



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 101 | Ausgabe 3

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Pflanzenschutz morgen – Was kann Agrarökonomie beitragen?

von Martin Odening, Günther Filler

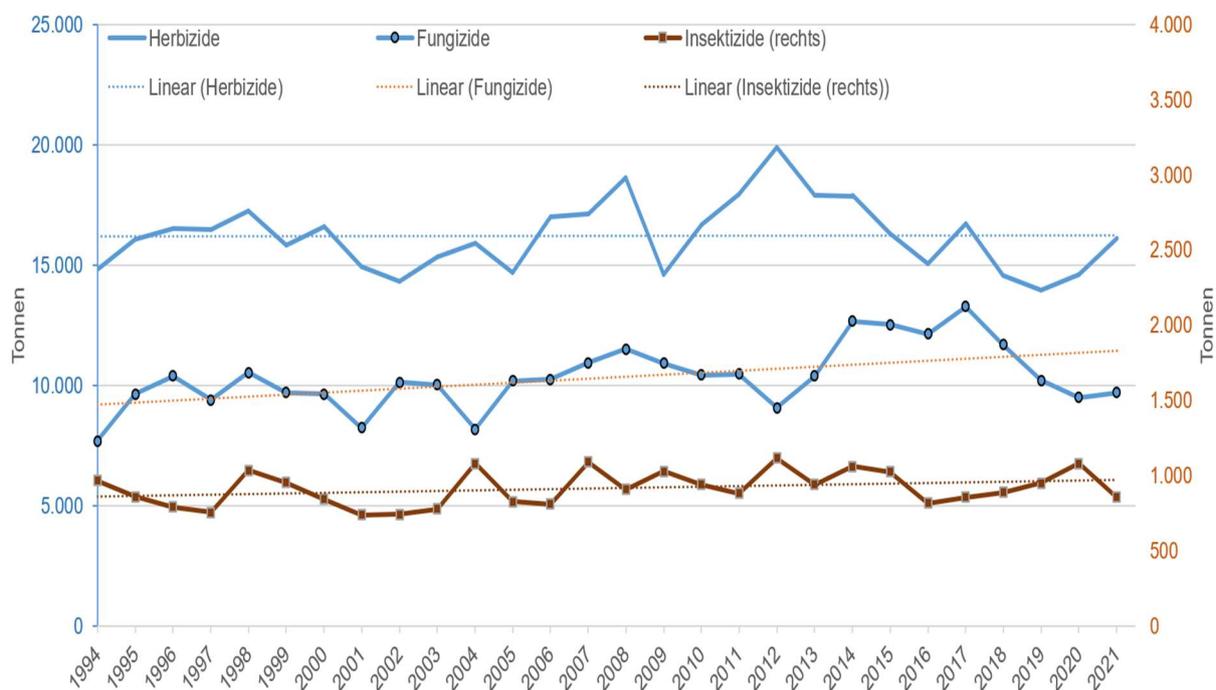
1 Einleitung

Die Deutsche Pflanzenschutztagung stand 2023 unter dem Motto „Pflanzenschutz morgen – Was kann Wissenschaft beitragen?“. In einer Plenarveranstaltung wurde aus verschiedenen wissenschaftlichen Perspektiven sowie aus Sicht der Praxis diskutiert, welche Faktoren und Rahmenbedingungen eine Transformation des Agrarsektors in Deutschland und der EU in Bezug auf den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel (PSM) erforderlich machen, ob diese (politischen) Rahmenbedingungen angemessen erscheinen und auf welche Wegen eine Transformation erreicht werden kann. In dem vorliegenden Beitrag wird überblicksartig dargestellt, welche Rolle der Agrarökonomie dabei zukommen kann. Der Beitrag gliedert sich in vier Teile. Zunächst werden die Entwicklung und der Status Quo des Einsatzes von chemischen Pflanzenschutzmitteln in Deutschland dargestellt. Nach dieser Beschreibung der Ausgangslage werden gesellschaftliche und politische Erwartungen an den Pflanzenschutz diskutiert, die auf eine Veränderung der gegenwärtigen Praxis in Agrar- und Gartenbaubetrieben dringen. Im Hauptteil des Beitrags werden dann relevante Fragestellungen herausgearbeitet, zu deren Beantwortung die agrarökonomische Forschung einen Beitrag leisten kann. Dabei wird auf wissenschaftliche Herausforderungen, zur Verfügung stehende Daten, dabei verwendete Methoden sowie auf Ergebnisse ausgewählter Studien eingegangen, die prototypischen Charakter für agrarökonomische Forschung in diesem Bereich haben. Der Beitrag schließt mit Empfehlungen für die Ausrichtung und Organisation agrarökonomischer Forschung im Bereich des chemischen Pflanzenschutzes.

2 Bedeutung und Entwicklung des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel in Deutschland

Inlandsabsatz an Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden von 1994 bis 2021

Hersteller und Vertreiber von Pflanzenschutzmitteln sind gemäß § 64 des Pflanzenschutzgesetzes verpflichtet, dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) jährlich die Mengen der Pflanzenschutzmittel und darin enthaltenen Wirkstoffe zu melden, die im Inland abgegeben oder ausgeführt wurden (BVL, 2023). Im Zeitraum 1994 bis 2021 schwankte der Absatz von Herbiziden zwischen knapp 14.000 t (2019) und knapp 20.000 t (2012). Im Mittel waren es 16.213 t (Abbildung 1, linke Achse). Im Jahr 2021 wurden 16.114 t Herbizide abgesetzt. Der Fungizidabsatz schwankte zwischen 7.698 t (1994) und 13.271 t (2017) um das Mittel von 10.340 t. Im Jahr 2021 wurden 9.699 t abgesetzt. Die relevanten Daten zu Insektiziden (Abb. 1, rechte Achse) sind für den Mittelabsatz ein Schnitt von 916 t bei einem Minimum von 740 t (2001) und einem Maximum von 1.117 t (2012). Im Jahr 2021 betrug der Insektizidabsatz 858 t. Darüber hinaus wurden inertierte Gase und sonstige PSM abgesetzt (ohne Abbildung). Im Jahr 2021 lag der Gesamtabsatz an PSM bei 48.765 Tonnen. Die genannten Daten beziehen sich auf Verkaufsmengen, es sind keine Angaben zur tatsächlichen Anwendung der PSM.



Quelle: Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2021 des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Version 12/22; www.bvl.bund.de/psmstatistiken; eigene Darstellung

Abbildung 1: Inlandsabsatz an Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden (t), Bundesrepublik Deutschland, 1994-2021

Behandlungshäufigkeiten

Informationen zur tatsächlichen Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft werden durch das Julius Kühn-Institut (JKI) als sog. PAPA-Erhebungen (Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen) erhoben. Behandlungsindex, Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffranking, Wirkstoffmengen sowie Behandlungsflächen sind Proxys für die Messung der Höhe des PSM-Einsatzes. Der Behandlungsindex beispielsweise als quantitatives Maß zur Beschreibung der Intensität der Anwendung von zugelassenen Pflanzenschutzmitteln misst die Anzahl der angewandten Pflanzenschutzmittel bezogen auf die zugelassene Aufwandmenge und die Anbaufläche. Als Behandlungshäufigkeit (BH) wird die Anzahl der durchgeführten PSM-Anwendungen bezogen auf die jeweilige Anbaufläche bezeichnet. Diese Werte können als ein Maß für den Aufwand an Arbeitszeit und Energie (Diseleinsatz), der für die Erhaltung der Pflanzengesundheit in dem landwirtschaftlichen Betrieb erbracht wurde, interpretiert werden (<https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=46>). Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Kennziffer „BH (gesamt)“ zwischen 2011 und 2021 für ausgewählte Kulturen. Der Mittelwert schwankte zwischen 1,4 (Mais) und 21,4 (Apfel). Die größte Schwankung (gemessen am Variationskoeffizienten) trat mit 13 % bei Hopfen auf.

Tabelle 1:
Behandlungshäufigkeiten* (alle PSM-Maßnahmen)

Jahr	Winterweizen	Wintergerste	Winterrapsp	Kartoffeln	Mais	Zuckerrüben	Hopfen	Apfel	Wein
2011	3,9	3,4	5,3	8,6	1,3	4,9	8,6	21,6	8,9
2012	4,1	3,5	5,6	9,4	1,3	5,2	7,3	21,8	9,9
2013	4,2	3,4	5,8	8,7	1,3	4,8	6,2	21,3	10,4
2014	4,4	3,4	5,8	9,7	1,5	5,0	8,2	23,3	10,8
2015	4,4	3,6	6,1	9,0	1,5	5,0	6,3	21,0	9,9
2016	4,4	3,5	5,3	9,8	1,4	4,8	9,3	22,8	11,8
2017	4,2	3,6	5,6	9,8	1,4	5,0	7,2	20,8	10,1
2018	3,8	3,3	5,6	8,3	1,4	4,6	7,2	18,5	9,6
2019	4,0	3,4	6,1	8,7	1,5	5,1	7,8	21,7	10,0
2020	3,7	3,2	5,1	9,1	1,5	5,4	8,6	21,0	9,9
2021	4,2	3,6	6,2	10,0	1,4	5,1	8,6	21,9	10,9
Mittelwert	4,1	3,4	5,7	9,2	1,4	5,0	7,8	21,4	10,2
VK** (%)	5,9	3,8	6,3	6,3	5,9	4,3	13,0	5,8	7,5

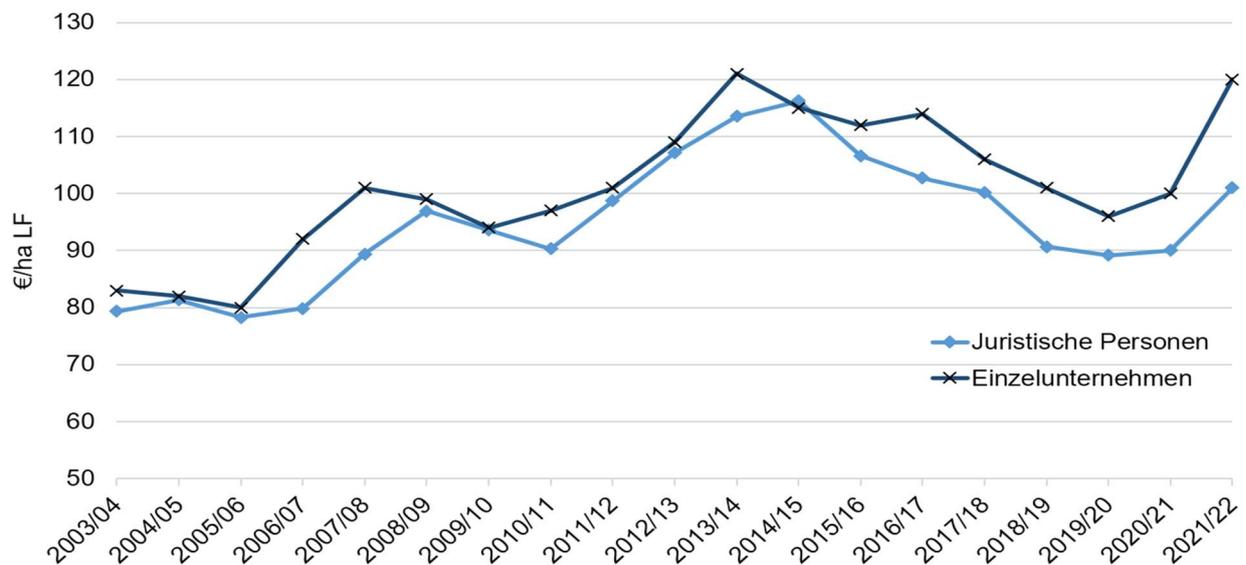
* Anzahl der durchgeführten PSM-Anwendungen bezogen auf die jeweilige Anbaufläche;

** Variationskoeffizient;

Quelle: <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=46>, Eigene Berechnungen

Betriebliche Aufwendungen für Pflanzenschutzmittel

Unter Nutzung von Daten des Testbetriebsnetzes zeigt Abbildung 2 die Entwicklung des monetären Aufwandes für PSM im Zeitraum von 2003/04 bis 2021/22.



Quelle: Buchführungsergebnisse der Testbetriebe Landwirtschaft 2021/22, Eigene Darstellung

Abbildung 2: Entwicklung des Aufwandes für Pflanzenschutzmittel nach Rechtsformen (Testbetriebsnetzdaten)

In Einzelunternehmen war der PSM-Aufwand höher als in Betrieben der Rechtsform „Juristische Person“ (JP; Abbildung 2). Er stieg von 83 Euro/ha (79 bei JP) im WJ 2003/04 auf 120 (101 bei JP) Euro pro Hektar im Jahr 2021.

Tabelle 2 dokumentiert Kennzahlen zum einzelbetrieblichen PSM-Aufwand nach Rechts- und Betriebsformen für das Jahr 2021.

Zu den Einzelunternehmen: Der Aufwand für PSM variiert zwischen 173 Euro/ha LF (Ackerbau) und 1.045 Euro/ha LF (Obstbau). Der Anteil am Materialaufwand schwankt zwischen 2 % (Gartenbau) und 25 % (Obstbau). Er macht zwischen 1 % (Gartenbau) und 8 % (Ackerbau) des Betriebsaufwandes aus. In Relation zum Betriebsertrag schwankt der monetäre PSM-Einsatz zwischen 1 % (Gartenbau) und 6 % (Ackerbau).

Für juristische Personen enthält Tabelle 2 nur Daten für Ackerbaubetriebe: Der Wert von 127 Euro/ha PSM-Aufwand im Jahr 2021 entspricht 15 % des Materialaufwandes bzw. 7 % des Betriebsaufwandes und beträgt 6 % in Relation zum Betriebsertrag¹. Über alle Betriebsformen hinweg (zusätzlich Milch, Futterbau, Veredlung, nicht in Tabelle 2 dokumentiert) betrug der PSM-Aufwand im Jahr 2021 ca. 11.000 Euro/Jahr (Einzelunternehmen) und ca. 108.000 Euro/Jahr (JP).

¹ Für Illinois (US) haben Schnittkey und Sellars (2016) den PSM-Aufwand in Relation zum Umsatz mit ca. 5-8 % ermittelt.

Tabelle 2:

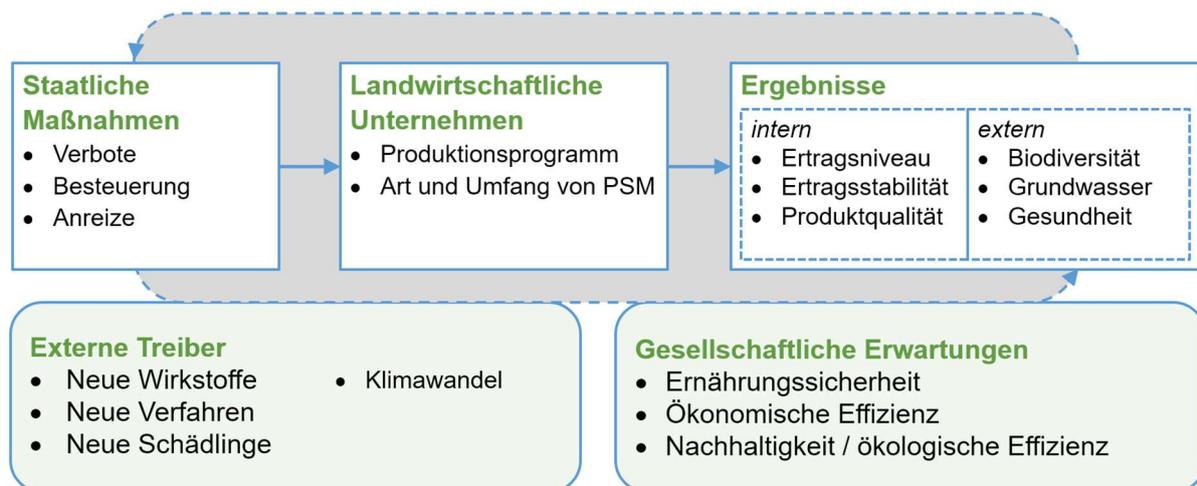
Aufwand für Pflanzenschutzmittel nach Rechts- und Betriebsformen 2021 (EUR)

Rechtform	Kennzahl	Betriebsform	Ackerbau	Gartenbau	Dauerkulturen	Weinbau	Obstbau	gesamt
Einzelunter- nehmen	Ldw. genutzte Fläche (LF)	ha LF	151	10	19	19	22	92
	Aufwand Pflanzenschutz	Euro/ha LF	173	691	704	539	1.045	120
	Aufwand Pflanzenschutz	Euro/Betrieb	26.106	6.910	13.658	10.079	23.095	11.052
	Materialaufwand	Euro/ha LF	1.036	33.766	3.479	3.193	4.168	2.263
	PSM	Relation	0,17	0,02	0,20	0,17	0,25	0,05
	Betriebl. Aufwendungen	Euro/ha LF	2.210	60.511	11.013	9.626	14.084	3.977
	PSM	Relation	0,08	0,01	0,06	0,06	0,07	0,03
	Betriebliche Erträge	Euro/ha LF	2.868	74.423	15.180	14.414	17.058	4.929
PSM	Relation	0,06	0,01	0,05	0,04	0,06	0,02	
Juristische Personen	LF	ha LF	994	k. A.				1.068
	Aufwand Pflanzenschutz	Euro/ha LF	127					101
	Aufwand Pflanzenschutz	Euro/Betrieb	126.200					107.828
	Materialaufwand	Euro/ha LF	841					1.399
	PSM	Relation	0,15					0,07
	Betriebl. Aufwendungen	Euro/ha LF	1.826					2.805
	PSM	Relation	0,07					0,04
	Betriebliche Erträge	Euro/ha LF	2.098					3.044
PSM	Relation	0,06					0,03	

Quelle: Buchführungsergebnisse der Testbetriebe Landwirtschaft 2021/22, <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/testbetriebsnetz/testbetriebsnetz-landwirtschaft-buchfuehrungsergebnisse/archiv-buchfuehrungsergebnisse-landwirtschaft/buchfuehrungsergebnisse-landwirtschaft-2021/22>; Eigene Darstellung

3 Pflanzenschutz im Spannungsfeld betrieblicher und gesellschaftlicher Erwartungen

Abbildung 3 verdeutlicht das Spannungsfeld, in dem sich landwirtschaftliche und gartenbauliche Unternehmen sowie Agrarpolitik bewegen, wenn Sie Entscheidungen über Art und Umfang des Einsatzes von chemischem Pflanzenschutz bzw. über deren Regulierung treffen.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 3: Pflanzenschutz im Spannungsfeld betrieblicher und gesellschaftlicher Erwartungen

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht spricht eine Reihe von Gründen für die Anwendung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel. Es werden *erstens* Ertragseinbußen oberhalb der Bekämpfungsschwellen vermieden. Bekämpfungsschwellen als ein wesentlicher Bestandteil des integrierten Pflanzenschutzes beschreiben den Punkt, an dem der Ertragsverlust durch Schädlinge und Krankheiten höher ist als die Kosten zu deren Bekämpfung. Beim Überschreiten dieser Schwellen ist eine Bekämpfung ökonomisch sinnvoll.

Darüber hinaus werden *zweitens* PSM eingesetzt, um die Qualität der landwirtschaftlichen Produkte sicherzustellen. Reduzierte Qualität führt oft dazu, dass Landwirte einen niedrigeren Preis erhalten. Das Ignorieren der Auswirkungen von PSM auf Qualität und Preis führt zur Unterschätzung des wirtschaftlichen Wertes von PSM-Anwendungen. Landwirte setzen Pflanzenschutzmittel ein, um sicherzustellen, dass die Produktion den für den Verkauf erforderlichen Mindestqualitätsstandards entspricht. Babcock et al. (1992) haben in einer Studie über die Apfelproduktion in North Carolina gezeigt, dass die Aufrechterhaltung der Qualität (und des Preises) 15 % des Fungizideinsatzes und 100 % des Insektizideinsatzes ausmachte.

Drittens ist chemischer Pflanzenschutz zumeist mit Kosteneinsparungen im Vergleich zu alternativen Bekämpfungsmethoden (z.B. zur mechanischen Bekämpfung) verbunden. Er trägt u. a. auch zur Verringerung von Trocknungskosten bei.

Betriebswirtschaftliche Vorteile liegen *viertens* in einer möglichen Arbeitszeiterparnis. Sowohl direkte (im Vergleich zu arbeitsintensiveren Methoden wie mechanischer Bekämpfung) als auch indirekte (Kontroll- und Nacharbeitsaufwand vergleichsweise gering; Informations- und Weiterbildungsaufwand vergleichsweise gering) arbeitswirtschaftliche Effekte sind zu nennen.

Fünftens ermöglicht chemischer Pflanzenschutz größere Flexibilität bei der Bewirtschaftung von Flächen, da schnell und gezielt auf Schädlingsbefall oder Krankheitsausbrüche reagiert werden kann. Auch die erleichterte Planung und Organisation des Anbaus der Kulturen sprechen *sechstens* für den PSM-Einsatz, da weniger unvorhersehbare Einflüsse zu berücksichtigen sind.

Auf der anderen Seite sind mit dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln externe Effekte für Umwelt und den Menschen verbunden. Chemische Substanzen und Rückstände sind in Boden- und Oberflächengewässern nachweisbar mit nachteiligen Auswirkungen für die Biodiversität und die menschliche Gesundheit. Gefahren für Landwirte bestehen sowohl direkt als auch indirekt. Hautkontakt mit diesen Chemikalien etwa während des Mischens kann zu Diabetes, Fortpflanzungsstörungen, neurologische Dysfunktionen, und Krebs und Atemwegserkrankungen führen. Darüber hinaus können Pestizide in den Boden, das Grundwasser und schließlich in die menschliche Nahrungskette gelangen. Infolgedessen wird seit Langem von politischer und gesellschaftlicher Seite eine Reduzierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln angemahnt. Diese Forderung hat sich in dem Entwurf einer Verordnung zur nachhaltigen Verwendung von Pflanzenschutzmitteln – die „Sustainable Use Regulation“ (SUR) der Europäischen Kommission - manifestiert. Ziel dieser neuen Verordnung ist es, die im Oktober 2020 beschlossenen „Farm-to-Fork“-Strategie (F2F) und die Biodiversitäts-Strategie rechtlich zu verankern. Die F2F-Strategie ist eine Initiative der Europäischen Union (EU), die im Mai 2020 vorgestellt wurde. Sie ist ein zentraler Bestandteil des "Green Deals", der darauf abzielt, die EU bis 2050 klimaneutral zu machen und die Umweltbelastung zu verringern. Die Reduktion des PSM-Einsatzes ist dabei eines der Teilziele. Bis zum Jahr 2030 sollte der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln innerhalb der Europäischen Union halbiert werden. Zu diesem Zweck sah die Europäische Kommission strenge und nachvollziehbare Richtlinien für die Implementierung des integrierten Pflanzenschutzes (IPS), ein Verbot der Anwendung von PSM in sogenannten "sensiblen Gebieten" sowie Unterstützungsmaßnahmen für Landwirtinnen und Landwirte im Übergangszeitraum bis 2030 vor. Allerdings hat das EU-Parlament am 22. November

2023 gegen die von der EU-Kommission vorgeschlagenen Regelungen gestimmt und gleichzeitig eine Überarbeitung und weitere Verhandlungen hierzu blockiert².

In diesem Spannungsfeld betriebswirtschaftlicher Vorteile und negativer externer Effekte des Einsatzes chemischen Pflanzenschutzes ergeben sich aus wissenschaftlicher Sicht verschiedene Fragenkomplexe, zur deren Beantwortung agrarökonomische Forschung einen Beitrag leisten kann:

Erstens geht es darum, objektiv bestehende Trade-offs zwischen den verschiedenen betrieblichen und gesellschaftlichen Zielen zu quantifizieren, was keine leichte Aufgabe ist, da die Beziehung zwischen den einzelnen Zielen - Ertragsniveau, Ertragsstabilität, Gesundheit, verschiedene Umweltaspekte, wie Klima oder Biodiversität - komplex ist und zudem vom jeweiligen Grad der Zielerreichung abhängt. Zudem ändern sich die Produktionsbedingungen, etwa durch Klimawandel oder das Auftreten neuer Schadorganismen.

Zweitens besteht eine Aufgabe darin, die genannten Zielkonflikte gesellschaftlichen Präferenzen gegenüberzustellen. Ohne eine Bewertung der verschiedenen Ziele ist eine effiziente Wahl zwischen technologischen Alternativen bzw. die Bestimmung des notwendigen Ausmaßes einer Reduktion von chemischem Pflanzenschutz nicht möglich. Auch diese Aufgabe ist komplex, nicht zuletzt aufgrund der Heterogenität individueller Präferenzen innerhalb der Gesellschaft.

Drittens geht es darum, Ineffizienzen im Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel aufzuzeigen und zu reduzieren. Dadurch lassen sich gesellschaftliche Ziele verbessern, ohne auf betriebliche Ziele verzichten zu müssen, so dass sich keine Bewertungsfragen stellen. Allerdings ist die Identifizierung von Ineffizienzen methodisch nicht trivial und setzt den Zugang zu einzelbetrieblichen Daten voraus.

Viertens schließlich ist dieser Prozess der Analyse und Bewertung von Zielkonflikten nicht statisch, sondern aufgrund technologischer Fortschritte, etwa im Bereich der Züchtung oder der Präzisionslandwirtschaft variabel. An dieser Stelle kann agrarökonomische Forschung, meist im Zusammenspiel mit produktionstechnischen und naturwissenschaftlichen Disziplinen Technikfolgenabschätzungen beisteuern.

4 Beiträge der Agrarökonomie zu einem nachhaltigen Pflanzenschutz

Agrarökonomische Beiträge zu den zuvor genannten inhaltlichen Fragestellungen lassen sich technisch gesehen in der in Abbildung 4 dargestellten Weise strukturieren. Zunächst lässt sich zwischen deskriptiven und normativen Analysen unterscheiden. Deskriptive Analysen versuchen tatsächliches (teilweise auch hypothetisches) Entscheidungsverhalten von Betrieben zu beschreiben und zu verstehen oder existierende Präferenzen für bestimmte Ziele, Politik- oder Technik- oder

² Siehe: <https://www.euractiv.de/section/landwirtschaft-und-ernahrung/news/doch-keine-halbierung-von-chemischen-pflanzenschutzmitteln-eu-parlament-bringt-gesetz-zu-fall/>, Abruf am 04.12.2023

Konsumalternativen zu quantifizieren. Weiterhin kann man ex-post Analysen bestimmter Technologien oder Politiken einordnen. Dem stehen normative Analysen gegenüber, die in irgendeiner Form eine explizite Zielfunktion optimieren und sich dabei auf mehr oder weniger komplexe Modelle stützen. Bezüglich des Aggregationsgrades lassen sich sektorale Analysen von Analysen einzelner Betriebe oder Konsumenten unterscheiden, wobei die Übergänge fließend sind, etwas bei der Betrachtung der Auswirkungen des Einsatzes von Pflanzenschutzmittel auf kleinräumiger regionaler Ebene.

		Art der Analyse		
		Deskriptiv	Normativ	
Ebene	Individuell	Betriebe	<ul style="list-style-type: none"> • Adoptionsverhalten, Präferenzen für Politikoptionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassungsstrategien
	Verbraucher	<ul style="list-style-type: none"> • Zahlungsbereitschaft 	<ul style="list-style-type: none"> • Konsumentensteuerung 	
	Sektor	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheitskosten • Technik- und Politikfolgenanalyse 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewertung & Design von Politikmaßnahmen 	

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4: Ebenen und Analysearten agrarökonomischer Untersuchungen

4.1 Adoptionsverhalten von Betrieben und Präferenzen für Politikoptionen

Um die Wirkung agrarpolitischer Instrumente evaluieren zu können oder um die Verbreitung neuer Technologien zur Reduktion des Pflanzenschutzes abschätzen zu können, ist es wesentlich, das tatsächliche Entscheidungsverhalten von Landwirten zu verstehen. Dabei sind zwei grundsätzliche Herangehensweise zu unterscheiden, zum einen eine ex-post Analyse, meist auf der Basis einzelbetrieblicher Daten in Verbindung mit ökonometrischen Modellen und zum anderen ökonomische Experimente. Die Herausforderung ökonometrischer ex-post Analysen besteht darin, gewünschte Kausaleffekte einer Maßnahme, etwa die Wirkung eines Umweltprogramms auf die Intensität des Pflanzenschutzes, sauber herauszuarbeiten und Verzerrungen durch andere Einflussgrößen zu vermeiden, die bei einfachen Vorher-Nachher-Vergleichen oder Mit-Ohne-Vergleichen häufig auftreten. Ein typisches Beispiel dieser Herangehensweise liefern Uehleke et al. (2022), die mit Hilfe einzelbetrieblicher Testbetriebsdaten untersuchen, wie sich die Teilnahme von Landwirten an Agrarumweltprogrammen in Westdeutschland auf umweltrelevante Landnutzungsentscheidungen auswirkt. Dabei kommen Difference-in-Difference und Matching Verfahren zum Einsatz. In Bezug auf den Aufwand für Pflanzenschutz finden die Autoren eine Reduktion von 5-6 Euro pro Hektar.

Ökonomische Experimente bieten den Vorteil, spezifische Fragestellungen und Hypothesen unter standardisierten (*ceteris paribus*) Bedingungen testen zu können. Dem steht der Nachteil einer potenziell eingeschränkten externen Validität gegenüber, wenn geäußertes und tatsächliches Verhalten von Teilnehmerinnen und Teilnehmern differieren oder die Probanden nicht repräsentativ für die relevante Grundgesamtheit sind. Dessen ungeachtet kommen Experimente, meist in Form von Discrete Choice Experimenten, im Kontext von Pflanzenschutzentscheidungen in vielfacher Form zum Einsatz. Chèze et al. (2020) gehen der Frage nach, welche Faktoren die Adoption pflanzenschutzreduzierender Maßnahmen reduzieren. Als Hauptthema bei der Auswertung der Befragung anhand einer Stichprobe mit französischen Landwirten stellt sich die erwartete Zunahme an Ertragsschwankungen heraus. Die Zahlungsbereitschaft für die Verminderung von Produktionsrisiken wird mit 90 Euro pro Hektar ermittelt, ein Wert, der einen Anhaltspunkt für notwendige finanzielle Anreize zur Verminderung chemischen Pflanzenschutzes geben kann. Bakker et al. (2021) zufolge, spielen neben monetären Aspekten allerdings auch intrinsische Motive und soziale Normen eine Rolle bei der Absicht, den Aufwand an chemischem Pflanzenschutz zu reduzieren. Landwirte ändern ihr Verhalten selten radikal, sondern sukzessive. Positive Beispiele im räumlichen Umfeld, Kommunikation und Netzwerkbildung sind, neben monetären Anreizen, erfolgversprechende Ansatzpunkte, um eine Verhaltensänderung zu bewirken. In diesem Zusammenhang weisen Finger und Möhring (2022) darauf hin, dass erwartete positive Umwelteffekte einen stärkeren Einfluss auf die Absicht, Pflanzenschutzmittel zu verringern, haben als erwartete positive Gesundheitseffekte.

Buchholz und Mußhoff (2021) konfrontieren Teilnehmer eines Experiments mit Produktionsmanagementalternativen, die sich in der Pflanzenschutzintensität unterscheiden. Sie untersuchen, wie Landwirte auf Nudging, d.h. subtile, zwanglose Verhaltensanreize, im Vergleich zu einer Besteuerung von Pflanzenschutzmittel reagieren. Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass einerseits Nudging zwar grundsätzlich wirkt, aber geringere Effekte auf den Pflanzschutzeinsatz hat, andererseits eine Besteuerung mit höheren Gewinneinbußen verbunden ist (sofern diese Steuern nicht in Form zusätzlicher Subventionsmittel an die Betriebe zurückfließen).

Mit Hilfe eines Discrete Choice Experiments untersuchen Filiptseva et al. (2023) Präferenzen von Landwirten für alternative Entschädigungsformen beim Auftreten pflanzlicher Quarantäneschadorganismen. Etwas überraschend ist der Befund, dass Landwirte häufig staatlich organisierte Entschädigungszahlungen bevorzugen, obwohl diese in anderem Zusammenhang, etwa bei Dürrehilfen, oft als bürokratisch und wenig flexibel kritisiert werden.

Es ist üblich, in Feldexperimenten neue Technologien zur Reduktion des Pflanzenschutzes zu testen und ihre Akzeptanz und Verbreitung abzuschätzen. Eine dieser Technologien, die ganz oder teilweise auf chemischen Pflanzenschutz verzichten, ist das sog. Mineral-Ecological Cropping System (MECS). Es beschreibt ein Anbausystem, bei dem zwar auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel verzichtet,

aber durch den Einsatz mineralischer Düngemittel dennoch hohe Erträge ermöglicht werden. Saile et al. (2023) haben konventionelle 6-jährige und MECS-Fruchtfolgen in einem randomisierten Experiment mit Streifenparzellendesign und vier Wiederholungen Unkrautdichten, die Zusammensetzung der Unkrautarten, die Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung und den Ernteertrag auf der Basis einer Varianzanalyse bestimmt. Das MECS hat zwar zu einer Reduktion der Unkrautbekämpfungseffizienz geführt, die aber nur mit geringen Ertragsrückgängen im Vergleich zu konventionellen Anbausystemen verbunden war. Eine Übersicht potenzieller Vor- und Nachteile dieser Reduktionsstrategie sowie über vorliegende empirische Studien findet sich in Pergner und Lippert (2023).

4.2 Identifizierung optimaler Anpassungsstrategien im Pflanzenschutz

Aus normativer Sicht geht es darum, optimale betriebliche Entscheidungsalternativen und Anpassungsstrategien zu identifizieren. Dabei müssen betriebliche Ziele, technologische Möglichkeiten und politische Rahmenbedingungen in Bezug auf Pflanzenbau und Pflanzenschutzmaßnahmen adäquat abgebildet werden. Die Herausforderung besteht darin, neue technologische Alternativen, für die keine breite empirische Datenbasis existiert, durch realistische Modellannahmen zu beschreiben, um Anpassungskosten nicht zu über- oder unterschätzen und dabei die Heterogenität der einzelbetrieblichen Einsatzbedingungen zu berücksichtigen. Unter Nutzung produktionstheoretischer Ansätze (optimale speziellen Intensität des PSM-Einsatzes, Minimalkostenkombination) sowie Differenzrechnungen zwischen etablierten und neuen Verfahren tragen betriebswirtschaftliche Untersuchungen dazu bei, den Einsatz von chemischem Pflanzenschutz zu optimieren (zu minimieren). Ein Beispiel ist die Quantifizierung des Einsparungspotenzials von PSM durch deren teilflächenspezifische oder „Spot“-Applikation. Kosten-Nutzen-Analysen für Investitionen in Precision Farming können das Reduktionspotential und Mindestanforderungen an die Größe zu behandelnder Flächen bestimmen, ab der sich die Nutzung dieser Technologie lohnt. Rajmis et al. (2022) haben bei der Übertragung von Feldversuchen auf einen für Norddeutschland typischen Modellbetrieb teilflächenspezifischen und konventionellen PSM-Einsatz verglichen und konnten durchschnittliche Kosteneinsparungen von 66 % ermitteln. Die Deckungsbeiträge standortspezifischer Überwachungs- und Anwendungsszenarien lagen im Durchschnitt 20 % über den herkömmlichen Anwendungen. Der Fungizidverbrauch konnte um 38 % und der Herbizidverbrauch um 66 % (beim Einsatz von Drohnen sogar 71 % bei Herbiziden und 43 % bei Fungiziden) reduziert werden. Ihre Schätzungen für eine minimale standortspezifische Anwendungsfläche mit mindestens 30 % Pestizidkosteneinsparung zur Kompensation der Investitionskosten der Direktinjektion, automatischem Anwendungsassistenten sowie Unkraut- und Pilzkrankheitserkennung mit Sensor oder Drohne ergaben eine Mindestgröße der zu behandelnden Fläche von 300 ha pro Jahr.

Komplexer wird es, wenn Modelle zur Identifizierung optimaler Pflanzenschutzstrategien die Dynamik und Unsicherheit biologischer Prozesse abbilden sollen. Ändern Landwirte beispielsweise ihre Anpassungsstrategie, wenn ihnen für die Entscheidung über die Höhe des PSM-Einsatzes neue oder bessere Informationen zur Verfügung stehen würden? Durch die Nutzung präziser Prognoseinformationen können Landwirte Strategien zur effektiven Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen verbessern. Stochastisch-dynamische Programmierungsansätze sind geeignet, um neue Informationen zu verarbeiten und eine optimale Entscheidungsfolge als Lösung eines in mehrere Perioden aufgeteilten Entscheidungsprozesses zu bestimmen. Tatsächlich kann die Berücksichtigung aktueller Information über den Befallsdruck von Schaderregern in Entscheidungsmodellen zur Reduktion der optimalen Behandlungsintensität führen. Lybbert et. al (2012) zeigen für kalifornische Weinbauern, wie sich die Behandlungsintensität gegen Echten Mehltau auf Parzellenebene verringern lässt, wenn tägliche Prognosen eines Befallsrisikoindex, basierend auf hochauflösenden Paneldaten, vorliegen.

Ein weiterer Anlass für die Ableitung normativer Anpassungsstrategien auf der Basis von Modellbetrieben sind drohende bzw. ausgesprochener Verbote von Pflanzenschutzmitteln, die Landwirte auch zur Anpassung ihres Produktionsprogramms zwingen können. So war beispielsweise der vielfach eingesetzte Wirkstoff Glyphosat in der EU zwischenzeitlich nur bis zum 15. Dezember 2023 zur Verwendung in Pflanzenschutzmitteln genehmigt, allerdings lief ein Überprüfungsverfahren zur Erneuerung dieser Genehmigung. Wie oben in Zusammenhang mit der Entscheidung des EU-Parlamentes vom 22.11.2023 erwähnt, steht ein Verbot mit großer Wahrscheinlichkeit vor dem Aus. Wie bei vielen modellgestützten Analysen hängt auch die Prognose der betrieblichen Auswirkungen eines Glyphosatverbotes stark von den zugrunde gelegten Modellannahmen ab. Kehlenbeck et al. (2015) berechnen mittels deterministischer Differenzrechnungen, wie sich ein Glyphosatverzicht auf den Gewinn landwirtschaftlicher Betriebe auswirken könnte. Dazu wird die „Pflanzenschutzkostenfreien Leistung“³ jeweils für ein Anbausystem mit Glyphosat und ohne Glyphosat kapitalisiert (im Ackerbau über 3-jährige Fruchtfolgen, im Obstbau über eine Standzeit von 20 Jahren). Im Ackerbau kann der Verzicht auf Glyphosat bei der Stoppelbearbeitung in winterungsbetonten Fruchtfolgen unter ungünstigen Bedingungen zu zusätzlichen jährlichen Kosten in Höhe von 55 bis 89 Euro/ha führen, und im Apfelanbau erscheint ein vollständiger Verzicht wirtschaftlich kaum vertretbar. Demgegenüber weisen Böcker et al. (2020) mittels eines stochastischen Programmierungsmodells lediglich einen durchschnittlichen Gewinnrückgang von 2 Euro/ha für den Anbau von Silomais in Nordrhein-Westfalen infolge eines Glyphosat-Verbotes aus.

³ Die pflanzenschutzkostenfreie Leistung umfasst die Erlöse und alle Kosten, die in direktem Zusammenhang mit der Anwendung von Glyphosat bzw. mit dessen Ersatz stehen. Darüberhinausgehende Aufwendungen für Pflanzenschutz wurden nicht berücksichtigt.

4.3 Zahlungsbereitschaft für öffentliche Güter und besondere Produkteigenschaften

Um die in Abschnitt 3 angesprochenen Zielkonflikte bewerten und entsprechende Instrumente zur Erreichung einer gesellschaftlich wünschenswerten Zielkombination entwickeln zu können, sind Kenntnisse erforderlich, welchen Nutzen Verbraucher z.B. rückstandsfreien Lebensmitteln oder sauberem Grundwasser beimessen. Zur Bestimmung der Zahlungsbereitschaft für bestimmte Produkteigenschaften, aber auch für öffentliche Güter stehen verschiedene Verfahren zu Verfügung, insbesondere Kontingente Bewertungsmethoden. In jüngster Zeit finden in diesem Zusammenhang ebenfalls Discrete Choice Experimente verstärkte Anwendung⁴. Eine generelle Herausforderung besteht darin, das Untersuchungsdesign so zu gestalten, dass Unterschiede zwischen der hypothetischen und der tatsächlichen Zahlungsbereitschaft (hypothetical bias) möglichst gering ausfallen. Gschwandtner und Burton (2020) vergleichen verschiedene Ansätze zur Reduktion des „hypothetical bias“. Bazoche et al. (2014) untersuchen am Beispiel der Nachfrage nach Äpfeln, wieviel Verbraucher in verschiedenen europäischen Ländern bereit sind für die Reduzierung des Pestizideinsatzes zu bezahlen und welchen Einfluss Informationen über die Produktionsmethoden von Äpfeln auf die Zahlungsbereitschaft haben. Die Experimente wurden mit ca. 400 Verbrauchern in Portugal, Frankreich, Niederlande und Griechenland durchgeführt. Die Produktabstufungen umfassen konventionelle produzierte Äpfel, solche mit integriertem Pflanzenschutz, sowie biologisch erzeugte mit und ohne Zertifizierung. Im Ergebnis sind Konsumenten bereit, durchschnittlich Preisaufschläge in Höhe von 50 Prozent für biologisch erzeugte Äpfel zu zahlen, was deutlich unter den tatsächlich am Markt verlangten Preisaufschlägen liegt. Die zusätzliche Zahlungsbereitschaft für integrierten Pflanzenschutz fällt deutlich geringer aus als die für biologisch hergestellte Äpfel. Den Grund dafür sehen die Autoren in der unklaren Definition der Maßnahmen im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes. Bazoche et al. (2014) betonen weiterhin, dass die Wertschätzung der Konsumenten nicht allein aus dem Niveau des PSM-Einsatzes resultiert, sondern dass Geschmacksmerkmale eine noch wichtigere Rolle spielen. Auf die Bedeutung der Information über die verschiedenen Produktionssysteme bei Konsumentenentscheidungen weisen auch Lefebvre et al. (2017) in Zusammenhang mit dem Kauf von Tomaten hin. Die mittels kontingenter Bewertung oder Choice Experimenten ermittelten Zahlungsbereitschaften für die Reduktion des chemischen Pflanzenschutzes variieren häufig in Abhängigkeit von der Region, den betrachteten Produktgruppen oder den spezifischen Untersuchungsdesigns. Eine Möglichkeit, diese Unterschiede in quantitativen Analysen systematisch zu untersuchen sind Meta-Analysen. Florax et al. (2005) werten 15 Studien aus den USA aus, die die

⁴ Ein Vergleich beider Verfahren, die sich in der Höhe der erfragten Zahlungsbereitschaften oft unterscheiden findet sich z.B. in Ryan und Watson (2009).

Zahlungsbereitschaft für eine reduzierte Pestizidrisikoexposition zum Gegenstand hatten. Die mittlere Zahlungsbereitschaft betrug 122 US-Dollar pro Person und Jahr (in Preisen des Jahres 2000), der Median lag bei 16 US-Dollar. Insgesamt konzidieren die Autoren eine hohe Variabilität der Ergebnisse, die unter anderem auf die Einkommenshöhe der Befragten und auf die Zieldimension der Pflanzenschutzmittelreduktion, d.h. Umwelt- oder Gesundheitseffekte, zurückzuführen sind.

4.4 Konsumentensteuerung

In einer Marktwirtschaft gilt allgemein das Paradigma der Konsumentensouveränität, d.h. mündige und gut informierte Verbraucher treffen ihre Konsumententscheidungen auf der Grundlage ihrer gegebenen Präferenzen und der vorherrschenden Preise. Das Wissen um die Präferenzen und das Entscheidungsverhalten von Konsumenten kann auch dazu genutzt werden, um gesellschaftlich gewünschtes Verhalten zu befördern, zum Beispiel Konsum nachhaltiger zu gestalten. Darüber hinaus wird durch gesellschaftliche Gruppen auch versucht, direkt Einfluss auf Verbraucherpräferenzen zu nehmen. Beispiele sind Plädoyers für den Verzicht auf Fleisch oder Flugreisen. Im Zusammenhang mit der Reduktion chemischen Pflanzenschutzes sind insbesondere Maßnahmen und Instrumente relevant, die auf eine Erhöhung des Konsums biologisch erzeugter Produkte abzielen. Ähnlich wie bei der Steuerung des Landwirte-Verhaltens wird dies u.a. durch das Setzen von Anreizen, die die Konsumentensouveränität nicht einschränken, erfolgen. Ferrari et al. (2019) haben in einer Meta-Analyse Belege dafür gefunden, dass Green Nudging bei Konsumenten den Kauf umwelt- und klimafreundliche Produkte befördern kann. Lin & Nayga (2022) haben anhand eines Online-Discrete-Choice-Experiments mit US-amerikanischen Verbrauchern untersucht, wie wirksam die Kennzeichnung von Produkten mit „grüner Identität“ bei Entscheidungen für eine umweltfreundliche Lebensmittelauswahl ist. Ein grünes Label allein trägt anscheinend nicht dazu bei, das Verbraucherinteresse zu steigern. Erst in Kombination mit der Bereitstellung von Umweltinformation kann die Wertschätzung von Verbrauchern in Bezug auf nachhaltige Lebensmittel erhöht werden. Ein alternatives Instrument zur Konsumentensteuerung ist die gezielte Subventionierung von Biolebensmitteln. Dänemark und Schweden beispielsweise haben mit Erfolg Beschaffungsprogramme für Bio-Lebensmittel in öffentlichen Einrichtungen aufgelegt. In beiden Ländern wurden deutlich höhere Bio-Konsumraten als in den anderen nordischen Ländern erreicht (Daugbjerg 2023). Diese Beispiele sind stellvertretend für Ansätze einer verhaltensorientierten Lebensmittelpolitik, die auf Erkenntnissen aus der Verhaltensökonomie, der Verbraucherforschung und der Entscheidungswissenschaft beruht, für die Reisch (2021) ein großes Potential in Bezug auf die Förderung nachhaltigen Konsums sieht.

4.5 Quantifizierung von Gesundheitskosten

Rani et al. (2021) liefern eine ausführliche Übersicht über die Folgen des Einsatzes chemischer Pestizide für die menschliche Gesundheit (und darüber hinaus die Umwelt). Eine Herausforderung besteht darin, die ökonomischen Kosten der Gesundheitsbeeinträchtigung zu quantifizieren, die der Gesellschaft als Ganzes oder Teilen davon durch den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln entstehen. Der Grund liegt zum einen in unklaren Wirkmechanismen und vor allem in einer unzureichenden Datenlage. Auf betrieblicher Ebene haben Chatzimichael et al. (2022) eine Methodologie zur Messung der wirtschaftlichen Verluste, die aus den negativen Gesundheitsauswirkungen von Pestiziden für Weinbauer in Griechenland resultieren, vorgestellt. Dabei werden neben den schädlingsbekämpfenden und ernterhöhenden Eigenschaften von Pestiziden auch die Gesundheitseinschränkungen auf Arbeitskräfte berücksichtigt. Die Analyse erfolgt durch Integration einer „health-impairment function“ in die Gewinnfunktion der Betriebe. Die Autoren schätzen, dass sich der Grenzertrag des Einsatzes chemischer PSM um 18 % bei Berücksichtigung negativer Gesundheitseffekte reduziert. Eine empirische Schätzung des Modells ist möglich, weil in dieser speziellen Anwendung eine Verknüpfung von Produktionsdaten mit Krankenhausbehandlungsdaten möglich ist, was in der Regel nicht der Fall ist. Insofern lässt sich dieser Ansatz praktisch kaum verallgemeinern. Zudem werden die Gesundheitswirkungen auf die Endverbraucher nicht erfasst.

Ein weiterer Ansatz zur Quantifizierung gesundheitlicher Auswirkungen des Einsatzes von PSM ist die Wirkungspfadanalyse (Impact Pathway Approach). Sie basiert auf der Identifizierung möglicher Wege der Belastung der Menschen beginnend von der ersten Anwendung von PSM bis hin zur Exposition des betroffenen Personenkreises. Die Schwierigkeit besteht darin, für die einzelnen Stufen der Wirkungsfolge Übertragungswahrscheinlichkeiten und Effekte zu quantifizieren. Dazu wird auf u.a. auf epidemiologische Studien und Dosis-Wirkungsmodelle (Dose-Response-Models) zurückgegriffen. Fantke et al. (2012) haben auf diese Weise die Schäden durch 133 Pestizide, die in 24 europäischen Ländern angewendet wurden, auf 78 Millionen Euro im Jahr 2003 geschätzt. Die Auswirkungen waren insbesondere im Obst- und Gemüsebau außerordentlich hoch, denn die dort verwendeten 13 Substanzen verursachten 90 % der gesamten gesundheitlichen Auswirkungen.

Teilweise sind Versuche unternommen worden, statistische Angaben über Erkrankungen und Todesfälle infolge des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel weltweit hochzurechnen. Eddleston (2020) und Karunarathne et al. (2020) gehen von ca. 150.000 jährlichen Todesfällen infolge von Pestiziden aus. Boedeker et al. (2020) dokumentieren etwa 385 Millionen jährliche Fälle unbeabsichtigter, akuter Pestizidvergiftung, etwa 44 % der Landwirte (840 Mio.) wären betroffen, mehrheitlich in Südasien und Ostafrika. Dieser Wert scheint zweifelhaft, und das methodische Vorgehen dieser Studie ist kritisiert worden, etwa durch Dunn et al (2021): Boedeker et al. (2020) würden eine inkonsistente Definition des Begriffes „unbeabsichtigte akute Pestizidvergiftung“

verwenden. Sie würden Inzidenz- und Prävalenzwerte vermischen, was zur Überschätzung der jährlichen Fälle führe. Sie äußern Zweifel am Extrapolationsverfahren zum Zweck der Schätzung globaler Daten, da nicht repräsentative nationale Zählungen der Fälle verwendet werden.

Die sehr hohe Variabilität der Hochrechnung von Gesundheitskosten auf globaler Ebene ist u.a. der unzureichenden Datengrundlage geschuldet. Generell werden zur Abschätzung des Ausmaßes von Pestizid-Vergiftungen Krankenhausstatistiken, Bevölkerungsumfragen und von staatlichen Stellen registrierte Daten genutzt. Zu letzteren beispielsweise sind die Zählungen zur Erfassung in den USA (America's Poison Centers / National Poison Data System⁵) oder das Vergiftungsmonitoring von Pestiziden in Deutschland durch das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) zu nennen. Hier erfolgen Vergiftungsmeldungen an das BfR durch die Träger der gesetzlichen Unfallversicherungen. Es fehlt eine Systematik auf globaler Ebene. Ansätze der Bestimmung globaler Fälle von gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Pestizide bestehen zumeist in Metaanalysen wissenschaftlicher Beiträge (siehe Karunarathne et al. 2020⁶).

4.6 Technik- und Politikfolgenanalyse

Ein weiterer Beitrag der agrarökonomischen Forschung liegt darin, bestimmten politischen Maßnahmen oder technologischen Optionen zur Reduktion des chemischen Pflanzenschutzes beobachtbare ökonomische und ökologische Effekte auf aggregierter Ebene ex-post (kausal) zuzuordnen. Dabei kommen ökonometrische Ansätze zur Anwendung. Ein Beispiel für eine Politikfolgenabschätzung liefern Aubert und Enjolras (2022), die den Zusammenhang zwischen EU-Subventionen und Pestizidausgaben in französischen Agrarbetrieben mit Hilfe von FADN-Paneldaten untersuchen. Dabei wird sowohl der Effekt auf die Pflanzenschutzintensität bestehender Flächen als auch auf Art und Umfang der Flächennutzung erfasst. Geschätzt wird ein simultanes Gleichungsmodell unter Verwendung von Instrumentalvariablen zur Vermeidung von Endogenitätsverzerrungen. Es zeigt sich, dass Direktzahlungen aus der ersten Säule den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erhöhen. Im Gegensatz dazu führten Förderprogramme für nachhaltige und umweltschonende Bewirtschaftung aus der zweiten Säule erwartungsgemäß zu einer Verringerung des Verbrauchs an Pflanzenschutzmitteln. Die gegensätzliche Wirkung europäischer Subventionen auf Pestizidausgaben wirft die Frage nach der Wirksamkeit staatlicher Maßnahmen in Bezug auf umweltfreundliche Praktiken auf und zeigt die Notwendigkeit der genauen Prüfung von Förderprogrammen.

Eine prototypische Technikfolgenabschätzung stellt die Studie von Qaim (2020) dar, in der die Reduzierung von chemischem Pflanzenschutz durch Verwendung genetisch veränderten Saatgutes

⁵ (<https://www.aapcc.org/annual-reports>)

⁶ Die Autoren haben eine Literaturrecherche in den Datenbanken Medline und Embase durchgeführt, um Artikel zu finden, die nationale oder globale Zahlen von Pestizid-Selbstmorden meldeten.

betrachtet wird. Von genetisch veränderten Pflanzen (GMOs) wird angenommen, dass sie zu einer Reduzierung des PSM-Einsatzes führen können, da Pflanzen durch die genetische Modifikation widerstandsfähiger gegen bestimmte Schädlinge oder Krankheiten werden. Auch können GMO dazu beitragen, die Entstehung von Resistenzen gegenüber PSM zu verhindern: Indem sie spezifische Eigenschaften in die Pflanzen einbringen, können GMO verhindern, dass Schädlinge oder Krankheitserreger sich an die verwendeten Pflanzenschutzmittel anpassen. Neben Kosteneinsparungen können GMO ertragserhöhend wirken. Zu diesen Effekten liegen in Ländern, in denen der Einsatz von GMO möglich ist, zahlreiche empirische Untersuchungen vor, die von Qaim (2020) in einer Meta-Analyse ausgewertet werden. In der Tat zeigen sich signifikante Effekte: der Einsatz von GMO führt durchschnittlich zu einer Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes um 37 %. Zugleich steigen sowohl der Ertrag (+22 %) als auch der Gewinn (+68 %). Es lassen sich weiterhin Unterschiede in den Effekten nach Insektizid- und Herbizid-Toleranz sowie zwischen Industrie- und Entwicklungsländern feststellen. Am Beispiel der GMOs wird deutlich, wie schwierig die Bewertung von Technologien sein kann, wenn diese zugleich positive und negative Umweltauswirkungen haben können.

4.7 Bewertung und Design von Politikmaßnahmen

Im Mittelpunkt steht die Frage, wie sich die ökonomischen und ökologischen Effekte von Politikmaßnahmen zur Reduzierung des chemischen Pflanzenschutzes auf aggregierter Ebene ex-ante quantifizieren lassen, d.h. bevor diese Maßnahmen implementiert werden. Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Hochrechnung einzelbetrieblicher Kalküle auf unterschiedliche regionale Ebenen (Kreise, Bundesland, Land, Welt). Politikinstrumente liegen in großer Vielfalt vor. Dieser Abschnitt fokussiert beispielhaft auf Vorschriften in Form von Verboten (erneut am Beispiel von Glyphosat) sowie politisch induzierten Reduktionsstrategien (hier der Farm-to-Fork Strategie).

Böcker et al. (2020) haben in einer Fallstudie mehrjährige Daten zum Silomaisanbau (Erträge, Deckungsbeiträge, Unkrautbekämpfungskosten) in Nordrhein-Westfalen gesammelt und 377 Gemeinden mit Maisanbau als Regionshöfe modelliert. Basierend auf Schadensminderungsfunktionen und unter Berücksichtigung von Produktionsrisiken sowie der Risikopräferenzen von Landwirten, haben sie wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen eines Glyphosatverbots geschätzt. Das Verbot führt einerseits zu einem deutlichen Rückgang der Pestizidbelastung (gemessen durch sog. pesticide load indicator units) und verringert andererseits die Höhe der Nettogewinne (zwischen 2 und 10 Euro/ha) und der Erträge geringfügig. Andererseits erhöht es den Energieverbrauch des Agrarsystems (bis zu 170 MJ/ha und Jahr). Das Ausmaß dieser Effekte hängt entscheidend vom Niveau der Produktionspreise und den Ertragserwartungen ab. Das

Politikinstrument Glyphosatverbot führt zu einem Trade-off zwischen Gesundheitsschutz und Klimaschutz auf sektoraler Ebene.

Auch die Farm-to-Fork Strategie wurde hinsichtlich ihrer aggregierten ökonomischen und ökologischen Effekten untersucht. Aus methodischer Sicht kommen hierfür partielle Gleichgewichtsmodelle (z.B. CAPRI) oder allgemeine Gleichgewichtsmodelle in Frage, je nachdem welche räumliche Auflösung der Ergebnisse angestrebt wird.

Das Modell CAPRI (Common Agricultural Policy Regional Impact) ist ein globales partielles Gleichgewichtsmodell, das den Agrarsektor der Europäischen Union abbildet. Es wurde für eine ex-ante-Folgenabschätzung der Agrar-, Umwelt- und Handelspolitik entwickelt. Es verfügt über ein Angebotsmodul, bestehend aus regionalen Programmierungsmodellen für etwa 280 europäische Regionen, das die EU und weitere europäische Länder abdeckt. Das Angebotsmodul ist eingebettet in ein Marktmodul, das auch Regionen der übrigen Welt abdeckt (47 landwirtschaftliche Produkte, 77 Länder in 40 Handelsblöcken). Potenzielle Wechselwirkungen mit nichtlandwirtschaftlichen Sektoren werden mit Ausnahme der Landnutzung außer Acht gelassen. Henning & Witzke (2021) haben auf der Basis des CAPRI-Modells Auswirkungen u.a. auf Produktionsstrukturen, das Ökosystem, Verlagerungs- und Wohlfahrtseffekte der F2F-Strategie für Europa untersucht. F2F führt demzufolge zu einer deutlichen Verringerung der landwirtschaftlichen Produktion und einem Preisanstieg. Gleichzeitig verringert sich der Einsatz von Mineraldünger (-51 %) und von Pestiziden (-58 %) deutlich. Es treten Leakage-Effekte in Bezug auf die Emission von CO₂ auf, da die Umsetzung der F2F-Strategie zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen von 54,3 Millionen Tonnen CO₂-Equivalent im Agrarsektor von Nicht-EU-Ländern führen würde. Insgesamt ergeben sich aus der F2F-Strategie Wohlfahrtsverluste in Höhe von 42 Mrd. Euro, hauptsächlich zulasten der Konsumenten.

Ähnliche Tendenzen finden Beckmann et al. (2021) mittels des allgemeinen Gleichgewichtsmodells GTAP, das Interaktionen zwischen verschiedenen Märkten (z.B. Güter- und Dienstleistungsmärkte, Arbeitsmarkt, Kapitalmarkt) sowie die Verflechtungen zwischen verschiedenen Wirtschaftssektoren berücksichtigt. Eine Reduzierung von Inputs (Düngemittel, Pestizide) würde zu einem Rückgang der EU-Agrarproduktion um 12 % (im Gegensatz zu einem Steigen in den USA) und einer geringeren Wettbewerbsfähigkeit Europas auf den Exportmärkten führen. Die F2F-Strategie hätte zudem negative Auswirkungen auf die Verbraucherbudgets und das gesellschaftliche Wohlergehen (- 95 Mrd. Euro) in Europa.

Lee et al. (2019) haben eine systematische Literaturlauswertung von 78 wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Effizienz von Politikinstrumenten durchgeführt, die im Zeitraum von 1967 bis 2017 erschienen sind. Dabei werden unter anderem Steuern, Verbote, Subventionen und Beratungsleistungen betrachtet. Die Autoren schlussfolgern, dass es kein einzelnes Instrument gibt,

das den Einsatz von Pestiziden effizient reduziert. Sie plädieren stattdessen für einen Instrumentenmix, der mehrere Entscheidungsebenen und Interessengruppen involviert.

5 Fazit

Agrar- und Gartenbaubetriebe stehen unter erheblichem Anpassungsdruck, um einerseits im Wettbewerb zu bestehen und andererseits gesellschaftliche Erwartungen zu erfüllen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht spricht eine Reihe von Gründen für die Anwendung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel. Auf der anderen Seite ist ihr Einsatz mit möglichen negativen Effekten für die Umwelt und den Menschen verbunden. Von politischer und gesellschaftlicher Seite wird mit Nachdruck eine Reduzierung des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel gefordert. Vor diesem Spannungsfeld diskutiert der Beitrag die Frage, wie Agrarökonomie aus wissenschaftlicher Sicht zur Transformation des Pflanzenschutzes als bedeutendem Element des „Green Deals“ beitragen kann. Zu dem Zweck werden zunächst inhaltlich relevante Problemaspekte beschrieben und strukturiert. Anschließend werden anhand ausgewählter, prototypischer Studien die zur Verfügung stehenden Methoden und Vorgehensweisen dargestellt, um die anstehenden Fragestellungen zu beantworten. Dabei werden neben inhaltlichen Ergebnissen auch die methodischen und datenbezogenen Herausforderungen angesprochen, die damit einhergehen. Als Fazit dieser Bestandsaufnahme ist Folgendes festzuhalten:

Erstens, die Transformation des Pflanzenschutzes - oder etwas ergebnisoffener die Anpassung des Pflanzenschutzes an veränderte Rahmenbedingungen - ist aus verschiedenen Gründen eine äußerst komplexe Gestaltungsaufgabe, für die nicht nur System- und Zielwissen, sondern auch Transformationswissen erforderlich ist. Allein das Analysieren von technologischen Ursache-Wirkungszusammenhängen für verschiedene Pflanzenschutzmaßnahmen ist kompliziert, da es sich um multikausale, dynamische und zufallsbehaftete Zusammenhänge handelt und darüber hinaus verschiedene Zieldimensionen (Effizienz der Nahrungsmittelproduktion, diverse Umwelt- und Gesundheitsaspekte) angesprochen werden. Darüber hinaus müssen unvermeidbare Zielkonflikte aufgezeigt und im Licht gesellschaftlicher Präferenzen bewertet werden. Das dafür erforderliche Wissen erfordert eine Zusammenarbeit nicht nur zwischen verschiedenen agrarökonomischen Teildisziplinen, sondern auch mit angrenzenden Wissenschaftsdisziplinen, insbesondere Phytomedizin, Pflanzenbau und -züchtung, Agrartechnik sowie Sozial- und Politikwissenschaften und Humanmedizin und Psychologie. Die Rolle der Agrarökonomie besteht in diesem Zusammenspiel insbesondere darin, das Entscheidungsverhalten der involvierten Akteure (landwirtschaftliche und gärtnerische Betriebe, andere Unternehmen der Wertschöpfungskette, Konsumenten) zu analysieren,

zu prognostizieren, im Hinblick auf unternehmerische Ziele zu optimieren und mit Blick auf gesellschaftliche Ziele zu steuern.

Zweitens, verfügt die Agrarökonomie über ein breites Methodenspektrum, um das erforderliche Gestaltungswissen zu generieren: Auf betrieblicher Ebene kommen neben einfachen Differenzrechnungen mehr oder weniger komplexe produktionstheoretische Modelle und (nicht)lineare Programmierungsmodelle zum Einsatz, um optimale Pflanzenschutzstrategien zu entwickeln oder das Produktionsprogramm optimal an veränderte technologische oder politische Rahmenbedingungen anzupassen. Auf sektoraler Ebene stehen partielle und allgemeine Gleichgewichtsmodelle zur Verfügung, um Auswirkungen politischer Maßnahmen mit unterschiedlicher produktionstechnischer Differenzierung und regionaler Auflösung abzuschätzen und zu bewerten. Neben diesen klassischen Verfahren finden in jüngerer Zeit auch Multiagentenmodelle Anwendung, um die Auswirkungen von Politikmaßnahmen auf Pflanzenschutzstrategien zu quantifizieren (Grovermann et al. 2017, Schreinemachers und Berger 2011). Meist liegt diesen Modellen ein an wirtschaftlichen Zielen orientiertes Rationalverhalten zugrunde. Daneben haben in den letzten Jahren vermehrt verhaltensökonomische Ansätze Einzug in die agrarökonomische Forschung gehalten. In zahlreichen ökonomischen Experimenten ist das Verhalten individueller Produzenten und Verbraucher in hypothetischen Entscheidungssituationen in Bezug auf die Reduktion chemischen Pflanzenschutzes bzw. den Konsum entsprechender Produkte untersucht worden.

Drittens sind in unserer Bestandsaufnahme neben der Vielfalt an zur Verfügung stehenden Methoden allerdings auch die Grenzen der vorliegenden Ergebnisse agrar- umwelt- und gesundheitsökonomischer Forschungsbeiträge deutlich geworden. Diese Grenzen drücken sich nicht nur in fehlenden, sondern zum Teil auch in widersprüchlichen Ergebnissen zu den Kosten einer Transformation hin zu einem nachhaltigen Pflanzenschutz aus. Diese Defizite lassen sich im Wesentlichen auf drei Ursachen zurückführen: zum einen basieren die verwendeten Modelle auf unterschiedlichen (impliziten oder expliziten) Annahmen. Ein Modell, das Risikoneutralität der Entscheider und vollkommene Information unterstellt, wird zu anderen Aussagen bezüglich der relativen Vorzüglichkeit pestizidfreier Produktionsverfahren kommen als ein Modell, das von Risikoaversion und begrenzter Rationalität ausgeht. Zum anderen sind die Ergebnisse sowohl normativer als auch empirischer Modelle auf zeitlich und räumlich begrenzte Kontexte bezogen. So lässt sich die Zahlungsbereitschaft von Konsumenten für pestizidfreie Äpfel in Griechenland nicht ohne weiteres auf andere Länder oder Produkte übertragen. Liegen zu einer bestimmten Fragestellung bereits umfangreiche empirische Arbeiten vor, können Metaanalysen und Metaregressionen ein geeignetes Instrument sein, um die Heterogenität der Ergebnisse zu beschreiben und zu verstehen. Ein weiterer Grund für Unzulänglichkeiten bei ökonomisch relevanten Aussagen zu den Folgen chemischen Pflanzenschutzes ist das Fehlen erforderlicher Daten. Dies gilt insbesondere für die

gesellschaftlichen Kosten infolge negativer Auswirkungen des Pestizideinsatzes auf die menschliche Gesundheit. Es wurde deutlich, dass sich punktuell vorliegende Ergebnisse nur schwierig und unter sehr vereinfachenden Annahmen hochrechnen lassen. Demgegenüber können in anderen Bereichen durch die Erschließung neuer Datenquellen und Informationstechnologien, z.B. räumlich hoch aufgelöste Umwelt- und Biodiversitätsindikatoren, genauere Folgenabschätzungen einer veränderten Intensität des Pflanzenschutzinsatzes vornehmen. Unabhängig davon ist es geboten, modell- oder datenbezogene Unschärfen der Modellergebnisse ausdrücklich darzulegen und die Reliabilität, Robustheit und Verallgemeinerbarkeit der getroffenen Aussagen explizit zu diskutieren.

Viertens ist es nicht damit getan, wissenschaftliche Beiträge zu einem nachhaltigen Pflanzenschutz zu generieren; vielmehr müssen diese Ergebnisse auch in den gesellschaftlichen Diskurs eingebracht werden. Die Kommunikation und der Transfer wissenschaftlicher Ergebnisse in Politik und Gesellschaft stellt eine wichtige Aufgabe, nicht nur, aber auch für die Agrarökonomie, dar. Gerade in einem so kontrovers diskutierten Bereich wie dem chemischen Pflanzenschutz als Sinnbild einer „industriellen“ Agrarproduktion sollte die Meinungsbildung nicht allein Interessengruppen überlassen, sondern, bei Offenlegung aller beschriebenen Unzulänglichkeiten, wissenschaftlich begleitet werden. Die Scientific Community ist sich dieser Aufgabe zunehmend bewusst und ist bestrebt, den Katalog von Indikatoren für die Erfassung wissenschaftlicher Leistungen zu erweitern (Balman et al. 2018) sowie entsprechende Anreize zu setzen, etwa in Form von Auszeichnungen für gelungene Wissenschaftskommunikation.

Zusammenfassung

Pflanzenschutz morgen – Was kann Agrarökonomie beitragen?

Die Deutsche Pflanzenschutztagung stand 2023 unter dem Motto „Pflanzenschutz morgen – Was kann Wissenschaft beitragen?“. In einer Plenarveranstaltung wurde aus verschiedenen wissenschaftlichen Perspektiven sowie aus Sicht der Praxis diskutiert, welche Faktoren und Rahmenbedingungen eine Transformation des Agrarsektors in Deutschland und der EU in Bezug auf den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel erforderlich machen, ob diese (politischen) Rahmenbedingungen angemessen erscheinen und auf welchen Wegen eine Transformation erreicht werden kann. In dem vorliegenden Beitrag wird überblicksartig dargestellt, welche Rolle der Agrarökonomie dabei zukommen kann.

Zunächst geht es darum, objektiv bestehende Trade-offs zwischen den verschiedenen betrieblichen und gesellschaftlichen Zielen zu quantifizieren und dabei die Beziehung zwischen den einzelnen Zielen - Ertragsniveau, Ertragsstabilität, Gesundheit, verschiedene Umweltaspekte, wie Klima oder Biodiversität, zu berücksichtigen. Eine weitere Aufgabe besteht darin, die genannten Zielkonflikte gesellschaftlichen Präferenzen gegenüberzustellen. Darüber hinaus geht es darum, Ineffizienzen im Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel aufzuzeigen und zu reduzieren. Und schließlich ist der Prozess der Analyse und Bewertung von Zielkonflikten nicht statisch, sondern aufgrund technologischer Fortschritte, etwa im Bereich der Züchtung oder der Präzisionslandwirtschaft variabel. An dieser Stelle kann agrarökonomische Forschung Technikfolgenabschätzungen beisteuern. In dem Beitrag werden anhand ausgewählter, prototypischer Studien die zur Verfügung stehenden Methoden und Vorgehensweisen dargestellt, um die genannten Fragestellungen zu beantworten. Dabei werden neben inhaltlichen Ergebnissen auch die methodischen und datenbezogenen Herausforderungen angesprochen, die damit einhergehen. Folgendes Fazit lässt sich aus dieser Bestandaufnahme ziehen: *Erstens*, das für die Transformation des Pflanzenschutzes erforderliche System-, Ziel- und Transformationswissen erfordert eine Zusammenarbeit nicht nur zwischen verschiedenen agrarökonomischen Teildisziplinen, sondern auch mit angrenzenden Wissenschaftsdisziplinen, insbesondere Phytomedizin, Pflanzenbau und -züchtung, Agrartechnik sowie Sozial- und Politikwissenschaften und Humanmedizin und Psychologie. *Zweitens*, verfügt die Agrarökonomie über ein breites Methodenspektrum, um das erforderliche Gestaltungswissen zu generieren. Vielen Methoden liegt ein an wirtschaftlichen Zielen orientiertes Rationalverhalten zugrunde. Daneben haben in den letzten Jahren vermehrt verhaltensökonomische Ansätze Einzug in die agrarökonomische Forschung gehalten. *Drittens* sind in unserer Bestandaufnahme auch die Grenzen der vorliegenden Ergebnisse agrar- umwelt- und gesundheitsökonomischer Forschungsbeiträge deutlich geworden. Diese Grenzen drücken sich nicht nur in fehlenden, sondern zum Teil auch in widersprüchlichen Ergebnissen zu den Kosten einer Transformation hin zu einem nachhaltigen Pflanzenschutz aus. Es

scheint geboten, modell- oder datenbezogene Unschärfen wissenschaftlicher Ergebnisse ausdrücklich darzulegen und die Reliabilität, Robustheit und Verallgemeinerbarkeit der getroffenen Aussagen explizit zu diskutieren. *Viertens* stellen Kommunikation und der Transfer wissenschaftlicher Ergebnisse in Politik und Gesellschaft wichtige Aufgaben dar, nicht nur, aber auch für die Agrarökonomie, gerade in einem so kontrovers diskutierten Bereich wie dem chemischen Pflanzenschutz.

Summary

Plant protection tomorrow – What can agricultural economists contribute?

The German Plant Protection Conference in 2023 was themed "Plant Protection Tomorrow – What Can Science Contribute?". A plenary session was held to discuss, from various scientific and practical perspectives, which factors and framework conditions make a transformation of the agricultural sector in Germany and the EU necessary with regard to the use of chemical pesticides, whether these (political) framework conditions appear appropriate and how a transformation can be achieved. This article provides an overview of the role that agricultural economics can play in this process.

The initial focus is on objectively quantifying existing trade-offs between various entrepreneurial and societal goals while considering the interrelationships among goals such as yield levels, yield stability, health, and various environmental aspects like climate and biodiversity. Another task involves contrasting these goal conflicts with societal preferences. Additionally, efforts are directed towards identifying and reducing inefficiencies in the use of chemical plant protection measures. The process of analyzing and evaluating goal conflicts is dynamic, influenced by technological advancements such as those in breeding or precision agriculture. Agricultural economic research can contribute to technology impact assessments in this regard. The article presents selected prototypical studies outlining available methods and approaches to address the aforementioned questions, discussing not only substantive results but also methodological and data-related challenges. The following conclusions can be drawn from this assessment: First, the necessary system, goal, and transformation knowledge for plant protection transformation require collaboration not only between various sub-disciplines of agricultural economics but also with adjacent disciplines such as phytomedicine, crop science and breeding, agricultural technology, as well as social and political sciences, human medicine, and psychology. Second, agricultural economics holds a broad spectrum of methods to generate the required design knowledge, often rooted in economically oriented rational behavior. Additionally, behavioral economic approaches have increasingly found their way into agricultural economic research in recent years. Third, our assessment has revealed the limits of existing results in agricultural, environmental, and health economics research contributions. These limits are reflected not only in missing but also sometimes contradictory results regarding the costs of a transformation towards

sustainable plant protection. Thus it is necessary to explicitly state model or data-related uncertainties in scientific results and discuss the reliability, robustness, and generalizability of the statements made. Fourth, communication and the transfer of scientific results to policy and society are crucial tasks, not only for agricultural economics but especially in a highly controversial area like chemical plant protection.

Literatur

1. Aubert, M., & Enjolras, G. (2022). Intensive and extensive impacts of EU subsidies on pesticide expenditures at the farm level. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 11(2), 218-234.
2. 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.
3. Bakker, L., Sok, J., Van Der Werf, W., & Bianchi, F. J. J. A. (2021). Kicking the habit: what makes and breaks farmers' intentions to reduce pesticide use? *Ecological Economics*, 180, 106868.
4. Balmann, A., Becker, T., Berg, E., Bitsch, V., Herrmann, R., Jungehülsing, R., Kantelhardt, J., Oedl-Wieser, T. & Weingarten, P. (2018). Leistungen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern: Art, Umfang und Bewertung – Ergebnisse einer Befragung der Mitglieder von GEWISOLA und ÖGA. Bericht über Landwirtschaft 98(2), DOI: <https://doi.org/10.12767/buel.v96i2.213>
5. Bazoche, P., Combris, P., Giraud-Héraud, E., Seabra Pinto, A., 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.
6. Beckman, J., Ivanic, M., & Jelliffe, J. (2022). Market impacts of Farm to Fork: Reducing agricultural input usage. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44(4), 1995-2013.
7. Böcker, T. G., Britz, W., Möhring, N., & Finger, R. (2020). Data on an economic and environmental assessment of a glyphosate ban for the example of maize production in North Rhine-Westphalia, Germany.
8. Boedeker, W., Watts, M., Clausing, P., & Marquez, E. (2020). The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review. *BMC public health*, 20(1), 1-19.
9. Buchholz, M., & Mußhoff, O. (2021). Tax or green nudge? An experimental analysis of pesticide policies in Germany. *European Review of Agricultural Economics*, 48(4), 940-982.
10. BVL (2023). Inlandsabsatz und Ausfuhr von Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/03_PSMInlandsabsatzAusfuhr/psm_PSMInlandsabsatzAusfuhr_node.html?cms_thema=Inlandsabsatz+und+Export+von+Pflanzenschutzmitteln, Abruf am 04.10.2023
11. Chatzimichael, K., Genius, M., & Tzouvelekas, V. (2022). Pesticide use, health impairments and economic losses under rational farmers behavior. *American Journal of Agricultural Economics*, 104(2), 765-790.
12. Chèze, B., David, M., & Martinet, V. (2020). Understanding farmers' reluctance to reduce pesticide use: A choice experiment. *Ecological Economics*, 167, 106349.
13. Daugbjerg, C. (2023). Using public procurement of organic food to promote pesticide-free farming: A comparison of governance modes in Denmark and Sweden. *Environmental Science & Policy*, 140, 271-278. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901122003823>
14. Dunn, S. E., Reed, J. E., & Neumann, C. (2021). Letter to the editor regarding the article "The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review". *BMC public health*, 21, 1-3.
15. Eddleston, M. (2020). Poisoning by pesticides. *Medicine*, 48(3), 214-217.
16. Fantke, P., Friedrich, R., & Jolliet, O. (2012). Health impact and damage cost assessment of pesticides in Europe. *Environment international*, 49, 9-17.
17. Ferrari, L., Cavaliere, A., De Marchi, E., & Banterle, A. (2019). Can nudging improve the environmental impact of food supply chain? A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 184-192. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224419302614>
18. Filiptseva, A., Filler, G. & Odening, M. (2023). Compensation schemes for plant quarantine pest costs: A case study for Germany. *Economic Analysis and Policy* 80 (2023) 1381–1395, <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.10.005>
19. Finger, R., & Möhring, N. (2022). The adoption of pesticide-free wheat production and farmers' perceptions of its environmental and health effects. *Ecological Economics*, 198, 107463.
20. Florax, R. J., Travisi, C. M., & Nijkamp, P. (2005). A meta-analysis of the willingness to pay for reductions in pesticide risk exposure. *European Review of Agricultural Economics*, 32(4), 441-467.
21. Grovermann, C., Schreinemacher, P., Riwthong, S., & Berger, T. (2017). ‚Smart‘ policies to reduce pesticide use and avoid income trade-off: An agent-based model applied to Thai agriculture. *Ecological Economics* 132, 91-103.

22. Gschwandtner, A. & Burton, M. (2020). Comparing treatments to reduce hypothetical bias in choice experiments regarding organic food. *European Review of Agricultural Economics* 47(3), 1302-1337.
23. Henning, C., & Witzke, P. (2021). Economic and Environmental impacts of the Green Deal on the Agricultural Economy: A Simulation Study of the Impact of the F2F-Strategy on Production, Trade, Welfare and the Environment based on the CAPRI-Model. *Trade, Welfare and the Environment Based on the CAPRI-Model*. <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/17/3215>
24. Karunaratne, A., Gunnell, D., Konradsen, F., & Eddleston, M. (2020). How many premature deaths from pesticide suicide have occurred since the agricultural Green Revolution?. *Clinical toxicology*, 58(4), 227-232
25. Kehlenbeck, H., Saltzmann, J., Schwarz, J., Zwerger, P., Nordmeyer, H., Roßberg, D. & Freier, B. (2015). Impact assessment of partial or complete abandonment of glyphosate application for farmers in Germany. *Julius-Kühn-Archiv*, (451).
26. Lee, R., den Uyl, R., & Runhaar, H. (2019). Assessment of policy instruments for pesticide use reduction in Europe; Learning from a systematic literature review. *Crop Protection*, 126, 104929.
27. Lefebvre, M., Biguzzi, C., Ginon, E., Gomez-y-Paloma, S., Langrell, S. R. H., Marette, S., ... & Sutan, A. (2017). Mandatory integrated pest management in the European Union: experimental insights on consumers' reactions. *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, 98, 25-54.
28. Lin, W., & Nayga Jr, R. M. (2022). Green identity labeling, environmental information, and pro-environmental food choices. *Food Policy*, 106, 102187. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919221001664>
29. Lybbert, T. J., Magnan, N., & Gubler, W. D. (2012). Multi-Dimensional Responses to Risk Information: How do Winegrape Growers Respond to Disease Forecasts and to What Environmental Effect? (No. 1578-2016-134020).
30. Pergner, I., Lippert, C. (2023). On the effects that motivate use in perspective of designing a cropping system without pesticides but with mineral fertilizer – a review. *Agronomy for Sustainable Development* 43:23,
31. Qaim, M. (2020). Role of new plant breeding technologies for food security and sustainable agricultural development. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 42(2), 129-150.
32. Rajmis, S., Karpinski, I., Pohl, J. P., Herrmann, M., & Kehlenbeck, H. (2022). Economic potential of site-specific pesticide application scenarios with direct injection and automatic application assistant in northern Germany. *Precision Agriculture*, 23(6), 2063-2088.
33. Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., ... & Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of cleaner production*, 283, 124657.
34. Reisch, L. A. (2021). Shaping healthy and sustainable food systems with behavioural food policy. *European Review of Agricultural Economics*, 48(4), 665-693. <https://academic.oup.com/erae/article-abstract/48/4/665/6307931>
35. Ryan, M., & Watson, V. (2009): Comparing Welfare Estimates from Payment Card Contingent Valuation and Discrete Choice Experiments. *Health Economics* 18, 389-401.
36. Saile, M., Spaeth, M., Schwarz, J., Bahrs, E., Claß-Mahler, I. & Gerhards, R. (2023). Weed control in a pesticide-free farming system with mineral fertilisers. *Weed Research*.
37. Schnitkey, G., & Sellars, S. (2016). Growth rates of fertilizer, pesticide, and seed costs over time. *farmdoc daily*, 6.
38. Schreinemachers, P. & Berger, T. (2011). An agent-based simulation model of human-environment interactions in agricultural systems. *Environmental Modelling & Software* 25, 845-859.
39. Uehleke, R., Petrick, M., & Hüttel, S. (2022). Evaluations of agri-environmental schemes based on observational farm data: The importance of covariate selection. *Land Use Policy*, 114, 105950.

Anschrift der Autoren

Martin Odening
Department für Agrarökonomie
Humboldt-Universität zu Berlin
Philippstraße 13
10115 Berlin

E-Mail: m.odening@agrار.hu-berlin.de

Günther Filler
Department für Agrarökonomie
Humboldt-Universität zu Berlin
Philippstraße 13
10115 Berlin

E-Mail: guenther.filler@agrار.hu-berlin.de