und das Produktionsrisiko. In der Studie von Bhaskar und Beghin (2009) führt eine steigende Unterstützung der Landwirtinnen und Landwirte hingegen zu einem um bis zu 15% erhöhten N-Einsatz, aber nur zu einer Ertragssteigerung von 2,75%.

Dennoch sei noch einmal erwähnt, dass gekoppelte Zahlungen, wie beispielsweise Preisstützungen, einen grösseren Produktionseffekt haben als entkoppelte Zahlungen (Serra et al., 2005a). Insgesamt führt eine Entkopplung der Zahlungen deshalb zu einer reduzierten Verwendung risikosteigernder Produktionsfaktoren und somit zu einer geringeren Produktionsmenge (Serra et al., 2005a, 2005b, 2006).

Der in Abschnitt 4.2 dargestellte Ansatz der Schadensvermeidung von PSM lässt sich aufgrund der oben dargestellten Zusammenhänge erweitern. Sowohl bei Pannell (1991) als auch bei Horowitz und Lichtenberg (1994) werden keine Einflüsse von Direktzahlungen und Zahlungen aus ökologischen Leistungen berücksichtigt, welche Einfluss auf den Profit und den Nutzen des Anbaus haben. Somit lassen sich die oben dargestellten Ansätze (Gleichung 4) erweitern durch:

$$(32) \quad \pi = DZ + Yp_y - Cw_c - A - F$$

Und folglich:

$$(33) \quad \max_{U(x,\varepsilon)} \int_{\varepsilon_{min}}^{\varepsilon_{max}} U \left(DZ + (p_y * f(x, \varepsilon) - Cw_c - A - F) * dG(\varepsilon) \right)$$

Die zu maximierenden Nutzenfunktion besteht der Einfachheit halber aus zwei Komponenten, den Direktzahlungen und dem Einkommen aus landwirtschaftlicher Produktion.

Der Anteil der Direktzahlungen am Einkommen ist in der Schweiz sehr hoch.¹¹⁹ Basierend auf den oben skizzierten Wealth- und Insurance Effekten von deterministischen Direktzahlungen zeigt dies grosse potentielle Wirkungen auf den PSM-Einsatz. Für risikoreduzierende PSM, kommt es durch die Direktzahlungen eher zu einem geringeren Einsatz. Sind PSM im Gegensatz dazu risikorehöhend, werden durch Direktzahlungen mehr PSM eingesetzt.

6.4 Auswirkungen einer Lenkungsabgabe auf die Teilnahme am Extenso Programm

Die Wechselentscheidung vom intensiven zum extensiven Anbau (Extenso Programm) wird im Folgenden explizit mit Hilfe eines mikroökonomischen Modells skizziert. Dabei wird der Einfluss von Risiko auf die Entscheidung der Landwirtin oder des Landwirtes berücksichtigt. Auswirkungen von Abgaben auf PSM und ggf. flankierender Einsatz von Versicherungen auf die Partizipation im Extenso Programm können somit analysiert werden. Interessant ist weiterhin, ob dies auch zu einem Anbau von unterschiedlichen Kulturen führt (z.B. erhöhter Anbau von Getreide), auch unter Berücksichtigung von Standortfaktoren wie z.B. Hanglage eines Betriebes.

Eine Besonderheit des Extenso Programmes ist dessen Flexibilität, d.h., dass Landwirtinnen und Landwirte, welche sich im Extenso Programm registriert haben, unterjährig bis zum Einsatz von im Programm verbotenen PSM (ohne Strafzahlung) aus dem Extenso Programm austreten können. Laut El Benni (2013, S. 62) ist diese Flexibilität eine wichtige Komponente für die Attraktivität des Programms, da es erlaubt, z.B. aufgrund eines hohen Schaderregerdrucks, aus dem Programm auszusteigen.¹²⁰

6.4.1 Theoretisches Modell zur Teilnahme am Extenso Programm

In der Vergangenheit hat sich in verschiedenen Studien gezeigt, dass Teilnahmeanreize zum Extenso Programm hauptsächlich finanzieller Natur sind. El Benni (2013, S. 61) fasst Experteninterviews mit Beratern wie folgt zusammen: „Produktionstechnische Gründe, persönliche und soziale Aspekte sowie Risikoaspekte [sind] von untergeordneter Bedeutung für das Beitrittsverhalten.“ Nichtsdestotrotz weisen die Berater auch auf relevante nicht-monetäre Beweggründe, Extenso zu nutzen, hin.¹²¹ Der Standort der Fläche, also mögliche generelle Einschränk-

¹¹⁹ Zum Beispiel liegt der *Percentage Producer Support Estimate* (%PSE), ein OECD-Indikator, welcher den Anteil der Produzentenstützung am gesamten landwirtschaftlichem Betriebseinkommen misst, von 2009 bis 2014 jeweils zwischen 50 – 60%, in der EU aber nur bei 18 – 23% (OECD, 2010, S. 101; 2015, S. 64; OECD.Stat, 2015). El Benni et al. (2012) zeigen für das Jahr 2009, dass im Durchschnitt das landwirtschaftliche Betriebseinkommen bei 59.062 CHF und die durchschnittlichen Direktzahlungen bei 57.753 CHF lagen.

¹²⁰ Laut Informationen der IP Suisse (Hofer, 2015) sind Ausscheideraten von Teilnehmern im Getreideanbau sehr gering, wohingegen beim Raps bis zu 15% der Produzenten unterjährig aus dem Programm ausscheiden.

¹²¹ El Benni (2013, S. 62) zitiert einen Berater wie folgt: „Sobald der Preis stimmt, steigen die Landwirte auf Extenso um. Es gibt ganz klar eine latente Bereitschaft für Extenso. Kein Bauer hat Freude mit Spritzmitteln über das Feld zu fahren. Zum einen wegen den Kosten und zum anderen auch wegen dem Image.“

kungen auf Fungizide zu verzichten, aber auch Opportunitätskosten des Anbaus scheinen zudem einen erheblichen Einfluss auf eine mögliche Adaption des Programmes zu haben (u.a. El Benni, 2013).

Das Modell geht daher vereinfachend davon aus, dass die von der Landwirtin oder vom Landwirt optimierte Zielgrösse der Deckungsbeitrag pro Hektar ist. Zudem wird davon ausgegangen, dass Landwirtinnen und Landwirte ihren erwarteten Nutzen maximieren und daher Risiko in ihrer Entscheidung berücksichtigen (vgl. Abschnitt 4.2). Ein Wechsel in das Extenso Programm kann vorteilhaft für die Landwirtin oder den Landwirt werden, wenn die Umsatzreduktion durch geringere physische Erträge im Extenso Programm geringer ausfällt als die Kostenreduktion durch verminderten PSM-Einsatz plus Extenso Prämie.

Risikoaspekte können zudem einen starken Einfluss auf die Extenso-Adoptionsentscheidung haben, da sich die Variationskoeffizienten des physischen Ertrages von Extenso und Nicht-Extenso Betrieben unterscheiden (Finger, 2014). Zusätzlich wirkt sich die Zahlung einer deterministischen Prämie für Extenso Betriebe auf Einkommensrisiken und Risikoaversion der Landwirtin bzw. des Landwirtes aus (vgl. Abschnitt 6.3).

6.4.2 Basismodell

Ein Basismodell, ohne Berücksichtigung von Risiko würde zunächst wie folgt aussehen:

$$(34) \quad \begin{aligned} & DZ \text{ ÖLN}_j + \max_x [\pi_{int,j} = f(x)_{int,j} * P_{int,j} - w_{x,j} * x_{int,j}] \\ & DZ \text{ ÖLN}_j + EP_j + \max_x [\pi_{ext,j} = f(x)_{ext,j} * P_{ext,j} - w_{x,j} * x_{ext,j}] \end{aligned}$$

Wobei π dem Deckungsbeitrag pro ha entspricht und die Indizes *int* und *ext* jeweils für Anbau der Kultur *j* unter intensiver oder extensiver Landwirtschaft gemäss den Extenso Vorschriften stehen. *DZ ÖLN* und *EP* bezeichnen mögliche Direktzahlungen aus dem ÖLN und dem Extenso Programm. Diese werden hier vereinfachend als nicht kulturspezifisch angenommen. $f(x)$ bezeichnet die Produktionsfunktion in Abhängigkeit vom Input x (also auch PSM), P den Outputpreis und w den Preis pro Input x . Dabei wird eine konkave Produktionsfunktion angenommen, d.h. $\frac{\partial f(x)}{\partial x} > 0$ und $\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x \partial x} < 0$. Bei Extenso Produktion ist zudem als Nebenbedingung der Einsatz bestimmter PSM verboten, d.h. deren Inputlevel liegt unterhalb des optimalen Inputlevel in der konventionellen Landwirtschaft. Dies geht mit einem durchschnittlich niedrigerem Outputlevel einher (Finger, 2014) und wird durch die Zahlung einer Prämie kompensiert. Optimale Inputlevel im Extenso Programm sind daher immer unter dieser Nebenbedingung zu verstehen.

Eine gewinnmaximierende Landwirtin oder ein gewinnmaximierender Landwirt würde also bei optimalem Faktoreinsatz am Extenso Programm teilnehmen wenn:

$$(35) \quad EP_j + \pi_{ext,j} - \pi_{int,j} > 0$$

Also muss gelten (bei identischen ÖLN Prämien und optimalem Faktoreinsatz):

$$(36) \quad EP_j + w_{x,j} * (x_{int,j} - x_{ext,j}) > (f(x)_{int,j} * P_{int,j} - f(x)_{ext,j} * P_{ext,j})$$

Die Besteuerungsgrundlage einer PSM-Abgabe ist entweder die Inputmenge nach Besteuerung (Mengensteuer) oder das Produkt aus Inputmenge nach Besteuerung und Inputpreis (Wertsteuer). Ohne Berücksichtigung von Risiko führt eine Besteuerung von Inputs wie PSM dazu, dass der Inputpreis steigt und die optimale Inputmenge und somit auch die Outputmenge sinkt (da das optimale Outputlevel nun niedriger liegt, können auch Wechselwirkungen für den optimalen Einsatz anderer Inputs wie Dünger entstehen (vgl. Regev et al., 1997)). Die Abgabe senkt damit den optimalen Input von PSM und somit auch das Outputlevel, andererseits steigt ggf. der Preis der PSM-Nutzung.

Die Preiselastizität der Nachfrage quantifiziert einen Nachfragerückgang in Folge einer Preiserhöhung. Es wurde gezeigt (vgl. Unterkapitel 5.1), dass diese für PSM relativ unelastisch ist. Eine Besteuerung von PSM geht daher immer mit einer Erhöhung der (Gesamt-)Ausgaben für PSM einher. Je elastischer die Nachfrage nach PSM auf die Preiserhöhung reagiert, desto geringer steigen die (Gesamt-)Kosten für PSM in Folge der Besteuerung. Es ist jedoch nicht bekannt inwiefern die Preiselastizität der Nachfrage zwischen konventioneller und Extenso Bewirtschaftung (für Herbizide) variiert. Die absolute Höhe der zusätzlichen Kosten hängt jedoch auch von der Höhe der Besteuerungsgrundlage ab. Betriebe, die eine Kultur nach Extenso Richtlinien bewirtschaften, verwenden im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung geringere Mengen an PSM. Die Besteuerungsgrundlage ist somit geringer für Extenso Bewirtschafteter als für konventionelle Bewirtschafteter. Absolut gesehen ist die Kostensteigerung für konventionelle Bewirtschafteter somit im Durchschnitt höher, da eine grössere Besteuerungsgrundlage vorliegt. Daher kann man schliessen, dass ohne Betrachtung von Risiko, eine PSM-Besteuerung zu einem relativen Vorteil für Extenso Bewirtschaftung führt.

6.4.3 Modell mit Risiko

Wie bereits in Abschnitt 4.2 gezeigt, kann Risiko sowohl die Entscheidung der Landwirtin oder des Landwirtes bezüglich der Höhe des PSM-Einsatzes als auch die Entscheidung für einen Wechsel zur Extenso Bewirtschaftung beeinflussen. Mit Hilfe einer (bereits in Abschnitt 4.2.2.1 diskutierten) additiven Produktionsfunktion von Just und Pope (1978, 1979) lassen sich stochastische Wettereinflüsse auf den Ertrag (θ mit Verteilungsfunktion $G(\theta)$) und den Schaderregerdruck (ω mit Verteilungsfunktion $F(\omega)$) darstellen. Zudem maximiert die Landwirtin oder der Landwirt nun ihren/seinen Erwartungsnutzen. Die äquivalenten Gleichungen zu (35) und (36) sind daher:

$$(37) \quad U(\text{ÖLN}_j) + \max_x \left[EU \left(\pi_{int,j} = \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} U(f(x, \theta, \omega)_{int,j} * P_{int,j} - w_{x,j} * x_{int,j}) dG(\theta)dF(\omega) \right) \right]$$

$$(38) \quad U(\text{ÖLN}_j) + U(EP_j) + \max_x \left[EU \left(\pi_{ext,j} = \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} U(f(x, \theta, \omega)_{ext,j} * P_{ext,j} - w_{x,j} * x_{ext,j}) dG(\theta)dF(\omega) \right) \right]$$

Dabei muss zwischen Fällen unterschieden werden, bei denen nur die Wettereinflüsse, nur der Schaderregerdruck, Wettereinfluss und Schaderregerdruck oder der Outputpreis stochastisch beeinflusst sind, da der PSM-Einsatz sowohl risikosenkend als auch risikoe erhöhend für die Landwirtin oder den Landwirt wirken kann (vgl. Abschnitt 4.2.2). Unter dem Extenso Programm wird der Anbau von Getreide, Sonnenblumen, Raps und seit der AP 14-17 auch Eiweiserbsen und Ackerbohnen gefördert (Art. 68 – 69, DZV). Davon machen Raps und mit grossem Abstand Weizen den grössten Teil aus. Daher scheint von den bereits diskutierten Kombinationen stochastischer Variablen (vgl. Abschnitt 4.2.2.1) diejenige, bei denen Wetter als auch Schaderregerdruck stochastisch sind, am relevantesten zu sein. In diesem Fall ist die Wirkung von PSM-Einsatz auf das Risiko nicht klar definiert, da sie von der Korrelation von Schaderregerdruck und Wettereinflüssen abhängt. Eine negative Korrelation würde nach Horowitz und Lichtenberg (1994) eine risikoe erhöhende Wirkung von PSM implizieren und umgekehrt. Finger (2014) zeigt, dass Extenso Getreideanbau einen höheren Variationskoeffizienten des Ertrages hat, als dies bei intensivem Getreide der Fall ist. Dies könnte auf eine risikosenkende Wirkung von Fungiziden und Insektiziden im Getreideanbau hinweisen, da Herbizide auch im Extenso Anbau weiter verwendet werden. Regev et al. (1997) finden jedoch in einem älterem Datensatz eine risikoe erhöhende Wirkung von Fungiziden im Schweizer Getreideanbau bei niedrigen und mittleren Niederschlagsniveaus.¹²²

Eine Landwirtin oder ein Landwirt nimmt daher bei Berücksichtigung von Risiko und unter optimalem Faktoreinsatz am Extenso Programm teil, wenn:

$$(39) \quad U(\text{ÖLN}_j) + U(EP_j) + EU(\pi_{ext,j}) > U(\text{ÖLN}_j) + EU(\pi_{int,j})$$

Dabei entscheidet die Landwirtin oder der Landwirt über ein Portfolio aus stochastischem Einkommen aus der landwirtschaftlichen Produktion und Prämien, welche nur von der Einhaltung der Standards abhängig, d.h. deterministisch, sind. Betrachtet man zuerst das stochastische Einkommen, dann erzielt eine risikoaverse (-neutraler, -affiner) Landwirtin oder ein risikoaverser (-neutraler, -affiner) Landwirt einen niedrigeren (höheren, den Gleichen) erwarteten Nutzen, wenn das Risiko, also die Varianz von π , grösser ist. Betrachtet man nun zusätzlich die Prämien aus Direktzahlungen, zeigt sich, dass ein höherer Anteil von deterministischen Prämien am Gesamteinkommen die Varianz des Portfolios verringert und den Nutzen der Landwirtin oder des Landwirtes steigert (-gleich hält, -senkt). Durch den Wechsel in extensive Bewirtschaftung nimmt die Landwirtin oder der Landwirt zudem an einem anderen Markt teil, da Extenso Produkte oft unter dem Label der IP Suisse mit einer Preisprämie verkauft werden (siehe auch Anhang D). So weist Finger (2014) verschiedene Korrelationskoeffizienten zwischen Preisen und physischen Erträgen von Extenso einerseits, und konventionellen Getreide andererseits, aus. Diese Korrelation, auch *natural hedge* genannt, wirkt wie eine natürliche Versicherung für Umsatzrisiken und solche Unterschiede können daher auch die Wechselentscheidung von

¹²² Regev et al. (1997) weisen zudem darauf hin, dass es eine starke Interaktion der Menge eingesetzten Stickstoffes und der Risikowirkung von PSM geben könnte.

Landwirtinnen und Landwirten beeinflussen. *Natural hedge* könnte in dem Modell abgebildet werden, indem $P(\rho\theta)$ und $\frac{\partial P}{\partial \theta} < 0$ angenommen werden, wobei ρ ein Skalierungsfaktor ist.

Werden Auswirkungen einer Lenkungsabgabe auf die Teilnahme am Extenso Programm unter Risiko analysiert, sollten für die Analyse jedoch hauptsächlich Veränderungen des erwarteten Nutzens aus stochastischen Einkommen der Produktion relevant sein, da nur dieses von einer Lenkungsabgabe beeinflusst wird.

Wie im Fall ohne Risiko führt eine Erhöhung des Inputpreises für PSM durch Steuern zu einer Verringerung des Inputeinsatzes von PSM und einem geringeren Outputlevel. Unter Berücksichtigung unterschiedlicher Preiselastizitäten der Nachfrage und Besteuerungsgrundlagen für konventionelle und Extenso Landwirtschaft ergibt sich weiterhin, dass Extenso Bewirtschaftung relativ bevorteilt wird. Nun muss jedoch berücksichtigt werden, dass eine Veränderung des Inputeinsatzes auch zu einer Veränderung des Risikos und somit des Erwartungsnutzen führt. Wie bereits diskutiert, ist der Rückgang von PSM-Einsatz in Folge der Besteuerung von der Preiselastizität der Nachfrage abhängig. Nutzenzugewinn (PSM als risikoe erhöhend, risikoaverse Landwirtin oder risikoaverser Landwirt) oder -verlust (PSM als risikosenkend, risikoaverse Landwirtin oder Landwirt) durch Risikowirkung der Veränderung des Inputeinsatzes fallen somit grösser aus in der Bewirtschaftungsform in welcher die Nachfrage elastischer reagiert.

Ebenfalls hätte die Einführung einer Versicherung einen Einfluss auf die Attraktivität des Extenso Programmes. Aufgrund höherer Ertragsvariabilität sind die Erlöse aus der Extenso Produktionen stärkeren Schwankungen unterworfen. Die Einführung einer Versicherung würde daher vorteilhafter für extensiv als für intensiv produzierende Landwirtinnen und Landwirte sein. Weiterführend könnte in diesem Zusammenhang diskutiert werden, ob dies auch zu einer Verhaltensänderung von Landwirtinnen und Landwirten (also zum Beispiel unter der Annahme von PSM als risikoe erhöhendem Input, mehr PSM-Einsatz) führt. Die Ausgestaltung des Designs einer Versicherungslösung sollte daher nicht nur die direkten Effekte auf den PSM-Einsatz sondern auch indirekte Wirkungen auf das Extenso Programm und die Flächennutzung berücksichtigen (siehe Abschnitt 6.2).

Sollen zudem explizit Effekte für den Wechsel zwischen Kulturen dargestellt werden, muss die heterogene geografische Lage der Betriebe berücksichtigt werden (vgl. Khanna et al., 2002), da dies ein wichtiger Faktor für Opportunitätskosten der Landwirtin oder des Landwirtes ist. So sollte bei der Regulierung von PSM nicht nur die Reduzierung der Anwendungsintensität innerhalb einer Kultur eine Rolle spielen, sondern auch berücksichtigt werden, dass Regulierungen zu einem Wechsel der angebauten Kultur führen und damit den PSM-Einsatz beeinflussen können. Zudem sollte berücksichtigt werden, dass eine Regulierung des PSM-Einsatzes auch Auswirkungen auf den Einsatz anderer Inputs wie Dünger und Arbeit hat und umgekehrt (Regev et al. (1997) diskutieren dies für Stickstoff- und Herbizidanwendungen in der Schweiz).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Steuer auf PSM in einer Situation ohne Risiko eine Teilnahme am Extenso Programm attraktiver macht (und somit den PSM-Einsatz reduziert, falls keine Extremstandorte betrachtet werden). Die Quantifizierung dieses Einflusses ist

jedoch nicht möglich, da spezifische PSM-Elastizitäten für Schweizer Extenso Landwirtinnen und Landwirte nicht bekannt sind. Werden zusätzlich Unsicherheiten bezüglich Wettereinflüssen und Schaderregerdruck berücksichtigt, hängt es von der Korrelation dieser Ereignisse ab, ob dies dem oben genannten Effekt entgegen wirkt oder ihn verstärkt. Eine begleitend eingeführte Versicherung für Landwirtinnen und Landwirte erhöht wiederum den Anreiz einer Teilnahme am Extenso Programm (impliziert aber auch Verhaltensänderungen, abhängig vom Design einer solchen Versicherung). Da seit der AP 14-17 das Extenso Programm ausgeweitet wurde und verschiedene Organisationen im nationalen Aktionsplan (BLW, 2015a) eine weitere Ausweitung des Extenso Programmes fordern, sollte die Wechselentscheidung zu Extenso genauer untersucht werden. Vor diesem Schritt sollten jedoch weitere Effekte einer Ausweitung des Programmes untersucht werden. Neben der Rolle geografischer Faktoren und Verteilungseffekte sollten auch die Effekte einer möglichen Ausweitung auf das Produktionslevel der Schweizer Landwirtschaft (vgl. *leakage effect*) diskutiert werden.

6.5 Präventive biologische Strategien

Präventive biologische Massnahmen können den PSM-Einsatz reduzieren und implizieren häufig weitere positive externe Effekte (z.B. Sutter und Albrecht, 2016). Diese Massnahmen umfassen das gezielte Schaffen von Habitaten für Nützlinge, d.h. natürliche Feinde von Schaderregerpopulationen, was zum Beispiel durch Blüh- oder Pufferstreifen (um das oder im Feld), das Anlegen von *beetle banks* oder Massnahmen zur Unkrautunterdrückung (*living mulches*) erreicht werden kann (Warner et al., 2000; Cullen et al., 2008; Jonsson et al., 2008).¹²³ Die Kontrolle von Blattläusen ist ein prominentes Beispiel, welches in verschiedenen Kulturen Anwendung fand, siehe u.a. Warner et al. (2000), Brennan (2013) und Tschumi et al. (2015). Allgemeiner werden diese Strategien unter dem Begriff konservierender biologischer Kontrolle zusammengefasst (*conservation biological control*, CBC) (Ehler, 1998; Jonsson et al., 2008). Die Förderung von CBC-Massnahmen ist bereits ein wichtiger Bestandteil der schweizerischen und europäischen Agrarpolitik. Diverse Massnahmen wie Blühstreifen werden direkt gefördert.¹²⁴ Des Weiteren werden in diesem Sinne genutzte Flächen in der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union als ökologische Vorrangflächen gewertet (was die Opportunitätskosten der Anlage dieser Flächen reduziert). CBC-Massnahmen werden auch wegen der mannigfaltigen weiteren positiven externen Effekten, wie z.B. eine höhere Biodiversität, Reduktion von Nährstoffeinträgen in die Umwelt, eine höhere Landschaftsqualität und geringere PSM-Exposition Aussenstehender (siehe Cullen et al., 2008) gefördert. Trotzdem liegt ihre effektive Nutzung unter dem sozialen Optimum (Griffiths et al., 2008; Waterfield and Zilberman, 2012).

¹²³ Ähnlich motiviert sind Massnahmen wie selektives Ernten oder *trap cropping*, wo Teile des Felds mit für die Schaderreger attraktiveren Pflanzen kultiviert werden (Hokkanen, 1991; Ehler, 1998). Kan et al. (2013) analysieren die Profitabilität des Einrichtens von Nistboxen für Eulen als Alternative zum Einsatz von Rodentiziden.

¹²⁴ Zum Beispiel in der Schweiz laut DZV mit 2500 CHF/ha, in Deutschland, beispielsweise in Nordrhein-Westfalen und Hamburg, mit Zahlungen von 950 €/ha bzw. 750 €/ha (bei einer minimalen Etablierung über 5 Jahre) (LWK NRW, 2015; Freie und Hansestadt Hamburg, 2015).

Ein besseres Verständnis der Entscheidung der Landwirtin oder des Landwirtes CBC-Massnahmen zu nutzen kann daher helfen, Politikmassnahmen zu verbessern und die Interdependenzen mit anderen Massnahmen aufzuzeigen. Bestehende ökonomische Analysen zu der Anwendung dieser CBC-Strategien beschränken sich auf statische Darstellungen, häufig ohne die Berücksichtigung von Risiken. Dies trägt der dynamischen Struktur von Prävention und Schaderregersituation sowie der Unsicherheit bzgl. der effektiven Wirkung der CBC-Massnahmen nicht Rechnung. Im Gegenteil, die Wirkung von CBC-Massnahmen wird erst stark zeitverzögert beobachtet und ist hochgradig unsicher. Details zu diesem Kapitel sind in einem separaten Aufsatz detailliert dargestellt und werden hier in stark komprimierter Form zusammengefasst.¹²⁵

Mittels eines 2-Periodenmodells (siehe auch Menegatti 2007, 2009; Courbage und Rey, 2012) werden die zeitliche Abfolge von Prävention und Schaderregendruck, verschiedene Risikoquellen und auch Risikopräferenzen der Landwirtin bzw. des Landwirtes in die Analyse des Entscheidungsverhaltens integriert. Eine Kernannahme ist, dass CBC-Massnahmen sowohl direkte Kosten (z.B. zum Anlegen der Blühstreifen) als auch Opportunitätskosten (z.B. entgangener Ertrag auf genutzter Fläche) implizieren. Im Gegenzug reduzieren diese Massnahmen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schaderregern und somit die Wahrscheinlichkeit, dass PSM eingesetzt werden müssen. Dabei sei angenommen, dass biologische Prävention und PSM-Einsatz Substitute seien. Durch das Auftreten von Schaderregern entstehen üblicherweise sowohl quantitative als auch qualitative Einbussen (siehe Vickerman und Wratten, 1979, für Beispiele).

Wir nehmen an, dass die Landwirtin oder der Landwirt eine Nutzenfunktion u hat, wobei Risikoaversion der Landwirtin oder des Landwirtes impliziert, dass $u' > 0$ und $u'' < 0$ gilt. In Periode 1 (z.B. mit Anlegen der Kultur) entscheidet sich die Landwirtin oder der Landwirt für den Umfang der CBC-Massnahmen (z.B. in welchem Umfang Blühstreifen angelegt werden). Die direkten Kosten dafür werden in einer Funktion $f(\text{CBC}, C_E, DP_{\text{CBC}})$ zusammengefasst und steigen im Umfang der CBC-Massnahmen, in den Etablierungskosten C_E und sinken mit den Direktzahlungen zur Anlage dieser präventiven biologischen Massnahmen (DP_{CBC}). Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines kritischen Schaderregendruckes beträgt Pr_O . Mit steigendem Einsatz von CBC sinkt in Periode 2 diese Wahrscheinlichkeit, $\partial Pr_O / \partial \text{CBC} < 0$. Das heisst, die Wahrscheinlichkeit von reduzierten Erlösen, aber auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein PSM-Einsatz notwendig ist, wird reduziert. Die in diesem Fall resultierenden Kosten und Verluste werden als C_{PC} zusammengefasst. Die erwarteten Kosten des PSM-Einsatzes sinken ebenfalls mit zunehmendem Einsatz von CBC: $\partial C_{PC} / \partial \text{CBC} < 0$. Das heisst, der Einsatz von CBC reduziert die erwarteten Ausgaben für PSM dadurch, dass eine geringere Wahrscheinlichkeit vorliegt, das Schadschwellen überschritten werden und PSM angewendet werden müssen, da geringere Populationen von Schaderregern generell tiefere PSM-Einsatzmengen implizieren. Die Erlöse aus der Produktion sind mit R beschrieben. Diese Erlöse sinken mit steigender Flächennutzung durch CBC, d.h. $\partial R / \partial \text{CBC} < 0$, was die Opportunitätskosten der Flächennutzung für CBC widerspiegelt. Im nächsten Schritt wird aus diesen Informationen zu Erlösen und Kosten

¹²⁵ Insbesondere für formale Herleitungen und Beweise der Aussagen sei auf Finger (2016) verwiesen.

in beiden Perioden folgende intertemporale Nutzenfunktion in Abhängigkeit des CBC-Einsatzes erstellt:

$$V(\text{CBC}) = u(\pi_1 - f(\text{CBC}, C_E, DP_{\text{CBC}})) + Pr_O u(R - C_{PC}(\text{CBC})) + (1 - Pr_O)u(R)$$

Wobei π_1 die finanziellen Mittel zu Beginn von Periode 1 darstellt. In dieser Ausgangssituation werden sowohl die Erlöse R als auch die Kosten des PSM-Einsatzes bei Überschreitung der Schaderregerschwellen C_{PC} als deterministisch angesehen. Basierend auf dieser intertemporalen Nutzenfunktion wird der optimale Einsatz von CBC abgeleitet. Daraufhin wird analysiert inwiefern sich der CBC-Einsatz mit sich ändernden Rahmenbedingungen oder Präferenzen verändert. Die aus dieser Analyse abgeleiteten Kernaussagen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Eine steigende Unsicherheit bezüglich der Höhe der Kosten zur Kontrolle der Schaderreger führt zu mehr biologischer Prävention, d.h. zu weniger PSM-Einsatz. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Entscheidungsträgerin oder der Entscheidungsträger risikoavers ist und insbesondere tiefe Einkommenssituationen vermeiden möchte (d.h. prudent ist: $u'' < 0$). Je grösser die Risiken des Schädlingsdrucks durch die Landwirtin oder den Landwirt wahrgenommen werden, desto mehr CBC-Massnahmen werden eingesetzt. Dies bedeutet jedoch auch, dass sichere Prognosen über Schädlingsdruck, *ceteris paribus*, zu weniger biologischer Prävention, und damit mehr PSM-Einsatz führen können.
- Eine höhere Unsicherheit bezüglich der Erlöse führt zu mehr biologischer Prävention, wenn die Entscheidungsträgerin oder der Entscheidungsträger risikoavers und prudent sind (d.h. insbesondere tiefe Einkommenssituationen vermeiden möchten). Um zu vermeiden, dass tiefe Erlössituationen mit hohen Ausgaben für PSM zusammenfallen, ist es für die Betriebe optimal, mehr präventive Massnahmen durchzuführen. Dies bedeutet auch, dass eine Reduktion der Erlösvariabilität, z.B. durch die Einführung einer Ertrags- oder Erlösversicherung, zu weniger präventiven Massnahmen und daher mehr PSM-Einsatz führt.
- Eine Subventionierung von CBC-Massnahmen führt zu einem stärkeren Einsatz dieser.
- Eine Besteuerung von PSM führt i.d.R. zu einer verstärkten Nutzung biologischer Prävention.
- Die Einführung eines Labels auf Produkte, bei denen bestimmte PSM nicht eingesetzt werden oder ein reduzierter Einsatz angezeigt wird, führt i.d.R. zu mehr biologischer Prävention und weniger PSM-Einsatz, wenn dieses Label in einem höheren Erlös aus der Ackerkultur resultiert. Beispiele für ein solches Label sind IP Suisse (CH) oder Agriculture raisonnée (FR) (z.B. Bougherara and Combris, 2009).

6.6 Diskussion und Schlussfolgerungen aus Kapitel 6

Versicherungslösungen führen nicht generell zu einem geringeren PSM-Einsatz. Im Gegenteil, eine umfassende Übersicht von empirischen Arbeiten in diesem Feld zeigt, dass die Nutzung von Versicherungen auf einzelbetrieblicher Ebene oft zu einem höheren PSM-Einsatz führt. Der Zusammenhang zwischen dem spezifischen PSM-Einsatz in einer Kultur und der Nutzung einer Versicherung kann entweder über die, je nach Art der Versicherung unterschiedliche, substituierende Wirkung entstehen oder durch die Risikopräferenzen der Landwirtin oder des Landwirtes resultieren. Unsere Analyse zeigt einen Zusammenhang zwischen dem Fungizideinsatz und der Nutzung der Hagelversicherung an, was die Relevanz des letzten Punktes aufzeigt. Die Quantifizierung des PSM-Einsatzes ist von zentraler Bedeutung für die Schlussfolgerungen, wie Versicherungsnutzung und PSM-Einsatz miteinander korreliert sind. Eine entscheidende Rolle spielt dabei unter anderem die Wirkung einer Versicherung auf die Flächennutzung. Versicherungslösungen sind oft für intensive Kulturen mit hohen Umsätzen geeignet. Die Möglichkeit sich zu versichern führt daher zu einem stärkeren Anbau von intensiveren Kulturen, in denen wiederum auch der PSM-Einsatz höher ist. Diese Effekte wurden auch für die schweizerische Landwirtschaft beispielhaft illustriert. Insbesondere vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse ist von einer Einführung einer Versicherungslösung anstelle einer strikteren Ausgestaltung der Rahmenbedingungen des PSM-Einsatzes abzusehen. Jedoch kann die Entwicklung von solchen Versicherungslösungen zielführend sein, die gezielt gegen Schädlingsdruck absichern oder spezifisch nur für Betriebe angeboten werden, die zu PSM-reduzierten Anbauverfahren wechseln und Flächenwirkungen minimieren.

Basierend auf dem in Kapitel 4 präsentierten Zusammenhang von (Einkommens-)Risiko und PSM-Einsatz wurde in Abschnitt 6.3 illustriert, dass in diesem Zusammenhang auch allgemeine (entkoppelte) Direktzahlungen relevant sind. Sie können mittels der diskutierten *Wealth-* oder *Insurance*-Effekte Einfluss auf das Risiko der Landwirtin oder des Landwirtes und damit auf seinen PSM-Einsatz haben; wobei höhere deterministische Direktzahlungen, *ceteris paribus*, sowohl zu einem niedrigerem (falls PSM risikoreduzierend wirken) als auch einem höheren PSM-Einsatz (falls PSM risikosteigernd wirken) führen können. Da Direktzahlungen einen wichtigen Teil des Einkommens von Landwirtinnen und Landwirten darstellen, könnte insbesondere der *Insurance*-Effekt einen deutlichen Einfluss auf den Schweizer PSM-Einsatz haben.

Aufgrund der hohen Relevanz des Extenso Programmes für den Schweizer PSM-Einsatz, welches zudem ein wichtiges Beispiel für ökologische Direktzahlungen in der Schweiz ist, wird in Abschnitt 6.4 der Einfluss einer möglichen Lenkungsabgabe auf die Teilnahme am Extenso Programm untersucht. Auch hier spielt die Berücksichtigung von Einkommensrisiken eine wichtige Rolle, da der Anbau von Extenso Kulturen (hier insbes. Winterweizen) i.d.R. zu höheren, aber auch variableren finanziellen Erträgen führt. Anhand eines theoretischen Modells wird gezeigt, dass eine Lenkungsabgabe ohne Berücksichtigung von Risikoaspekten zu einer Begünstigung der Teilnahme am Extenso Programm führt. Werden jedoch Einkommensrisiken und ihre Wechselwirkung mit dem PSM-Einsatz berücksichtigt, zeigt sich dass dieser Effekt abhängig von der Korrelation von Wetterereignissen und Schaderregerdruck ist, also davon, ob

PSM risikoe erhöhend oder –senkend wirken. Zudem wird die Wirkung einer möglichen Versicherung als Begleitmassnahme einer Lenkungsabgabe untersucht. Es zeigt sich, dass die Einführung einer solchen Versicherung die Teilnahme am Extenso Programm begünstigen würde. Das Extenso Programm (und eine mögliche Erweiterung) stellt sich somit als sinnvolle Begleitmassnahme einer möglichen Lenkungsabgabe dar. So könnten Teile eines möglichen Steuerertrages in eine weitergehende Förderung oder einen Ausbau des Extenso Programmes gehen. Dabei sollten jedoch auch produktionsrelevante Effekte, d.h. sogenannte *leakage* Effekte, berücksichtigt werden. Die Reduktion der einheimischen Produktion sollte also möglichst vermieden werden.

Eine Lenkungsabgabe setzt nicht nur Anreize zur Substitution von PSM hin zu weniger toxischen Mitteln (vgl. Abschnitt 5.3), sondern auch zu einer Substitution hin zu alternativen Pflanzenschutzstrategien (etwa *conservational biological control measures*). Die in Abschnitt 6.5 vorgenommene Analyse des Entscheidungsverhaltens beim Einsatz von CBC unterstreicht dabei die grosse Relevanz von Aspekten der Unsicherheit für den Einsatz von biologischen Präventionsstrategien. Insbesondere konnte ein weiterer Link zwischen Versicherungen und dem PSM-Einsatz aufgezeigt werden: Eine Ertrags- oder Erlösversicherung impliziert geringere Anreize zur Prävention durch CBC-Massnahmen, was, *ceteris paribus*, zu einem grösserem PSM-Einsatz führt. Um eine PSM-reduzierende Wirkung einer Versicherungslösung zu bewirken, müsste diese mit Auflagen (z.B. zur Nutzung von CBC-Strategien) versehen werden. Des Weiteren zeigt die Analyse die grosse Relevanz von kombinierten Strategien zur PSM-Reduktion, die Hebelwirkungen kreieren können: Eine Abgabe auf PSM fördert den Einsatz von biologischen Präventionsstrategien. Die mit solch einer Abgabe generierten Einnahmen könnten zur weiteren Förderung dieser Strategien eingesetzt werden und so den PSM-Einsatz weiter senken. Zudem hilft ein Rückfluss von Steuereinnahmen in den Sektor Einkommensverluste zu reduzieren.

7 Implementierung von Lenkungsabgaben und Begleitmassnahmen

Transaktionskosten bestehender PSM-Abgabensysteme sind gering. Je einfacher ein Abgabensystem ausgestaltet ist, desto geringer fallen in der Regel die damit verbundenen Transaktionskosten aus. Wird die Abgabe auf Ebene Industrie oder Handel erhoben, werden die Transaktionskosten geringer sein als in einem System, bei dem die Abgabe auf Ebene landwirtschaftlicher Betrieb erhoben wird. Eine optimale, d.h. den externen Effekten des PSM-Einsatzes angepasste Abgabe, lässt sich nur schwer erheben, da die Bewertung und Addition von positiven und negativen Effekte schwer realisierbar ist. Es könnte jedoch eine solche Abgabe möglichst gut angenähert und regelmässig angepasst werden. Die Einnahmen aus einer Abgabe sollten in den landwirtschaftlichen Sektor reinvestiert werden. Dabei sollten Hebelwirkungen kreierte werden, um den PSM-Einsatz weiter zu verringern. Diverse Optionen für die die Nutzung von Einnahmen wurden im Aktionsplan aufgezeigt. In diesem Bericht werden beispielhaft Förderung besserer Ausbringungstechnologie, ökologische Direktzahlungen mit Fokus auf Stärkung des nicht-chemischen Pflanzenschutzes, die Unterstützung von Bildungs- und Forschungsprogrammen und die Unterstützung von Beratungsangeboten zum PSM-Einsatz diskutiert. Die Förderung von Strategien, die keine produktionsreduzierende Wirkung haben ist dabei zu bevorzugen, um Leakage Effekte zu vermeiden

Das Ziel dieses Kapitels ist zunächst, die institutionellen Rahmenbedingungen aufzuzeigen, unter denen eine Lenkungsabgabe auf PSM in der Schweiz eingeführt werden würde¹²⁶, da bei der Ausgestaltung einer möglichen Lenkungsabgabe auf PSM und der Verwendung daraus resultierender Mittel unterschiedliche institutionelle Zuständigkeiten auftreten. Im Folgenden soll daher ein kurzer Überblick über gesetzgeberische Kompetenzen für in den vorherigen Kapiteln diskutierte Massnahmen wie Einführung einer Lenkungsabgabe, Änderungen des Mehrwertsteuergesetzes oder Erweiterung des Extensio Programmes gegeben werden. Der Bund geniesst laut Bundesverfassung (BV) das alleinige Steuererhebungsrecht u.a. bei der MWST und bei besonderen Verbrauchssteuern (Tabaksteuer, Mineralölsteuer etc., Art. 131 BV). Auch eine Lenkungsabgabe auf PSM könnte unter diesen besonderen Verbrauchssteuern des Bundes fallen. Um eine solche Abgabe einzuführen, müsste also durch ein obligatorisches Referendum der entsprechende Artikel 131 in der Bundesverfassung geändert werden (Art. 140 Abs. 1a BV) oder ein neuer Artikel zugefügt werden, wie z.B. bei der Schwerverkehrsabgabe (Art. 85 BV). Steuereinnahmen aus einer Abgabe würden zunächst dem Bund zukommen. Der Rückfluss der Einnahmen aus einer PSM-Abgabe in die Landwirtschaft könnte durch einen speziellen Absatz geregelt werden: So muss beispielsweise bei der Schwerverkehrsabgabe der Reinertrag der Abgabe zur Deckung von Kosten, die im Zusammenhang mit dem Strassenverkehr stehen, verwendet werden (Art. 85 Abs. 2 BV). Auch könnten die Kantone an den Einnahmen beteiligt

¹²⁶ In den Unterkapiteln 3.1, 3.2 und 5.3 wurden bereits Möglichkeiten zur Ausgestaltung einer Lenkungsabgabe dargelegt.

werden, wie es ebenfalls bei der Schwerverkehrsabgabe die Praxis ist (Art. 85 Abs. 3 BV). Für die Änderung des Mehrwertsteuergesetzes hin zum Normalsatz für (einige) PSM könnte im Vergleich zu einer speziellen Lenkungsabgabe ein Erlass der Bundesversammlung genügen, falls kein fakultatives Referendum beantragt werden würde (Art. 141 BV). Für eine etwaige Ausweitung des Extenso Programms, um die Abgabeneinnahmen in den Agrarsektor zurückzuführen, wäre ähnlich wie bei der Aufhebung der Steuersubvention auf PSM (Angleichung MWST) allein ein Erlass der Bundesversammlung nötig. Gegebenenfalls wäre eine Ausweitung des Extenso Programms auch mit einer Verordnung möglich, wozu ein Entscheid des Bundesrates genügen würde.

Transaktionskosten, d.h. der entstehende administrative Aufwand für Gesetzgeber und andere betroffene Akteure, spielen eine zentrale Rolle bei der Evaluierung von möglichen Politikmassnahmen zur Reduktion des PSM-Einsatzes. Für eine Abschätzung der Transaktionskosten einer möglichen Lenkungsabgabe im folgenden Abschnitt kann auf die Erfahrungen mit bestehenden politischen Massnahmen in anderen Ländern zurückgegriffen werden. Danach erfolgt eine kurze Diskussion der optimalen Abgabenhöhe, wobei jedoch keine konkreten Abgabensätze gegeben werden. Abschliessend werden, basierend auf den Erkenntnissen der vorherigen Kapitel, mögliche Verwendungen von Steuereinnahmen aufgezeigt (Abschnitt 7.3).

7.1 Transaktionskosten einer möglichen Lenkungsabgabe

Transaktionskosten bezeichnen jene Kosten, die im Zusammenhang mit der Implementierung und der Durchführung einer Politikmassnahme sowohl beim Steuererhebenden als auch beim Steuerzahlenden entstehen (z.B. Kosten der Steuerverrechnung, Kalkulation der Steuersätze, Forschung über die Effekte einer Steuer etc.). Hierbei lassen sich drei verschiedene Arten der Transaktionskosten unterscheiden: SetUp-Kosten, Implementierungskosten und Teilnehmungskosten (Abbildung 30). Dabei dürften für den Bund die SetUp-Kosten, welche die Entwicklung einer Abgabe beinhalten, von besonderer Relevanz sein. Je komplexer, komplizierter und differenzierter eine Massnahme ist, desto höhere Kosten entstehen in der Regel durch den Organisationsaufwand. Im Folgenden sollen die Transaktionskosten bei Einführung einer möglichen Lenkungsabgabe auf PSM in der Schweiz, insbesondere durch Erfahrungen in anderen Ländern, angenähert werden.

In Bezug auf Erfahrungen mit den in Abschnitt 3.2 präsentierten Abgabensysteme in Schweden, Frankreich, Norwegen und Dänemark zeigt sich, dass die Transaktionskosten bei Einführung einer Lenkungsabgabe als niedrig einzuschätzen sind. Allerdings liegt dazu nur eine geringe empirische Evidenz vor, welche im Folgenden zusammengefasst wird. Für das schwedische System geben ECOTEC et al. (2001, S. 100) an, dass die Abgabe einen Administrationsaufwand der Behörden in Höhe von 2 – 4 Personentagen/Jahr benötigt. Im norwegischen System beziffern sich die Transaktionskosten auf 1,11% des Steueraufkommens im Jahr 2000 (Steuereinnahmen = 52 Mio. NOK; Transaktionskosten = 585.000 NOK; Vatn et al., 2002, S. 50, 105). Der grösste Teil davon fiel als Teilnehmungskosten bei den Importeuren von PSM an, die die PSM-Abgabe an den Staat zahlen müssen (ca. 90%). Diese Teilnehmungskosten umfassen

hauptsächlich die Aufbereitung von Informationen für die Behörden, damit die Abgabe berechnet werden kann, wobei einige dieser Informationen im Rahmen der Sicherheitshinweise ohnehin überstellt werden müssten (ebd., S. 49). Dabei muss ausserdem berücksichtigt werden, dass die Teilnehmungskosten auf (zum damaligen Zeitpunkt) 25 Importeure verteilt sind (ebd., S. 48). Bei den staatlichen Institutionen (namentlich das Landwirtschaftsministerium und der Lebensmittelsicherheitsbehörde) fielen lediglich ca. 10% der Kosten an. Dies waren hauptsächlich Implementierungskosten. Für die staatlichen Institutionen beziffern sich die Transaktionskosten in Personenstunden dabei auf etwa 230 h/Jahr (ebd., S. 105). Für das alte dänische Steuersystem (siehe Abschnitt 3.2.4) werden für 1995 einmalige Kosten für Kennzeichnung, Informationsbeschaffung und Elektronik auf 2.1 Mio. DKK geschätzt (Pedersen et al., 2015, S. 82; etwa 440.000 CHF zum damaligen Wechselkurs von 0.2107; Oanda, 2015). Für das aktuelle dänische System liegen keine Angaben zu Transaktionskosten vor. Diese Beispiele zeigen, dass eher geringe Implementierungskosten einer möglichen Abgabe beim Bund anfallen würden. Mögliche Transaktionskosten für Abgabenzahler würden dagegen höher ausfallen. So beziffert laut Pedersen et al. (2015, S. 82) einer der grössten Chemiekonzerne in 2006¹²⁷ seine Kosten für die Kennzeichnung der PSM in Dänemark auf etwa 1,5 – 2 Mio. DKK (315 – 420.000 CHF beim Kurs von 0.2109 für 2006; Oanda, 2015).

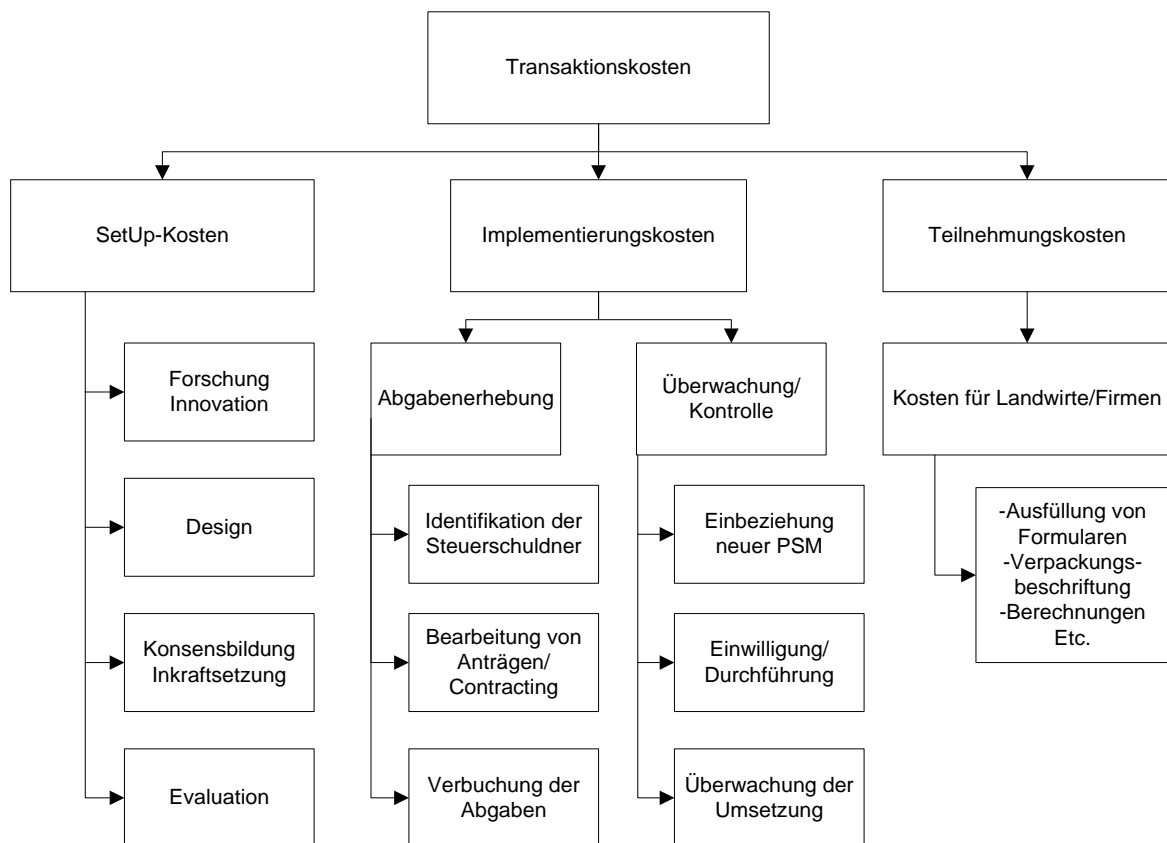


Abbildung 30: Kategorisierung von Transaktionskosten

¹²⁷ Ein weiterer Nachteil des (alten) *ad valorem* Systems in Dänemark war, dass bei Preissteigerungen von PSM die Produkte neu gekennzeichnet werden mussten, da sie – z.B. aufgrund des Imports – schon einige Monate vor dem Verkauf an den Endverbraucher beschriftet wurden (Pedersen et al., 2015, S. 82). Solche unnötigen Transaktionskosten sollten wenn möglich vermieden werden, um die Akzeptanz bei den teilnehmenden Firmen nicht weiter zu reduzieren.

Quellen: Angepasste Darstellung nach Mann (2000) und OECD (2007); zitiert nach Ollikainen et al. (2008, S. 197).

Weiterhin, würde die Aufhebung der Steuersubvention für PSM (d.h. die Angleichung des MwSt-Satzes), wie in Kapitel 3 vorgeschlagen, praktisch ohne Transaktionskosten für den Bund realisierbar sein. Die durch eine PSM-Abgabe entstehenden Transaktionskosten sind zudem im Vergleich zu den Kosten alternativer Massnahmen, wie beispielsweise einer umfassenderen Regulierung der spezifischen Anwendung, als gering einzuschätzen. Die Durchführung einer solchen spezifischen Regulierung würde mit hohen Transaktionskosten für Dokumentation und Kontrolle verbunden sein (Vatn et al., 2002; OECD, 2007). Die daraus resultierenden Steuereinnahmen könnten also zum grössten Teil in den Sektor zurückfliessen, beispielsweise in Form von in diesem Kapitel diskutierten Begleitmassnahmen. Bei jährlichen Ausgaben von 130 Mio. CHF¹²⁸ für „Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel“ in der Schweiz, würde eine mögliche Mehrwertsteuererhöhung von 2,5% auf 8% somit zu Mehreinnahmen von knapp 7 Mio. CHF führen, unter der Annahme einer stabilen Nachfrage nach PSM.

7.2 Optimale Abgabenhöhe einer möglichen Lenkungsabgabe

Eine, optimale Lenkungsabgabe auf PSM internalisiert alle externen Effekte und müsste den Grenzvermeidungskosten der (negativen und positiven) externen Effekte von PSM entsprechen.¹²⁹ Eine solche optimale „first-best“ Steuer ist jedoch nur theoretisch realisierbar. Dies liegt u.a. daran, dass die negativen Implikationen des PSM-Einsatzes stark heterogen, zum Beispiel in Bezug auf Einsatzort und Zeitpunkt sind. So ist zum Beispiel die potentielle Auswirkung auf die menschliche Gesundheit, respektive die Umwelt, dann grösser, wenn die Ausbringung in dicht besiedelten Gebieten oder in der Nähe von Gewässern stattfindet. Eine dies berücksichtigende Lenkungsabgabe lässt sich aus Kosten- und Informationsgründen jedoch momentan kaum realisieren.¹³⁰

Zusätzlich zu den oben genannten Problemen bei der Erfassung räumlicher und temporaler Heterogenität der PSM-Anwendungen wird eine hohe Anzahl verschiedener Wirkstoffe und Produkte, mit unterschiedlichen negativen und positiven Umwelteffekten, wiederum in Abhängigkeit von Ort und Zeitpunkt der Anwendung eingesetzt.¹³¹ Auch wenn eine exakte Quantifizierung von externen Effekten nicht vollumfänglich möglich ist, ist es dennoch sinnvoll, Abgaben zu erheben, die sich in ihrer Höhe möglichst nah an die durch den PSM-Einsatz verursachten Schäden zu orientieren, und so Anreize zu setzen für die menschliche Gesundheit oder für die

¹²⁸ Derzeit werden in der Schweiz jährlich etwa 125 – 135 Mio. CHF für Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel ausgegeben (die Ausgaben für 2015 werden auf 130 Mio. CHF geschätzt, 2012 waren es 124.5 Mio. CHF, im Jahr 2009 waren es 129.6 Mio. CHF; BLW, 2015b).

¹²⁹ Gemeint ist hier eine Pareto-optimale Pigou-Steuer (Baumol und Oates, 1988, S. 21ff.), welche über die Internalisierung aller relevanten externen Effekte den volkswirtschaftlichen Nutzen maximiert.

¹³⁰ Mit zunehmender Verfügbarkeit geografischer Informationen und Erfassungs- und Analysetechnologien, könnten räumlich explizit ausgestaltete Lenkungsinstrumente in der Zukunft realisierbar sein.

¹³¹ Zusätzlich weist Oskam (1997) darauf hin, dass im Prinzip die zukünftigen, also nach der Abgabeneinführung entstehenden, Grenzvermeidungskosten verwendet werden müssten. Die Grenzvermeidungskosten sind deshalb grösstenteils unbekannt, sodass keine Pareto-optimale Pigou-Steuer etabliert werden kann (Oskam, 1997, S. 376; Oude Lansink und Peerlings, 1997, S. 416).

Umwelt schädliche PSM zu substituieren. Eine solche „second-best“ Abgabe trägt ausserdem dem Verursacherprinzip Rechnung und generiert Einnahmen, welche zur Förderung von Begleitmassnahmen eingesetzt werden könnten.

Basierend auf den im vorliegenden Bericht gewonnen Erkenntnissen, sollten stark toxische PSM, die ein breites Wirkspektrum oder umweltfreundlichere Substitute haben, mit höheren Abgabe belastet werden. Da jedoch einige dieser PSM bereits eine Sonderbewilligung benötigen (Anhang 1 Ziffer 6.2.4, DZV; siehe auch Abschnitt 4.1.2), könnten hier Doppelbelastungen entstehen, sofern im Gegenzug die Sonderbewilligungen nicht abgeschafft werden. Spezial-PSM, die gezielt gegen wenige, problematische Schaderreger wirken, könnten deshalb niedriger belastet werden. Für Pflanzengattungen/-arten, für die es eine breite Produktpalette an zugelassenen PSM gibt, die auch eine Vielzahl an Schaderregern bekämpfen können, wäre es deshalb unproblematischer, eine differenzierte Abgabe einzuführen, als für jene mit nur wenigen Mitteln. Bei Letzteren könnten ansonsten mögliche Engpässe beim Pflanzenschutz auftreten und der Anbau dieser Kulturen würde eingeschränkt werden, sollten das höhere Risiko bzw. die auftretenden Verluste nicht anderweitig abgesichert werden. Auswirkungen einer Lenkungsabgabe auf die landwirtschaftliche Produktion sollten aufgrund möglicher *leakage* Effekte vermieden werden.

Eine Möglichkeit, um im Falle einer Einführung der Abgabe weiterhin eine breite Palette an PSM-Wirkstoffen zu erhalten (Lückenindikation), wäre eine Vereinfachung der Zulassung von PSM-(Wirkstoffen). Dies wird auch in der durch das BAFU initiierten Analyse von Ernst Basler + Partner (2015) vorgeschlagen. Erweiternd könnten hier auch Flexibilisierungselemente (z.B. Notzulassungen) eingebaut werden, um dem Ziel ‚Schutz der Kulturen‘ weiter Rechnung tragen zu können (siehe auch BLW, 2015a).

7.3 Verwendung der Einnahmen einer möglichen Lenkungsabgabe

In verschiedenen Teilen dieses Berichtes finden sich Erkenntnisse über die Verwendung möglicher Einnahmen aus einer Lenkungsabgabe und deren Wirkung auf den PSM-Einsatz. Im Folgenden werden diese Ergebnisse zusammengefasst und eine Synthese von Erkenntnissen für die Verwendung von Steuereinnahmen aus einer möglichen Lenkungsabgabe präsentiert. Basierend auf den in Kapitel 3 präsentierten Analysen, ist der Rückfluss der Mittel in den Sektor oder die Verwendung zur Kompensation der durch den PSM-Einsatz entstehender externer Kosten (siehe Beiträge zur Trinkwasseraufbereitung in Frankreich, Abschnitt 3.2.5) zu präferieren. Denkbar wären dabei eine zielgerichtete Aufstockung der Direktzahlungen, eine Bonuszahlung für bestimmte Systeme oder Gebiete, die Unterstützung von Bildungs- und Forschungsprogrammen oder die Unterstützung von Beratungsangeboten zum PSM-Einsatz. Eine

Erstattung der Steuern wie sie in Dänemark durch reduzierte Vermögenssteuern auf landwirtschaftliche Grundstücke stattfand (Abschnitt 3.2.4), ist in der Schweiz allerdings schwieriger anwendbar.¹³²

Die Reinvestition der eingenommenen finanziellen Mittel in Agrarumweltmassnahmen wäre insofern sinnvoll, dass dadurch eine Hebelwirkung auf den PSM-Einsatz generiert werden können. Ein weiteres Ziel der so geförderten Massnahmen sollte es zudem sein, eine möglichst geringe Ertragswirkung zu haben. Eine Reduktion der Erträge und die damit einhergehende Verschiebung des PSM-Einsatzes in andere Länder (*Leakage*) sind zu vermeiden.

Zu den bereits bestehenden Massnahmen (Abschnitt 3.2.1) werden im Aktionsplan eine Vielzahl von weiteren Instrumenten präsentiert, die als mögliche Kanäle zur Verwendung der Mittel genutzt werden können. Hier seien nur beispielhaft einige Ansätze diskutiert, die begleitend die erwünschte Hebelwirkung erzielen könnten.

Im Kapitel 6 wurden verschiedene Möglichkeiten zur Nutzung von Begleitmassnahmen illustriert. Es zeigt sich, dass die Ausweitung des Extenso Programmes den PSM-Einsatz reduzieren kann. Aufgrund der Tatsache, dass in den bestehenden Anwendungsfeldern, insbesondere im Getreidebau, nur durch deutlich höhere Extenso Prämien (und insgesamt sehr hohen Kosten) eine signifikante Ausweitung der Extenso Flächen möglich ist, ist die Ausweitung auf andere Kulturen wie im Aktionsplan vorgeschlagen eine effizientere Option. Jedoch führt die Ausweitung des Extenso Programmes potentiell zu Ertragseinbussen (siehe z.B. Finger, 2014, für Getreide). Falls ein Ertragsziel in der Schweizer Agrarpolitik besteht, müssten diese Schritte so flankiert werden (z.B. durch die bessere Bereitstellung nicht-chemischer Pflanzenschutzstrategien), dass Ertragseinbussen minimal sind. Zudem müsste untersucht werden, ob eine solche Erweiterung des Extenso Programmes nicht auch stellenweise zu höheren Einträgen von PSM in Grund- oder Oberflächengewässer führen könnte (Zgraggen, 2005).

Die Förderung nicht-chemischer Pflanzenschutzstrategien (siehe Abschnitt 6.3) kann einen Beitrag dazu leisten, den PSM-Einsatz möglichst ohne Ertragseinbussen zu realisieren. Ein weiterer wichtiger Ansatz, die Risiken des PSM-Einsatzes zu reduzieren ohne eine Ertragswirkung zu implizieren, ist die Förderung emissionsarmer Spritzgeräte sowie anderer technischer Massnahmen zur Emissionsreduktion (z.B. über Investitionshilfen - zur umweltgerechten Ausrichtung der Produktion, z.B. in der PSM-Herstellung). In diesem Kontext zeigen Aubert und Enjolras (2014, S. 345) mittels einer Analyse französischer Weinproduzenten, dass das Alter der eingesetzten Spritztechnik einen signifikanten Effekt auf die Überdosierung des Einsatzes von PSM hat. Eine Fokussierung auf die Verbesserung der eingesetzten Technik ist daher eine effektive Strategie zur Reduktion der negativen Implikationen des PSM-Einsatzes (z.B. durch Überdosierung), ohne eine Extensivierung der Produktion zu bedingen.

Eine mögliche Rückvergütung der Abgabeneinnahmen in Form einer Versicherungssubventionierung ist ebenfalls nicht notwendigerweise extensivierend. Die Möglichkeit der Rückvergü-

¹³² Zum Beispiel gibt es nicht in allen Kantonen eine Liegenschaftssteuer (ESTV, 2014, S. 10). Kantone ohne Liegenschaftssteuer müssten also andere Steuererleichterungen durchführen, z.B. bei der Vermögenssteuer. Ausserdem variiert die Erhebung der Liegenschaftssteuer in den jeweiligen Kantonen (ebd.).

tung in diesen Kanal ist in der Literatur wenig diskutiert worden, jedoch aufgrund der Subventionierung von Versicherungen in vielen Ländern (jedoch nicht der Schweiz, siehe Finger und Lehmann, 2012b) im Rahmen der Green Box der WTO eine einfach realisierbare, theoretische Option. Abschnitt 6.2 hat jedoch gezeigt, dass eine generelle Subventionierung von Versicherungen zwar aus Perspektive Risikomanagement sehr sinnvoll sein kann, jedoch nicht notwendigerweise den PSM-Einsatz reduziert. Wenn dennoch an einer Versicherungslösung festgehalten werden soll, dann sollten zielgerichtete Versicherungsmassnahmen unterstützt werden, die eine PSM-reduzierte Produktion fördern.

Zudem ist der Ausbau unabhängiger Beratung eine Möglichkeit, eine Hebelwirkung auf die durch den PSM-Einsatz induzierten Risiken für Mensch und Umwelt zu kreieren, ohne per se Ertragseinbussen zu implizieren. Wiebers et al. (2002) zeigen, dass abhängige Beratung (inklusive dem Verkauf von PSM) bei landwirtschaftlichen Betrieben zu einem höheren PSM-Einsatz führt und begründen dies unter anderem mit dem Gewinnmaximierungskalkül des Beraters. Eine umfassendere Beratung als Begleitmassnahme für eine PSM-Lenkungsabgabe beugt zudem vor, dass eine Abgabe zu unsachgemässen Anwendungen von PSM (z.B. zu tiefen Dosierungen) führt, die Resistenzprobleme fördern.

Die Unterstützung der Entwicklung oder des Ausbaus spezifischer Label, die einen reduzierten oder eingeschränkten PSM-Einsatz anzeigen, wurde in den Abschnitten 6.4 und 6.5 diskutiert. Dies kann sowohl Anreize zur Reduktion des PSM-Einsatzes setzen als auch präventive Schritte (Verstärkung biologischer Präventionsstrategien), die den PSM-Einsatz reduzieren induzieren.¹³³ Durch die PSM-Reduktion oder dessen Verzicht Mehrwerte am Markt und Alleinstellungsmerkmale zu kreieren ist eine wünschens- und erstrebenswerte Situation, sicher jedoch nicht für alle Produzenten und Kulturen im gleichen Umfang realisierbar.

Der Vorteil einer Rückvergütung in umweltpolitische Massnahmen (z.B. Beratung zum PSM-Einsatz, Extenso Programm, Biokontrolle, Förderung von Blühstreifen, Investitionsförderung, etc.) ist, dass mit Blick auf die tiefen Preiselastizitäten der Nachfrage nach PSM eine Hebelwirkung erzeugt werden könnte, um den PSM-Einsatz weiter zu verringern. Die geringe Einsatzreduktion durch die Abgabe liesse sich so kompensieren.

In Frankreich werden Einnahmen aus der dort existenten Lenkungsabgabe auf PSM für die Behebung von aus dem PSM-Einsatz resultierenden Schäden eingesetzt (hauptsächlich zur Wasseraufbereitung). Die erwartete Lenkungswirkung einer Abgabe wäre in einem solchen Setting jedoch geringer.

7.4 Diskussion und Schlussfolgerungen aus Kapitel 7

Die Transaktionskosten bestehender PSM-Abgabensysteme in Europa sind gering und liegen grösstenteils bei den Abgabenzahlern. Zudem lässt sich feststellen, dass Transaktionskosten geringer sind je einfacher und undifferenzierter das jeweilige Abgabensystem ist. Obschon die

¹³³ Siehe dazu Boccaletti und Nardella (2000), Ibery et al. (2005) oder Bougherara and Combris (2009).

Transaktionskosten bei solchen Abgabensystemen geringer ausfallen, lassen sich durch diese Systeme am wenigsten die gewünschten Risikoreduktionen des PSM-Einsatzes generieren.

Die optimale Höhe einer Lenkungsabgabe auf PSM orientiert sich an den positiven und negativen externen Effekten des PSM-Einsatzes. Da diese Effekte in Bezug auf die eingesetzten Mittel sowie deren Wirkung im räumlichen und zeitlichen Kontext jedoch stark heterogen sind, lässt sich eine theoretisch optimale („first-best“) Abgabe nur annähern. Eine solche („second-best“) Abgabe sollte sich in der Höhe möglichst nah an den Risiken des PSM-Einsatzes für menschliche Gesundheit und Umwelt orientieren und stetig evaluiert und angepasst werden. Bestehende Abgabensysteme illustrieren die Notwendigkeit dieser Dynamik und Flexibilität der Ausgestaltung einer Lenkungsabgabe. Eine solche Abgabe würde zudem dem Verursacherprinzip Rechnung tragen. Mögliche Einnahmen könnten über Begleitmassnahmen in den Sektor zurückfließen und so eine zusätzliche Hebelwirkung kreieren. Auch aus einer Aufhebung der momentanen Steuersubvention auf PSM generierte finanzielle Mittel, könnten verwendet werden, um den Einsatz von PSM-reduzierenden Massnahmen zu fördern. Bei der Ausgestaltung der Lenkungsabgabe sollten Indikationslücken und Resistenzmanagement berücksichtigt werden. Eine solche Lenkungsabgabe wäre dabei flexibler als mögliche Verbote und mit geringeren Transaktionskosten verbunden als eine umfassende Regulierung des PSM-Einsatzes.

Mögliche Begleitmassnahmen einer Lenkungsabgabe werden bereits ausführlich im Entwurf zum nationalen Aktionsplan diskutiert (BLW, 2016). Diese könnten aus Einnahmen einer Lenkungsabgabe finanziert werden, um Lenkungseffekte und Risikoreduktion, insbesondere bei PSM mit niedrigen Preiselastizitäten der Nachfrage, zu verstärken. Geeignete Massnahmen sollten geringe Produktionseffekte induzieren, um sogenannte *leakage*-Effekte, also die Substitution heimischer, wenig PSM-intensiver Produkte durch importierte, PSM-intensive Produkte, zu vermeiden. So wäre z.B. eine Aufstockung des Extenso Programms, Förderung moderner Spritztechnik, Förderung der Beratung, Kennzeichnung von Steuerhöhen oder eine Förderung der Entwicklung resistenter Sorten denkbar.

8 Schlussfolgerungen

Die Folgerungen aus den in dieser Studie durchgeführten Analysen können in sechs Kernpunkten zusammengefasst werden:

- 1) Differenzierte PSM-Abgabensysteme können die durch den Einsatz von PSM hervorgerufenen Risiken für Mensch und Umwelt effektiv reduzieren. Dabei sollten nur sehr risikoreiche Produkte stark besteuert werden, wodurch eine Substitution zu weniger risikoreichen Produkten und nicht-chemischen Pflanzenschutzstrategien angeregt wird und die durchschnittliche Abgabenlast gering gehalten werden kann. Im Gegensatz zu Verboten von PSM, wird das Spektrum der möglichen Pflanzenschutzstrategien dabei nicht verkleinert. Die Aufhebung der Steuersubventionierung von PSM in der Schweiz ist dabei ein notwendiger erster Schritt.
- 2) Die Erhebung der Abgabe auf Ebene Handel oder Industrie sowie die Nutzung der in PSM-Zulassungsverfahren generierten Informationen führen zu tiefen Transaktionskosten bei der Einführung von Lenkungsabgaben auf PSM.
- 3) Die zwar vorhandene, aber nicht sehr grosse Elastizität der Nachfrage nach PSM impliziert, dass die Abgaben für Produkte, welche für die Umwelt oder menschliche Gesundheit stark riskant sind, sehr hoch sein müssten, um relevante Mengenreduktionen zu realisieren.
- 4) Eine Rückvergütung der Erlöse aus einer Abgabe in den Sektor trägt zur Vermeidung von Einkommensverlusten bei. Geschieht diese Rückvergütung mittels Instrumenten, die das Risiko des PSM-Einsatzes weiter reduzieren, können wichtige Hebelwirkungen kreiert werden. Die Einführung einer Lenkungsabgabe ist nur als Bestandteil eines kohärenten Massnahmenpakets sinnvoll. Dies ist von spezifischer Bedeutung in intensiven Produktionssystemen mit geringen Nachfragelastizitäten für PSM.
- 5) Eine PSM-Lenkungsabgabe hat kurzfristig nur geringe Effekte, setzt aber Anreize für mittel- und langfristige Entwicklungen zur nachhaltigen Reduktion der durch den PSM-Einsatz hervorgerufenen Risiken.
- 6) Eine Subventionierung von Ertrags- oder Erlösversicherung führt nicht notwendigerweise zu einer Reduktion des PSM-Einsatzes, auch wenn damit andere Politikziele erreicht werden können. Andere Begleitmassnahmen sind hinsichtlich der Reduktion der durch den PSM-Einsatz hervorgerufenen Risiken zielführender.

Basierend auf diesen Erkenntnissen kann festgehalten werden, dass eine richtig ausgestaltete Lenkungsabgabe einen Beitrag dazu leisten kann, die im Aktionsplan postulierten agrar- und umweltpolitischen Ziele zu erreichen. Die Abgabe kann jedoch nur ein Instrument im Rahmen eines kohärenten Sets von sich ergänzenden Massnahmen sein. In Bezug auf die konkrete Ausgestaltung des Instruments, dessen Einbindung in den Aktionsplan und die ökonomischen Auswirkungen auf den Sektor sind weitere Analysen angezeigt.

Danksagung

Wir danken der Begleitgruppe am BLW für die sehr wertvollen Diskussionen zu diesem Projekt; Anne Kaps, Sergei Schaub, Julia Heinrichs (alle Universität Bonn), Janic Bucheli (ETH Zürich) für die wertvollen Inputs zum Bericht im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten oder Tätigkeiten an den Lehrstühlen; Agroscope für die Bereitstellung der ZA-AUI Daten; Laura de Baan für umfangreiche und wertvolle Kommentare auf Abschnitte 5.2 und 5.3; Otto Daniel und seiner Gruppe für hilfreiche Anmerkungen zur Analyse der ZA-AUI Daten; sowie Robert Huber und François Monin für Hinweise zu den Kurzfassungen des Berichtes. Des Weiteren danken wir der Agridea sowie der Fenaco Genossenschaft für die Bereitstellung von PSM-Preisdaten und Meteoschweiz für die Bereitstellung von Wetterdaten, Manfred Hellmann vom Obstbaulichen Kompetenzzentrum Klein-Altendorf für wertvolle Diskussionen, Anne Strøm Prestvik vom Norwegian Institute of Bioeconomy Research für Informationen zum Abschnitt 3.2.3 und Geoffroy Enjolras (Université Grenoble-Alpes) für die Zusammenarbeit im Rahmen von Abschnitt 6.1.

9 Quellenverzeichnis

- Adamson, D. (2010). *Climate Change, Irrigation and Pests: Examining Heliothis in the Murray Darling Basin*. No. 149879, School of Economics, University of Queensland, Australien.
- AGRIDEA & FiBL – Forschungsinstitut für biologischen Landbau (2014). *Deckungsbeiträge – Getriebe, Hackfrüchte, Übrige Ackerkulturen, Futterbau, Spezialkulturen, Tierhaltung*. Ausgabe 2014, AGRIDEA, Lindau und Lausanne.
- Allsopp, M., Tirado, R., Johnston, P., Santillo, D. & Lemmens, P. (2014). *Plan bee – Leben ohne Pestizide – Auf dem Weg in Richtung ökologische Landwirtschaft*. Greenpeace Deutschland, Hamburg.
- Ambec, S. & Barla, P. (2002). A theoretical foundation of the Porter hypothesis. *Economics Letters* 75(3), 355-360.
- Annetts, J. E. & Audsley, E. (2002). Multiple objective linear programming for environmental farm planning. *Journal of the Operational Research Society* 53(9), 933-943.
- Antle, J. M. (1984). The structure of US agricultural technology, 1910–78. *American Journal of Agricultural Economics* 66(4), 414-421.
- Antle, J. M. (1988). *Pesticide Policy. Production Risk and Producer Welfare: An Econometric Approach to Applied Welfare Economics*. Resources for the Future Press, Washington D.C.
- ARCADIS Belgium (2014). Vergroening van de fiscaliteit. Bijlage 2: Groslijst vergroeningsopties. Im Auftrag des Flämischen Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (LNE). Online: http://www.lne.be/organisatie/persberichten/20140822_bijlage%202_groslijst%20vergroeningsopties.pdf (zuletzt am 15. Mai 2015).
- Aubert, M. & Enjolras, G. (2014). The Determinants of Chemical Input Use in Agriculture: A Dynamic Analysis of the Wine Grape-Growing Sector in France. *Journal of Wine Economics* 9(1), 75-99.
- Aubertot, J.-N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J.-J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Voltz, M. & Savini, I. (2005). *Pesticides, agriculture and the environment – Reducing the use of pesticides and limiting their environmental impact*. Collective Scientific Expert Report INRA und Cemagref, Frankreich.
- Babcock, B. A., Lichtenberg, E. & Zilberman, D. (1992). Impact of Damage Control and Quality of Output: Estimating Pest Control Effectiveness. *American Journal of Agricultural Economics* 74(1), 163-172.
- Baeumer, K. (1992). *Allgemeiner Pflanzenbau*. 3. Auflage, UTB für Wissenschaft, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BAFU & BLW – Bundesamt für Umwelt & Bundesamt für Landwirtschaft (2013). *Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft – Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft*. Nr. 1312, Bundesamt für Umwelt, Bern.

- BAFU - Bundesamt für Umwelt (2014). Pilotprojekt zur Anpassung an den Klimawandel „Indexbasierte Graslandversicherung“. Online: <http://www.bafu.admin.ch/klima/13877/14401/14914/14926/index.html?lang=de> (zuletzt am 10. Februar 2016).
- Bahlai, C. A., Xue, Y., McCreary, C. M., Schaafsma, A. W. & Hallett, R. H. (2010). Choosing organic pesticides over synthetic pesticides may not effectively mitigate environmental risk in soybeans. *PLoS one* 5(6), e11250.
- Barnett, B. J. & Mahul, O. (2007). Weather Index Insurance for Agriculture and Rural Areas in Lower-Income Countries. *American Journal of Agricultural Economics* 89(5), 1241–1247.
- Bauer, S., Hoppe, U. & Hummelsheim, S. (1997). Decision support system for controlling pesticide use in Hessen. In: Oskam, A. J. & Vijftigschild, R. A. N. (Hrsg.). *Proceedings and discussions – policy measures to control environmental impacts from agriculture – workshop on pesticides, Wageningen, August 24th-27th, 1995*. Wageningen Agricultural University, Wageningen, S. 293-312.
- Baumol, W. J. & Oates, W. E. (1988). *The theory of environmental policy*, 2. Auflage, Cambridge University press, Cambridge, USA.
- Bazoche, P., Combris, P., Giraud-Héraud, E., Pinto, A. S., Bunte, F. & Tsakiridou, E. (2014). Willingness to pay for pesticide reduction in the EU: nothing but organic? *European Review of Agricultural Economics* 41(1), 87-109.
- Bellassen, V. (2015). Les certificats d'économie de produits phytosanitaires : quelle contrainte et pour qui ? Working Paper 2015/4, Centre d'Économie et Sociologie appliquées à l'Agriculture et aux Espaces Ruraux (CESAER), Dijon.
- Berg, E. (2012): Der zustandsabhängige Ansatz in der mathematischen Optimierung. *Agrarwirtschaft (GJAE)* 61(1), 13-29.
- Bergkvist, P. (2004). Pesticide Risk Indicators at National Level and Farm Level - A Swedish Approach. Swedish Chemicals Inspectorate, Sundbyberg, Schweden.
- Beketov M.A., Kefford B.J., Schäfer R.B. & Liess M. (2013): Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(27), 11039-11043.
- BFS – Bundesamt für Statistik (2015a). Landwirtschaft – Detaillierte Daten – Betriebe und Beschäftigte. BFS, Neuchâtel. Online: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/03/blank/data/01/01.html> (zuletzt am 16. Dezember 2015).
- BFS – Bundesamt für Statistik (2015b). Landwirtschaftliche Betriebsstrukturerhebung – Landwirtschaftliche Nutzfläche ohne Sömmerungsweiden. Statistisches Lexikon der Schweiz, BFS, Neuchâtel. Online: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/03/blank/data/01/02.html> (zuletzt am 06. Mai 2015).
- BFS – Bundesamt für Statistik (2015c). Landwirtschaft – Indikatoren – Auswirkungen auf die Umwelt – Pflanzenschutzmittel. BFS, Neuchâtel. Online: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/03/blank/ind24.indicator.240502.2405.html> (zuletzt am 16. Dezember 2015).

- Bhaskar, A. & Beghin, J. C. (2009). How Coupled are Decoupled Farm Payments? A Review of the Evidence. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 34, 130-153.
- Bielza, M., Conte, C., Dittmann, C., Gallego, J. & Stroblmair, J. (2008). *Agricultural Insurance Schemes*. Erstveröffentlichung in 2006, European Commission – Institute for the Protection and Security of the Citizen – Agriculture and Fisheries Unit, Ispra, Italien.
- Bielza Diaz-Caneja, M., Conte, C. G., Gallego Pinilla, F. J., Stroblmair, J., Catenaro, R. & Dittmann, C. (2009). *Risk Management and Agricultural Insurance Schemes in Europe*. Report EUR 23943, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- BLW (2015a). Aktionsplan zur Risikoreduzierung und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW): Tagung "Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln" 8. September 2015, Inforama Rüti in Zollikofen. Online: <http://www.blw.admin.ch/themen/00011/00075/02001/index.html?lang=de> (zuletzt am 26. August 2016).
- BLW (2015b). Agrarbericht 2015 – Landwirtschaftliche Gesamtrechnung, Bundesamt für Landwirtschaft, BLW, Bern. Online: <http://www.agrarbericht.ch/> (zuletzt am 21. Dezember 2015).
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2013). Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, Bonn.
- Boccaletti, S. & Nardella, M. (2000). Consumer willingness to pay for pesticide-free fresh fruit and vegetables in Italy. *The International Food and Agribusiness Management Review* 3(3), 297-310.
- Böcker, T. & Finger, R. (2016). European Pesticide Tax Schemes in Comparison: An Analysis of Experiences and Developments. *Sustainability* 8(4), 378.
- Böcker, T. G. & Finger, R. (2017). A Meta-Analysis on the Elasticity of Demand for Pesticides. *Journal of Agricultural Economics* (im Druck).
- Bohrnstedt, G. W. & Goldberger, A. S. (1969). On the Exact Covariance of Products of Random Variables. *Journal of the American Statistical Association* 64(328), 1439-1442.
- Bommelaer, O. & Devaux, J. (2012). *Le financement de la gestion des ressources en eau en France (actualisation de janvier 2012)*. Études & documents Nr. 62, Commissariat Général au Développement Durable, La Défense.
- Boon, P. E., van Donkersgoed, G., Noordam, M., te Biesebeek, J. D., van de Ven – van den Hoogen, B. M. & van Klaveren, J. D. (2012). *Evaluatie van de nota Duurzame gewasbescherming – Deelrapport Voedselveiligheid*. RIVM Rapport 320038001/2012, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Bougherara D. & Combris P. (2009). Eco-labelled food products: what are consumers paying for? *European Review of Agricultural Economics* 36(3), 321-341.
- Brown, R. S. & Christensen, L. R. (1981). Estimating Elasticities of Substitution in a Model of Partial Static Equilibrium: An Application to U.S. Agriculture, 1947 to 1974. In: Berndt,

- E. R. & Field, B. C. (Hrsg.). *Modeling and measuring natural resource substitution*. The MIT Press, Cambridge, MA, USA und London, S. 209-229.
- Brennan, E. B. (2013). Agronomic aspects of strip intercropping lettuce with alyssum for biological control of aphids. *Biological Control* 65(3), 302-311.
- Breustedt, G. (2004). *Effiziente Reduktion des Produktionsrisikos im Ackerbau durch Ertragsversicherungen*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.
- Bürger, J., de Mol, F. & Gerowitt, B. (2012). Influence of cropping system factors on pesticide use intensity—A multivariate analysis of on-farm data in North East Germany. *European Journal of Agronomy* 40, 54-63.
- Bürger, J. & Gerowitt, B. (2009). Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen und Winterraps. *Gesunde Pflanzen* 61(1), 11-17.
- BUWAL – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2003). *Reduktion der Umweltrisiken von Düngern und Pflanzenschutzmitteln*. BUWAL, Bern.
- BVL (2015). Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis 2015 Teil 7. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). Online: http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_verz_7.pdf (zuletzt am 28. September 2015).
- Campbell, H. F. (1976). Estimating the Marginal Productivity of Agricultural Pesticides: the Case of Tree-Fruit Farms in the Okanagan Valley. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 24(2), 23-30.
- Capalbo, S. M. (1988). A Comparison of Econometric Models of U.S. Agricultural Productivity and Aggregate Technology. In: Capalbo, S. M. & Antle, J. M. (Hrsg.). *Agricultural Productivity – Measurement and Explanation*. Resources for the Future, Washington, D.C., S. 159-188.
- Carlson, G. A. (1970). A decision theoretic approach to crop disease prediction and control. *American Journal of Agricultural Economics* 52(2), 216-223.
- Carlson, G. A. (1979). Insurance, information, and organizational options in pest management. *Annual Review of Phytopathology* 17, 149-161.
- Carpentier, A. & Weaver, R. D. (1997). Damage Control Productivity: Why Econometrics Matters. *American Journal of Agricultural Economics* 79(1), 47-61.
- CBS, PBL & Wageningen UR (2015). Afzet van chemische gewasbeschermingsmiddelen in de land- en tuinbouw, 1985-2013. Den Haag, Den Haag/Bilthoven, Wageningen, Niederlande. Online: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0015-Afzet-gewasbeschermingsmiddelen-in-de-land--en-tuinbouw.html?i=11-61> (zuletzt am 09. Dezember 2015).
- CelsiusPro (2015). Produkte – Produkte & Lösungen. Online: <http://www.celsiuspro.com/ProductsSolutions/tabid/482/language/de-DE/Default.aspx> (zuletzt am 14. Juli 2015).
- Chakir, R. & Hardelin, J. (2014). Crop Insurance and pesticide use in French agriculture: an empirical analysis. *Review of Agricultural and Environmental Studies* 95(1), 25-50.

- Chambers, R. G. (1989). Insurability and Moral Hazard in Agricultural Insurance Markets. *American Journal of Agricultural Economics* 71(3), 604-616.
- Chambers, R. G. & Lichtenberg, E. (1994). Simple Econometrics of Pesticide Productivity. *American Journal of Agricultural Economics* 76(3), 407-417.
- Chambers, R. G. & Quiggin, J. (2002). The state-contingent properties of stochastic production functions. *American Journal of Agricultural Economics* 84(2), 513-526.
- Chavas, J.-P. (2004). *Risk analysis in theory and practice*. Elsevier Academic Press, San Diego.
- Chen, P.-C., McIntosh, C. S. & Epperson, J. E. (1994). The Effects of a Pesticide Tax on Agricultural Production and Profits. *Journal of Agribusiness* 12(2), 125-138.
- Classen, R., Carriazo, F., Cooper, J. C., Hellerstein, D. & Udea, K. (2011). *Grassland to Cropland Conversion in the Northern Plains: The Role of Crop Insurance, Commodity, and Disaster Programs*. U.S. Department of Agriculture – Economic Research Service, Washington, D.C.
- Collier, B., Skees, J. & Barnett, B. (2009). Weather Index Insurance and Climate Change: Opportunities and Challenges in Lower Income Countries. *The Geneva Papers* 34, 401-424.
- Conradt, S., Finger, R. & Bokusheva, R. (2015a). Flexible weather index-based insurance design. *Climate Risk Management* 10, 106-117.
- Conradt, S., Finger, R. & Bokusheva, R. (2015b). Tailored to the extremes: Quantile regression for index-based insurance contract design. *Agricultural Economics* 46, 1-11.
- Courbage, C. & Rey, B. (2012). Optimal prevention and other risks in a two-period model. *Mathematical Social Sciences* 63(3), 213-217.
- Cullen, R., Warner, K. D., Jonsson, M. & Wratten, S. D. (2008). Economics and adoption of conservation biological control. *Biological control* 45(2), 272-280.
- Dalhaus, T. & Finger, R. (2016). Can Gridded Precipitation Data and Phenological Observations Reduce Basis Risk of Weather Index-based Insurance? *Weather, Climate and Society* (im Druck).
- Damalas, C. A. (2009). Understanding benefits and risks of pesticide use. *Scientific Research and Essays* 4(10), 945-949.
- Damalas, C. A. & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International journal of environmental research and public health* 8(5), 1402-1419.
- Danish Government (2013). Protect water, nature and human health – Pesticides strategy 2013-2015. Ministry for the Environment und Ministry for Food, Agriculture and Fisheries, Nationaler Aktionsplan vom September 2013.
- De Baan, L., Spycher, S. & Daniel, O. (2015). Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz von 2009 bis 2012. *Agrarforschung Schweiz* 6(2), 48-55.

- De Leeuw, J., Vrieling, A., Shee, A., Atzberger, C., Hadgu, K., Biradar, C., Keah, K. & Turvey, C. (2014). The Potential and Uptake of Remote Sensing in Insurance: A Review. *Remote Sensing* 6(11), 10888–10912.
- Deen, W., Weersink, A., Turvey, C. G. & Weaver, S. (1993). Weed control decision rules under uncertainty. *Review of Agricultural Economics* 15(1), 39-50.
- Di Falco, S. & Chavas, J. P. (2006). Crop genetic diversity, farm productivity and the management of environmental risk in rainfed agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 33(3), 289-314.
- Di Falco, S., Adinolfi, F., Bozzola, M. & Capitanio, F. (2014). Crop insurance as a strategy for adapting to climate change. *Journal of Agricultural Economics* 65(2), 485-504.
- Dixit, A. K. & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton UP, Princeton.
- Dubgaard, A. (1987). *Taxation as a Means to Control Pesticide Application*. Rapport nr. 35, Statens Jordbrugsøkonomiske Institut, Kopenhagen.
- Dubgaard, A. (1991). Pesticide Regulation in Denmark. In: Hanley, N. (Hrsg.). *Farming and the Countryside – An Economic Analysis of External Costs and Benefits*. C A B International, Wallingford, UK.
- Dubgaard, A. (1992). Möglichkeiten und Grenzen von Öko-Steuern in der Landwirtschaft. In: Agrarsoziale Gesellschaft e.V. (Hrsg.). *Öko-Steuern als Ausweg aus der Agrarkrise – Ergebnisse der internationalen Tagung vom 15. Bis 17. Juni 1992 in Stuttgart-Hohenheim*. Agrarsoziale Gesellschaft e.V., Heft 115, Göttingen, S. 66-80.
- Dugon, J., Favre, G., Zimmermann, A. & Charles, R. (2010). Pflanzenschutzpraxis in einem Ackerbaubetriebsnetz von 1992 bis 2004. *Agrarforschung Schweiz* 1(11-12), 416-423.
- ECOTEC, CESAM, CLM, University of Gothenburg, UCD & IEEP (2001). *Study on the Economic and Environmental Implications of the Use of Environmental Taxes and Charges in the European Union and its Member States*. Ch. 8: Pesticide taxes and charges; ch. 17: The Danish pesticide tax. ECOTEC, Brüssel und Birmingham.
- Ehler, L. E. (1998). Conservation biological control: past, present, and future. In: Barbosa, P. A. (Hrsg.). *Conservation biological control*. Academic Press, San Diego, S. 1-8.
- El Benni, N. & Lehmann, B. (2010). Swiss agricultural policy reform: landscape changes in consequence of national agricultural policy and international competition pressure. In: Primdahl, J. & Swaffield, S. (Hrsg.). *Globalisation and agricultural landscapes—change patterns and policy trends in developed countries*. Cambridge University Press, Cambridge, S. 73-94.
- El Benni, N. (2012). *Einkommensrisiko in der Schweizer Landwirtschaft und Einfluss möglicher Risikomanagementinstrumente*. Bericht angefertigt für das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), ETH Zürich.
- El Benni, N., Finger, R., Mann, S. & Lehmann, B. (2012). The distributional effects of agricultural policy reforms in Switzerland. *Agricultural Economics – Czech* 58(11), 510-519.

- El Benni (2013). *Der Einfluss von Direktzahlungen auf betriebswirtschaftliche Entscheidungen*. Bericht an das Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- El Benni, N., Finger, R. & Meuwissen, M. (2016). Potential effects of the Income Stabilization Tool (IST) in Swiss agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 43(3), 475-502
- Elhorst, J. P. (1990). *De inkomensvorming en de inkomensverdeling in de Nederlandse landbouw verklaard vanuit de huishoudproduktietheorie*. Dissertation, Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag.
- Enjolras, G. & Sentis, P. (2011). Crop insurance policies and purchases in France. *Agricultural Economics* 42(4), 475–486.
- Ernst Basler + Partner (2015). Massnahmen zur Reduktion von Einträgen von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer – Eine Auslegeordnung. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zollikorn.
- EU Kommission (2015). Fact Sheet. Pesticides: Experts endorse new EU list of candidates for substitution. Online: [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-15-3743_de.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-3743_de.htm) (zuletzt am 28. September 2015).
- European Commission (2015). VAT Rates Applied in the Member States of the European Union – Situation at 1st September 2015. Online: http://ec.europa.eu/taxation_customs/resources/documents/taxation/vat/how_vat_works/rates/vat_rates_en.pdf (zuletzt am 07. März 2016).
- Eurostat (2008). *A common methodology for the collection of pesticide usage statistics within agriculture and horticulture*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- Eurostat (2015). Landwirtschaft – Landwirtschaftliche Erzeugnisse – Pflanzliche Erzeugnisse – Statistik der pflanzlichen Erzeugung. Dateipfad apro_cp_acs (Download am 02. April 2015).
- Eurostat (2016). Agrarumweltindikatoren – Leitung landwirtschaftlicher Betriebe – Absatz von Pflanzenschutzmitteln. Dateipfad aei_fm_salpest (Download am 02. April 2015).
- Fadhuile, A., Lemarié, S. & Pirotte, A. (2016). Disaggregating the Demand for Pesticides: Does it Matter? *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie* 64(2), 223-252.
- Falconer, K. E. (1998). Managing diffuse environmental contamination from agricultural pesticides: An economic perspective on issues and policy options, with particular reference to Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69, 37–54.
- Falconer, K. & Hodge, I. (2000). Using economic incentives for pesticide usage reductions: responsiveness to input taxation and agricultural systems. *Agricultural Systems* 63, 175-194.

- Falconer, K. & Hodge, I. (2001). Pesticide taxation and multi-objective policy-making: farm modelling to evaluate profit/environment trade-offs. *Ecological Economics* 36(2), 263-279.
- FAOstat (2016). Production – Crops – Area harvested. Online: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor> (zuletzt am 26. September 2016).
- Farnsworth, R. L. & Moffitt, L. J. (1981). Cotton production under risk: an analysis of input effects on yield variability and factor demand. *Western Journal of Agricultural Economics* 6(2), 155-163.
- Feinerman, E., Herriges, J. A. & Holtkamp, D. (1992). Crop Insurance as a Mechanism for Reducing Pesticide Usage: A Representative Farm Analysis. *Review of Agricultural Economics* 14(2), 169-186.
- Femenia, F. & Letort, E. (2016): How to significantly reduce pesticide use: An empirical evaluation of the impacts of pesticide taxation associated with a change in cropping practice. *Ecological Economics* 125, 27-37.
- Fernandez-Cornejo, J. (1993). *Demand and Substitution of Agricultural Inputs in the Central Corn Belt States*. Technical Bulletin No. 1816, U.S. Department of Agriculture – Economic Research Service, Washington, D.C.
- Fernandez-Cornejo, J., Jans, S. & Smith, M. (1998). Issues in the economics of pesticide use in agriculture: a review of the empirical evidence. *Review of agricultural economics* 20(2), 462-488.
- Finansdepartementet (2015). Regeringens proposition 2015/16:1 – Budgetpropositionen för 2016 – Förslag till statens budget för 2016, finansplan och skattefrågor. Online: <http://www.regeringen.se/contentassets/49618bcb4fd94b6081d9696f55bc7f8d/forslag-till-statens-budget-for-2016-finansplan-och-skattefragor-kapitel-1-12-och-bilagor-1-16.pdf> (zuletzt am 15. August 2016).
- Finger, R. (2008). Impacts of Agricultural Policy Reforms on Crop Yields. *EuroChoices* 7(3), 24-25.
- Finger, R. (2010a). Evidence of slowing yield growth - the example of Swiss cereal yields. *Food Policy* 35(2), 175-182.
- Finger, R. (2010b). Revisiting the Evaluation of Robust Regression Techniques for Crop Yield Data Detrending. *American Journal of Agricultural Economics* 92(1), 205-211
- Finger, R., El Benni, N., Kaphengst, T., Evans, C., Herbert, S., Lehmann, B., Morse, S. & Stupak, N. (2011). A Meta-Analysis on Farm-Level Costs and Benefits of GM Crops. *Sustainability* 3, 743-762
- Finger, R. (2012a). Nitrogen Use and the Effects of Nitrogen Taxation Under Consideration of Production and Price Risks. *Agricultural Systems* 107, 13-20.
- Finger, R. (2012b). Modeling the sensitivity of agricultural water use to price variability and climate change - an application to Swiss maize production. *Agricultural Water Management* 109, 135-143.

- Finger, R. & El Benni, N. (2012). A Note on Price Risks in Swiss Crop Production – Empirical Results and Comparisons with other Countries. *Yearbook of Socioeconomics in Agriculture 2012*, 131 –151.
- Finger, R. & Lehmann, B. (2012a). Adoption of Agri-environmental Programmes in Swiss Crop Production. *EuroChoices 11*(1), 28-33.
- Finger, R. & Lehmann, N. (2012b). The Influence of Direct Payments on Farmers' Hail Insurance Decisions. *Agricultural Economics 43*(3), 343-354.
- Finger, R. (2013). Expanding risk consideration in integrated models - the role of downside risk aversion in irrigation decisions. *Environmental Modelling & Software 43*, 169-172.
- Finger, R. & El Benni, N. (2013). Farmers' Adoption of Extensive Wheat Production - Determinants and Implications. *Land Use Policy 30*(1), 206-213.
- Finger, R. (2014). Risk considerations in the economic assessment of low-input crop production techniques: an example from Swiss wheat production. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology 10*(1), 63-77.
- Finger (2016). Conservation biological control strategies in agriculture. Mimeo.
- Finger, R., Möhring, N., Dalhaus, T. & Enjolras, G. (2016). Crop Insurance and Pesticide Use. 156th EAAE Seminar, Prospects for agricultural insurance in Europe. Wageningen, Niederlande, 3.-4. Oktober 2016.
- Fließbach, A. & Speiser, B. (2010). *Beurteilung des Risikos von Pflanzenschutzmittelanwendungen in der Schweiz an Hand von Indikatoren*. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick.
- Frei, C. (2014). Interpolation of temperature in a mountainous region using nonlinear profiles and non-Euclidean distances. *International Journal of Climatology 34*(5), 1585-1605.
- Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J. & Vidale, P.V. (2006). Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geophysical Research 111*(D6).
- Freie und Hansestadt Hamburg (2015). Anlage von Blühflächen oder Blühstreifen. Richtlinie der Freien und Hansestadt Hamburg zur Gewährung von Fördermitteln für die Durchführung von Maßnahmen zur markt- und standortangepassten Landbewirtschaftung nach dem Agrarpolitischen Konzept 2020. Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation, Freie und Hansestadt Hamburg.
- Fuchs, A. & Wolff, H. (2011). Concept and Unintended Consequences of Weather Index Insurance: The Case of Mexico. *American Journal of Agricultural Economics 93*(2), 505-511.
- Gardebroek, C. (2006). Comparing risk attitudes of organic and non-organic farmers with a Bayesian random coefficient model. *European Review of Agricultural Economics 33*(4), 485-510.

- Gardebroek, C., Chavez, M. D. & Oude Lansink, A. (2010). Analysing production technology and risk in organic and conventional Dutch arable farming using panel data. *Journal of Agricultural Economics* 61(1), 60-75.
- Garthwaite, D. G., Thomas, M. R., Parrish, G., Smith, L. & Barker, I. (2010a). *Pesticide Usage Survey Report 224 – Arable Crops in Great Britain 2008*. Food & Environment Research Agency, National Statistics, York.
- Garthwaite, D. G., Barker, I., Parrish, G. & Smith, L. (2010b). *Pesticide Usage Survey Report 225 – Orchards and Fruit Stores in Great Britain 2008*. Food & Environment Research Agency, National Statistics, York.
- Gianessi, L., Rury, K. & Rinkus, Al. (2009). An evaluation of pesticide policies in Scandinavia. *Outlooks on Pest Management* 20(5), 1-7.
- Gilden, R. C., Huffling, K. & Sattler, B. (2010). Pesticides and health risks. *Journal of Obstetric, Gynecologic, & Neonatal Nursing* 39(1), 103-110.
- Gölles, M., Bravin, E., Kuske, S. & Naef, A.(2015). Herausforderungen der rückstandsfreien Apfelproduktion. *Agrarforschung* 6(1), 12-19.
- Goetz, R. U., Schmid, H. & Lehmann, B. (2006). Determining the economic gains from regulation at the extensive and intensive margins. *European Review of Agricultural Economics* 33(1), 1-30.
- Goodwin, B. K. (1994). Premium Rate Determination in Federal Crop Insurance Program. *Journal Agricultural and Resource Economics* 19 (2), 382-395.
- Goodwin, B. K. (2001). Problems with Market Insurance in Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics* 83(3), 643-649.
- Goodwin, B. K., Vandever, M. L. & John, L. D. (2004). An Empirical Analysis of Acreage Effects of Participation in the Federal Crop Insurance Program. *American Journal of Agricultural Economics* 86(4), 1058-1077.
- Gotsch, N. & Regev, U. (1996). Fungicide use under risk in Swiss wheat production. *Agricultural Economics* 14, 1-9.
- Gregoriou, P., Manuneas, T. & Pashardes, P. (2009). *Agricultural Support Policies and Optimum Tax and Levy Scheme for Pesticide Use in Farm Production*. Economic Analysis Papers No. 03-09, Economics Research Centre, University of Cyprus, Zypern.
- Gren, I.-M. (1994a). Cost Efficient Pesticide Reductions: A study of Sweden. *Environmental and Resource Economics* 4, 279-293.
- Gren, I.-M. (1994b). Regulating the Farmers' use of Pesticides in Sweden. In: Opschoor, H. & Turner, K. (Hrsg.). *Economic Incentives and Environmental Policies – Principles and Practice*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, S. 153-173.
- Griffiths, G. J., Holland, J. M., Bailey, A. & Thomas, M. B. (2008). Efficacy and economics of shelter habitats for conservation biological control. *Biological control* 45(2), 200-209.

- Guan, Z, Oude Lansink, A., Wossink, A. & Huirne, R. (2005). Damage control inputs: a comparison of conventional and organic farming systems. *European Review of Agricultural Economics* 32(2), 167-190.
- Gutsche, V. & Strassemeyer, J. (2015). SYNOPSIS—ein Modell zur Bewertung des Umwelt-Risikopotentials von chemischen Pflanzenschutzmitteln. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 59(9), 197.
- Hall, D. C. & Norgaard, R. B. (1973). On the timing and application of pesticides. *American Journal of Agricultural Economics* 55(2), 198-201.
- Hallmann, J., Quadt-Hallmann, A. & von Tiedemann, A. (2009). *Phytomedizin – Grundwissen Bachelor*. 2. Auflage, UTB für Wissenschaft, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Hanson, J., Dismukes, R., Chambers, W., Greene, C. & Kremen, A. (2004). Risk and risk management in organic agriculture: views of organic farmers. *Renewable agriculture and food systems* 19(04), 218-227.
- Hardaker, J. B., Huirne, R. B., Anderson, J. R. & Lien, G. (2004). *Coping with risk in agriculture*, 2. Auflage, CABI Publishing, CABI Publishing, Wallingford, UK, and Cambridge, USA.
- Hazell, P. B. R., Anderson, J., Blazer, N., Hastrup Clemmensen, A., Hess, U. & Rispoli, F. (2010). The Potential for Scale and Sustainability in Weather Index Insurance. WFP und IFAD, Rom.
- Heitefuss, R. (1985). *Chancen und Risiken integrierter Produktionsverfahren im Landbau aus der Sicht des Pflanzenschutzes*. Agrarspectrum – Schriftenreihe des Dachverbandes, Band 9: Integrierte Produktionsverfahren im Landbau, Verlagsunion Agrar.
- Hennessy, D. A. (1998). The Production Effects of Agricultural Income Support Policies under Uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics* 80, 46-57.
- Heyer, W., Roßberg, D., Abraham, J. & Christen, O. (2005). Erfassung und Beurteilung der Intensität des betrieblichen Pflanzenschutzes innerhalb des REPRO-Konzeptes. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 57(6), 126-131.
- Hirschi, M., Stoeckli, S., Dubrovsky, M., Spirig, C., Calanca, P., Rotach, M. W., Fischer, A. M., Duffy, B. & Samietz, J. (2012). Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland. *Earth System Dynamics* 3(1), 33-47.
- Hoevenagel, R., van Noort, E. & de Kok, R. (1999). *Study on a European Union wide regulatory framework for levies on pesticides*. EIM Small Business Research und Consultancy/Haskoning, Zoetermeer.
- Hof, B., Koopmans, C., Rougoor, W. & van der Voort, J. (2013). *Effecten en vormgeving van een heffing op gewasbeschermingsmiddelen*. seo economisch onderzoek, rapport nr. 2013-39, Amsterdam.
- Hofer, Niklaus (2015). Persönliche Mitteilung von IP-Suisse, 27.08.2015.
- Hokkanen, H. M. T. (1991). Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology* 36, 119-138.

- Horowitz, J. K. & Lichtenberg, E. (1993). Insurance, Moral Hazard, and Chemical Use in Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics* 75(4), 926-935.
- Horowitz, J. K. & Lichtenberg, E. (1994). Risk-reducing and risk-increasing effects of pesticides. *Journal of Agricultural Economics* 45(1), 82-89.
- Hurd, B. H. (1994). Yield response and production risk: An analysis of integrated pest management in cotton. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 19(2), 313-326.
- Ilbery, B., Morris, C., Buller, H., Maye, D. & Kneafsey, M. (2005). Product, process and place an examination of food marketing and labelling schemes in Europe and North America. *European Urban and Regional Studies* 12(2), 116-132.
- Ivanova, N., Stoyanova, Z. & Mishev, P. (2012). Estimation of optimal tax level on pesticides use and its impact on agriculture. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 18(5), 641-650.
- Jacquet, F., Butault, J.-P. & Guichard, L. (2011). An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. *Ecological economics* 70(9), 1638-1648.
- Jewson, S., Brix, A. & Ziehm, C. (2005). Weather Derivative Valuation – The Meteorological, Statistical, Financial and Mathematical Foundations. Cambridge University Press, Cambridge.
- JKI – Julius Kühn-Institut (2013). Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Ergebnisse. Online: <http://papa.jki.bund.de>.
- Jonsson, M., Wratten, S. D., Landis, D. A. & Gurr, G. M. (2008). Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods. *Biological control* 45(2), 172-175.
- Jørgensen, L. N. & Ørum J. E. (2013). Farmers' possibilities for shifting to pesticides with lower load and manage resistance – Fungicides and insecticides. Präsentation des „Danish Agriculture & Food Council“ beim „International seminar on a new Danish pesticide tax“ am 30. Mai 2013, Dänemark. Online: <http://eng.mst.dk/media/mst/69748/6.%20Lise%20Nistrup%20maj%202013.pdf> (zuletzt am 25. August 2015).
- Just, R. E. & Pope, R. D. (1978). Stochastic specification of production functions and economic implications. *Journal of Econometrics* 7(1), 67-86.
- Just, R. E. & Pope, R. D. (1979). Production function estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics* 61(2), 276-284.
- Kan, I., Motro, Y., Horvitz, N., Kimhi, A., Leshem, Y., Yom-Tov, Y. & Nathan, R. (2013). Agricultural Rodent Control Using Barn Owls: Is It Profitable?. *American Journal of Agricultural Economics* 96(3), 733–752.
- Kaps, A. (2015). *Pflanzenschutzmittel im Apfelbau – Einsatz und Regulierung in Deutschland*. Bachelorarbeit, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Kataoka, S. (1963). A Stochastic Programming Model. *Econometrica* 31, 181-196.
- Kehlenbeck, H., Saltzmann, J., Schwarz, J., Zwerger, P., Nordmeyer, H., Roßberg, D., Karpinski, I., Strassemeyer, J., Golla, B. & Freier, B. (2015). *Folgenabschätzung für die Land-*

- wirtschaft zum teilweisen oder vollständigen Verzicht auf die Anwendung von glyphosat-haltigen Herbiziden in Deutschland. Julius-Kühn-Archiv Nr. 451, Julius Kühn-Institut, Quedlinburg.
- Komen, M. H. C., Oskam, A. J. & Peerlings, J. (1997). Effects of reduced pesticide application for the Dutch economy. In: Oskam, A. J. & Vijftigschild, R. A. N. (Hrsg.). *Proceedings and discussions – policy measures to control environmental impacts from agriculture – workshop on pesticides, Wageningen, August 24th-27th, 1995*. Wageningen Agricultural University, Wageningen, S. 344-359.
- Koundouri, P. & Nauges, C. (2005). On production function estimation with selectivity and risk considerations. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 30(3), 597-608.
- Koundouri, P., Laukkanen, M., Myyrä, S. & Nauges, C. (2009). The effects of EU agricultural policy changes on farmers' risk attitudes. *European Review of Agricultural Economics* 36(1), 53-77.
- Koureas, M., Tsakalof, A., Tsatsakis, A. & Hadjichristodoulou, C. (2012). Systematic review of biomonitoring studies to determine the association between exposure to organophosphorus and pyrethroid insecticides and human health outcomes. *Toxicology Letters* 210, 155-168.
- Krauß, A. (1969). Einfluß der Ernährung der Pflanzen mit Mineralstoffen auf den Befall mit parasitären Krankheiten und Schädlingen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 124(2), 129-147.
- Kühne, S. & Burth, U. (2006). Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Grundsätze und Herangehensweise. In: Kühne, S., Burth, U. & Marx, P. (Hrsg.). *Biologischer Pflanzenschutz im Freiland – Pflanzengesundheit im Ökologischen Landbau*. Ulmer, Stuttgart, S. 11-16.
- Kuosmanen, T., Pemsler, D. & Wesseler, J. (2006). Specification and estimation of production functions involving damage control inputs: A two-stage, semiparametric approach. *American Journal of Agricultural Economics* 88(2), 499-511.
- KEMI – Kemikalieinspektionen (2015). Databaser – Bekämpningsmedelsregistret, Sundbyberg, Schweden. Online: <http://webapps.kemi.se/BkmRegistret/Kemi.Spi-der.Web.External/> (zuletzt am 09. Dezember 2015).
- Khanna, M., Isik, M. & Zilberman, D. (2002). Cost-effectiveness of alternative green payment policies for conservation technology adoption with heterogeneous land quality. *Agricultural economics* 27(2), 157-174.
- Lefebvre, M., Langrell, S. R. H. & Gomez-y-Paloma, S. (2015). Incentives and policies for integrated pest management in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 27-45.
- Leu, C., Baur, R. & Sanvido, O. (2015). Stossrichtung Aktionsplan. Präsentation an der Tagung zum Aktionsplan Pflanzenschutzmittel, 8. September 2015.
- Liu, E. M. & Huang, J. (2013). Risk preferences and pesticide use by cotton farmers in China. *Journal of Development Economics* 103, 202-215.

- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. J. & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 22(4), 1050-1064.
- LfL – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2015a). Wirkungsspektren Präparate im Getreidebau – Getreidefungizide. Stand: März 2015. Online: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/10_pilzkrankheiten_wirkungseinstufung_fungizide.pdf (zuletzt am 11. Mai 2015).
- LfL – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2015b). Krankheiten und Schädlinge: Blattfrüchte, Mais - Maiszünslerbekämpfung - welche Möglichkeiten gibt es und was ist dabei zu beachten? Online: <http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte/030323/index.php> (zuletzt am 12. Mai 2015).
- Lichtenberg, E. & Zilberman, D. (1986). The econometrics of damage control: why specification matters. *American Journal of Agricultural Economics* 68(2), 261-273.
- Lichtenberg, E. & Zilberman, D. (1988). Efficient regulation of environmental health risks. *The Quarterly Journal of Economics* 103(1), 167-178.
- LID (2005). Schweizer Hagel—125 Jahre im Dienst der Landwirtschaft. Dossier 408. Landwirtschaftlicher Informationsdienst (LID), Bern.
- LWK NRW (2015). Anlage von Blühstreifen oder Blühflächen. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Förderung einer markt- und standortangepassten Landbewirtschaftung - Anlage von Blühstreifen oder Blühflächen. Online: <https://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/laendlicherraum/50.htm> (zuletzt am 16. Dezember 2015).
- Mahul, O. & Stutley, C. J. (2010). *Government support to agricultural insurance – Challenges and options for developing countries*. The World Bank, Washington, D.C.
- Malaj, E., von der Ohe, P. C., Grote, M., Kühne, R., Mondy, C. P., Usseglio-Polatera, P., Brack, W. & Schäfer, R. B. (2014). Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(26), 9549-9554.
- Mann, S. (2000). Transaktionskosten der landwirtschaftlichen Investitionsförderung – ein komparativer Ansatz. *Agrarwirtschaft* 49, 259-269.
- Marra, M. C. & Carlson, G. A. (2002). Agricultural technology and risk. In: Just, R. E. & Pope, R. D. (Hrsg.). *A Comprehensive Assessment of the Role of Risk in US Agriculture*. Springer Science+Business Media, New York, S. 325-352.
- Mattilsynet – Norwegian Food Safety Authority (2015). Miljøavgift for plantevernmidler (februar 2014), Mattilsynet, Norwegen. Online: http://www.mattilsynet.no/language/english/plants/plant_protection_products/miljoavgift_plantevernmidler_februar_2014.19281/binary/Milj%C3%B8avgift%20plantevernmidler%20februar%202014 (zuletzt am 13. September 2016).
- Mattilsynet – Norwegian Food Safety Authority (2015). Registered pesticides, Mattilsynet, Norwegen. Online: <http://www.mattilsynet.no/plantevernmidler/godk.asp?sortering=preparat&preparat=Alle&sprak=In+English> (zuletzt am 13. September 2016).

- McGuckin, T. (1983). Alfalfa management strategies for a Wisconsin dairy farm: An application of stochastic dominance. *North Central Journal of Agricultural Economics* 5(1), 43-49.
- McIntosh, C. S. & Williams A. A. (1992). Multiproduct production choices and pesticide regulation in Georgia. *Southern Journal of Agricultural Economics* 24(1), 135-144.
- MEDDE – Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2015). Montant par produit pour l'année 2015, Redevance phyto & traçabilité des ventes. Online: <http://redevancephyto.developpement-durable.gouv.fr/distributeur/montantparproduit> (zuletzt am 09. Dezember 2015).
- Menegatti, M. (2007). A new interpretation for the precautionary saving motive: a note. *Journal of Economics* 92(3), 275-280.
- Menegatti, M. (2009). Optimal prevention and prudence in a two-period model. *Mathematical Social Sciences* 58(3), 393-397.
- Meraner, M. & Finger, R. (2016) The impact of risk perception and preferences on risk management strategies: Evidence for German livestock farmers. 156th EAAE Seminar, Prospects for agricultural insurance in Europe. Wageningen, Niederlande, 3.-4. Oktober 2016.
- Meuwissen, M. P., Huirne, R. & Skees, J. R. (2003). Income insurance in European agriculture. *EuroChoices* 2(1), 12-17.
- Miljøministeriet (2012). The Agricultural Pesticide Load in Denmark 2007-2010. Environmental review no. 2, Miljøstyrelsen, Kopenhagen.
- Miljøministeriet (2013). Background and content of the new pesticide tax. Online: http://eng.mst.dk/media/mst/69753/Background%20doc_The%20pesticide%20tax.pdf (zuletzt am 17. März 2015).
- Miljøministeriet (2015). Bekæmpelsesmiddeldatabasen. Online: <http://mst.dk/virksomhed-myndighed/bekaempelsesmidler/bekaempelsesmiddeldatabase/bekaempelsesmiddeldatabasen/> (zuletzt am 12. Mai 2015).
- Miljø- og Fødevareministeriet (2015). Afgift på sprøjtemidler – Hent listen over afgifter pr. 12. februar 2015, Kopenhagen. Online: <http://mst.dk/virksomhed-myndighed/bekaempelsesmidler/sproejtemidler/bruger/pesticidafgift/> (zuletzt am 09. Dezember 2015).
- Miranda, M. J. & Glauber, J. W. (1997). Systemic Risk, Reinsurance, and the Failure of Crop Insurance Markets. *American Journal of Agricultural Economics* 79(1), 206-215.
- Mishra, A. K., Wesley Nimon, R. & El-Osta, H. S. (2005). Is moral hazard good for the environment? Revenue insurance and chemical input use. *Journal of Environmental Management* 74(1), 11-20.
- Möckel, S., Gawel, E., Kästner, M., Liess, M., Knillmann, S. & Bretschneider W. (2015). Einführung einer Abgabe auf Pflanzenschutzmittel in Deutschland. In: Gawel, E. (Hrsg.). *Studien zu Umweltökonomie und Umweltpolitik 10*. Duncker & Humblot, Berlin.

- Möhring, A., Zimmermann, A., Mack, G., Mann, S., Ferjani, A., & Gennaio, M. P. (2010). Multidisziplinäre Agentendefinitionen für Optimierungsmodelle. In: Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. (Hrsg.). *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. - Band 45*. Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 329-340.
- Moffitt, L. J. (1988). Incorporating environmental considerations in pest control advice for farmers. *American Journal of Agricultural Economics* 70(3), 628-634.
- Mohlin, K. (2013). The Swedish nitrogen tax and greenhouse gas emissions from agriculture. In: Mohlin, K. (Hrsg.). *Essays on Environmental Taxation and Climate Policy*. Department of Economics, University of Gothenburg, Göteborg.
- Moschini, G. & Hennessy, D. A. (2001). Uncertainty, Risk Aversion, and Risk Management for Agricultural Producers. In: Gardner, B, Rausser, G. (Hrsg.). *Handbook of Agricultural Economics*. S. 87-153.
- Mosnier, C. (2015). Self-insurance and multi-peril grassland crop insurance: the case of French suckler cow farms. *Agricultural Finance Review* 75(4), 533-551.
- Mouron, P., Heijne, B., Naef, A., Strassemeyer, J., Hayer, F., Avilla, J., Alaphilippe, A., Höhn, H., Hernandez, J., Mack, G., Gaillard, G., Solé, J., Sauphanor, B., Patocchi, A., Samietz, J., Bravin, E., Lavigne, C., Bohanec, M., Golla, B., Scheer, C., Aubert, U. & Bigler, F. (2012). Sustainability assessment of crop protection systems: SustainOS methodology and its application for apple orchards, *Agricultural Systems* 113, 1-15.
- Mumford, J. D. & Norton, G. A. (1984). Economics of decision making in pest management. *Annual review of entomology* 29(1), 157-174.
- Muñoz Piña, C. & Avila Forcada, S. (2004). Effects of an environmental tax on pesticides in Mexico. *UNEP Industry and Environment April – September*, 33-36.
- Munz, N., Leu, C. & Wittmer, I. (2012). Pestizidmessungen in Fließgewässern – Schweizweite Auswertung. *Aqua & Gas* 11, 32-41.
- Musser, W. N., Tew, B. V. & Epperson, J. E. (1981). An economic examination of an integrated pest management production system with a contrast between E-V and stochastic dominance analysis. *Southern Journal of Agricultural Economics* 13(01), 119-124.
- Mußhoff, O. & Hirschauer, N. (2013). *Modernes Agrarmanagement – Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren*. 3. Auflage, Vahlen, München.
- Natur- og Landbrugskommissionen (2012). *Natur- og Landbrugskommissionen statusrapport – Bilag 10 – Pesticidafgifter opkrævning og anvendelse*, Natur- og Landbrugskommissionen, Kopenhagen.
- Naturvårdsverket (2015). Dataunderlag – Växtskyddsmedel - Dataunderlag – Växtskyddsmedel, Schweden. Online: <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikator-sida/Dataunderlag-for-indikator/?iid=139&pl=1&t=Land&l=SE> (zuletzt am 20. Oktober 2015).

- Ndeffo-Mbah, M. L., Forster, G. A., Wesseler, J. H. & Gilligan, C. A. (2010). Economically optimal timing for crop disease control under uncertainty: an options approach. *Journal of the Royal Society Interface* 7, 1421-1428.
- Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O. & Gaillard, G. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural System* 104(3), 217-232.
- Nielsen, H. (2005). *Danish Pesticide Use Reduction Programme – to Benefit Environment and the Health*. Pesticide Action Network Europe, London.
- Nørring, N. P. (2013). Pesticide taxation: does it work? Präsentation des „Danish Agriculture & Food Council“ beim „International seminar on a new Danish pesticide tax“ am 30. Mai 2013, Dänemark. Online: <http://eng.mst.dk/topics/pesticides/international-seminar-on-a-new-pesticide-tax/> (zuletzt am 21. Mai 2015).
- Norton, M., van Sprundel, G.-J., Turvey, C. G. & Meuwissen, M.P.M. (2016). Applying weather index insurance to agricultural pest and disease risks. *International Journal of Pest Management* 62(3), 195-204.
- Oanda (2015). Historische Wechselkurse. Online: <http://www.oanda.com/lang/de/currency/historical-rates/> (zuletzt am 13. Mai 2015).
- Odening, M., Mußhoff, O. & Xu, W. (2007). Analysis of rainfall derivatives using daily precipitation models: opportunities and pitfalls. *Agricultural Finance Review* 67(1), 135-156.
- OECD (2007). *The implementation costs of agricultural policies*. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2008). *Environmental Performance of Agriculture in OECD countries since 1990*. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2010). *OECD's Producer Support Estimate and Related Indicators of Agricultural Support – Concepts, Calculations, Interpretation and Use (The PSE Manual)*. Online: <http://www.oecd.org/tad/agricultural-policies/psemanual.htm> (zuletzt am 05. November 2015).
- OECD (2011). *OECD Economic Surveys: France 2011*. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2013a). *OECD Compendium of Agri- environmental Indicators*. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2013b). *OECD Economic Surveys: France 2013*. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2015). *OECD Review of Agricultural Policies: Switzerland 2015*. OECD Publishing, Paris.
- OECD.Stat (2015). Producer and Consumer Support Estimates database – Estimate of support to agriculture. Online: <http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?QueryId=66824&vh=0000&vf=0&l&i=&lang=en> (zuletzt am 05. November 2015).
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 144(1), 31-43.

- Ollikainen, M., Lankoski, J. & Nuutinen, S. (2008). Policy-related transaction costs of agricultural policies in Finland. *Agricultural and Food Science* 17, 193-209.
- Oude Lansink, A. G. J. M. (1994). Effects of input quotas in Dutch arable farming. *Tijdschrift voor sociaalwetenschappelijk onderzoek van de Landbouw* 9(3), 197-217.
- Oude Lansink, A. G. J. M. & Peerlings, J. H. M. (1997). Farm-specific impacts of policy changes on pesticide use in Dutch arable farming. In: Oskam, A. J. & Vijftigschild, R. A. N. (Hrsg.). *Proceedings and discussions – policy measures to control environmental impacts from agriculture – workshop on pesticides, Wageningen, August 24th-27th, 1995*. Wageningen Agricultural University, Wageningen, S. 414-428.
- Oude Lansink, A. & Silva, E. (2004). Non-Parametric Production Analysis of Pesticides Use in the Netherlands. *Journal of Productivity Analysis* 21(1), 49-65.
- Oskam, A. J. (1997). The economics of pesticides: an overview of the issues. In: Oskam, A. J. & Vijftigschild, R. A. N. (Hrsg.). *Proceedings and discussions – policy measures to control environmental impacts from agriculture – workshop on pesticides, Wageningen, August 24th-27th, 1995*. Wageningen Agricultural University, Wageningen, S. 397-413.
- Oskam, A. J., van Zeijts, H., Thijssen, G. J., Wossink, G. A. A. & Vijftigschild, R. (1992). *Pesticide use and pesticide policy in the Netherlands*. Wageningen Agriculture University, Wageningen.
- Oskam, A. J., Vijftigschild, R. A. N. & Graveland, C. (1997). *Additional EU policy instruments for plant protection products. A report within the second phase of the programme: Possibilities for future EC environmental policy on plant protection products*. Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- Ozaki, V. A., Goodwin, B. K. & Shirota, R. (2008). Parametric and nonparametric statistical modelling of crop yield: implications for pricing crop insurance contracts. *Applied Economics* 40(9), 1151-1164.
- Pannell, D. J. (1990). A Model of Wheat Yield Response to Application of Diclofop-methyl to Control Ryegrass. *Crop Protection* 9(6), 422-428.
- Pannell, D. J. (1991). Pests and pesticides, risk and risk aversion. *Agricultural Economics* 5(4), 361-383.
- Papanagiotou, E., Alexandridis, K. & Melfou, K. (1994). Some implications of pesticide ban policies in Greece. In: Michalek, J. & Hanf, C.-H. (Hrsg.). *The economic consequences of a drastic reduction in pesticide use in the EU, Revised papers of a workshop held in Tannenfelde (Schleswig-Holstein) November 13th-14th, 1993*. Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG, Kiel, S. 307-317.
- Pedersen, A. B., Nielsen, H. Ø., Christensen, T. & Hasler, B. (2012). Optimising the effect of policy instruments: a study of farmers' decision rationales and how they match the incentives in Danish pesticide policy. *Journal of Environmental Planning and Management* 55(8), 1094-1110.
- Pedersen, A. B., Nielsen, H. Ø. & Andersen, M. S. (2015). The Danish Pesticide Tax. In: Lago, M., Mysiak, J., Gómez, C.M., Delacámara, G. & Maziotis, A. (Hrsg.). *Use of Economic*

- Instruments in Water Policy - Insights from International Experience*. Springer International Publishing, Cham, S. 73-87.
- Pimentel, D. (2009). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. In: Peshin, R. & Dhawan, A. K. (Hrsg.). *Integrated Pest Management: Innovation-Development Process*. Springer Science+Business Media, Dordrecht, S. 89-111.
- Pötsch, E. M. (2001). Wissenswertes zur mechanischen und chemischen Ampferbekämpfung. In: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Hrsg.). *7. Alpenländisches Expertenforum, 22–23 März 2001*. Irdning, Österreich, S. 75-81.
- Prigent, J. L. & Toumi, S. (2005). Portfolio management with safety criteria in complete financial markets. *International Journal of Business* 10(3), 234-250.
- Quiggin, J. C., Karagiannis, G. & Stanton, J. (1993). Crop Insurance and Crop Production: an empirical Study of Moral Hazard and Adverse Selection. *Australian Journal of Agricultural Economics* 37(2), 95-113.
- Ramseier H., Lebrun M. & Steinger T (2016): Anwendung der Bekämpfungsschwellen und Warndienste in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* 7(2), 98-103.
- Rasmussen, S. (2003). Criteria for optimal production under uncertainty. The state-contingent approach. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 47(4), 447-476.
- Regev, U., Gotsch, N. & Rieder, P. (1997). Are fungicides, nitrogen and plant growth regulators risk-reducing? Empirical evidence from Swiss wheat production. *Journal of Agricultural Economics* 48(1-3), 167-178.
- République Française (2008). *Ecophyto 2018*. Ministère de l’Agriculture et de la Pêche, Nationaler Aktionsplan vom 10. September 2008.
- République Française (2015a). Annexe au projet de loi de finances pour 2016 - Agences de l’eau. Online: http://www.performance-publique.budget.gouv.fr/sites/Irdningperformance_publique/files/farandole/ressources/2016/pap/pdf/jaunes/jaune2016_agences_eau.pdf (zuletzt am 18. Juli 2016).
- République Française (2015b). Plan Ecophyto II. Ministère de l’Agriculture, de l’Agroalimentaire et de la Forêt & Ministère de l’Écologie, du Développement durable et de l’Énergie, Nationaler Aktionsplan vom 20. Oktober 2015.
- Reus, J. A. W. A., Wecksel, H. J. & Pak, G. A. (1994). *Towards a future EC pesticide policy – An inventory of risks of pesticide use, possible solutions and policy instruments*. CLM 149 – 1994, Centre for Agriculture and Environment (CLM), Utrecht.
- Reus, J., Leendertse, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V. et al. (2002). Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 90(2), 177-187.
- Richards, T. J., Eaves, J., Manfredo, M., Naranjo, S. E., Chu, C.-C. & Henneberry, T. J. (2008). Spatial-Temporal Model of Insect Growth, Diffusion and Derivative Pricing. *American Journal of Agricultural Economics* 90(4), 962-978.

- RMA - Risk Management Agency United States Departement of Agriculture (2016). Summary of Business Report for 2013 thru 2016. Online: <http://www.rma.usda.gov/data/sob.html> (zuletzt am 10. Februar 2016).
- Roodman, D. (2007). CMP: Stata module to implement conditional (recursive) mixed process estimator, Statistical Software Components S456882, Boston College Department of Economics, revised 27 Jun 2016.
- Roodman, D. (2009). Estimating fully observed recursive mixed-process models with cmp. Online: <http://www.cgdev.org/publication/estimating-fully-observed-recursive-mixed-process-models-cmp-working-paper-168> (zuletzt am 29. August 2016).
- Rösler, S. (2004). Schillernde Begriffe, graue Wirklichkeit – Die Vogelwelt empfiehlt: Meiden Sie integriert produziertes Obst. Online: <https://www.nabu.de/news/2004/02327.html> (zuletzt am 09. Juni 2016).
- Rossberg, D., Gutsche, V., Enzian, S. & Wick, M. (2002). NEPTUN 2000-Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 98.
- Rossberg, D. (2009a). NEPTUN 2007 – Obstbau. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 147.
- Rossberg, D. (2009b). NEPTUN 2009 – Wein. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, Heft 151.
- Rossberg, D., 2010: NEPTUN 2009 – Wein. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut H. 151, Julius Kühn-Institut, Braunschweig.
- Rossberg, D., Vasel, E.H. & Ladewig, E., 2010: NEPTUN 2009 – Zuckerrübe. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut H. 152, Julius Kühn-Institut, Braunschweig.
- Rossberg, D. (2013). Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen* 65(4), 141-151.
- Rothschild, M. & Stiglitz, J. E. (1970). Increasing risk: I. A definition. *Journal of Economic theory* 2(3), 225-243.
- Roy, A. D. (1952). Safety First and the Holding of Assets. *Econometrica* 1952 (July), 431-450.
- Rude, S. (1992). *Pesticidforbrugets udvikling – landbrugs- og miljøpolitiske scenarier*. Rapport nr. 68, Statens Jordbrugsøkonomiske Institut, Kopenhagen.
- Russell, N. P., Smith, V. H. & Goodwin, B. K. (1997). The Effects of CAP Reform on the Demand for Crop Protection in the U.K.. In: Oskam, A. J. & Vijftigschild, R. A. N. (Hrsg.). *Proceedings and discussions – policy measures to control environmental impacts from agriculture – workshop on pesticides, Wageningen, August 24th-27th, 1995*. Wageningen Agricultural University, Wageningen, S. 397-413.
- Saphores, J. D. M. (2000). The economic threshold with a stochastic pest population: a real options approach. *American Journal of Agricultural Economics* 82(3), 541-555.
- Schoengold, K., Sunding, D. L. & Moreno, G. (2006). Price elasticity reconsidered: Panel estimation of an agricultural water demand function. *Water Resources Research* 42(9).

- Schulte, J. (1983). *Der Einfluß eines begrenzten Handelsdünger- und Pflanzenbehandlungsmitelesinsatzes auf Betriebsorganisation und Einkommen verschiedener Betriebssysteme*. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn.
- Schweizer Hagel (2015). Produktübersicht. Online: http://hagel.ch/fileadmin/customer/Produkte/3001_d.pdf (zuletzt am 14. Juli 2015).
- SEGES P/S (2015). Middeldatabasen, Aarhus, Dänemark. Online: <https://www.middeldatabasen.dk/default.asp> (zuletzt am 09. Dezember 2015).
- Serra, T., Zilberman, D., Goodwin, B. K. & Featherstone, A. (2005a). Decoupling Farm Policies: How does this affect Production? Selected Paper prepared for presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Providence, Rhode Island, USA, July 24-27 2005.
- Serra, T., Zilberman, D., Goodwin, B. K. & Featherstone, A. (2006). Effects of decoupling on the mean and variability of output. *European Review of Agricultural Economics* 33(3), 269-288.
- Serra, T., Zilberman, D., Goodwin, B. K. & Hyvonen, K. (2005b). Replacement of Agricultural Price Supports by Area Payments in the European Union and the Effect on Pesticide Use. *American Journal of Agricultural Economics* 87(4), 870-884.
- Servicio de Administración Tributaria (2015). Impuesto a los plaguicidas. Online: http://www.sat.gob.mx/fichas_tematicas/reforma_fiscal/Paginas/plaguicidas_2014.aspx (zuletzt am 20. Oktober 2015).
- Shumway, C. R. & Chesser, R. R. (1994). Pesticide Tax, Cropping Patterns, and Water Quality in South Central Texas. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 26(1), 224-240.
- Skatteministeriet (2016). Afgifter – provenuet af afgifter og moms 2010-2017. Online: <http://www.skm.dk/skattetat/statistik/provenuoversigter/afgifter-provenuet-af-afgifter-og-moms-2010-2017> (zuletzt am 18. Juli 2016).
- Skees, J. R. & Reed, M. R. (1986). Rate Making for Farm-Level Crop Insurance: Implications for Adverse Selection. *American Journal of Agricultural Economics* 68(3), 653-659.
- Skees, J. R. (2008). Challenges for use of index-based weather insurance in lower income countries. *Agricultural Finance Review* 68(1), 197-217.
- Skevas, T., Stefanou, S. E. & Oude Lansink, A. (2012). Can economic incentives encourage actual reductions in pesticide use and environmental spillovers? *Agricultural Economics* 43(3), 267-276.
- Skevas, T., Oude Lansink, A. G. J. M. & Stefanou, S. E. (2013). Designing the emerging EU pesticide policy: A literature review. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences* 64–65, 95-103.
- Skevas, T., Stefanou, S. E. & Oude Lansink, A. (2014). Pesticide use, environmental spillovers and efficiency: A DEA risk-adjusted efficiency approach applied to Dutch arable farming. *European Journal of Operational Research* 237, 658-664.

- Smith, V. H. & Goodwin, B. K. (1996). Crop Insurance, Moral Hazard, and Agricultural Chemical Use. *American Journal of Agricultural Economics* 78(2), 428-438.
- Sotherton, N. W., Dover, J. W. & Rands, M. R. W. (1988). The effects of pesticide exclusion strips on faunal populations in Great Britain. *Ecological Bulletins* 39, 197-199.
- Spikkerud, E. (2005). Taxes as a Tool to Reduce Health and Environmental Risk from Pesticide Use in Norway. In: OECD (Hrsg.). *Evaluating Agri-environmental Policies: Design, Practice and Results*. OECD Publishing, Paris, S. 281-290.
- Spikkerud, E. Haraldsen, T., Abdellaue, A. & Holmen, M. T. (2005). Guidelines for a Banded Pesticide Tax Scheme, Differentiated According to Human Health and Environmental Risks. Norwegian Food Safety Authority, National Centre of Plants and Vegetable Foods.
- Spycher, S. & Daniel, O. (2013). *Agrarumweltindikator Einsatz von Pflanzenschutzmitteln – Auswertungen von Daten der Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) der Jahre 2009 – 2010*. Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF, Changins-Wädenswil.
- Spycher, S., Badertscher, R. & Daniel, O. (2013). Indikatoren für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* 4(4), 192-199.
- SRU (2016). *Umweltgutachten 2016 – Impulse für eine integrative Umweltpolitik*. Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU). Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Statistics Norway (2015). Strukturen i jordbruket. Online: <http://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri> (zuletzt am 22. Oktober 2015).
- Stortingets administrasjon (2015). Statsbudsjettet for 2015 – Saldert budsjett vedtatt i Stortinget høsten 2014, Stortingets administrasjon – Konstitusjonell avdeling, Oslo. Online: <https://www.stortinget.no/Global/pdf/Budsjettsiden/blabok2015.pdf> (zuletzt am 09. Dezember 2015).
- Strange, R. N. & Scott, P. R. (2005). Plant Disease: A Threat to Global Food Security. *Annual Review of Phytopathology* 43: 83-116.
- Strøm Prestvik, A., Netland, J. & Hovland, I. (2013). Evaluering av avgiftssystemet for plantevernmidler i Norge. Online: http://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/plantevernmidler/mattilsynet_evaluerer_avgiftssystemet_for_plantevernmidler.12116 (zuletzt am 17. März 2015).
- Sutter, L. & Albrecht, M. (2016). Synergistic interactions of ecosystem services: florivorous pest control boosts crop yield increase through insect pollination. In *Proceedings of the Royal Society B* 283(1824).
- Telser, L. G. (1955). Safety first and hedging. *The Review of Economic Studies* 23(1), 1-16.
- Travisi, C. M. & Nijkamp, P. (2008). Valuing environmental and health risk in agriculture: A choice experiment approach to pesticides in Italy. *Ecological Economics*, 67(4), 598-607.
- Troost, C. & Berger, T. (2015). Dealing with uncertainty in agent-based simulation: farm-level modeling of adaptation to climate change in Southwest Germany. *American Journal of Agricultural Economics*. DOI: 10.1093/ajae/aau076

- Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H. & Jacot, K. (2014). Targeted flower strips effectively promote natural enemies of aphids. *IOBC-WPRS Bulletin* 100, 131-135.
- Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H. & Jacot, K. (2015). High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proceedings of the Royal Society B* 282, 1369-1378.
- Turvey, C. G. (2001). Weather Derivatives for Specific Event Risks in Agriculture. *Applied Economic Perspectives and Policy* 23(2), 333-351.
- Turvey, C. G. (2005). The pricing of degree-day weather options. *Agricultural Finance Review* 65(1), 59-85.
- Tweede Kamer (2003a). Fiscaliteit, landbouw- en natuurbeleid. Kamerstuk 28207, nr. 3, Lijst van vragen en antwoorden, vergaderjaar 2002-2003, Den Haag.
- Tweede Kamer (2003b). Fiscaliteit, landbouw- en natuurbeleid. Kamerstuk 28207, nr. 5, Verslag van een notaoverleg, vergaderjaar 2003-2004, Den Haag.
- Van Bol, V., Claeys, S., Debongnie, P., Godfrioux, J., Pussemier, L., Steurbaut, W. & Maraite, H. (2003). Pesticide Indicators. *Pesticide Outlook* 14(4), 159-163.
- Van Eerdt, M., van Dam, J., Tiktak, A., Vonk, M., Wortelboer, R. & van Zeijts, H. (2012). *Evaluatie van de nota Duurzame gewasbescherming*. PBL-publicatienummer 500158001, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
- Varian, H. R. (2010). *Intermediate microeconomics: a modern approach*. 8. Auflage, WW Norton, New York.
- Vatn, A., Kvakkestad, V. & Rørstad, P. K. (2002). *Policies for Multifunctional Agriculture – The Trade-off between Transaction Costs and Precision*. Report no. 23, Agricultural University of Norway – Department of Economics and Social Sciences, Ås, Norwegen.
- Verch, G. & Kächele, H. (2005). Möglichkeiten und Grenzen einer flächendeckenden Pflanzenschutzmittelerhebung–Anwendung der Ergebnisse des NEPTUN-Projekts am Beispiel Nordbrandenburgs. *Pflanzenbauwissenschaften* 9(2), 80-86.
- VHV (2015). VHV Wetterrisikoversicherung: Damit das Wetter nicht die Gewinne verhagelt. Hannover. Online: https://www.vhv-gruppe.de/grp/de/Presse-Preseinformationen_1319.html (zuletzt am 10.02.2016).
- Vickerman, G. P. & Wratten, S. D. (1979). The biology and pest status of cereal aphids (Hemiptera: Aphididae) in Europe: a review. *Bulletin of Entomological Research* 69(1), 1-32.
- Villezca-Becerra, P. A. & Shumway, C. R. (1992). State-Level Output Supply and Input Demand Elasticities for Agricultural Commodities. *Journal of Agricultural Economics Research* 44(1), 22-34.
- von Witzke, H. & Noleppa, S. (2011). *Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland. Darstellung des Projektansatzes und von Ergebnissen zu Modul, 1: Ermittlung von Markteffekten und gesamtwirtschaftlicher Bedeutung*. Agripol - network for policy advice GbR, Berlin.

- Warner, D. J., Allen-Williams, L. J., Ferguson, A. W. & Williams, I. H. (2000). Pest–predator spatial relationships in winter rape: implications for integrated crop management. *Pest Management Science* 56(11), 977-982.
- Waterfield, G. & Zilberman, D. (2012). Pest management in food systems: an economic perspective. *Annual review of environment and resources* 37, 223-245.
- WBF – Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung (2014). *Bedarfsabklärung eines Aktionsplans zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln – Bericht in Erfüllung des Postulates 12.3299 von Frau Nationalrätin Tiara Angelina Moser vom 16. März 2012*. WBF, Bern.
- Webster, J. P. G. (1977). The analysis of risky farm management decisions: advising farmers about the use of pesticides. *Journal of Agricultural Economics* 28(3), 243-259.
- Weiss, E. & Stettmer, C. (1991). Unkräuter in der Agrarlandschaft locken blütenbesuchende Nutzinsekten an. In: Nentwig, W. & Poehling, H.-M. (Hrsg.). *Agrarökologie 1*, Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart.
- Wesseler, J. (2014). Financial, Real, and Quasi Options: Similarities and Differences. In: Pinto, A. A. & Zilberman, D. (Hrsg.). *Modeling, Dynamics, Optimization and Bioeconomics - Contributions from ICMOD 2010 and the 5th Bioeconomy Conference 2012*. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 73, Springer International Publishing, Cham, S. 673-694.
- Wiebers, U. C., Metcalfe, M., Zilberman, D., Hall, D. C. & Moffitt, L. J. (2002). The influence of pest management advice on pesticide use in California tomatoes. In: Hall, D. C. & Moffitt, L. J. (Hrsg.). *Economics of pesticides, sustainable food production, and organic food markets*. Emerald, Bingley, S. 81-98.
- Withana, S., ten Brink, P., Illes, A., Nanni, S., Watkins, E., Lopez, A., van Dijl, E., Kretschmer, B., Mazza, L., Newman, S. & Russi, D. (2014). Annexes to Final Report - Environmental tax reform in Europe: Opportunities for the future. Institute for European Environmental Policy (IEEP) im Auftrag des niederländischen Ministerie voor Infrastructuur en Milieu, Brüssel.
- Wittmer, I., Moschet, C., Simovic, J., Singer, H., 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* 3, 32-43.
- Wossink, G. A. A. & Rossing, W. A. H. (1998). On increasing returns and discrete choice: integrating production ecological principles in economic analysis of crop management. *Journal of Environmental Management* 54(3), 233-247.
- Wu, J. (1999). Crop Insurance, Acreage Decisions, and Nonpoint-Source Pollution. *American Journal of Agricultural Economics* 81(2), 305-320.
- Wu, J. & Adams, R. M. (2001). Production Risk, Acreage Decisions and Implications for Revenue Insurance Programs. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie* 49(1), 19-35.

- Zaller, J. G. (2004). Ecology and non-chemical control of *Rumex crispus* and *R. obtusifolius* (Polygonaceae): a review. *Weed Research* 44(6), 414-432.
- Zeddies, J., Fuchs, C. & Schanzenbächer, B. (1992). Marktwirkungen von Öko-Steuern und EG-Agrarreform. In: Agrarsoziale Gesellschaft e.V. (Hrsg.). *Öko-Steuern als Ausweg aus der Agrarkrise – Ergebnisse der internationalen Tagung vom 15. Bis 17. Juni 1992 in Stuttgart-Hohenheim*. Agrarsoziale Gesellschaft e.V. Heft 115, Göttingen, S. 66-80.
- Zraggen, K. (2005). *Ökonomische Evaluation der ökologischen Massnahmen in der Schweizer Landwirtschaft*. Dissertation, Nr. 15997, ETH Zürich, Zürich.
- Zilberman, D. & Millock, K. (1997): Financial incentives and pesticide use. *Food Policy* 22(2), 133-144.

10 Gesetze, Verordnungen, parlamentarische Beschlüsse

Schweiz:

Bundesgesetz über die Mehrwertsteuer (Mehrwertsteuergesetz, MWSTG) vom 12. Juni 2009 (Stand am 1. Juli 2016). Online: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20081110/index.html> (zuletzt am 15. August 2016).

Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (Stand am 1. Januar 2016). Online: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19995395/index.html> (zuletzt am 15. August 2016).

ESTV – Eidgenössische Steuerverwaltung (2014). Die Liegenschaftsteuer (Stand der Gesetzgebung: 1. Januar 2015). Steuerinformationen der Schweizerischen Steuerkonferenz SSK, Bern.

Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand am 2. Februar 2016). Online: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983281/index.html> (zuletzt am 4. August 2016).

Motion 94.3005. Online: <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=19943005> (zuletzt am 4. August 2016).

Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV) vom 12. Mai 2010 (verschiedene Versionen). Online: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20100203/index.html> (zuletzt am 4. August 2016).

Verordnung über das Inverkehrbringen von und den Umgang mit Biozidprodukten (Biozidprodukteverordnung, VBP) vom 18. Mai 2005 (Stand am 1. Februar 2016). Online: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021524/index.html> (zuletzt am 4. August 2016).

Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV) vom 23. Online: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20130216/201501010000/910.13.pdf> (zuletzt am 4. April 2016).

Belgien:

Loi relative au financement de l'Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne alimentaire//Wet betreffende de financiering van het Federaal Agentschap voor de Veiligheid van de Voedselketen (C – 2004/22975) vom 9. Dezember 2004. In: Moniteur Belge//Belgisch Staatsblad 17.01.2005: Lois, decrets, ordonnances et reglements//Wetten, Decreten, Ordonnanties en Verordeningen. Online: http://www.afsca.be/legislationdebase/documents/2004-12-09_Loi_financement_AFSCA.pdf (zuletzt am 20. August 2015).

Dänemark:

Bekendtgørelse af lov om afgift af bekæmpelsesmidler (LBK nr 232) vom 26. Februar 2015.
In: Skatteministeriet, Journalnummer 14-3845010. Online: <https://www.retsinformatio.n.dk/forms/r0710.aspx?id=164963> (zuletzt am 14. Dezember 2015).

Deutschland:

Umsatzsteuergesetz (UStG) vom 26.11.1979 (Stand: Neugefasst durch Bek. v. 21.2.2005 I 386; zuletzt geändert Art. 12 G v. 18.7.2016 I 1679). Online: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ustg_1980/gesamt.pdf (zuletzt am 15. August 2016).

Verordnung über Zulassungs- und Genehmigungsverfahren für Pflanzenschutzmittel (Pflanzenschutzmittelverordnung - PflSchMV) vom 15. Januar 2013. Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 2, Bonn. Online: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/pflschmv_2013/gesamt.pdf (zuletzt am 14. Dezember 2015).

Versicherungsteuergesetz (VerStG) vom 08.04.1922 (Stand: Neugefasst durch Bek. v. 10.1.1996 I 22; zuletzt geändert durch Art. 25 G v. 20.11.2015 I 2029). Online: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/versstg/gesamt.pdf> (zuletzt am 15. August 2016).

EU:

Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. Online: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:de:PDF> (zuletzt am 4. August 2016).

Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates. Online: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0001:0050:de:PDF> (zuletzt am 4. August 2016).

Frankreich:

Code de l'environnement - Paragraphe 4 : Redevances pour pollutions diffuses (Stand: 23. August 2015). Online: http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=2DAC1914B735146B254EFACF690D20B2.tpdila19v_1?idSectionTA=LE-GISCTA000006195230&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20170101 (zuletzt am 31. August 2015).

Code général des impôts - Article 278 bis (Stand: 1. Januar 2014). Online http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=233F38C0A735CAA6C8313B23DDDADCF6.tpdjo14v_1?idArticle=LEGI-ARTI000026295994&cidTexte=LEGITEXT000006069577 (zuletzt am 31. August 2015).

Niederlande:

Rijksoverheid (2004). Nota Duurzame gewasbescherming – beleid voor gewasbescherming tot 2010. Online: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/notas/2004/05/25/nota-duurzame-gewasbescherming.html> (zuletzt am 20. August 2015).

Rijksoverheid (2013). Gezonde Groei, Duurzame Oogst, 2e nota duurzame gewasbescherming – Nota van het kabinet over verduurzaming van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Deze volgt op de 1e nota voor de periode 2004-2010. Deze 2e nota geldt voor de periode 2013-2023. Online: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2013/05/14/gezonde-groei-duurzame-oogst-tweede-nota-duurzame-gewasbescherming.html> (zuletzt am 20. August 2015).

Norwegen:

Forskrift om plantevernmidler (Stand: 01. Juni 2015). Landbruks- og matdepartementet. Online: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-05-06-455/KAPITTEL_11#KAPITTEL_11 (zuletzt am 31. August 2015).

Schweden:

Lag (1984:410) om skatt på bekämpningsmedel (Stand: 01. August 2015). Finansdepartementet S2. Online: http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Lag-1984410-om-skatt-pa-bek_sfs-1984-410/ (zuletzt am 31. August 2015).

Anhang

Anhang A Begleitgruppe des Projekts

Tabelle A I Begleitgruppe des Projekts (BLW)

Person	
1	Briner, Simon
2	Félix, Olivier
3	Leute, Andrea
4	Reinhard, Eva
5	Zunder, Christine
6	Jérôme Frei
7	Martijn Sonneveld
8	Jan Waespe
9	Vinzenz Jung

Anhang B Richtwerte zur Anwendung von PSM zur Deckungsbeitragskalkulation (2014)

Tabelle A II Richtwerte der AGRIDEA und FiBL zur Anwendung von PSM in verschiedenen Kulturen in der Schweiz (in Klammern sind die jeweiligen Kosten angegeben)

Kultur	Gesamt (Kosten Gesamt)	Herbizide	Fungizide	Insektizide	Andere
Winterweizen intensiv	4 (277) + Beize	1 (84)	2 (152)	-	1 (41) Wachs.regu- lator
Winterweizen Extenso	1 (84) + Beize	1 (84)	-	-	-
Wintergerste Intensiv	4 (277) + Beize	1 (84)	2 (152)	-	1 (41) Wachs.regu- lator
Wintergerste Extenso	1 (84) + Beize	1 (84)	-	-	-
Raps intensiv	3 (307) + Beize	1 (145)	-	2 (162)	-
Raps Extenso	1 (145) + Beize	1 (145)	-	-	-
Mais intensiv	2 (223) + Beize	1 (91)	-	-	1 (132) Tricho- gramma
Zuckerrüben intensiv	6 (610) + Beize	4 (460)	2 (150)		
Speisekartoffeln intensiv Grosshandel	9 (639) + Beize	1 (105)	6 (360)	1 (84)	1 (90) Abbrenn- mittel
Tafeläpfel	44 (3417)	3 (189)	23 (1507)	10 (1095)	5 (120) Bakterizid 3 (506) Regulator
Reben Mittlerer Drahtbau Chasselas	11 (1400)	2 (100)	8 (1000)		1 (300) Verwir- rungstechnik

Quelle: AGRIDEA und FiBL, 2014

Anhang C Durchschnittliche Erträge in dt/ha für verschiedene Kulturen

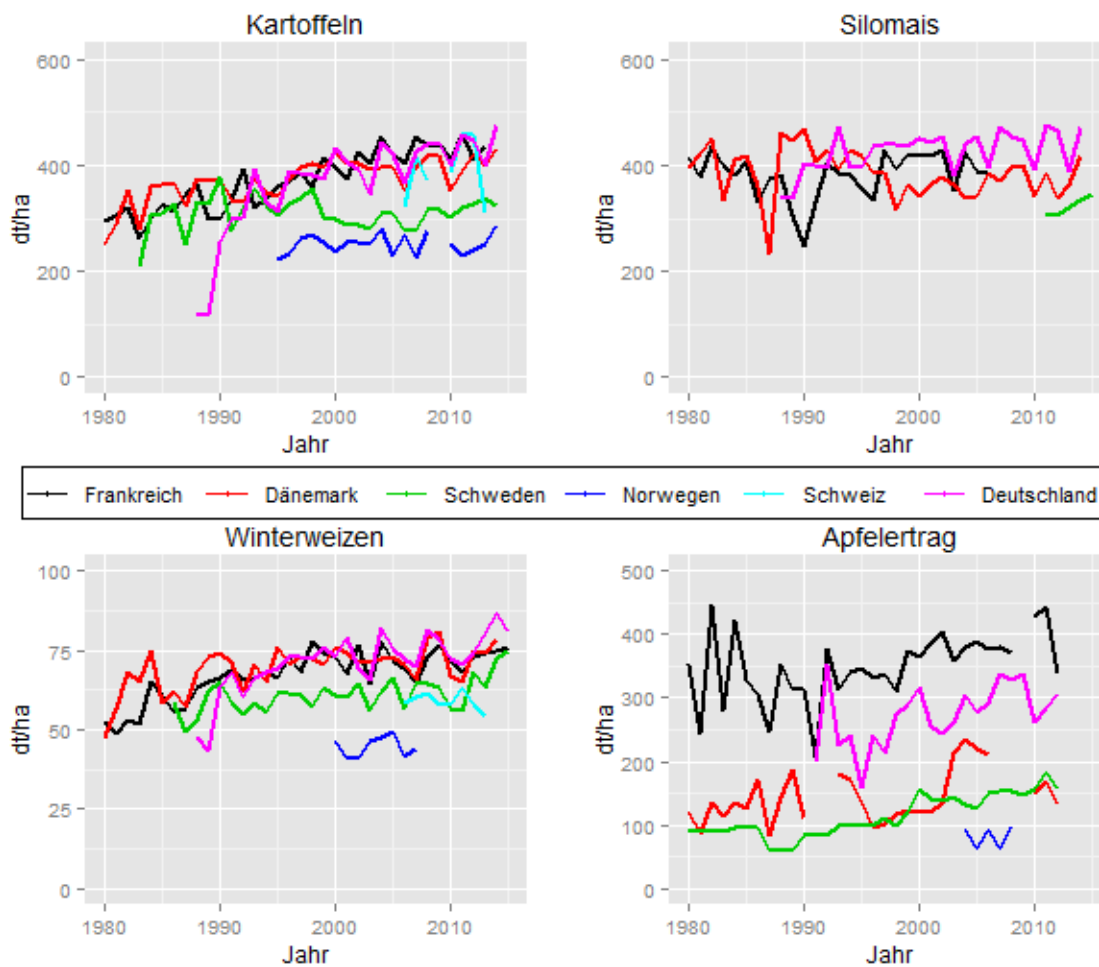


Abbildung A I Durchschnittliche Erträge in dt/ha für verschiedene Kulturen in ausgewählten europäischen Staaten

Quelle: Eurostat, 2015a.

FAO-Stat liefert auch vollständige Datenreihen zu Erträgen, allerdings beziehen sich diese Daten auf Schätzungen, die sich teilweise recht stark von den Eurostat-Daten unterscheiden.

IP Suisse ist die Vereinigung der integriert produzierenden Bäuerinnen und Bauern und als Verein organisiert. Die Eigenbeschreibung der Homepage lautet:

„IP Suisse ist eine Vereinigung von Bäuerinnen und Bauern, die auf ihren Familienbetrieben umweltschonend und tiergerecht Lebensmittel für den täglichen Bedarf produzieren. IP Suisse-Produkte sind gentechnikfrei und werden weitgehend ohne Einsatz von Fungiziden und Pestiziden hergestellt. Tiere auf IP Suisse-Bauernhöfen leben artgerecht, geniessen viel Auslauf und erhalten gesundes Futter.“

https://www.ipsuisse.ch/Web/Portrait_id319 (28. Mai 2015)

Im Jahr 2015 waren etwa 20.000 Landwirte Mitglied des Vereins. Zu den für IP Suisse relevanten Produktbereichen zählen derzeit unter den pflanzlichen Produkten Getreide (Weizen, Urinkel, Roggen, Emmer, Einkorn, Hartweizen und Mais), Kartoffeln, Raps und Mostobst. Auf der Seite der tierischen Produkte sind relevante Bereiche Wiesenmilch, Schlachtkühe, Bankviehtiere/Grossviehmast, Mastkälber, Schweine, Lämmer, Geflügel, Kaninchen und Eier sowie Seide und Honig.¹³⁵

Anforderungen und Richtlinien

Um Mitglied bei IP Suisse zu werden und seine Produkte zertifizieren zu lassen sind eine Reihe von Aspekten zu beachten. IP Suisse stellt zum einen gesamtbetriebliche¹³⁶ Anforderungen und zum anderen allgemeine Labelanforderungen¹³⁷ sowie programmspezifische Labelanforderungen und Richtlinien.

Zu den **gesamtbetrieblichen Anforderungen** zählen die Schweizer Herkunft (inklusive Fürstentum Liechtenstein), Einhaltung von Tierhaltungsbedingungen, Verbot von Gentechnik und GVO, Verbote bzw. Restriktionen bei der Verwendung von Siedlungsabfällen, Weide- und Auslaufansprüche bei Tieren sowie Pflicht zur Führung von Aufzeichnungen und Stallplänen. Des Weiteren gelten für die Betriebe die gesetzlichen Regelungen der Schweiz und die Einhaltung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN).¹³⁸

Auf Ebene der **allgemeinen Labelanforderungen** werden Anforderungen bezüglich Biodiversität sowie Sicherheit und Schulungen an den Betrieb gestellt. Betriebe können an verschiedenen Biodiversitätsmassnahmen teilnehmen. Zur Überprüfung dient ein Punktesystem, welches für jede Massnahme bestimmte Punkte verteilt.¹³⁹

¹³⁴ Alle Informationen stammen von der Vereinshomepage: <https://www.ipsuisse.ch/> (28. Mai 2015).

¹³⁵ Für Seide und Honig sind keine Richtlinien veröffentlicht.

¹³⁶ Als „gleicher Betrieb“ gelten sowohl geografische Einheiten (=Ställe verschiedener Besitzer auf demselben Betrieb), als auch juristische Einheiten (=örtlich getrennte Ställe desselben Besitzers bzw. derselben Betriebsgemeinschaft).

¹³⁷ Diese beziehen sich auch auf Betriebsebene.

¹³⁸ <https://www.ipsuisse.ch/CMS/ModanFileHandler.axd?DateiGUID=e80e715e-a38e-4d1d-9a99-4c4909c0ff22>

¹³⁹ <https://www.ipsuisse.ch/CMS/ModanFileHandler.axd?DateiGUID=378b4754-de00-451a-82cf-f484eb591df7>

Des Weiteren werden je nach Produkt *programmspezifische Labelanforderungen* gestellt. Beispielsweise ist beim Anbau von Brotgetreide der Einsatz von Wachstumsregulatoren, Fungiziden, Insektiziden und chemisch-synthetischen Stimulatoren auf der gesamten Anbaufläche und auf Parzellen im Grenzgebiet verboten. Zudem sind Beizungen mit Insektiziden und Herbizidbehandlungen im Voraufbau nicht erlaubt.¹⁴⁰

Prämien

Neben dem Marktpreis/Richtpreis erhalten die Produzenten eine IP Suisse-Prämie. Ausserdem kann es bei bestimmten Fördersorten oder unter bestimmten Umständen (z.B. bei schlechten Ernteverhältnissen) zusätzlich zu Bonuszahlungen kommen. Die Prämien variieren je nach Produkt:

Tabelle A III Ausgewählte IP Suisse Prämien in 2014

Produkt:	Weizen	Roggen	Raps	Bankvieh	Kühe BTS und RAUS
Prämie:	3,75–6,50 CHF/dt	8 CHF/dt	7 CHF/dt	50–70 Rp./kg SG	20 Rp./kg SG

¹⁴⁰ <https://www.ipsuisse.ch/CMS/ModanFileHandler.axd?DateiGUID=187e8f42-e809-4b19-be18-66a07a4f1190>

Anhang E Beispiele zur Besteuerung von verschiedenen PSM in Schweden, Norwegen, Dänemark und Frankreich

Tabelle A IV Ausgewählte PSM und deren Besteuerung in Schweden, Norwegen, Dänemark und Frankreich

PSM-Typ	Produktname, kann je nach Land unterschiedlich sein	Wirkstoffgehalt	Schweden		Norwegen		Dänemark		Frankreich	
			€/kg or l (SEK/kg oder l)	€/ha (SEK/ha)	€/kg or l (NOK/kg oder l)	€/ha (SEK/ha)	€/kg or l (DKK/kg oder l)	€/ha (DKK/ha)	€/kg oder l	€/ha
Fungizid	Acanto® 250 SC/Aproach® (SAD in NO = 1000 ml)	Picoxystrobin 250 g/l	0,91 (8,50)	0,91 (8,50)	14,45 (125,00)	14,45 (125,00)	13,54 (101,00)	13,54 (101,00)	0,50	0,50
Fungizid	Amistar® (SAD in NO = 1000 ml/ha)	Azoxystrobin 250 g/l	0,91 (8,50)	0,91 (8,50)	8,67 (75,00)	8,67 (75,00)	5,50 (41,00)	5,50 (41,00)	1,28	1,28
Fungizid	Comet® (SAD in NO = 1000 g/ha)	Pyraoxystrobin 250 g/l	0,91 (8,50)	0,91 (8,50)	8,67 (75,00)	8,67 (75,00)	13,00 (97,00)	13,00 (97,00)	1,28	1,28
Fungizid	Stereo® 312,5 EC (SAD in NO = 1500 ml/ha)	Cyprodinil 250 g/l	1,14 (10,63)	1,71 (15,94)	9,63 (83,33)	14,45 (125,00)	20,91 (156,00)	31,37 (234,00)	-	-
Fungizid	Switch® 62,5 WG (SAD in NO = 500 g/ha)	Propiconazol 62,5 g/l Cyprodinil 375 g/kg	3,64 (34,00)	1,82 (17,00)	28,90 (250,00)	14,45 (125,00)	14,34 (107,00)	7,17 (53,50)	1,25	0,63
Fungizid	Talius® (SAD in NO = 250 ml/ha)	Proquinazid 200 g/l	-	-	57,80 (500,00)	14,45 (125,00)	-	-	1,02	0,26
Wachstums-	Moddus® M/Moxa® (SAD in NO = 400 ml/ha)	Trinexapac-ethyl 250 g/l	0,91 (8,50)	0,36 (3,40)	3,61 (31,25)	1,45 (12,50)	4,42 (33,00)	1,77 (13,20)	0,50	0,20
Herbizid	Ally® Class 50 WG/Allié® (SAD in NO = 50g/ha)	Metsulfuron-methyl 100 g/kg Carfentrazon-ethyl 400 g/kg	1,82 (17,00)	0,09 (0,85)	28,90 (250,00)	1,45 (12,50)	-	-	1,00	0,05
Herbizid	Basagran® SG (SAD in NO = 1600 g/ha)	Bentazon 870 g/kg	3,17 (29,58)	5,07 (47,33)	5,42 (46,88)	8,67 (75,00)	15,15 (113,00)	24,24 (180,80)	1,74	2,78
Herbizid	Boxer® (SAD in NO = 5000 ml/ha)	Prosulfocarb 800 g/l	2,91 (27,20)	14,56 (136,00)	2,89 (25,00)	14,45 (125,00)	16,62 (124,00)	83,11 (620,00)	-	-
Herbizid	Express® Gold SX/CDQ® (SAD in NO = 34 g/ha)	Tribenuron-methyl 222,2 g/kg Metsulfuron-methyl 111,1 g/kg	-	-	42,50 (367,65)	1,45 (12,50)	16,76 (125,00)	0,57 (4,25)	-	-
Herbizid	Gratil® 75 WG (SAD in NO = 60 g/ha)	Amidosulfuron 750 g/kg	2,73 (25,50)	0,16 (1,53)	144,51 (1250,00)	8,67 (75,00)	-	-	1,50	0,09
Herbizid	Hussar® OD (SAD in NO = 100 ml/ha)	Iodosulfuron 100 g/l	-	-	14,45 (125,00)	1,45 (12,50)	6,30 (47,00)	0,63 (4,70)	-	-
Herbizid	MaisTer® (SAD in NO = 150 g/ha)	Foramsulfuron 300 g/kg Iodosulfuron-methyl-sodium 10	1,13 (10,54)	0,17 (1,58)	9,63 (83,33)	1,45 (12,50)	11,13 (83,00)	1,67 (12,45)	-	-
Herbizid	Roundup® Max/Roundup® (SAD in NO = 2000 g/ha)	Glyphosat 680 g/kg	2,48 (23,12)	4,95 (46,24)	0,72 (6,25)	1,45 (12,50)	9,79 (73,00)	19,57 (146,00)	1,36	2,72
Insektizid	Biscaya® OD 240 (SAD in NO = 400 ml/ha)	Thiacloprid 240 g/l	0,87 (8,16)	0,35 (3,26)	36,13 (312,50)	14,45 (125,00)	16,09 (120,00)	6,43 (48,00)	1,22	0,49
Insektizid	Calypso® 480 SC (SAD in NO = 200 ml/ha)	Thiacloprid 480 g/l	1,75 (16,32)	0,35 (3,26)	101,16 (875,00)	20,23 (175,00)	-	-	2,45	0,49
Insektizid	Corfi dor® 70 WG (SAD in NO = 200 g/ha)	Imidacloprid 700 g/kg	2,55 (23,80)	0,51 (4,76)	7,23 (62,50)	1,45 (12,50)	5,23 (39,00)	1,05 (7,80)	-	-
Insektizid	Karate® 5 CS/Karate® (SAD in NO = 150 ml/ha)	Lambda-cyhalothrin 50 g/l	0,18 (1,70)	0,03 (0,26)	96,34 (833,33)	14,45 (125,00)	-	-	0,26	0,04
Insektizid	Steward® 30 WG (SAD in NO = 250 g/ha)	Indoxacarb 300 g/kg	1,09 (10,20)	0,27 (2,55)	57,80 (500,00)	14,45 (125,00)	102,01 (761,00)	25,50 (190,25)	1,53	0,38

Erläuterungen: Beträge in Klammern sind die jeweiligen Steuern in der Landeswährung (Wechselkurse: € : SEK | NOK | DKK; 1 : 9,34 | 8,65 | 7,46). Kosten je Hektar wurden auf Basis der norwegischen SAD berechnet, damit eine einheitliche Grundlage für den Vergleich besteht, auch wenn die maximale Anwendungsmenge sich von Land zu Land unterscheiden kann. Ausgewählt wurden die PSM anhand folgender Kriterien: 1) Verfügbarkeit in Norwegen, 2) Wichtigkeit des PSM, 3) Produktvielfalt (PSM-Typ und Eigenschaften), 4) Verfügbarkeit in anderen Ländern. Quellen: Eigene Darstellung; Listen mit registrierten PSM und deren Besteuerung können unter folgenden Quellen gefunden werden: KEMI, 2015 (Schweden); Mattilsynet, 2015 (Norwegen); MEDDE, 2015 (Frankreich); Miljø- og Fødevareministeriet, 2015 (Dänemark); SEGES P/S, 2015 (Dänemark).

Erwartungsnutzenansätze (oder Sicherheitsäquivalentansätze) benötigen häufig eine Spezifizierung des Niveaus der Risikoaversion, was mit grossen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten verbunden sein kann (z.B. Hardaker et al., 2004).¹⁴¹ Um dies zu umgehen, werden teilweise stochastische Dominanzkriterien angewendet, die keine Spezifizierung, sondern nur die Festlegung auf das Vorhandensein von Risikoaversion benötigen. Ziel der Anwendung dieser Kriterien ist es, Alternativen auszuschliessen, welche von Anderen dominiert werden und daher nicht optimal sein können. Je nach Annahme bezüglich der Nutzenfunktion können stochastische Dominanzkriterien beliebiger Ordnung angewandt werden (siehe Chavas, 2004, S. 53ff. für die generische Darstellung). Beispielhaft sei die stochastische Dominanz erster Ordnung illustriert. Für Alternativen A und B (z.B. PSM-Einsatz Ja vs. Nein) gilt, A dominiert B stochastisch, wenn mögliche Auszahlungen von A und B gleich wahrscheinlich sind und zusätzlich die Eintrittswahrscheinlichkeit zumindest für eine Auszahlung höher ist bei Alternative A. Die Anwendung dieser Kriterien geht mit einer stark reduzierten Teststärke zur Diskriminierung zwischen verschiedenen Alternativen dieses Kriteriums einher. Anwendungen von stochastischen Dominanzkriterien zu PSM finden sich z.B. in Musser et al. (1981) und McGuckin (1983). Als Kompromiss werden Zwischenlösungen, wie z.B. *generalized stochastic dominance* oder *stochastic efficiency with respect to a function* (Hardaker et al., 2004) angewendet, die Aussagen über bestimmte Bereiche von Risikoaversion erlauben. Deen et al. (1993) präsentieren eine Anwendung für den Herbizideinsatz. Nachteil bei diesen Kriterien ist unter anderem, dass nur diskrete Anwendungsstrategien miteinander verglichen werden können.

Ein weiterer Kritikpunkt am Erwartungsnutzenkonzept ist die Annahme von Kontinuität, so dass infinitesimale Änderungen in (Eintritts-)Wahrscheinlichkeiten keine abrupten Änderungen in Präferenzordnungen hervorrufen. Jedoch können gewisse Grenz- oder Schwellenwerte für Entscheidungen unter Unsicherheit relevant sein. Insbesondere ist das Erreichen von minimalen Zielen zentral, die zum Beispiel Subsistenzniveaus oder zu deckende Ausgaben (z.B. den Kapitaleinsatz) widerspiegeln. Die Orientierung liegt also primär auf Ausfallrisiken (*downside risks*). So genannte *safety first*-Kriterien erlauben es, die unterschiedlichen Präferenzen von Entscheidungsträgern bezüglich Abweichungen unter und über diesen Schwellen abzubilden. Hier seien nur beispielhaft einige dieser Kriterien erörtert. Nach dem von Roy (1952) formulierten Kriterium wird die Option gewählt, welche die Wahrscheinlichkeit die kritische Schwelle z zu unterschreiten minimiert, d.h. $\text{Min Pr}(a \leq z)$. Dies bedeutet, dass die Nutzenfunktion einer Stufenfunktion entspricht, bei der Ergebnisse unter dem Schwellenwert z keinen Wert, aber die Auszahlungen darüber alle den identischen Wert zugeordnet bekommen (Chavas, 2004, S. 81).

¹⁴¹ Diese Spezifizierung im Erwartungsnutzenansatz erlaubt es aber, im Gegensatz zu stochastischen Dominanzkriterien, ein eindeutiges Ranking zwischen Alternativen (Pannell, 1991).

Das von Kataoka (1963) formulierte Kriterium sieht hingegen die Wahl der Alternative vor, die bei einer durch den Entscheidungsträgerin oder Entscheidungsträger gegebenen Wahrscheinlichkeit (Toleranz) ein kritisches Niveau unterschreitet (α) und die Höhe des daraus resultierenden Minimumniveaus maximiert, d.h. $\text{Max } z \text{ s. t. } \Pr(a \leq z) \leq \alpha$ (Kataoka, 1963, S. 181). Hier wird also im Gegensatz zum Roy-Kriterium nicht die kritische Schwelle, sondern die maximale Wahrscheinlichkeit diese zu unterschreiten fixiert (zu den beiden Kriterien geben z.B. Prigent und Toumi (2005) Details und Anwendungen). Ein Kritikpunkt an den obigen Kriterien ist, dass nicht berücksichtigt wird, in welchem Masse die Schwellenwerte überschritten werden. In die von Telser (1955) vorgeschlagene Erweiterung, wird nun eine Maximierung des erwarteten Einkommens unter der Nebenbedingung angestrebt, dass die Wahrscheinlichkeit das kritische Niveau z nicht zu erreichen, ein gewissen Niveau α nicht überschreitet, d.h. $\text{Max } E(x) \text{ s. t. } \Pr(a \leq z) \leq \alpha$ (Telser, 1955, S. 2). Dieses Kriterium entspricht nun einer Nutzenfunktion, die zwar höhere Auszahlungen nun auch höhere Nutzenniveaus zuordnet (im Gegensatz zum Roy-Kriterium), aber für Realisationen unter und über dem Schwellenwert durch einen „Sprung“ gekennzeichnet ist (diskontinuierliche Nutzenfunktion) (Chavas, 2004, S. 82).

Im Kontext von PSM würden diese Kriterien nun widerspiegeln, dass Landwirtinnen und Landwirte PSM einsetzen, um gewisse Minimalsschwellen nicht zu unterschreiten (z.B. eingesetzte, in dem Moment versunkene Kosten, Zilerträge oder Zielqualitäten). Anwendungen in diesem Kontext sind jedoch rar. Webster (1977) verwendet safety first-Ansätze, um die Entscheidung der Landwirtin oder des Landwirts, PSM anzuwenden, abzubilden. Insbesondere nimmt Webster (1977, S. 251) an, dass so lange PSM angewendet wird, bis die Erlöse zu einem bestimmten Prozentsatz (90%) kostendeckend sind. Dieses Beispiel zeigt, dass auch kontinuierliche Anwendungsprobleme (Anzahl der PSM-Anwendungen) als Serie von binären Entscheidungen (PSM-Anwendung ja oder nein) abgebildet werden können. Des Weiteren verwenden Hanson et al. (2004) safety first-Kriterien, um die Wahl zwischen biologischen und konventionellen Anbausystemen abzubilden.

Die oben beschriebenen Ansätze fokussieren sich auf die Analyse der optimalen Mengen von Inputeinsätzen (z.B. bzgl. PSM), aber nicht die optimalen Zeitpunkte des Einsatzes. Die real existente Flexibilität, ob und wann der Inputeinsatz erfolgen kann, werden in der Regel nicht explizit berücksichtigt. Unsicherheit über zukünftige Umweltzustände (z.B. die Entwicklung des Schaderregerdrucks) kreiert jedoch Optionswerte dieser Flexibilität. Zum Beispiel kann ein Einsatz von PSM verschoben werden, um neue Informationen zur Entwicklung des Schaderregerdrucks zu berücksichtigen. Bei dieser Entscheidung des Verschiebens gilt es, Risiken (erwarteter Schaden durch Schaderreger) und Nutzen (geringere Kosten durch vermiedenen Inputeinsatz) abzuwägen. Das finanzielle Bewerten dieser „realen“ Option und deren Berücksichtigung in der Entscheidung verändern die Gesamtperspektive bezüglich des optimalen (generellen) PSM-Einsatzes. Dieser Ansatz wird häufig zur Analyse von Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit eingesetzt, bei denen eine zumindest partielle Irreversibilität vorhanden ist (z.B. geben Dixit und Pindyck (1994) einen Überblick). Auch die Anwendung von PSM wird als solche irreversible Investitionsentscheidung verstanden (eingesetzte PSM können nicht wieder veräußert werden), was die Anwendung des Realoptionsansatzes attraktiv macht (Wessler, 2014). Es gibt bisher wenige Arbeiten, die die Flexibilität und Irreversibilität des Einsatzes von PSM detailliert abbilden (Saphores, 2000; Ndeffo-Mbah et al., 2010). Es zeigt sich, dass

selbst wenn der erwartete Gewinn (oder Nutzen) einer PSM-Anwendung positiv ist, eine Verzögerung der Anwendung präferiert werden kann.¹⁴² Als ein Kernaspekt wird hier die Vorhersagekapazität bezüglich des Auftretens und der Schadensimplikation des Schaderregerdrucks identifiziert. Ndeffo-Mbah et al. (2010) zeigen, dass bei hoher Vorhersagekapazität die Wahrscheinlichkeit PSM einzusetzen sehr hoch ist. Im Gegensatz dazu führt in einem sehr volatilen System die Berücksichtigung des Optionswertes der Flexibilität tendenziell dazu, dass weniger PSM eingesetzt werden. Ausserdem muss eine solche Verzögerungsstrategie nicht zwingend mit deutlichen Gewinneinbussen einhergehen (ebd.). Aufgrund der hohen mathematischen Komplexität des Realoptionsansatzes ist dieser in Anwendung auf PSM-Einsatz nur für stilisierte Probleme anwendbar.

Wie bereits gezeigt, spielt die Unsicherheit bezüglich der potentiell eintretenden Umweltzustände eine zentrale Rolle für die Entscheidungen betreffend den Einsatz von PSM. Zum einen resultiert daraus eine Unsicherheit unter der Entscheidungen getroffen werden. Zum anderen eröffnet dies auch Möglichkeiten, auf das Eintreffen bestimmter Zustände flexibel zu reagieren (Berg, 2012). Hier würde dies bedeuten, dass PSM erst bei entsprechendem Schaderregerdruck angewendet werden. Der zustandsabhängige Ansatz (Chambers und Quiggin, 2002) verbindet diese Komponenten in einem konsistenten theoretischen Ansatz. Diese Perspektive beinhaltet wieder die schon im vorherigen aufgezeigte Relevanz der zeitlichen Dimension betreffend von Entscheidungen. Die Kritik an den auf (stochastischen) Produktionsfunktionen beruhenden Ansätzen (siehe Ausführungen zum Erwartungsnutzenansatz) ist, dass diese die tatsächliche (flexible) Entscheidungssituation nicht widerspiegeln können. Im zustandsabhängigen Ansatz wird die im jeweiligen Zustand optimale Handlung (z.B. PSM-Einsatz) berücksichtigt, um eine Produktions- und damit Einkommensmöglichkeitenkurve zu realisieren, welche Grundlage zur Ableitung optimaler Entscheidungen ist. PSM sind ein Beispiel für zustandsabhängige Inputs, da sie gegebenenfalls nur unter bestimmten Witterungsbedingungen Ertragswirksam sind (Rasmussen, 2003). Adamson (2010) zeigt eine Anwendung für *Helicoverpa spp. (heliiothis)* in Baumwolle, Getreide und Gartenbauproduktion im Murray-Darling-Becken (Australien) mit besonderem Fokus auf möglichen Änderungen von Klimazuständen, die den Schaderregerdruck erhöhen könnten. Aufgrund der Komplexität des Ansatzes sind Anwendungen in empirischer Forschung jedoch bis auf wenige Ausnahmen noch rar (Berg, 2012). Der zustandsabhängige Ansatz hat jedoch „seine Stärke in der theoretischen Analyse aufgrund seiner machtvollen Möglichkeiten der Deduktion“ (Berg, 2012, S. 27).

Trotz der klaren Relevanz und Realitätsnähe der beiden obigen dynamischen Ansätze (Realoptions- und zustandsabhängiger Ansatz), werden diese aufgrund der stark eingeschränkten Anwendbarkeit in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt. Nichtsdestotrotz nutzen wir die hier zusammengefassten Informationen, um gewählte Ansätze kritisch zu hinterfragen und auf etwaige Einschränkungen und Potentiale hinzuweisen. Zudem wird der dynamische Aspekt in Fragen des PSM-Einsatzes deutlich in den Vordergrund gestellt.

¹⁴² Die Verzögerung des Anwendungszeitpunktes kann somit auch zu einer Reduktion des eingesetzten Menge PSM führen (Kuosmanen et al., 2006).

Anhang G Beweis der höheren marginalen Schadvermeidung bei hohem Schaderregerdruck

Ausgangsthese ist, dass die marginale Schadvermeidung (gemessen in absoluten Einheiten des Ertrages) durch PSM-Einsatz in Situationen mit hohem Schaderregerdruck, d.h. tiefen ω , grösser ist als in Situationen von kleinem Schaderregerdruck, d.h. hohen ω . Dies wird im Folgenden anhand einer vereinfachten Situation zweier möglicher Zustände ω^h und ω^t illustriert, die hohe und tiefe Ausprägungen von ω , also tiefen und hohen Schaderregerdruck symbolisieren. Die Varianz ist hier definiert als

$$\text{Var}(d(x, \omega)) = P(\omega = \omega^h)[d(x, \omega^h) - E(d(x, \omega))]^2 + (1 - P(\omega = \omega^h))[d(x, \omega^t) - E(d(x, \omega))]^2$$

Dabei ist $E(d(x, \omega)) = P(\omega = \omega^h)d(x, \omega^h) + (1 - P(\omega = \omega^h))d(x, \omega^t)$. Daher lässt sich obiger Term vereinfachen zu:

$$\text{Var}(d(x, \omega)) = (P(\omega = \omega^h) - P(\omega = \omega^h)^2)[d(x, \omega^h)^2 + d(x, \omega^t)^2 - 2d(x, \omega^h)d(x, \omega^t)]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \text{Var}(d(x, \omega))}{\partial x} &= (P(\omega = \omega^h) - P(\omega = \omega^h)^2)[2d(x, \omega^h) \frac{\partial d(x, \omega^h)}{\partial x} + 2d(x, \omega^t) \frac{\partial d(x, \omega^t)}{\partial x} \\ &\quad - 2d(x, \omega^t) \frac{\partial d(x, \omega^h)}{\partial x} - 2d(x, \omega^h) \frac{\partial d(x, \omega^t)}{\partial x}] \end{aligned}$$

Die Terme zusammenfassend zeigt sich, dass $\frac{\partial \text{Var}(d(x, \omega))}{\partial x} < 0$ ist, wenn $[d(x, \omega^h) - d(x, \omega^t)] \left(\frac{\partial d(x, \omega^h)}{\partial x} - \frac{\partial d(x, \omega^t)}{\partial x} \right) < 0$ ist. Dies ist nur der Fall¹⁴³, wenn $\frac{\partial d(x, \omega^h)}{\partial x} > \frac{\partial d(x, \omega^t)}{\partial x}$. Das heisst, wenn die marginale Schadensreduktion in $\omega = \omega^t$ grösser als in $\omega = \omega^h$ sein muss.

¹⁴³ Für den Schaden d muss gelten, $d(x, \omega^h) < d(x, \omega^t)$.

ZA-AUI Datenbank

Das Kompetenzzentrum des Bundes für landwirtschaftliche Forschung Agroscope ist für die zentrale Auswertung der Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) in der Schweiz verantwortlich. Die Daten werden seit 2009 aus einem Betriebsnetz, bestehend aus AUI-Betrieben, erhoben, gesammelt und ausgewertet. Mit diesen Daten wird der Einfluss der Landwirtschaft auf die Umwelt regional und auf Betriebsebene ermittelt.

Zu den Agrarumweltindikatoren zählen Stickstoff, Phosphor, Energie und Klima, Wasser (inkl. dem Einsatz von PSM sowie deren Risiko auf die aquatische Ökotoxizität), Boden und Biodiversität. Die Resultate der einzelnen Indikatoren werden jeweils im Vierjahresturnus im Agrarbericht des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) veröffentlicht.

Pesticide Properties Database (PPDB)

Die Pesticide Properties Database wurde von der Agriculture & Environmental Research Unit (AERU) der Universität Hertfordshire entwickelt. Sie enthält zahlreiche Informationen zu PSM, mit dem Ziel die Risiko Abschätzung und das Risiko Management zu vereinfachen.

Die Datenbank enthält allgemeine Informationen über die Wirkstoffe und deren Anwendungsbereiche (geografisch, rechtlich und produktkategorisch). Ebenso sind physikochemische, ökotoxische und chemische Eigenschaften angegeben. Auch Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind zu finden.

BLW Pflanzenschutzmittelverzeichnis

Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) der Schweiz führt ein kostenlos und online zugängliches Pflanzenschutzmittelverzeichnis (ISSN 2235-171X). Darin befinden sich die in der Schweiz zugelassenen PSM. Ebenso findet man Produkte, die im Ausland bewilligt sind und den in der Schweiz bewilligten PSM entsprechen, wodurch der Parallelimport möglich ist. Die Datenbank wird laufend aktualisiert, sodass Produkte, deren Bewilligung abgelaufen ist oder die von der Parallelimportliste zurückgezogen worden sind, nach einer Frist gelöscht werden.

Für die PSM werden Informationen über die Produktkategorie (Insektizid, Herbizid, etc.), Bewilligungsinhaber, Eidgenössische Zulassungsnummer, Formulierungscode, Wirkstoffen, Gehalt der Wirkstoffe in %, Anwendungsgebiet, Schaderreger, Dosierungshinweise, Auflagen und Gefahrenkennzeichnungen angeboten. Ist die Bewilligung bald beendet, wird die Ausverkaufs- und Aufbrauchfrist angezeigt.

Anhang I Beschreibung verwendeter PSM Preise

In diesem Anhang werden die verwendeten **Preisdaten** aus den AGRIDEA bzw. FEN-ACO/LANDI Preiskatalogen für 2009-2013 beschrieben.

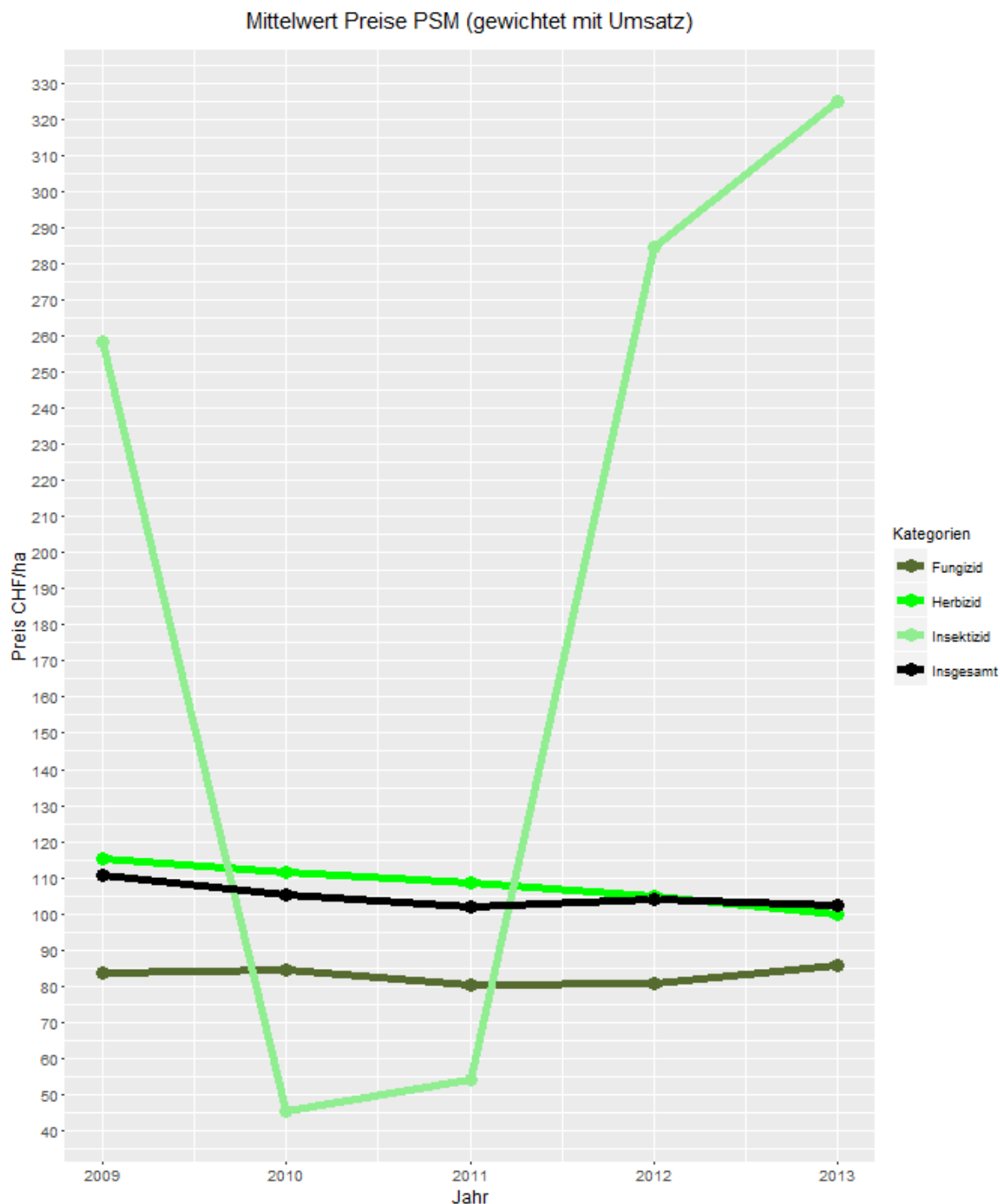


Abbildung A II Überblick PSM-Preise

Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der Erstellung der Preisdatenbank wurden evtl. fehlende Werte für einzelne Jahre jeweils interpoliert aus dem tatsächlich bekannten Preis eines anderen Jahres und der aus dem Sample

errechneten Preissteigerungsrate für die betreffende PSM-Kategorie (Herbizid, Fungizid, Insektizid, Andere). Abbildung A III zeigt die Preisentwicklung der im Sample verwendeten PSM in CHF/ha. Dabei wurden die einzelnen Preise jeweils mit dem Anteil des Produktes am Gesamtumsatz der PSM-Kategorie gewichtet. Die Preisentwicklung bei den Insektiziden zeigt extreme Ausschläge. Dies lässt sich zum einen darauf zurückführen, dass das verwendete Sample wenig repräsentativ für den Schweizer Insektizideinsatz ist, da von den betrachteten Kulturen nur in Kartoffeln ein nennenswerter Einsatz zu verzeichnen ist (vgl. Abbildung 16). Dadurch entsteht eine starke Abhängigkeit des errechneten mittleren Preises von dem spezifischen Schaderregerdruck in einer Kultur. Fungizide und Herbizide hingegen wurden im Sample deutlich häufiger eingesetzt (und in mehr Kulturen) und weisen einen deutlich weniger sprunghaften Verlauf auf. Dass der Umsatz mit Insektiziden nur einen sehr geringen Teil des Gesamtumsatzes an PSM im Sample ausmacht, lässt sich auch daran sehen, dass es nur einen sehr geringen Effekt auf den Verlauf der Preisentwicklung über alle Kategorien gibt. Zum anderen ist der sprunghafte Verlauf jedoch auch ein Indikator dafür, dass beim Insektizideinsatz zwischen den Jahren ein deutlicher Unterschied bzgl. der eingesetzten PSM auftritt. Insgesamt lässt sich für das Sample feststellen, dass die Preise eingesetzter PSM im Mittel von 2009-2013 leicht abnahmen, wobei dies hauptsächlich für die Herbizide zutrifft, wohingegen der mittlere Preis für Fungizide in etwa gleich blieb. Berücksichtigt man die Ergebnisse der Meta-Studie über die Preiselastizität der Nachfrage für PSM (5.1.1), lässt sich ein eher marginaler Einfluss der Preisentwicklung für PSM von 2009-2013 auf den PSM-Einsatz erwarten.

Anhang J Ergebnistabellen Kapitel 6.2 (Empirische Analyse des Zusammenhangs zwischen Versicherungsnutzung und dem PSM Einsatz im Schweizer Ackerbau)

Tabelle A V Zweiter Schritt Regressionsanalyse: Log Pflanzenschutzausgaben als abhängige Variable

	Koeffizienten (bootstrapped Std. Fehler) & Signifikanzlevel
Grasland Instr.	-0.15 (0.13)
Weizen intensiv Instr.	-0.01 (0.10)
Weizen extensiv Instr.	0.13 (0.13)
Hackfrüchte Instr.	0.10 (0.06)
Versicherung Instr.	0.69 (0.47)
Alter	0.00 (0.01)
Ausbildung	-0.22 (0.30)
Log Dünger Ausgaben	0.07 (0.06)
Temperatur 2010	-0.12 (0.23)
Niederschlag 2010	-0.00 (0.00)
Konstante	7.77*** (2.34)

*, ** und *** bezeichnen jeweils Signifikanzlevel von 10%, 5% und 1%.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle A VI Zweiter Schritt Regressionsanalyse: Wirkstoffmenge als abhängige Variable

	Koeffizienten (bootstrapped Std. Fehler) & Signifikanzlevel
Grasland Instr.	113.37 (255.68)
Weizen intensiv Instr.	-144.40 (224.64)
Weizen extensiv Instr.	-90.08 (298.85)
Hackfrüchte Instr.	391.82** (158.46)
Versicherung Instr.	733.88 (700.59)
Alter	6.30 (18.80)
Ausbildung	440.64 (700.80)
Log Dünger Ausgaben	44.17 (100.00)
Temperatur 2010	47.41 (472.48)
Niederschlag 2010	-1.74 (1.10)
Konstante	1113.31 (4653.40)

*, ** und *** bezeichnen jeweils Signifikanzlevel von 10%, 5% und 1%.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle A VII Zweiter Schritt: Korrelationskoeffizienten der Systemschätzung

	Korrelationskoeffizienten (Std. Fehler) & Signifikanzlevel
Atanrho 1_2	0.68*** (0.10)
Atanrho 1_3	0.32*** (0.09)
Atanrho 2_3	0.51*** (0.16)

*, ** und *** bezeichnen jeweils Signifikanzlevel von 10%, 5% und 1%.

Atanrho steht für die (arc-Tangens hyperbolicus) transformierten, unbegrenzten Korrelationskoeffizienten eines Paares von Gleichungen (siehe Roodman, 2007).

Quelle: Eigene Berechnungen.