

Maßnahmen zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes – Anpassungsoptionen, Kosten und Möglichkeiten zur umweltpolitischen Steuerung

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. sc. agr.)
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Marcel Dehler

geboren am 25.07.1992 in Fulda

Göttingen, im September 2022

1. Gutachter: Prof. Dr. Folkhard Isermeyer

2. Gutachter: Prof. Dr. Achim Spiller

3. Gutachter: Prof. Dr. Jan-Henning Feil

Tag der mündlichen Prüfung: 02.12.2022

Danksagung

Diese Arbeit ist während meiner Tätigkeit im Thünen-Institut für Betriebswirtschaft entstanden. Die vergangenen fünf Jahre waren von vielen schönen, aber auch herausfordernden Momenten geprägt. Umso mehr freut es mich, an dieser Stelle denjenigen danken zu können, die zum Gelingen der Dissertation beigetragen haben.

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Folkhard Isermeyer möchte ich für das entgegengebrachte Vertrauen und die Unterstützung während der gesamten Zeit danken. Er hat durch seinen Weitblick und die durchdachten Impulse dazu beigetragen, den Blick für das Wesentliche nicht zu verlieren. Prof. Dr. Achim Spiller möchte ich für die Übernahme des Zweitgutachtens danken. Ebenso danke ich Prof. Dr. Jan-Henning Feil für die Prüfung dieser Arbeit im Rahmen der Disputation. Für konstruktive Hinweise, motivierende Worte und den notwendigen Freiraum möchte ich mich bei Prof. Dr. Hiltrud Nieberg herzlich bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gilt Dr. Thomas de Witte. Er stand mir über die letzten fünf Jahre als stets verlässlicher Ansprechpartner und Unterstützer in allen Lebenslagen zur Seite. Unzählige inhaltliche Diskussionen und Gespräche, die wohlüberlegt kritischen aber zugleich konstruktiven Hinweise haben immer wieder geholfen, Lösungen für aufkommende Herausforderungen zu entwickeln. In dieser Zeit habe ich gelernt, Dinge regelmäßig kritisch zu hinterfragen. Er konnte mich immer wieder dazu ermutigen, das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren und hat maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Diese Arbeit wäre in der Form nicht möglich gewesen, wenn es nicht Landwirt*innen gegeben hätte, die Interesse an einem kontinuierlichen Austausch zur Weiterentwicklung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes haben. Den involvierten Betriebsleiter*innen gilt dafür ein Dank für die aufgebrachte Zeit in den gemeinsamen Diskussionsrunden. In diesem Zusammenhang möchte ich besonders Dr. Ulrich Lehrke danken.

Außerdem möchte ich meinen Kollegen und Freunden Dr. Samuel Ferreira Balieiro, Hauke Tergast und Daniel Tudela Staub für die vielen gemeinsamen Diskussionen und Gespräche danken. Sie haben immer wieder dazu beigetragen, Lösungen in scheinbar festgefahrenen Situationen zu finden und neue Gedanken entwickeln zu können.

Dass ich die Möglichkeit hatte, diese Arbeit anzufertigen, verdanke ich meiner gesamten Familie. Hier habe ich jegliche Unterstützung erfahren. Der größte Dank gilt meiner Frau Elena für ihre unbeschreibliche Hilfe, ihre unermessliche Geduld sowie die Bereitschaft und Entschlossenheit, diesen Weg mit mir gemeinsam zu bestreiten. Ohne diese Unterstützung wäre es mir nicht möglich gewesen, diese Dissertation zu schreiben.

Meiner Frau Elena und unseren beiden Söhnen widme ich diese Arbeit.

Marcel Dehler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Vorgehensweise	3
2	Hintergründe und Maßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln im deutschen Ackerbau	5
2.1	Bestehende Anforderungen an Pflanzenschutzmittel und Maßnahmen zur Minderung der Risiken	5
2.1.1	Rechtsgrundlagen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in Deutschland	5
2.1.2	Zulassung und Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln	8
2.2	Entwicklung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und ihrer Risiken	11
2.3	Messbarkeit des Einsatzes von und der Risiken durch Pflanzenschutzmittel	14
2.3.1	Gebrauchsindikatoren	14
2.3.2	Risikoindikatoren	16
2.4	Stand des Wissens ackerbaulicher Maßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln	24
2.4.1	Pflanzenbauliche Einflussfaktoren auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	24
2.4.2	Ergebnisse pflanzenbaulicher Versuche zu Ertrags- und Einkommenseffekten bei reduziertem Pflanzenschutzmitteleinsatz	29
2.4.2.1	Versuchsergebnisse zu den Folgen einer Reduktion des gesamten Pflanzenschutzmitteleinsatzes	29
2.4.2.2	Versuchsergebnisse zu den Folgen einer Herbizidreduktion	32
2.4.2.3	Versuchsergebnisse zu den Folgen einer Fungizidreduktion	33
2.4.2.4	Exkurs: Analyse von Landessortenversuchen zur Ertragswirkung und Wirtschaftlichkeit eines Fungizidverzichts im Winterweizen	35
2.4.2.5	Versuchsergebnisse zu den Folgen einer Insektizidreduktion	39
2.4.2.6	Ableitung von Schlussfolgerungen für die eigene Arbeit	40
2.5	Umweltpolitische Strategien zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln auf Basis der Literatur	41
3	Entwicklung des eigenen Forschungsansatzes	48
3.1	Der Gesamtansatz im Überblick	48
3.2	Zusammenwirken und Beschreibung der einzelnen Bestandteile des Forschungsansatzes	53

3.2.1	Nutzung eines regionstypischen Modellbetriebs	54
3.2.2	Fokusgruppendifkussionen zur Validierung, Bewertung und Anpassung der Reduktionsstrategien	56
3.2.3	Einbindung von statistischen Daten und Feldversuchen	58
3.3	Festlegung des Analyserahmens	59
3.3.1	Auswahl des Untersuchungsstandortes	60
3.3.2	Auswahl von PSM-Reduktionszielen	60
3.3.3	Festlegung der Aggregationsebene von Minderungszielen sowie zulässiger Minderungsmaßnahmen	61
3.4	Beschreibung des Kalkulationstools und wesentlicher Annahmen	63
3.4.1	Aufbau des Kalkulationstools	64
3.4.2	Beschreibung wesentlicher Annahmen für das Kalkulationstool	66
3.5	Vorgehen zur Ableitung und Folgenabschätzung umweltpolitischer Maßnahmen	70
4	Anpassungsmaßnahmen und ökonomische Folgen reduzierter Risiken durch Pflanzenschutzmittel	73
4.1	Der Modellbetrieb in der Ausgangssituation	73
4.1.1	Natürliche Standorteigenschaften und Fruchtfolge des Modellbetriebs	73
4.1.2	Bisherige Produktionssysteme sowie Risiken durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	77
4.1.3	Die innerbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit der angebauten Kulturen	86
4.2	Strategien und Kosten zur Risikoreduktion von Pflanzenschutzmitteln auf Kulturebene	90
4.2.1	Zuckerrübe	90
4.2.2	Winterweizen	96
4.2.2.1	Winterweizen nach Zuckerrübe	97
4.2.2.2	Stoppelweizen	100
4.2.2.3	Winterweizen nach Winterraps	104
4.2.2.4	Winterweizen nach Silo- und Körnermais	108
4.2.3	Winterraps	112
4.2.4	Silo- und Körnermais	116
4.2.5	Wintergerste	121
4.2.6	Vergleich der Kosten zur Reduktion des PLI in den angebauten Kulturen	124
4.3	Anpassungsstrategien und -kosten auf gesamtbetrieblicher Ebene	126
4.3.1	Produktionstechnische Anpassungen	130
4.3.2	Anpassungskosten der verschiedenen Umsetzungsoptionen zur PLI-Reduktion auf gesamtbetrieblicher Ebene	134
4.3.3	Zwischenfazit zu den Anpassungsmaßnahmen und -kosten einer PLI-Reduktion	137

5	Möglichkeiten einer umweltpolitischen Steuerung zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel	139
5.1	Vorstellung und Folgenabschätzung der ausgewählten Politikoptionen	140
5.1.1	Einzelbetriebliche PLI-Obergrenzen	141
5.1.1.1	Maßnahmenkonzeption	141
5.1.1.2	Begründung der Maßnahmenkonzeption	143
5.1.1.3	Folgenabschätzung	146
5.1.2	Lizenzsystem mit handelbaren PLI-Nutzungsrechten	149
5.1.2.1	Maßnahmenkonzeption	149
5.1.2.2	Begründung der Maßnahmenkonzeption	150
5.1.2.3	Folgenabschätzung	151
5.1.3	Staatliche Förderung niedriger PLI-Hektarwerte	154
5.1.3.1	Maßnahmenkonzeption	155
5.1.3.2	Begründung der Maßnahmenkonzeption	156
5.1.3.3	Folgenabschätzung	157
5.1.4	Erhöhung der PSM-Preise nach Maßgabe des PLI	159
5.1.4.1	Maßnahmenkonzeption	159
5.1.4.2	Begründung der Maßnahmenkonzeption	160
5.1.4.3	Folgenabschätzung	161
5.2	Funktionsweise einer Online-Datenbank und allgemeine Herausforderungen der Kontrollierbarkeit	164
5.3	Ergebnisdiskussion der Folgenabschätzung	168
6	Schlussfolgerungen	173
6.1	Inhaltliche Schlussfolgerungen	173
6.2	Methodische Schlussfolgerungen	180
7	Zusammenfassung	183
8	Summary	191
9	Literaturverzeichnis	198
	Anhang	212

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zonale Zulassung von Pflanzenschutzmitteln in der Europäischen Union	10
Abbildung 2: Ertragsverlust (in %) ggü. Variante „optimal ortsüblich“ (Ø 2007 - 2019) in Bayern	30
Abbildung 3: Fungizidkostenbereinigter Mehrerlös (in €/ha) ausgewählter Bundesländer im Durchschnitt der Jahre 2004 bis 2016 bei Weizen	38
Abbildung 4: Die Umsetzung des eigenen Ansatzes im schematischen Überblick	51
Abbildung 5: Bestandteile des qualitativen Forschungsansatzes im Überblick	54
Abbildung 6: Bestandteile des Modellbetriebs	55
Abbildung 7: Schematischer Aufbau des Kalkulations- und Auswertungstools	65
Abbildung 8: Exemplarische Ertragsverteilung von Winterweizen	69
Abbildung 9: Temperatur- und Niederschlagsverteilung der Wetterstation Hameln-Hastenbeck im Durchschnitt der Jahre 1991 bis 2020	74
Abbildung 10: Anbauanteile unterschiedlicher Kulturen (in %) in der Region Hildesheim 2016	75
Abbildung 11: Anteile einzelner Pflanzenschutzmittel am PLI je Hektar Zuckerrübenfläche	79
Abbildung 12: Anteil einzelner PSM-Gruppen am PLI je Hektar Winterweizen nach verschiedenen Vorfrüchten	81
Abbildung 13: Anteile einzelner PSM-Gruppen am PLI je Hektar Winterraps	83
Abbildung 14: Anteile einzelner PSM-Gruppen am PLI je Hektar Wintergerste	84
Abbildung 15: PLI je Hektar der Kulturen in der Ausgangssituation im Vergleich	86
Abbildung 16: schematischer Vergleich von Flächenspritzung und einer Kombination aus Hacke und Bandspritze	93
Abbildung 17: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Zuckerrüben	96
Abbildung 18: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Winterweizen nach Zuckerrüben	100
Abbildung 19: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Stoppelweizen	103
Abbildung 20: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Winterweizen nach Winterraps	107
Abbildung 21: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Winterweizen nach Silo- und Körnermais	111

Abbildung 22: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Winterraps	116
Abbildung 23: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Silo- und Körnermais	120
Abbildung 24: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Wintergerste	123
Abbildung 25: Anpassungskosten (in €/ha) auf Ebene der Einzelkulturen	125
Abbildung 26: Die DAKfL der Kulturen je ausgebrachter PLI-Einheit	129
Abbildung 27: Motormaschinenstunden (in h/ha) bei unterschiedlichem PLI-Niveau	133
Abbildung 28: Veränderung der DAKfL (in €/ha) und erzeugter GE bei einer 25 %igen PLI-Reduktion verschiedener Umsetzungsoptionen auf gesamtbetrieblicher Ebene	135
Abbildung 29: Veränderung der DAKfL (in €/ha) und erzeugter GE bei einer 50 %igen PLI-Reduktion verschiedener Umsetzungsoptionen auf gesamtbetrieblicher Ebene	136
Abbildung 30: kulturindividuelle PLI-Obergrenzen anhand des Modellbetriebs	142
Abbildung 31: Aufbau einer Online-Datenbank zur Kontrolle eingesetzter PLI-Einheiten	166

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirkstoffeinteilung des harmonisierten Risikoindikators (vereinfacht)	17
Tabelle 2: Einteilung der SYNOPS-Risikoindizes	19
Tabelle 3: Mindererträge (in %) gegenüber einer dreifachen Fungizidbehandlung im Mittel der Jahre 2005/06 und 2006/07 für Weizen und Gerste in Niedersachsen	34
Tabelle 4: Preisannahmen für Marktfrüchte und Nährstoffe (jeweils ohne Mehrwertsteuer)	66
Tabelle 5: Fruchtfolge und deren Flächenanteile im Modellbetrieb	75
Tabelle 6: Vergleich der Ertragsersparnis der Fokusgruppe mit statistischen Ernteerträgen	76
Tabelle 7: Wirtschaftlichkeit der Kulturen in der Ausgangssituation im Vergleich	89
Tabelle 8: Übersicht der Anpassungsoptionen im Zuckerrübenanbau	91
Tabelle 9: Übersicht der Anpassungsoptionen bei Winterweizen nach Zuckerrüben	97
Tabelle 10: Überblick der Anpassungsoptionen für Stoppelweizen	101
Tabelle 11: Überblick der Anpassungsoptionen für Winterweizen nach Winterapps	104
Tabelle 12: Überblick der Anpassungsoptionen für Winterweizen nach Silo- und Körnermais	108
Tabelle 13: Überblick der Anpassungsoptionen für Winterapps	112
Tabelle 14: Überblick der Anpassungsoptionen für Silo- und Körnermais	117
Tabelle 15: Überblick der Anpassungsoptionen für Wintergerste	121
Tabelle 16: potenzielle politische Umsetzungsoptionen auf gesamtbetrieblicher Ebene	127
Tabelle 17: Kostenminimale Anpassungsmaßnahmen zur Umsetzung verschiedener PLI-Reduktionsziele und Umsetzungsszenarien	132
Tabelle 21: Ermittlung der Einkommenswirksamkeit einer einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze für den Modellbetrieb	147
Tabelle 20: Ermittlung der maximalen Einkommenswirksamkeit eines Lizenzmodells für den Modellbetrieb	154

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung des Behandlungsindex	15
Formel 2: Berechnung des Pesticide Load Indicators	20
Formel 3: Berechnung des Umweltverhaltens (environmental fate) im PLI	21
Formel 4: Berechnung der Ökotoxizität (toxicity load) im PLI	22
Formel 5: Berechnung des Einflusses auf die menschliche Gesundheit (health load) im PLI	22

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen im Anhang

Abbildung A 1: Mehrerträge (in dt/ha) und deren Spannweiten durch den Einsatz von Fungiziden im Mittel der Jahre 2004 bis 2016	212
Abbildung A 2: Entwicklung der Fungizidkosten (€/ha) im Zeitablauf	213
Abbildung A 3: Exemplarischer PLI-Vergleich zweier substituierbarer Insektizide	213
Abbildung A 4: Gesamtkosten der Unkrautbekämpfung (€/ha) im Vergleich	214
Abbildung A 5: schematische Ansicht der Online-Datenbank	215
Tabelle A 1: Stellvertreterorganismen des SYNOPS-Indikators	216
Tabelle A 2: Annahmen zu Applikationskosten je Überfahrt zur Ausbringung der Fungizide und Wachstumsregler	216
Tabelle A 3: Übersicht zu verwendeten Boden-Klima-Räumen	217
Tabelle A 4: Fungizidkosten und fungizidkostenfreier Mehrerlös (in €/ha) nach BKR	217
Tabelle A 5: verfügbare Feldarbeitsstunden nach KTBL (2016) und Fokusgruppe (2020)	218
Tabelle A 6: variable und fixe Maschinenkosten (ohne Diesel)	219
Tabelle A 7: Variable und fixe Maschinenkosten für einzelne Verfahrensschritte (in €/ha)	220
Tabelle A 8: Kosten für Lohndienstleistungen (in €/ha)	221
Tabelle A 9: Produktionssystem Zuckerrübe in der Ausgangssituation	221
Tabelle A 10: Produktionssystem Winterweizen nach Zuckerrübe in der Ausgangssituation	222
Tabelle A 11: Produktionssystem Winterweizen nach Winterraps in der Ausgangssituation	222
Tabelle A 12: Produktionssystem Winterweizen nach Getreide in der Ausgangssituation	223
Tabelle A 13: Produktionssystem Winterweizen nach Silomais in der Ausgangssituation	223
Tabelle A 14: Produktionssystem Winterraps in der Ausgangssituation	224
Tabelle A 15: Produktionssystem Silomais in der Ausgangssituation	224
Tabelle A 16: Produktionssystem Wintergerste in der Ausgangssituation	225
Tabelle A 17: Produktionssystem Ackerbohne als potenzielle Alternativkultur	225
Tabelle A 18: DAKfL (in €/ha) von Alternativkulturen und Brache im Modellbetrieb	226
Tabelle A 19.1 – A 19.6: gewählte Anpassungsszenarien in den Szenarien (Werte in % Fruchtfolgeanteil)	226
Tabelle A 20: Veränderung erzeugter Getreideeinheiten (1)	229
Tabelle A 21: Veränderung erzeugter Getreideeinheiten (2)	230

Abkürzungsverzeichnis

AF	Ackerfläche
AWM	Aufwandmenge
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BKR	Boden-Klima-Raum
BI	Behandlungsindex
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BVL	Bundesministerium für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
DAKfL	Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung
DB	Deckungsbeitrag
ETR	Exposure Toxicity Ratio
FG	Fokusgruppe
GE	Getreideeinheit
GfP	Gute fachliche Praxis
h	Stunde
ha	Hektar
HRI	Harmonised Risk Indicator
IPS	Integrierter Pflanzenschutz
JKI	Julius-Kühn-Institut
NAK	Nachauflaufbehandlung
NAP	Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutz
PAKfL	pflanzenschutz- und arbeitskostenfreien Leistung
PLI	Pesticide Load Indicator
PPDB	Pesticide Properties Database
PSM	Pflanzenschutzmittel
UBA	Umweltbundesamt
UKB	Unkrautbekämpfung
UQN	Umweltqualitätsnorm

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel¹ sind ein wesentlicher Bestandteil der konventionellen Pflanzenproduktion in Deutschland (Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018; Falconer und Hodge, 2001). Durch ihren Einsatz können die potenziellen Ertragsverluste um rund 50 % gesenkt werden (Oerke, 2006). Aufgrund dessen ist es durch den Einsatz des chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes gelungen, die Flächenproduktivität zu erhöhen und einen wesentlichen Beitrag zur Ernährungssicherung zu leisten (Tiedemann, 2018; Noleppa et al., 2012; Keulemans et al., 2019).

Jedoch haben Pflanzenschutzmittel negative Auswirkungen auf die Biodiversität, sind in Grund- und Oberflächengewässern zu finden und werden damit in Verbindung gebracht, die menschliche Gesundheit negativ zu beeinflussen (Schäffer et al., 2018; Landrigan et al., 2018; Sanders und Heß, 2019). Deshalb wird in der jüngeren Vergangenheit von der Politik und Gesellschaft immer stärker eine Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes gefordert (Gutsche, 2006; Dressel et al., 2010; Lee et al., 2019).

Das grundsätzliche Ziel der Politik, den Einsatz und die damit verbundenen Risiken² durch Pflanzenschutzmittel zu reduzieren, ist nicht neu. Eine Verschärfung der Zulassungsverfahren, strikte Anwendungsaufgaben oder die gezielte Förderung pflanzenschutzreduzierender Produktionsverfahren führte bereits zu einem sinkenden Einsatz und verringerten Risiken (BMEL, 2020a). Zuletzt hat die Europäische Kommission im Rahmen des „Green Deals“ im Frühjahr 2020 in der „Farm-to-Fork“-Strategie das Ziel formuliert, den Einsatz von und die Risiken durch Pflanzenschutzmittel bis zum Jahr 2030 halbieren zu wollen (Europäische Kommission, 2020). Vergleichbare Ziele gibt es auch auf nationaler Ebene in Deutschland: Zahlreiche politische Initiativen wie etwa der Koalitionsvertrag der Jahre 2021 bis 2025, die „Ackerbaustrategie“ des BMEL, der „Nationale Aktionsplan Pflanzenschutz“, das „Insektenschutzprogramm“ oder der „Niedersächsische Weg“ zielen auf eine Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und der damit einhergehenden Risiken für Umwelt und Menschen ab (BMU, 2019; BMEL, 2019a; Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz et al., 2020; SPD und Bündnis 90/Die Grünen und FDP, 2021).

Bei den Zielen umweltpolitischer Strategien besteht grundsätzlich Einigkeit darin, dass die applizierte Wirkstoffmenge zu reduzieren sowie der Einsatz von weniger risikoreichen Wirkstoffen und

¹ Zur besseren Lesbarkeit werden chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel nachfolgend als „Pflanzenschutzmittel“ bezeichnet.

² Risiko bzw. Risiken ist/sind in dieser Arbeit stets als Toxizität für Umwelt und menschliche Gesundheit durch die Anwendung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel zu verstehen.

nicht-chemischen Alternativen zu fördern ist (Skevas et al., 2012). In den bisherigen politischen Initiativen zur Risikoreduktion werden jedoch lediglich Minderungsziele genannt. Die Fragen, wie die Risikoeinsparungen zielgerichtet gemessen werden können, welche Kosten auf Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe entstehen und mit welchen Maßnahmen der umweltpolitischen Steuerung diese erreicht werden sollen, bleiben jedoch unbeantwortet.

Hinsichtlich der Mengen- und Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln existieren in der Wissenschaft zahlreiche Ansätze (Reus et al., 2002; Kudsk et al., 2018; Finger et al., 2016; Möhring et al., 2019). Die Umsetzung zur Risikomessung innerhalb der europäischen Mitgliedsländer ist dementsprechend uneinheitlich. Hinzu kommt, dass die Ziele und Herangehensweisen der verschiedenen Indikatoren sich zum Teil deutlich unterscheiden. Zudem ist unklar, welche Indikatoren für eine praktische Umsetzung auf einzelbetrieblicher Ebene geeignet sind.

Ebenso bleiben die Anpassungskosten der landwirtschaftlichen Betriebe meist unberücksichtigt, sodass eine erhebliche Unsicherheit besteht, zu welchen Kosten bestimmte Reduktionsziele erreicht werden können. Bisherige Analysen der Kosten eines reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatzes sind vorrangig auf Feldversuche beschränkt, in denen die Aufwandmengen und die Intensität reduziert wurden. Konkrete Kostenschätzungen in Folge einer Reduktion der Risiken liegen nur in unzureichendem Maße vor. Auch die Erfahrungen aus dem europäischen Ausland können aufgrund einer eingeschränkten Übertragbarkeit nur ungefähre Einschätzungen liefern. Eine systematische Analyse der Anpassungsreaktionen auf Ebene der individuellen Produktionssysteme erfolgt in der Regel nicht.

Ob und wie landwirtschaftliche Betriebe ihre Produktionssysteme anpassen, um den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die damit verbundenen Risiken zu senken, hängt maßgeblich von den umweltpolitischen Maßnahmen selbst und deren Ausgestaltung ab. Die Vor- und Nachteile verschiedener politischer Umsetzungsstrategien zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln werden zwar sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene diskutiert, jedoch zielen die Studien vorrangig auf die Einführung eines Steuermodells ab (Finger und Böcker, 2016; Möckel et al., 2015; Mußhoff, 2017; Möckel et al., 2021). Ein konkreter Vergleich unterschiedlicher Politikoptionen und eine Abschätzung der Anpassungsreaktionen unter Berücksichtigung landwirtschaftlicher Expertise erfolgt meist nicht.

1.2 Zielsetzung

Aufgrund der offenen Fragen besteht das Ziel dieser Dissertation darin, anhand eines typischen Modellbetriebs zu analysieren, mit welchen betrieblichen Anpassungsoptionen die mit dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verbundenen Risiken für Mensch und Umwelt um 25 bzw. um 50 % reduziert werden können und welche Kosten daraus resultieren. Darauf aufbauend sollen Politikmaßnahmen entwickelt werden, die unterschiedliche Nebenziele verfolgen. Die Folgen der

Politikmaßnahmen sollen unter Berücksichtigung der Expertise landwirtschaftlicher Betriebsleiter*innen abgeschätzt werden.

1.3 Vorgehensweise

Um die Hintergründe und Maßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln besser zu verstehen, werden in Kapitel 2.1 zunächst die Chancen und Risiken des Pflanzenschutzmitteleinsatzes erläutert. Anschließend werden die formalen Anforderungen an Pflanzenschutzmittel wie geltende Rechtsgrundlagen sowie bereits bestehende Politikmaßnahmen beschrieben, mit denen bisher der Anwender- und Umweltschutz umgesetzt wird. Um einen reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz und die damit verbundenen Risiken überhaupt messen zu können, ist ein geeigneter Indikator erforderlich. Hierfür werden in Kapitel 2.3 die Vor- und Nachteile verschiedener Indikatoren vorgestellt und darauf aufbauend ein geeigneter Indikator für diese Arbeit ausgewählt.

Die Anpassungskosten landwirtschaftlicher Betriebe hängen in hohem Maße von der Ertragswirkung eines verminderten Pflanzenschutzes ab. Um ackerbauliche Minderungsmaßnahmen anhand des Modellbetriebs analysieren zu können, ist es zunächst erforderlich, umsetzbare Anpassungsoptionen zu identifizieren. Hierfür wird in Kapitel 2.4 der Stand der Forschung zur Verringerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes sowie den daraus resultierenden Ertragseffekten und Kosten dargestellt. Dabei wird zwischen Maßnahmen zur Reduktion von Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden differenziert.

Damit die landwirtschaftlichen Betriebe überhaupt Maßnahmen zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel umsetzen, ist eine umweltpolitische Maßnahme notwendig, die durch Anreizmechanismen oder Auflagen zu Anpassungsreaktionen seitens der landwirtschaftlichen Unternehmer*innen führt. Daher werden in Kapitel 2.5 zunächst Erfahrungen mit unterschiedlichen umweltpolitischen Instrumenten übersichtsartig erläutert und Möglichkeiten dargelegt, wie eine Politikmaßnahme zielgerichtet entwickelt und bewertet werden kann. Im Anschluss daran werden bisherige Arbeiten vorgestellt, die konkrete Vorschläge für eine Umsetzung umweltpolitischer Instrumente gemacht haben. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Ableitung und Bewertung unterschiedlicher Politikmaßnahmen.

Aufbauend auf dem Stand des Wissens wird in Kapitel 3 der eigene Ansatz zur Analyse von Anpassungsoptionen und -kosten sowie zur Folgenabschätzung unterschiedlicher Politikmaßnahmen entwickelt. Hierfür wird in Kapitel 3.1 zunächst der Gesamtansatz der Arbeit im Überblick dargestellt. Die wesentlichen Bestandteile des eigenen Ansatzes sowie ihr Zusammenwirken werden in Kapitel 3.2 erklärt. Die Rahmenbedingungen der Analyse werden in Kapitel 3.3 festgelegt. Dazu werden sowohl der Untersuchungsstandort ausgewählt, Reduktionsziele anhand der derzeitigen politischen Diskussion abgeleitet als auch die Aggregationsebene von Minderungszielen und -maßnahmen festgelegt. Um die Ergebnisse getroffener Anpassungsreaktionen mit den landwirtschaftlichen Betriebsleiter*innen diskutieren zu können, wird im Rahmen dieser Arbeit ein

Kalkulationstool entwickelt, dass in der Lage ist, Veränderungen des Risikos durch Pflanzenschutzmittel zu ermitteln und die ökonomischen Folgen unmittelbar abzubilden. Die Funktionsweise und Datengrundlage dieses Tools werden in Kapitel 3.4 erläutert. Ein Überblick zur Vorgehensweise bei der Ableitung und Bewertung von Politikmaßnahmen folgt in Kapitel 3.5.

Im vierten Kapitel der Arbeit werden die betrieblichen Anpassungskosten an Reduktionsziele sowie die Folgen hinsichtlich Risikoreduktion, Gestaltung der Fruchtfolge und Arbeitsorganisation dargestellt. Dazu wird der Modellbetrieb zunächst in der Ausgangssituation anhand seiner charakteristischen Standorteigenschaften, typischen Produktionssysteme und der innerbetrieblichen Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Kulturen erläutert. Auf dieser Grundlage werden im Folgekapitel die Anpassungsstrategien kulturindividuell abgeleitet. Anschließend werden zunächst für jede einzelne Kultur die in den Fokusgruppen ausgewählten Maßnahmen zur Reduktion des Pflanzenschutzmittelaufwandes beschrieben sowie die daraus resultierenden Kosten berechnet. Allerdings ist eine Betrachtung auf Ebene einzelner Kulturen nicht ausreichend, da in der Realität mehrere Kulturen parallel angebaut und Reduktionsmaßnahmen der verschiedenen Kulturen miteinander kombiniert werden, um das gesamtbetriebliche Ziel der Risikoreduktion zu erreichen. Deshalb folgt eine Analyse auf gesamtbetrieblicher Ebene.

Damit die landwirtschaftlichen Betriebe die Reduktion der Risiken tatsächlich in der Praxis implementieren, werden umweltpolitische Maßnahmen benötigt. Mithilfe dieser Politikmaßnahmen können u.a. finanzielle Anreize für eine risikoreduzierte Bewirtschaftung geschaffen oder Mindeststandards etabliert werden. Das Kapitel 5.1 dient dazu, vier konkrete Politikmaßnahmen vorzustellen und zu begründen, mit welcher Motivation die Maßnahmenkonzeption erfolgte. Ebenso werden im dritten Teil jeweils die Folgen der Politikmaßnahme abgeschätzt. In Kapitel 5.2 wird darauf aufbauend ein Konzept entwickelt, wie mithilfe einer Online-Datenbank eine justiziable Kontrolle der Politikmaßnahmen gewährleistet werden kann. Das Kapitel schließt mit einer vergleichenden Ergebnisdiskussion der Folgenabschätzungen.

Anschließend werden in Kapitel 6.1 zunächst inhaltliche Schlussfolgerungen zu den Anpassungsreaktionen landwirtschaftlicher Betriebe und den Folgenabschätzungen der unterschiedlichen Politikmaßnahmen gezogen. Ebenso werden methodische Schlussfolgerungen aus den Erfahrungen des eigenen Ansatzes abgeleitet (Kapitel 6.2).

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung in Kapitel 7.

2 Hintergründe und Maßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln im deutschen Ackerbau

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand des Wissens hinsichtlich der Hintergründe und Maßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln aufgearbeitet. Dazu werden zunächst die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln dargelegt. Das ist notwendig, um zu verstehen wie sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene über Zulassungsverfahren sowie Vorschriften zur Anwendung und Ausbringung der Pflanzenschutzmittel aktiv Einfluss auf die damit einhergehenden Umwelt- und Humanrisiken genommen werden kann. In Kapitel 2.3 wird der Stand der Forschung hinsichtlich möglicher Indikatoren zum Messen einer Pflanzenschutzmittelreduktion dargelegt und davon ausgehend ein Quantifizierungsansatz für die eigene Analyse ausgewählt. Bestehende Studien und Versuchsergebnisse zu Ertragseffekten in Folge eines reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatzes werden in Kapitel 2.4 ausgewertet. Die daraus gewonnenen Ergebnisse dienen als Grundlage für die eigene Kalkulation. Auf grundlegende Konzepte verschiedener umweltpolitischer Maßnahmen, Erfahrungen bei deren Umsetzung und Bewertung wird in Kapitel 2.5 näher eingegangen.

2.1 Bestehende Anforderungen an Pflanzenschutzmittel und Maßnahmen zur Minderung der Risiken

Mit dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln gehen viele Vorteile, gleichzeitig jedoch auch negative Effekte einher (Oerke, 2006; Keulemans et al., 2019; Dressel et al., 2010; Lee et al., 2019). Der Rückgang der biologischen Vielfalt ist dahingehend die am stärksten diskutierte Herausforderung. Damit die in Kapitel 2.2 näher beschriebenen Schutzgüter bestmöglich bewahrt bleiben und qualitative Mindeststandards gewährleistet sind, gibt es eine Vielzahl von Regulierungen, die den Verkauf und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene regeln. Auf welchen rechtlichen Grundlagen der Pflanzenschutzmitteleinsatz in Deutschland beruht, wie der Zulassungsprozess in Europa geregelt ist und welche sonstigen Anreizmechanismen zur Minderung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes genutzt werden, wird in diesem Kapitel erläutert.

2.1.1 Rechtsgrundlagen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in Deutschland

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wird in der Bundesrepublik Deutschland durch verschiedene rechtliche Grundlagen geregelt. Da davon auszugehen ist, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen einen maßgeblichen Einfluss auf das Umwelt- und Humanrisiko durch Pflanzenschutzmittel haben, werden zentrale Elemente zunächst übersichtsartig dargestellt. Dabei muss zwischen Verordnungen auf europäischer Ebene und nationalen Gesetzen zur konkreten Umsetzung

differenziert werden. Auf europäischer Ebene sind folgende Richtlinien und Verordnungen richtungsweisend:

- „Verordnung (EG) Nr. 1107/2009“ regelt die Prüf- und Zulassungsverfahren von Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffe. In ihr wird beschrieben, welche Kriterien die Wirkstoffe bzw. Pflanzenschutzmittel erfüllen müssen, um zugelassen werden zu können. Zulassungen von Pflanzenschutzmitteln in einzelnen Mitgliedsstaaten der EU werden mit dieser Verordnung durch zonale Zulassungen ersetzt (vgl. Kapitel 2.1.2). Neben den Genehmigungskriterien für Wirkstoffe und dem Zulassungsverfahren zum Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln wird auch auf deren Verwendung näher eingegangen. Ebenso werden die Pflichten zu Aufzeichnungen und Informationsbereitstellung für den Anwender sowie Vorgaben zu Kontrollen erläutert (Europäische Kommission, 2009c).
- Die „Richtlinie 2009/128/EG“ zur nachhaltigen Verwendung von Pflanzenschutzmitteln macht den EU-Mitgliedsstaaten folgende Vorgaben:
 - (1) Sie verpflichtet die Mitgliedsstaaten, nationale Aktionspläne zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu etablieren. Sie sollen dazu dienen, quantitative Vorgaben, Maßnahmen und Ziele zu definieren, um die mit dem Pflanzenschutz einhergehenden Risiken und negativen Auswirkungen für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu verringern. Ebenso unterstützen sie die Konzepte des „Integrierten Pflanzenschutzes“ und der nicht-chemischen Bekämpfungsverfahren. Bei allen Ansätzen sind die gesundheitlichen, wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Auswirkungen der im Aktionsplan verankerten Maßnahmen zu berücksichtigen sowie alle betroffenen Interessengruppen einzubeziehen (Europäische Kommission, 2009b).
 - (2) Sie schafft Prüfmechanismen der Pflanzenschutzgeräte, um Mindestanforderungen bei der Applikationstechnik zu gewährleisten (Europäische Kommission, 2009b).
 - (3) Damit Personengruppen, die mit Pflanzenschutzmitteln arbeiten, über sämtliche relevante Themen und mögliche Gefahrenquellen informiert sind, müssen sie sich regelmäßigen Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen unterziehen. Anderenfalls kann ihnen die Befähigung zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln entzogen werden. (Europäische Kommission, 2009b). Diese Richtlinie wird in Deutschland durch das Pflanzenschutzgesetz national umgesetzt.
- Um zu gewährleisten, dass neue Pflanzenschutzgeräte bestimmte europäische Normen erfüllen und eine verlustarme Applikation der Pflanzenschutzmittel zulassen, wird dies in der „Richtlinie 2009/127/EG“ näher geregelt. Konkret beinhaltet diese Richtlinie Mindestanforderungen der Geräte hinsichtlich der Bedienung und Überwachung, der Wartung sowie der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln (Europäische Kommission, 2009a).
- Durch die „Verordnung (EG) Nr. 1185/2009“ werden die EU-Mitgliedsstaaten dazu verpflichtet, Daten der jährlich in den Verkehr gebrachten Wirkstoffmengen zu erheben und kulturspezifisch an die Europäische Kommission zu übermitteln (Europäische Kommission, 2009d).

Die Mitgliedsstaaten müssen die EU-Verordnungen in nationales Recht umsetzen. In Deutschland erfolgt dies im Wesentlichen über das „Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG)³“. Es regelt, wie z.B. die konkrete Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen, Anforderungen an sämtliche beteiligte Personengruppen wie Hersteller, Händler oder Anwender, aber auch das Inverkehrbringen und Zulassungsverfahren von Pflanzenschutzmitteln sowie deren Ausfuhr und Rückgabe auf nationaler Ebene zu erfolgen hat. Des Weiteren werden Anforderungen an die Applikationstechnik festgelegt sowie die Überwachungs- und Kontrollinstanzen benannt (vgl. Abschnitt 1-13 PflSchG).

Der durch die EU-Richtlinie zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln erforderliche „Nationale Aktionsplan Pflanzenschutz (NAP)“ wurde 2013 erstmalig eingeführt und seither weiterentwickelt. In der aktuellen Version wird als Ziel festgelegt, die Risiken durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln bis zum Jahr 2023 um 30 % im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 1996 bis 2005 zu senken. Gleichzeitig soll eine Überschreitung der maximalen Rückstände von Pflanzenschutzmitteln in Lebensmitteln auf weniger als 1 % gesenkt sowie das „Notwendige Maß“⁴ eingehalten werden. Darüber hinaus sind weitere umfangreiche Zielindikatoren definiert worden. Ebenso sind die Auswirkungen der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf Anwender, Arbeiter, unbeteiligte Personen und Anwohner weiter zu reduzieren. Inwiefern diese Ziele erreicht werden, ist in Abschnitt 2.2 beschrieben (BMEL, 2017).

Um Ziele der nationalen Aktionspläne zu unterstützen, werden auf Ebene der EU sowie der einzelnen Mitgliedsstaaten umweltpolitische Maßnahmen zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und den daraus resultierenden Risiken umgesetzt. Hierzu zählen in Deutschland vor allem folgende Maßnahmen:

- **Ökologischer Landbau:** Durch den Ausbau des Ökolandbaus soll der Flächenanteil, auf dem chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, reduziert werden. Gleichwohl ist zu berücksichtigen, dass auch im Ökolandbau Pflanzenschutzmittel (insbesondere im Obst- und Weinbau vor allem Kupferpräparate) eingesetzt werden, von denen ebenfalls negative Umweltwirkungen ausgehen können.
- **EU-Agrarreform:** Auf Basis des „Green Deals“ und der „Farm-to-Fork“-Strategie integriert die EU-Kommission ebenfalls das Ziel einer Pflanzenschutzmittelreduktion im Rahmen der EU-Agrarreform. Wesentliche Maßnahmen hierfür sind folgende Veränderungen im Rahmen der GAP-Reform 2023:
 - **Nicht-produktive Fläche im Rahmen der Konditionalität (GLÖZ 8):** Künftig müssen Landwirt*innen 4 % der Ackerfläche als nicht-produktive Fläche vorhalten und dürfen dort keine Pflanzenschutzmittel einsetzen.

³ Neben dem Pflanzenschutzgesetz sind u.a. a) die Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung, b) die Pflanzenschutz-Geräteverordnung, c) die Pflanzenschutzmittelverordnung weitere nationale Umsetzungen der europäischen Rechtsvorgaben. Eine Übersicht der Kerninhalte findet sich in BMEL (2016).

⁴ Ergänzende Informationen zum „notwendigen Maß“ sind in Kapitel 2.4.2.4 zu finden.

- Freiwillige Aufstockung der nicht-produktiven Fläche im Rahmen von GLÖZ 8
 - Anlegen von ein- oder mehrjährigen Blühstreifen
 - Etablierung von vielfältigen Fruchtfolgen mit mind. fünf Kulturen inklusive einer Leguminose
 - Freiwilliger Verzicht auf Pflanzenschutzmittel beim Anbau von Sommerungen
- Investitionsförderprogramme für innovative Applikationstechnik: Innovative Technologien zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln bieten die Möglichkeit, Wirkstoffmengen zu reduzieren, Abdrift zu mindern oder die Applikationsgenauigkeit zu steigern. Die finanzielle Förderung innovativer Pflanzenschutzverfahren führt zu einer schnelleren Verbreitung in der Praxis und sorgt so für positive Umwelteffekte.
 - Beratungsförderung: Durch die Förderung von Beratungsleistungen und Fortbildungsveranstaltungen für landwirtschaftliche Betriebsleiter*innen können neue wissenschaftliche Erkenntnisse, Versuchsauswertungen etc. in der Praxis verbreitet werden und die Anwender*innen von Pflanzenschutzmitteln gleichzeitig für eine Risikominderung sensibilisiert werden.

Mithilfe der genannten Rechtsvorschriften und bestehenden umweltpolitischen Maßnahmen sollen nicht tolerierbare Risiken für Nicht-Zielorganismen verhindert werden. Somit bilden sie die Ausgangsbasis für künftige umweltpolitische Maßnahmen zur Minderung des Einsatzes von und der Risiken durch Pflanzenschutzmittel.

2.1.2 Zulassung und Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln

Bisher wird das durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verursachte Risiko in Deutschland und Europa vor allem durch das Zulassungsverfahren der Wirkstoffe sowie der einzelnen Pflanzenschutzmittel nach Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 reguliert. Dennoch werden jährlich eine Vielzahl von Notfallzulassungen erteilt, da mit den regulär zugelassenen Wirkstoffen und Produkten keine ausreichende Wirkung erzielt werden kann (BVL, 2020b). Vor dem Hintergrund seiner großen Bedeutung wird der Zulassungsprozess nachfolgend dargestellt.

Grundsätzlich soll der Zulassungsprozess von Pflanzenschutzmitteln sicherstellen, dass keine Wirkstoffe in der Praxis eingesetzt werden, die nicht zu tolerierende Eigenschaften für Anwender sowie die biotische und abiotische Umwelt haben (Europäische Kommission, 2009c). Allgemein erfolgt das Zulassungsverfahren zweistufig und besteht aus a) der Zulassung des aktiven Wirkstoffs auf europäischer Ebene und b) der zonalen Zulassung einzelner Pflanzenschutzmittel auf nationaler Ebene. Beide Verfahrensschritte werden nachfolgend übersichtsartig erläutert:

zu a) Zulassung der aktiven Wirkstoffe auf europäischer Ebene: Zunächst müssen die einzelnen aktiven Wirkstoffe unter Beteiligung der Behörden aus den jeweiligen EU-Mitgliedsstaaten durch die EU-Kommission genehmigt werden. Dies beantragt der Wirkstoffhersteller in dem jeweils

zuständigen Mitgliedsstaat. Hierfür muss der Antragssteller auf Grundlage der Verordnung (EG) Nr. 283/2013 umfassende Informationen auf Basis von Versuchen zur Human- und Umwelttoxizität vorlegen⁵. Dazu zählen u.a. Daten zur akuten und chronischen Toxizität, zur Reproduktions- und Entwicklungstoxizität oder zur Neurotoxizität. Auf dieser Basis prüfen die Behörden des zuständigen Mitgliedsstaates, ob die Genehmigungskriterien für den Wirkstoff erfüllt werden oder ggf. zusätzliche Informationen vom Antragssteller bereitgestellt werden müssen. Die Behörde des zuständigen Mitgliedstaates übermittelt ihren Prüfbericht an die Kommission, die wiederum innerhalb einer sechsmonatigen Frist abschließend festlegt, ob ein Wirkstoff zugelassen werden kann (Europäische Kommission, 2009c).

Neben dem grundsätzlichen zweistufigen Zulassungsverfahren werden durch die oben genannte Verordnung darüber hinaus sogenannte „Cut-off-Kriterien“ geregelt. Dazu zählt zum Beispiel, dass Wirkstoffe nicht als krebserregend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend eingestuft werden dürfen. Ist das der Fall, kann grundsätzlich keine Zulassung erteilt werden (BfR, 2021). Darüber hinaus hat die EU-Kommission im Jahr 2015 eine Liste mit „zu substituierenden Wirkstoffen“ erstellt. Diese Wirkstoffe besitzen ungünstige Eigenschaften für Gesundheit und Umwelt. Zugelassen werden Pflanzenschutzmittel mit diesen Wirkstoffen nur dann, wenn keine wirtschaftliche und praktikable Alternative zur Verfügung steht (Europäische Kommission, 2015).

zu b) Zulassung einzelner Pflanzenschutzmittel auf nationaler Ebene: Die Genehmigung von einzelnen Pflanzenschutzmitteln erfolgt auf Grundlage der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 seit dem 14. Juni 2011 in einem sogenannten „Zonalen Verfahren“. Dabei werden die EU-Mitgliedsstaaten in drei Zonen eingeteilt (vgl. Abbildung 1). Stellt ein Hersteller einen Antrag auf Zulassung eines Pflanzenschutzmittels in mehreren Ländern einer Zone, so erfolgt die Bewertung gemeinschaftlich unter Federführung eines Staates. Die Zulassung erfolgt dementsprechend jeweils für eine ganze Zone (Europäische Kommission, 2009c). Die Einteilung der Zonen wurde so vorgenommen, dass die jeweiligen Staaten möglichst ähnlich mit Blick auf Umwelt, Landwirtschaft und Pflanzengesundheit sind (Deutscher Bundestag, 2016). Ziel der zonalen Zulassung ist es, zu einer Harmonisierung der Wirkstoffprüfung beizutragen, den Verwaltungsaufwand für Industrie und Mitgliedsstaaten zu senken und gleichzeitig die Zulassungsverfahren zu beschleunigen. Auf diese Weise kann Doppelarbeit bei den nationalen Zulassungsverfahren vermieden werden (Deutscher Bundestag, 2016; Europäische Kommission, 2009c).

⁵ Die aus dem Zulassungsprozess gewonnenen Daten werden in der Pesticide Properties Database (PPDB) gespeichert und zur Berechnung von Risikoindikatoren wie dem Pesticide Load Indikator (vgl. Kapitel 2.3.2) herangezogen.

Abbildung 1: Zonale Zulassung von Pflanzenschutzmitteln in der Europäischen Union

Quelle: eigene Darstellung nach Europäische Kommission (2009c). © EuroGeographics 2022.

Verkauft und eingesetzt werden darf ein Pflanzenschutzmittel erst, wenn es durch die einzelnen Mitgliedsstaaten genehmigt wurde. Dieser Prozess erfolgt unabhängig voneinander und beruht auf der Grundlage der zonalen Bewertung. Die nationalen Behörden können die zonale Zulassung akzeptieren, ändern oder bei besonderen ökologischen oder landwirtschaftlichen Gegebenheiten verweigern (Europäische Kommission, 2009c). In Deutschland ist das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (§ 33 Abs. 1 PflSchG) federführend für die zonale Zulassung einzelner Pflanzenschutzmittel zuständig. Es sind jedoch weitere Behörden involviert:

- Das Julius-Kühn-Institut (JKI) bewertet die Wirksam- und Pflanzenverträglichkeit, die Anwendung in der Praxis sowie den Nutzen des Pflanzenschutzmittels.
- Die Auswirkungen auf die Gesundheit von Menschen und Tieren wird vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) vorgenommen.
- Das Umweltbundesamt (UBA) ist für die Bewertung von möglichen Auswirkungen des Pflanzenschutzmittels auf den Naturhaushalt verantwortlich (BMEL, 2019b).

Während die Entscheidung des BVL über die Zulassung im Benehmen mit den Bewertungen von JKI und BfR zu treffen sind, muss diese gemäß § 34 PflSchG im Einvernehmen mit dem UBA

erfolgen. Dementsprechend wird dem Umweltschutz an dieser Stelle eine besondere Bedeutung zugesprochen. Innerhalb der Risikobewertungen werden mögliche Wege identifiziert, über die unterschiedliche Personengruppen, Tiere und Umweltkompartimente mit den Pflanzenschutzmitteln in Kontakt kommen können. Anhand dessen werden Expositionen mit Pflanzenschutzmitteln quantifiziert und die Risiken anschließend mithilfe einer toxikologischen Bewertung charakterisiert und bewertet (BfR, 2021). Kommen die Bewertungsbehörden zu dem Schluss, dass das Pflanzenschutzmittel alle gesetzlichen Anforderungen erfüllt, bekommt es eine Zulassung und darf vertrieben werden. Die Zulassungen werden dabei jeweils zeitlich befristet erteilt, sodass eine Neubewertung vor Auslaufen der Zulassungsfrist notwendig ist. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Zulassung auf aktuellen wissenschaftlichen Kenntnissen erfolgt (BMEL, 2019b; BfR, 2015). Weiterhin erstellt das BVL Auflagen und Anwendungsvorschriften, um Risiken aus der Nutzung des Pflanzenschutzmittels zu reduzieren. So werden beispielsweise die zu behandelnden Kulturen und Schadorganismen definiert, ebenso wie Wartezeiten zwischen der letzten Anwendung und der Ernte festgesetzt. Ebenso können Auflagen und Anwendungsbestimmungen erteilt werden, die auf dem Pflanzenschutzmittel sichtbar zu vermerken sind (BMEL, 2019b; BfR, 2015).

Bisher erfolgt die Risikoreduktion im Wesentlichen über die Wirkstoffzulassung auf europäischer Ebene. Ist ein Wirkstoff auf europäischer bzw. ein Pflanzenschutzmittel auf nationaler Ebene genehmigt, gibt es für die Anwender*innen keine nach individuellen Mitteln differenzierte Toxizitätsbewertung. Dennoch ist davon auszugehen, dass sowohl Wirkstoffe als auch die Pflanzenschutzmittel eine unterschiedliche Toxizität besitzen. Diese Information spielt bisher jedoch bei der Produktauswahl der Anwender*innen meist keine Rolle.

2.2 Entwicklung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und ihrer Risiken

Pflanzenschutzmittel beeinflussen den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen sowie die Landschaft in vielfältiger Art und Weise (Falconer und Hodge, 2001). Die Entwicklung und ihr Einsatz hat in der Vergangenheit zunächst zu vielen verschiedenartigen positiven Entwicklungen geführt. Dazu zählt, dass Ertragsverluste verringert werden konnten (Oerke, 2006; Noleppa und Witzke, 2011), die Ertragsstabilität verbessert und zu einer damit einhergehenden Einkommenssicherung für die landwirtschaftlichen Betriebe beigetragen wurde (Pallutt, 2017). Neben der Ertrags- und Ernährungssicherung hat der Pflanzenschutzmitteleinsatz eine ebenso positive Wirkung auf die Qualität der Ernteprodukte, indem zum Beispiel die Bildung von Pilzgiften verhindert wird (BMEL, 2017). Darüber hinaus ermöglicht der chemische Pflanzenschutz eine optimierte Arbeitsorganisation, die sich in Form von effizienten und erosionsmindernden Anbau- und Ernteverfahren sowie einer gesteigerten Arbeitsproduktivität ausdrückt (Pallutt, 2017).

Dennoch wird der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der gesellschaftlichen Debatte kontrovers diskutiert. Hintergrund ist die Wahrnehmung der Bevölkerung, dass Pflanzenschutzmittel per se riskant und schädlich für Menschen sind (Dressel et al., 2010). Hinzu kommt, dass zahlreiche Studien negative Umwelteffekte belegen (Sanders und Heß, 2019; Skevas et al., 2012; Lee et al., 2019; Keulemans et al., 2019).

In Deutschland wird der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln durch das BVL überwacht. Dazu werden für jedes Kalenderjahr die in Deutschland abgesetzten Wirkstoffmengen erfasst⁶. Gleichzeitig wird auch die Anzahl von erteilten Notfallzulassungen innerhalb eines Jahres erfasst (BVL, 2020b). Ob und in welchem Maß Menschen und Umwelt durch den Pflanzenschutzmitteleinsatz beeinflusst werden, wird im Rahmen des NAP begleitet. Inwieweit die gesetzten Ziele des NAP erreicht werden, wird mithilfe des „deutschen Pflanzenschutzindex (PIX)“ fortlaufend gemessen und bewertet.

Nachfolgend wird beschrieben, wie sich Pflanzenschutzindikatoren im Rahmen des NAP aus den Bereichen Verbraucherschutz, Gewässerschutz sowie der Biodiversität über die Zeit entwickelt haben. Aufgrund der bedeutenden öffentlichen Diskussion zur Biodiversitätswirkung von Pflanzenschutzmitteln sollen die Ausführungen des NAP durch zusätzliche Studien ergänzt werden.

Verbraucherschutz

Konsumenten kommen mit Pflanzenschutzmitteln indirekt in Kontakt, wenn Lebensmittel Wirkstoffrückstände enthalten. Als Maß für den Verbraucherschutz wird die Überschreitung der Rückstandshöchstgehalte herangezogen. Der Anteil von Proben, die den zulässigen Grenzwert überschritten haben, betrug im Zeitraum der Jahre 2009 bis 2014 rund 2 %. Etwa die Hälfte dieser grenzwertüberschreitenden Proben wurden von der Behörde als nicht verkehrsfähig angesehen. Ziel ist es, den Anteil von Proben mit einer Überschreitung der Rückstandshöchstgehalte auf weniger als 1 % zu senken (BMEL, 2020a).

Gewässerschutz

Pflanzenschutzmittelwirkstoffe sowie deren Abbauprodukte sind regelmäßig in deutschen Grund- und Oberflächengewässern zu finden (BMEL, 2020a). Der Schwellenwert von 0,1 µg Wirkstoffe je Liter Grundwasser wurde im Referenzzeitraum 2013 bis 2016 in weniger als 4 % der Grundwassermessstellen überschritten. Im Zeitraum zwischen 1990 und 1995 waren noch rund 10 % der Messstellen betroffen. In mehr als 80 % der Proben konnten zwischen 2013 und 2016 keine Substanzen nachgewiesen werden. Der Rückgang im Zeitablauf ist hauptsächlich auf die sinkende Konzentration des seit dem Jahr 2003 verbotenen Herbizidwirkstoffs Atrazin zurückzuführen (BMEL, 2020a).

Mit Blick auf die Qualität der Oberflächengewässer zeigt sich ein anderes Bild: An rund 40 % der betrachteten Messstellen in Deutschland wurden die Umweltqualitätsnormen (UQN) im Jahr 2016 überschritten. Bei Messstellen, die in unmittelbarer Nähe von Einzugsgebieten zur Trinkwassergewinnung lagen, betrug der Anteil von Schwellenwertüberschreitungen (> 0,1 µg/l) mehr als 50 % (BMEL, 2020a).

⁶ Weiterführende Informationen zum Absatz von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland finden sich in BVL (2022).

Biodiversität

Neben dem Verbraucher- und Gewässerschutz ist der Rückgang der biologischen Vielfalt ein maßgeblicher Treiber für die Forderung nach einem reduzierten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland. Ausdruck findet das zum Beispiel durch das im Jahr 2021 verabschiedete Insektenschutzgesetz, wonach in nationalen Schutzgebieten künftig keine Herbizide und bestäuber-schädlichen Insektizide mehr eingesetzt werden sollen. An Gewässern müssen außerdem vermehrt Randstreifen angelegt werden. Hinzu kommt das vollständige Verbot des Wirkstoffs Glyphosat ab dem Jahr 2024 (BMUV, 2021).

Grundsätzlich wird die Biodiversität der Agrarlandschaft durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt. Dazu zählt neben Fruchtfolgegestaltung und Schlagstruktur, Düngung und Bodenbearbeitung auch der Pflanzenschutz. Zwar gilt der Einfluss von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln auf die Biodiversität als allgemein schwer messbare Komponente, jedoch sind die negativen Auswirkungen unbestritten (SRU, 2016; Schäffer et al., 2018; Niggli et al., 2019).

Ein Maß zur Bewertung der biologischen Vielfalt im Rahmen des NAP ist der SYNOPSIS-Indikator⁷, mit dem ein Risikoindex für terrestrische und aquatische Lebewesen ermittelt werden kann. Ziel des NAP ist es, den Indikator bis zum Jahr 2023 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1996 bis 2005 um 30 % zu senken. Während der Indikator für terrestrische Nichtzielorganismen im Bereich der Insektizide mit einem Rückgang von mehr als 70 % stark rückläufig ist (dementsprechend die Risiken abgenommen haben), hat die Belastung durch Fungizide im Bereich der chronischen Risiken für Bodenorganismen im Zeitablauf zugenommen und lag zuletzt rund 20 % über dem Referenzwert. Gleichzeitig konnten die akuten Risiken für Nicht-Zielorganismen im Vergleich zum Basiszeitraum um 40 % gesenkt werden. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch mit Blick auf die Herbizide. Während die chronischen Risiken nahezu konstant geblieben sind, sind die akuten Risiken um mehr als 30 % angestiegen. Der Grad der Zielerreichung des NAP beträgt aufgrund der sehr heterogenen Entwicklung lediglich rund 50 % (BMEL, 2020c). Deutlich positiver stellt sich hingegen die Entwicklung der akuten und chronischen Risiken für aquatische Lebewesen dar. Sowohl für Insektizide und Fungizide, als auch im Bereich der Herbizide ist ein abnehmender Trend wahrzunehmen, sodass das Ziel einer Minderung um 30 % bereits erreicht ist (BMEL, 2020c).

Neben der Beeinflussung von Nicht-Zielorganismen spiegelt der „High Nature Value Farmland“-Indikator⁸ den Flächenanteil mit hohem Naturwert wider (BMEL, 2020b). Der Anteil ist in Deutschland von mehr als 13 % im Jahr 2009 auf 11,4 % in 2017 gesunken (BMEL, 2020a). Diese Entwicklung macht deutlich, dass die Fläche potenzieller Lebensräume für Umweltlebewesen in Deutschland rückläufig ist.

⁷ Detaillierte Informationen zum SYNOPSIS-Indikator finden sich in Kapitel 2.3.2.

⁸ Unter „High Nature Value Farmland“ sind landwirtschaftliche Flächen mit einem besonders hohen Naturwert zu verstehen. Darunter fallen extensiv genutzte und artenreiche Grünland-, Ackerland-, sowie Streuobst- und Weinbergflächen. Brachen und Landschaftselemente können ebenfalls hinzuzählen (BMEL (2020a)).

Neben dem Biodiversitätsmonitoring im NAP hat sich in den letzten Jahren auf nationaler und internationaler Ebene eine intensive Diskussion um den Artenrückgang entwickelt. Dazu zählt besonders der drastische Rückgang bei Schmetterlings- und Vogelpopulationen sowie bei der Biomasse von fliegenden Insekten (Niggli et al., 2019). Gleichzeitig konnte in einer Metastudie von Sánchez-Bayo und Wyckhuys (2019) nachgewiesen werden, dass auf globaler Ebene bei mehr als 40 % der Insektenarten sowie bei über 20 % der Wirbeltierarten jährliche Rückgänge zu verzeichnen sind (Sánchez-Bayo und Wyckhuys, 2019). In diesem Zusammenhang wird der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln als einer der Hauptursachen gesehen (SRU, 2016; Schäffer et al., 2018; Niggli et al., 2019; Beketov et al., 2013; Schäfer et al., 2011). Durch den Pflanzenschutzmitteleinsatz werden Nichtzielorganismen beeinflusst, die wiederum als Lebensraum und Nahrungsgrundlage für andere Organismen dienen. Zudem kann sich die Kombination von Pflanzenschutzmitteln mit anthropogenen – und umweltbezogenen Stressoren zu verstärkten negativen Effekten entwickeln (Niggli et al., 2019).

2.3 Messbarkeit des Einsatzes von und der Risiken durch Pflanzenschutzmittel

Quantitative Reduktionsziele sind grundsätzlich nur dann sinnvoll, wenn es Möglichkeiten gibt, Entwicklungen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und deren Risiken zu messen. Ziel dieses Kapitels ist es daher, einen Überblick über bisher verfügbare Indikatoren für die Quantifizierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes sowie daraus resultierender Risiken zu geben.

Bisher existieren mehr als 100 Indikatoren, um die Minderungen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes zu quantifizieren (Eurostat, 2008). Diese lassen sich in Gebrauchs- und Risikoindikatoren unterteilen. Nachfolgend sollen sowohl ausgewählte Gebrauchs- als auch Risikoindikatoren auf Basis der verfügbaren Literatur näher betrachtet werden. Die Auswahl beschränkt sich auf Indikatoren, die entweder im deutschen NAP verankert sind oder in anderen vergleichbaren europäischen Ländern praktische Anwendung finden. Ebenso wird die Funktionsweise und Schwerpunktsetzung näher erläutert.

2.3.1 Gebrauchsindikatoren

Innerhalb der Gruppe der Gebrauchsindikatoren finden sowohl die aktive Wirkstoffmenge als auch der Behandlungsindex in der Praxis verbreitete Anwendung. Sie werden für die Berichterstattung auf nationaler oder regionaler Ebene eingesetzt.

Aktive Wirkstoffmenge

Gebrauchsindikatoren wie die „abgesetzte aktive Wirkstoffmenge eines Jahres“ setzen sich aus der Produktmenge multipliziert mit der Konzentration des aktiven Wirkstoffs zusammen. Sie

abstrahieren von den tatsächlichen Wirkstoffeigenschaften oder Gefährdungspotenzialen und basieren ausschließlich auf dem Wirkstoffvolumen. Ihr Einsatz ist in nationalen und internationalen Statistiken weit verbreitet (Eurostat, 2020; BVL, 2020a; Hellerstein et al., 2019). Eine Reduktion der Wirkstoffmenge führt jedoch nicht zwangsläufig zu einer Reduktion der Risiken (Möhring et al., 2019; Coll und Wajnberg, 2017; Skevas et al., 2012). Das Gegenteil kann zutreffend sein: Werden zusätzliche Anreize geschaffen, die aktive Wirkstoffmenge auf Betriebsebene zu senken, setzen landwirtschaftliche Betriebe vermehrt Wirkstoffe mit einer äußerst geringen Standardaufwandmenge von wenigen Gramm je Hektar ein. Diese sind jedoch möglicherweise aufgrund ihrer Toxizität risikoreicher als Wirkstoffe, die mit mehreren Kilogramm pro Hektar Anwendungsfläche appliziert werden, um eine vergleichbare Wirkung zu erzielen (BMEL, 2017). Aus diesem Grund wurden beispielsweise die in den 1980er Jahren in Dänemark eingeführten Ansätze zur Reduktion von Mengenindikatoren nach kurzer Zeit wieder eingestellt (Coll und Wajnberg, 2017). Demzufolge sind Mengenindikatoren nur unzureichend geeignet, um Risiken und insbesondere deren Extrempunkte abzubilden. Eine Politik, die eine Reduktion der Risiken auf Basis von Mengenindikatoren forciert, kann dementsprechend falsche Anreize setzen (Reus et al., 2002; Möhring et al., 2019).

Behandlungsindex

Aufgrund der bekannten Nachteile von Mengenindikatoren haben sich vermehrt Intensitätsindikatoren wie der Behandlungsindex⁹ (BI) herausgebildet. Viele europäische Länder, wie z.B. Deutschland, Frankreich und Dänemark haben den Behandlungsindex in ihren nationalen Aktionsplänen verankert (BMEL, 2017; Hossard et al., 2017; Coll und Wajnberg, 2017). Er kann für die jeweilige Kultur und das Erhebungsjahr, aber auch differenziert nach Pflanzenschutzmittelgruppe ausgewertet werden (Freier et al., 2006; Roßberg et al., 2002; Coll und Wajnberg, 2017). Nach Roßberg et al. (2002) beschreibt der BI das Verhältnis der tatsächlichen- zur maximal zugelassenen Aufwandmenge, multipliziert mit dem Anteil der behandelten Fläche (vgl. Formel 1). Auf diese Weise können Wirkstoffe mit stark unterschiedlichen Aufwandmengen „vergleichbar“ gemacht werden. Zu berücksichtigen ist, dass bei Tankmischungen jedes Pflanzenschutzmittel einzeln bewertet wird (Brauer-Siebrecht et al., 2018).

Formel 1: Berechnung des Behandlungsindex

$$\text{Behandlungsindex} = \sum_1^n \left(\frac{\text{eingesetzte Aufwandmenge}}{\text{zugelassene Aufwandmenge}} * \frac{\text{behandelte Fläche}}{\text{gesamte Fläche}} \right)$$

Quelle: Brauer-Siebrecht et al. (2018)

In Deutschland wird der Behandlungsindex auf Datenbasis des „Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ sowie dem Betriebspanel für die Statistikverordnung (EG) Nr. 1185/2009 erfasst. Sowohl durch die jährliche kulturartenspezifische Analyse als auch durch eine regionale Untergliederung können Entwicklungen bei der Anwendungsintensität kenntlich gemacht werden (Dachbrodt-

⁹ Der Behandlungsindex wird in der Literatur häufig auch als Treatment Frequency Index (TFI) bezeichnet.

Saaydeh et al., 2018). Kritisch zu bewerten ist, dass der Indikator, neben der erhöhten Aussagekraft gegenüber reinen Mengenindikatoren und der einfachen Anwendbarkeit, die umwelt- und human-toxikologischen Eigenschaften der jeweiligen Wirkstoffe nicht berücksichtigt und dementsprechend auch keine Aussage über die potenzielle Toxizität für Menschen und Umwelt herstellen kann. Trotz konstantem BI kann das Risiko durch den Einsatz anderer Wirkstoffe ansteigen oder sinken (Kudsk et al., 2018). Dennoch kann der Behandlungsindex unterstützend dazu genutzt werden, die Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung näher zu quantifizieren.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Gebrauchsindikatoren zwar einen Überblick über die Menge und Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes geben, aber ungeeignet sind, um die Risikominderungsmaßnahmen zu bewerten, da sie nicht die Toxizität der Pflanzenschutzmittel und deren Einzelwirkstoffen berücksichtigen.

2.3.2 Risikoindikatoren

Mithilfe des europäischen Zulassungsverfahrens wird sichergestellt, dass von geprüften Wirkstoffen keine inakzeptablen Risiken für Mensch und Umwelt ausgehen (vgl. Kapitel 2.1.2). In Ergänzung dazu werden seit den 1990er Jahren Indikatoren entwickelt, die Umweltrisiken und Gefahren für die menschliche Gesundheit für einzelne Wirkstoffe abbilden (Reus et al., 2002; Skevas et al., 2012). Sowohl Reus et al. (2002) als auch Bockstaller et al. (2009) haben verschiedene Risikoindikatoren miteinander verglichen. Sie haben gezeigt, dass sich die Indikatoren hinsichtlich vielfältiger Kriterien voneinander abgrenzen. Dazu zählt/zählen:

- (1) der Zweck (z.B. Hilfestellung für Landwirt*innen oder Beratung, pol. Entscheidungsträger).
- (2) der Bewertungsmaßstab (von Ebene des einzelnen Produkts bis hin zur nationalen Ebene).
- (3) die berücksichtigten Umweltkompartimente (Grund- und Oberflächengewässer, Boden, Luft).
- (4) die Bereiche, für die Effekte durch die Pflanzenschutzmittel analysiert werden.
- (5) die Unterscheidung, nach welcher allgemeinen Methodik die Indikatoren funktionieren. Nach Reus et al. (2002) kann dahingehend zwischen relativen Punktetabellen, relativen Rangfolgen, Risikoverhältnissen oder sog. „Fuzzy expert systems“ differenziert werden.

Trotz aller Unterschiede im Aufbau der Indikatoren, bewerten sie die getesteten Wirkstoffe gleichwohl in einer ähnlichen Toxizitätsrangfolge (Reus et al., 2002). Aus der Vielzahl potenziell verfügbarer Bewertungssysteme werden im Folgenden drei Indikatoren ausgewählt, die im deutschen NAP, im europäischen Ausland sowie in Strategiepapieren auf europäischer Ebene besondere Relevanz erlangt haben:

- Der „Harmonised Risk Indicator (HRI)“ dient zur Berichterstattung der einzelnen Mitgliedsländer auf europäischer Ebene.

- Der SYNOPS-Indikator wird als Bewertungsmaßstab im deutschen NAP genutzt.
- Der in Dänemark mehrjährig erprobte und als Grundlage für die Besteuerung eingesetzte „Pesticide Load Indicator (PLI)“ sticht durch seine Anwendbarkeit heraus.

Alle drei Indikatoren haben gemeinsam, dass sie, wenn auch in stark unterschiedlichem Maß, auf Daten und Entscheidungen des Zulassungsprozesses (vgl. Kapitel 2.1.2) aufbauen.

Harmonised Risk Indicator

Um die Entwicklung des Risikos durch Pflanzenschutzmittel auch auf Ebene der Europäischen Union sowie deren Mitgliedsstaaten messen zu können und den Anforderungen von Artikel 15(4) Directive 2009/128/EC nachzukommen, hat die EU-Kommission die „Harmonisierten Risikoindikatoren 1 & 2“ (HRI 1 & 2) etabliert. Grundlage für die Berechnung der Indikatoren ist, dass alle aktiven Wirkstoffe in vier Gruppen eingeteilt werden. Je nach Gruppenzuweisung (vgl. Tabelle 1) werden die aktiven Wirkstoffmengen mit Risiko-Gewichtungsfaktoren multipliziert.

Tabelle 1: Wirkstoffeinteilung des harmonisierten Risikoindikators (vereinfacht)

Gruppe	1	2	3	4
	"Low Risk" Wirkstoffe	Sonstige zugelassene Wirkstoffe	Zugelassene Wirkstoffe, die als Substitutionskandidaten gelten	Nicht zugelassene Wirkstoffe
Risikofaktor	1	8	16	64

Quelle: eigene Darstellung nach Eurostat (2019)

Während sich der HRI 1 aus den Verkaufsmengen der aktiven Wirkstoffe multipliziert mit dem jeweiligen Risikofaktor zusammensetzt, wird der HRI 2 berechnet, indem die Anzahl der Notfallzulassungen eines Wirkstoffs mit dem jeweiligen Risikofaktor multipliziert werden. Als Referenzzeitraum gilt bisher der Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2013 (Eurostat, 2019).

Die Wirkstoffzuordnung in Gruppen wird von der Europäischen Kommission jährlich aktualisiert, um neue Zulassungen oder sonstige Veränderungen bei der Einteilung berücksichtigen zu können. Wird ein Wirkstoff einer neuen Gruppe zugewiesen, erfolgt die Neubewertung für alle Jahre, in denen der Wirkstoff eingesetzt wurde. Dies hat zur Folge, dass HRI 1 & 2 bei Wirkstoffverboten oder auslaufenden Zulassungen auch für zurückliegende Jahre jährlich neu berechnet werden müssen (Eurostat, 2019). Die Einteilung in eine vergleichsweise geringe Anzahl an Risikoklassen ist insofern kritisch zu bewerten, als dass Skevas et al. (2012) in Folge einer Einteilung in hoch- und weniger toxische Wirkstoffe lediglich marginale Substitutionseffekte prognostizieren.

Hinsichtlich seiner wissenschaftlichen Fundierung der Risikobewertung weist der HRI erhebliche Mängel auf (Isermeyer et al., 2020), da er die Risiken nur eingeschränkt widerspiegelt. Eine Einteilung in wenige Gruppen ist im Allgemeinen insofern kritisch zu sehen, als dass Wirkstoffe innerhalb

einer Gruppe mit dem gleichen Risikofaktor bewertet werden, es aber dennoch deutliche Toxizitätsunterschiede geben kann. Dieser Effekt, dass die risikoreichsten Wirkstoffe einer Gruppe genauso wie die am wenigsten risikobehafteten Wirkstoffe jener Gruppe bewertet werden, kommt mit einer kleinen Anzahl an Gruppen, wie beim HRI der Fall, umso stärker zum Tragen. Hinzu kommt, dass der Indikator entwickelt wurde, um Entwicklungen über mehrere Jahre abzubilden und nicht auf ein Einzeljahr eines Modellbetriebs angewendet werden kann.

SYNOPS-Indikator

Der im deutschen NAP verankerte Risikoindikator SYNOPS (Synoptische Bewertung von Pflanzenschutzmitteln) wird durch ein Modell zur quantitativen Abschätzung des Risikopotenzials von Pflanzenschutzmaßnahmen für die Umwelt berechnet. Er differenziert zwischen akutem und chronischem Risiko. Der SYNOPS-Indikator beschreibt, inwieweit Stellvertreterorganismen (vgl. Tabelle A 1 im Anhang) in der Natur unbeabsichtigt mit chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln in Kontakt kommen und setzt dies in Relation zur gemessenen Toxizität des Pflanzenschutzmittels. Der Quotient aus möglicher Exposition und Wirkstofftoxizität, der das Risiko für Nichtzielorganismen beschreibt, wird auch als Exposure Toxicity Ratio (ETR) bezeichnet (Strassemeyer und Golla, 2018). Diese Verhältniszahl kann anschließend für jede Applikation oder jeden Stellvertreterorganismus berechnet werden. Je größer die Zahl ist, umso höher wird auch die Wahrscheinlichkeit von unerwünschten Umweltereignissen (Gutsche, 2012). Als Grundlage für die Berechnungen dienen EC_{50}/LC_{50} und NOEC-Werte¹⁰ der einzelnen Wirkstoffe auf Basis der „Pesticide Properties Database (PPDB)“. Ebenso wird eine zeitabhängige Kurve der Wirkstoffkonzentration (PEC: „Predicted Environmental Concentration“) für die einzelnen Anwendungen und Kompartimente berechnet. Dazu wird für ein Jahr das 90. Perzentil der PEC-Kurven sowie das 90. Perzentil der zeitlich gewichteten Durchschnittskonzentration von sieben Tagen als „Worst-Case“ der akuten und chronischen Exposition verwendet.

Akute Risikoindices werden mit dem Sicherheitsfaktor 10 multipliziert. Sind sowohl die chronischen als auch die akuten Risikowerte für jeden Wirkstoff und jede Maßnahme kalkuliert, werden sie additiv zusammengefasst, um das Risiko einer ganzen Pflanzenschutzstrategie zu ermitteln. Werden die ETR-Werte der einzelnen Stellvertreterorganismen gemäß ihrem Lebensraum zusammengefasst, ergeben sich jeweils zwei Werte für aquatische Organismen und Bodenlebewesen (akutes und chronisches Risiko), sowie das akute Risiko für Organismen in Saumbiotopen (Strassemeyer und Golla, 2018)¹¹. Die Einteilung der Risikoindices erfolgt wie in Tabelle 2 dargestellt:

¹⁰ Der LD_{50} -Wert beschreibt die Menge eines Wirkstoffs, bei der 50 % der Population stirbt. EC_{50} -Werte beschreiben hingegen die Menge eines Wirkstoffs, die bei 50 % der Population bestimmte Wirkungen auslösen, jedoch nicht zum Tod führen. NOEC-Werte (No Observed Effect Concentration) beschreiben die maximale Wirkstoffmenge, bei der keine feststellbaren Wirkungen auftreten.

¹¹ Weitere Informationen zur Berechnung des SYNOPS-Indikators finden sich in Strassemeyer et al. (2017), Strassemeyer und Golla (2018) sowie Brauer-Siebrecht et al. (2018).

Tabelle 2: Einteilung der SYNOPS-Risikoindizes

Akutes Risiko	Chronisches Risiko	Riskoeinschätzung
< 0,01 = „sehr niedrig“ 0,01–0,1 = „niedrig“	< 0,1 = „sehr niedrig“ 0,1–1 = „niedrig“	tolerabel
0,1– 1 = „mittel“ > 1 = „höher“	1–10 = „mittel“ > 10 = „höher“	nicht tolerabel

Quelle: eigene Darstellung nach Brauer-Siebrecht et al. (2018)

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, wird grundsätzlich zwischen Risiken differenziert, die zu tolerieren oder nicht zu tolerieren sind. Ab einer „mittleren“ Riskoeinstufung können negative Effekte auf die Stellvertreterorganismen nicht ausgeschlossen werden. Deshalb wird dieses Risiko als „nicht tolerabel“ eingestuft, ein niedriger bis sehr niedriger Index wird anhand des SYNOPS-Modells stattdessen als „tolerables“ Risiko gewertet (Brauer-Siebrecht et al., 2018).

Allgemein sind für den SYNOPS-Indikator drei verschiedenen Anwendungsmodi verfügbar (Strassemeyer und Golla, 2018):

- (1) Die SYNOPS-Trend-Anwendung wird im Rahmen des NAP eingesetzt, um auf Basis der Absatzzahlen von Pflanzenschutzmitteln und einer „Worst-Case“-Betrachtung hinsichtlich der Umweltbedingungen zum Ausbringungszeitpunkt Trendberechnungen auf nationaler Ebene für Risiken durchzuführen. Einzelbetriebliche Analysen sind auf Basis dieser Anwendung nicht möglich.
- (2) Die SYNOPS-GIS Anwendung dient dazu, mithilfe von GIS-Datenbanken und -Prozessen zur Verknüpfung von Expositions- und Anwendungsdaten das Umweltrisiko von Pflanzenschutzmitteln für begrenzte Raumeinheiten näher zu bestimmen.
- (3) Die SYNOPS-WEB Anwendung ist insbesondere für Landwirte und Berater vorgesehen, um das tatsächliche Risiko von Pflanzenschutzmittelstrategien auf ihren Flächen ex-post bewerten zu können. Hierbei müssen die genaue Lage der Ackerflächen und die tatsächlichen (tagengenauen) Applikationszeitpunkte angegeben werden. Insbesondere Regenereignisse nach der Pflanzenschutzmaßnahme haben durch Auswaschung etc. einen deutlichen Einfluss auf die Höhe des Risikos. Der SYNOPS-WEB-Ansatz ermöglicht Risikobewertungen auf der Ebene einzelner Schläge (Strassemeyer und Golla, 2018). Das Modell berechnet anhand von Stellvertreterorganismen jeweils getrennte Risikoindizes für aquatische Organismen, Bodenorganismen und Bewohner von Saumbiotopen. Als Einflussgrößen auf das Expositionsrisiko werden Informationen zu Umweltbedingungen berücksichtigt. Die Stellvertreterorganismen können über Run-off, durch Drainagen, Abtrift aufgrund der Witterungsbedingungen oder Interzeption mit den Pflanzenschutzmitteln in Kontakt geraten. Um die notwendigen Einflussgrößen berechnen zu können, integriert das Modell neben den Wirkstoffeigenschaften verschiedene Informationen, wie die verwendete Applikationstechnik, die Bodentextur und

-art, Topographie, Witterungsbedingungen sowie die Bodennutzung. Teilweise müssen diese Informationen schlagspezifisch vom Anwender bereitgestellt werden, zum Großteil greift das Modell jedoch auf vorhandene Datenbanken zurück (Strassemeyer und Golla, 2018; Brauer-Siebrecht et al., 2018).

Auf Basis dieser umfangreichen ergänzenden Informationen kann das SYNOPS-Modell die Wirkung von Risikominderungsmaßnahmen wie beispielsweise das Anlegen von Gewässerrandstreifen oder der Einsatz verlustarmer Applikationstechnik berücksichtigen und die tatsächlichen Expositionsriskiken quantifizieren.

Pesticide Load Indicator

Der Pesticide Load Indicator (PLI) bildet auf Basis einer potentiellen Risikobewertung seit 2013 die Bemessungsgrundlage zur Besteuerung von Pflanzenschutzmitteln in Dänemark. Vor diesem Hintergrund gilt er als rechtssicher und breit erprobt (Miljøstyrelsen, 2012; Finger und El Benni, 2013; Finger et al., 2016). Damit ist er der bisher einzige Risikoindikator, der in Europa eingesetzt wird, um die Gesundheits- und Umweltrisiken von Pflanzenschutzmitteln zu bewerten und gleichzeitig zu besteuern (Möhring et al., 2019; Kudsk et al., 2018).

Grundsätzlich setzt sich der PLI aus den drei Teilindikatoren „Umweltverhalten“, „Ökotoxizität“, sowie dem „Risiko für die menschliche Gesundheit“ zusammen (vgl. Formel 2). Sie fließen zu je gleichen Teilen in den Gesamtindikator ein (Miljøstyrelsen, 2012; Kudsk et al., 2018). Grundlage für die Berechnungen der Teilindikatoren sind in den meisten Fällen Kennzahlen der „Pesticide Properties Data Base“¹².

Formel 2: Berechnung des Pesticide Load Indicators

$$\text{Pesticide Load} = \text{PL-Umweltverhalten} + \text{PL-Umwelttoxizität} + \text{PL-menschliche Gesundheit}$$

Quelle: Böcker et al. (2019)

Die Bewertung der Wirkstoffe bzw. Produkte in den einzelnen Unterkategorien erfolgt relativ zu dem zugelassenen Wirkstoff mit den jeweils ungünstigsten Eigenschaften. Der Maximalwert, auch als Referenzwert bezeichnet, stammt aus dem Jahr 2007 und ist somit als „Worst-Case“ zu interpretieren. Das Verhältnis des aktiven Wirkstoffs und dem Referenzwert nimmt somit immer Werte zwischen 0 und 1 an. Ist die Toxizität eines Wirkstoffs halb so hoch wie die des Referenzwirkstoffs, so ist auch dessen Pesticide Load (PL) um 50 % reduziert. Da der Referenzwirkstoff trotz eines möglichen Verbots oder einer ausbleibenden Wiedergulassung nicht angepasst wird, ist eine Vergleichbarkeit gewährleistet und ermöglicht es, die Risikoentwicklung über mehrere Jahre zu ermitteln

¹² In der PPDB werden sämtliche Eigenschaften der aktiven Wirkstoffe gespeichert und bereitgestellt. Sie ist online verfügbar unter: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>. Weitere Informationen zur Datenbank finden sich in Lewis et al. (2016).

(Kudsk et al., 2018). Nachfolgend wird die Berechnungsweise der einzelnen Teilindikatoren übersichtsartig vorgestellt¹³:

- (1) **Umweltverhalten (environmental fate):** Zur Berechnung des Umweltverhaltens werden, wie in Formel 3 dargestellt, folgende Wirkstoffeigenschaften berücksichtigt: a) Beständigkeit im Boden, die anhand der Halbwertszeit im Boden (Soil DT₅₀)¹⁴ bewertet wird, b) die mithilfe des Biokonzentrationsfaktors (BCF)¹⁵ bewerteten Anreicherungsseigenschaften in anderen Organismen (Bioakkumulation) sowie c) die anhand der SCI-GROW¹⁶-Werte ermittelte Auswaschungsgefährdung. Anschließend wird die Verhältniszahl mit einem jeweils festgesetzten Load-Faktor (von 2,5 bzw. 20) multipliziert, sodass die Prioritäten der Schutzziele berücksichtigt werden (Kudsk et al., 2018; Miljøstyrelsen, 2012).

Formel 3: Berechnung des Umweltverhaltens (environmental fate) im PLI

Fate Load (Wirkstoff)

= Beständigkeit im Boden + Potential einer Bioakkumulation + Auswaschungsgefahr Boden

$$= \frac{\text{Soil DT}_{50}}{354} * 2,5 + \left(\frac{\text{BCF}}{5100} \right) * 2,5 + \left(\frac{\text{SCI} - \text{GROW}}{12,5} \right) * 20$$

Quelle: Böcker et al. (2019)

- (2) **Ökotoxizität:** Für die Ökotoxizität werden kurz- und langfristige Auswirkungen (akut und chronisch) auf bestimmte Tier- und Pflanzenfamilien (Nicht-Zielorganismen) berücksichtigt (vgl. Formel 4). Dazu gehören Vögel, Säugetiere, Fische, Daphnien, Algen, Wasserpflanzen, Regenwürmer und Bienen. Die kurzfristigen Effekte werden quantifiziert, indem die LD₅₀/EC₅₀-Werte¹⁷ für die jeweiligen Nicht-Zielorganismen durch den Wert des jeweils toxischsten Wirkstoffs dividiert werden. Die langfristigen Effekte werden hingegen anhand der NOEC-Werte¹⁸ bewertet. Wie beim Umweltverhalten werden die einzelnen Zeigerorganismen hinsichtlich der Schutzziele mit unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren (zwischen 1 und maximal 100) multipliziert.

¹³ Weitere Informationen zur Berechnung der Unterindikatoren finden sich in Kudsk et al. (2018); Miljøstyrelsen (2012).

¹⁴ Die Halbwertszeit im Boden (Soil DT₅₀) gibt die Zeit an, bis 50 % der Wirkstoffkonzentration zum Anwendungszeitpunkt abgebaut ist.

¹⁵ Der BCF gibt die Wirkstoffkonzentration im Gewebe von aquatischen Lebewesen in Relation zur Konzentration des Wirkstoffs im Wasser an.

¹⁶ Der SCI-GROW ist ein Indikator, der von der U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) genutzt wird, um die Wirkstoffkonzentration im Grundwasser zu quantifizieren.

¹⁷ Der LD₅₀-Wert beschreibt die Menge eines Wirkstoffs, bei der 50 % der Population stirbt. EC₅₀-Werte beschreiben hingegen die Menge eines Wirkstoffs, die bei 50 % der Population Effekte, jedoch nicht den Tod auslöst.

¹⁸ NOEC-Werte (No Observed Effect Concentration) beschreiben die maximale Wirkstoffmenge, bei der keine feststellbaren Wirkungen auftreten.

Formel 4: Berechnung der Ökotoxizität (toxicity load) im PLI

$$\begin{aligned}
 & \textit{Toxicity Load (Wirkstoff)} \\
 = & \textit{kurzfristige Effekte} \left(\begin{array}{l} \textit{Vögel (1), Säugetiere (1), Fische (30), Daphnien (30), Algen (3),} \\ \textit{Wasserpflanzen (3), Regenwürmer (2), Bienen (100)} \end{array} \right) \\
 & + \textit{langfristige Effekte (Fische (3), Daphnien (3), Regenwürmer (2))}
 \end{aligned}$$

Quelle: Böcker et al. (2019)

Zur Berechnung des PLI müssen die Teil-Indikatoren für Umweltverhalten und -toxizität in die Einheit je kg Produkt umgerechnet werden¹⁹.

- (3) **Menschliche Gesundheit:** Dieser Teilindikator bewertet das Risiko für die Anwender*innen und wird gemäß Formel 4 je kg Produkt kalkuliert. Hierfür wird allen Produkten über die enthaltenen aktiven Wirkstoffe ein Risiko-Score zugewiesen, der durch den Referenzwert dividiert wird. Der Risiko-Score leitet sich aus den Einteilungen der „Directive 67/548/EEC“ der Europäischen Union und den Zulassungsverfahren ab, die den einzelnen Risikoklassen Werte zwischen 10 und max. 100 zuordnen. Somit beträgt das Verhältnis zwischen den Mitteln mit der geringsten und höchsten Toxizität für die menschliche Gesundheit 1:10. Zusätzlich werden Produkte, die vor Gebrauch in Wasser gelöst bzw. gemischt werden müssen, mit einem zusätzlichen Risikofaktor von 1,5 bewertet. Um die aufaddierten Risikopunkte in Load-Einheiten zu übertragen, werden sie durch den Faktor 300 dividiert (Miljøstyrelsen, 2012; Kudsk et al., 2018).

Formel 5: Berechnung des Einflusses auf die menschliche Gesundheit (health load) im PLI

$$\textit{Health Load (Produkt)} = \textit{Formulierung} * \frac{\sum_{i=1}^n \textit{Risiko - Score}}{\textit{max. Risiko - Score (300)}}$$

Quelle: Böcker et al. (2019)

Der ermittelte Pesticide Load wird in Dänemark als „Area Load“ sowie „Load Index“ ausgewiesen. Der „Load Index“ gibt den Load je ha für eine Standardaufwandmenge an und ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn zwischen zwei Produkten mit vergleichbaren pflanzenbaulichen Wirkungen entschieden werden soll²⁰. Der „Area Load“ wird hingegen anhand der tatsächlichen Ausbringungsmenge als PSM-Load je Hektar ausgewiesen (Miljøstyrelsen, 2012; Finger et al., 2016).

¹⁹ Eine detaillierte Darstellung der Berechnung findet sich im Anhang unter Formel A 1.

²⁰ In diesem Zusammenhang ist jedoch zu berücksichtigen, dass Auswahlentscheidungen, die sich ausschließlich am PLI orientieren, im Konflikt mit einem vorbeugenden Resistenzmanagement stehen können (Kudsk et al., 2018).

Vergleichende Bewertung des SYNOPS-Indikators und Pesticide Load Indicators

Bei der genaueren Betrachtung der unterschiedlichen Indikatoren zur Messung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel zeigt sich ein Trade-Off zwischen einer möglichst exakten standortindividuellen Risikoabschätzung und einer praxisnahen Umsetzbarkeit der Reduktionsziele.

Der PLI basiert auf Daten der „Pesticide Properties Database“ und bildet das potenzielle Risiko durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ab. Dieses ist als „Worst-Case“ zu interpretieren. Einflussfaktoren wie der individuelle Standort, die Witterung zur Ausbringung sowie Informationen zu Risikominderungsmaßnahmen werden nicht berücksichtigt. Im Gegensatz zum SYNOPS-Modell berücksichtigt der PLI neben dem Umweltschutz zusätzlich die potenziellen Risiken für die menschliche Gesundheit. Vorteile des Ansatzes liegen in dem vergleichsweise geringen Rechenaufwand, der Transparenz für Anwender*innen sowie der Tatsache, dass er auf einen einzelnen Wert zu kondensieren ist. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der PLI auf Basis des Wirkstoffabsatzes in Dänemark im Jahr 2007 kalibriert wurde und die Gewichtung der einzelnen Faktoren auf den dänischen Schutzziele basiert. Somit wäre vor einer gesetzlichen Implementierung in Deutschland zu prüfen, ob die Schutzziele vergleichbar sind oder eine Neugewichtung einzelner Faktoren erfolgen müsste. Dennoch kann grundsätzlich von ähnlichen Schutzziele ausgegangen werden und der PLI als robuster Indikator zur Bewertung der PSM-Risiken in anderen Ländern herangezogen werden (vgl. Finger et al., 2016; Möhring et al., 2019).

Der SYNOPS-Indikator bewertet hingegen mithilfe von zusätzlichen Umweltinformationen das tatsächlich entstandene Expositionsrisiko. Dies dürfte grundsätzlich zu einer höheren Akzeptanz seitens der Anwender*innen führen, da die Realität besser abgebildet wird und Maßnahmen zur Risikoreduktion in der Bewertung berücksichtigt werden. Er ist damit detaillierter als der PLI, erfordert jedoch einen wesentlich höheren Daten- und Kontrollaufwand. Lediglich der Anwenderschutz wird im SYNOPS-Indikator nicht berücksichtigt. Weiterhin weist das SYNOPS-Modell fünf Risikowerte für unterschiedliche Naturräume und Zeithorizonte aus, was es für die Politik erschwert, ein eindeutiges Reduktionsziel zu administrieren.

Die politische Debatte zur Reduktion von Risiken durch Pflanzenschutzmittel zielt vor allem darauf ab, toxische durch weniger toxische Wirkstoffe zu ersetzen bzw. die Anbauverfahren so zu verändern, dass allgemein weniger Wirkstoffmenge benötigt wird. In dieser Arbeit geht es darum, die grundsätzliche Wirkungsweise eines einzelbetrieblichen, indikatorbasierten Konzepts zu prüfen. Dazu werden auch Landwirt*innen mit in den Diskurs eingebunden. Im Hinblick auf den SYNOPS-Indikator ist fraglich, ob die hohen Datenanforderungen für eine flächendeckend wirksame Politik, die alle Betriebe in Deutschland erreichen und eine nationale Berichterstattung ermöglichen soll, in wenigen Jahren erreicht werden können. Der PLI bietet im Besonderen mit Blick auf die Administrierbarkeit Vorteile. Deshalb erscheint der PLI für die einzelbetriebliche Analyse derzeit besser geeignet zu sein und wird im weiteren Verlauf der Arbeit angewendet. Sollte sich die Politik für das Konzept und eine der entwickelten Politikmaßnahmen entscheiden, ist eine schrittweise Weiterentwicklung in Richtung des SYNOPS-Indikators möglich, da dieser keine grundsätzlich andere Politik-Architektur erfordern würde als der PLI.

2.4 Stand des Wissens ackerbaulicher Maßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln

Um herauszufinden, wie und zu welchen Kosten die Risiken aus dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren sind, ist es zunächst notwendig, die ackerbaulichen Handlungsoptionen zu identifizieren. Daher sollen in Kapitel 2.4.1 grundsätzliche Ansatzpunkte für einen reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz auf Basis der Literatur herausgearbeitet werden. Für die ökonomische Bewertung der Reduktionsstrategien sind ihre Ertragswirkungen von besonderer Bedeutung. Daher werden in Kapitel 2.4.2 Ertragseffekte bisheriger Versuche zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes ausgewertet. Dabei wird vorrangig auf Versuche eingegangen, deren Ergebnisse auf den Boden-Klima-Raum „Südhannover“ übertragbar sind. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Annahmen der eigenen Analyse.

2.4.1 Pflanzenbauliche Einflussfaktoren auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

In Anlehnung an Reus et al. (1994) kann der Pflanzenschutzmitteleinsatz vor allem über die Gestaltung der Fruchtfolge und Vorfrucht, die Art der Bodenbearbeitung, die Sortenwahl, die Saatzeit sowie durch den Einsatz mechanischer Unkrautbekämpfung und innovativer Technologien verringert werden. Nachfolgend werden die genannten Ansatzstellen näher beschrieben:

Fruchtfolge und Vorfrucht

Sowohl die Zusammensetzung der Verunkrautung als auch ihre Stärke wird in hohem Maße von der Fruchtfolge beeinflusst. Enge Rotationen mit einem hohen Anteil an Winterungen weisen deshalb häufig eine höhere Pflanzenschutzmittelintensität auf als solche, in denen vermehrt Sommerungen angebaut werden (Balgheim, 2006; Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018).

Innerhalb der Fruchtfolge hat auch die Vorfrucht einen besonders starken Einfluss auf die notwendige Herbizidintensität. Insbesondere durch den Wechsel von Blatt- und Halmfrucht sowie von Sommer- und Winterungen kann der Herbizidaufwand reduziert werden (Schwarz und Moll, 2010; Götze und Koch, 2020). Nach Dachbrodt-Saaydeh et al. (2018) sinkt der Behandlungsindex (BI)²¹ für Winterweizen um 18 %, wenn als Vorfrucht eine Blatt- anstelle einer Halmfrucht angebaut wird. Hinsichtlich der Fungizidintensität wirkt sich die Vorfrucht weniger stark aus. Bei Getreide führt der Vorfruchtwechsel von Halm- auf Blattfrucht lediglich zu einer Verringerung des BI in der Größenordnung von 10 % (Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018).

²¹ Der Behandlungsindex beschreibt die Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes. Eine ausführliche Erklärung ist in Kapitel 2.3.1 zu finden.

Bodenbearbeitung

Die Wahl des Bodenbearbeitungsverfahrens wirkt sich ebenfalls auf den Pflanzenschutzmittelbedarf aus. Insbesondere Mulchsaatverfahren, die vor allem aus Gründen des Bodenschutzes eingesetzt werden²², führen zu einem erhöhten Pflanzenschutzbedarf mit Herbiziden und Fungiziden (Götz, 2012). Dabei reagieren Mulchsaatsysteme bei reduzierten Herbizidaufwandmengen mittel- und langfristig besonders stark mit einer Zunahme der Verunkrautung (Pallutt, 2010). Statistische Auswertungen auf Praxisbetrieben zum BI von Herbiziden bestätigen geringere Werte nach einer Pflugfurche im Vergleich zur nicht-wendenden Bodenbearbeitung. Für Wintergetreide ist der BI im Durchschnitt aller Vorfrüchte 0,3 Einheiten (15%) geringer als in Mulchsaatverfahren. Bei Winterfrüchten nach Getreide sind die Effekte noch größer. Hier sinkt der BI durch die Pflugfurche um ca. 40 % (Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018). Somit ist insgesamt davon auszugehen, dass die wendende Bodenbearbeitung wieder an Bedeutung gewinnen wird, wenn der Herbizideinsatz reduziert werden soll (Schwarz und Pallutt, 2016).

Sortenwahl

Durch den Anbau von gesunden bzw. resistenten Sorten können der Fungizidaufwand reduziert und die Zeitfenster für Behandlungen aufgrund langsamerer Krankheitsverläufe verlängert werden (Ryll und Wagner, 2018; Wolff et al., 2018). Praxisauswertungen zeigen, dass deutsche Ackerbaubetriebe zunehmend gesunde Sorten einsetzen (Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018).

In mehrjährigen und standortübergreifenden Feldversuchen konnte der Fungizidaufwand durch die Auswahl resistenter Sorten sowie situationsangepasster Fungizidstrategien um 60 bis 75 % reduziert werden (Klocke et al., 2018). Die geringeren Erträge und daraus resultierenden Mindererlöse der angepassten Strategien konnten in den meisten Fällen durch sinkende Fungizidkosten kompensiert werden. In der Folge lag der Deckungsbeitrag der situationsbezogenen Behandlung zwischen 22 und 60 €/ha höher als in der üblichen Praxisvariante (Rajmis und Kehlenbeck, 2018; Kehlenbeck und Rajmis, 2018).

Ein Langzeitversuch aus Brandenburg sowie niedersächsische Auswertungen zeigen etwas geringere Effekte. Dennoch ergibt sich auch hier durch den Einsatz krankheitsresistenter Sorten eine Reduktion des BI um 25 bis 50 % (Schwarz et al., 2018; Busche, 2008). Dieses Potential wird jedoch in der Praxis häufig nicht ausgenutzt, da in der Regel kein sortenspezifischer Fungizideinsatz erfolgt. Stattdessen orientieren sich die Aufwandmengen an den krankheitsanfälligen Sorten (Klocke und Sommerfeld, 2018).

Saatzeit

Bisherige Versuche in der Untersuchungsregion zum Einfluss des Aussaattermins auf den Ertrag zeigen keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen Früh- und Normalsaaten bei

²² Nach Schlüter (2002) werden Mulchsaatverfahren neben Gründen des Bodenschutzes auch aus Gründen der Bodenfruchtbarkeit, eines sinkenden Kraftstoffeinsatzes und geringer Arbeiterledigungskosten eingesetzt.

Stoppelweizen und marginale Nachteile (< 1 %) von Stoppelweizen gegenüber Weizen mit Blattvorfrüchten. Eine Spätsaat ab November führt hingegen zu Ertragsverlusten von etwa 10 % gegenüber der Normalsaat (LWK Niedersachsen, 2019b).

Versuche zum Einfluss der Saatzeit auf den Virusbefall von Wintergerste in Sachsen-Anhalt zeigen, dass dieser bei vorgezogenen Saatterminen deutlich zunimmt. Während bei der Frühsaat rund ein Drittel der Pflanzen mit dem Gelbverzwergungsvirus (BYDV) erkrankt waren, konnte das Virus nur bei rund 1 % der zum normalen Zeitpunkt gedrillten Pflanzen nachgewiesen werden. Der Ertrag sank durch den hohen Befall der Frühsaat um rund 16 dt/ha (Schwabe, 2018). Gleichermäßen fördern Frühsaaten das Auftreten von Pilzkrankheiten im Winterweizen. Versuchsergebnisse zeigen, dass Frühsaaten das Halmbruchrisiko und die Befallsstärke von *Septoria tritici* erhöhen. Aufgrund dessen bleibt der Ertrag der Frühsaaten häufig unter dem der Normalsaaten zurück (Wolff et al., 2018).

Angesichts stark winterungenbetonter Fruchtfolgen kommt es zu Arbeitsspitzen im Herbst, was Betriebe häufig zu einer vorgezogenen Saat von Wintergetreide veranlasst (Landschreiber, 2014; FG, 2020 & 2021). Dies begünstigt jedoch wiederum das Auflaufen von Ungräsern, vor allem Ackerfuchsschwanz, der zunehmend schwerer bekämpft werden kann (Henne et al., 2018; Landschreiber, 2014; Voßhenrich et al., 2018). Praxisauswertungen für Winterweizen des JKI zeigen, dass ein früherer Aussaattermin vor allem beim Herbizideinsatz in den meisten Fällen zu einem signifikant höheren BI führt. Hingegen sind die Effekte für Fungizide und Insektizide weniger stark ausgeprägt (Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018).

Mechanische Unkrautbekämpfung

Aufgrund des Verbots chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel wird die mechanische Unkrautbekämpfung vor allem im Ökolandbau eingesetzt. Allerdings bietet die mechanische Unkrautbekämpfung auch im konventionellen Anbau Möglichkeiten, den Herbizidaufwand zu reduzieren. Produktionstechnisch ist dies besonders gut als Ergänzung oder in Kombination zum chemisch-synthetischen Pflanzenschutz in Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben umzusetzen (Reichenberger et al., 2007; Melander et al., 2013). Da Winterraps ebenfalls als Reihenkultur geführt werden kann, ist auch hier eine mechanische Unkrautbekämpfung möglich (Wahmhoff, 2000). Die Unkrautbekämpfung erfolgt dabei durch Ausreißen und Verschütten der Zielpflanzen. Allerdings sind die Wirkungsgrade mit etwa 70 % deutlich geringer als bei chemischen Verfahren, in denen Wirkungsgrade von über 90 % erreicht werden (Köller et al., 2019).

Die Wirtschaftlichkeit der mechanischen Verfahren hängt in hohem Maße von der Kulturart und dem Einsparpotential der Herbizidkosten ab. So ergeben die Kosten für Herbizide in Silomais mit etwa 75 €/ha ein deutlich geringeres Einsparpotential im Vergleich zu Zuckerrüben mit Kosten von

über 300 €/ha. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Arbeitserledigungskosten mechanischer Verfahren deutlich höher sind²³ (FG, 2020 & 2021; Dehler, 2020).

Dennoch können auch bei der mechanischen Unkrautbekämpfung negative Umwelteffekte auftreten. Da es bislang keine Studien gibt, die den Effekt der mechanischen Unkrautkontrolle im Vergleich zum chemisch-synthetischen Pflanzenschutz auf den Bruterfolg von Bodenbrütern im konventionellen Anbau untersuchen, muss auf Vergleiche mit dem Ökolandbau zurückgegriffen werden. Beispielsweise ergeben Untersuchungen, dass Bodenbrüter aufgrund geringerer Bestandesdichten und eines höheren Nahrungsangebots Flächen bevorzugen, die nach den Richtlinien des Ökolandbaus bewirtschaftet werden. Aufgrund der mechanischen Unkrautbekämpfung ist der Bruterfolg jedoch auf Ökoflächen, insbesondere bei Hackfrüchten, geringer als auf konventionellen Flächen (Kragten und Snoo, 2007; Geiger, 2011; Weiger und Willer, 1997; Neumann und Koop, 2004; Neumann et al., 2007).

Weiterhin wird befürchtet, dass die mehrmalige mechanische Bodenbearbeitung im Zuge der Unkrautbekämpfung zu einem vermehrten Humusabbau beiträgt (FG, 2020 & 2021; Köller et al., 2019). Eine Metaanalyse zeigt jedoch, dass die Art der Bodenbearbeitung keinen Einfluss auf den Kohlenstoffgehalt des gesamten Bodenhorizontes hat, sondern es lediglich zu Verschiebungen der Humusgehalte zwischen verschiedenen Bodenschichten kommt (Jacobs et al., 2018). Studien, die den Einfluss der mechanischen Unkrautregulierung auf den Humusgehalt untersuchen, sind nicht vorhanden. Experten gehen allerdings davon aus, dass die mechanische Unkrautbekämpfung den Gesamtkohlenstoffgehalt des Bodens nicht wesentlich beeinflusst (Don, 2022).

Innovative Verfahren und Technologien

Neben den bekannten mechanischen Verfahren wird intensiv an alternativen Bekämpfungsverfahren von Unkräutern und -gräsern geforscht. Hierzu gehören folgende Technologien:

- (1) Um Pflanzenschutzmittel nur dort auszubringen, wo tatsächlich auch Zielpflanzen stehen, kann die Wirkstoffmenge durch eine **veränderte Anordnung und Kombination der Düsen** an Pflanzenschutzspritzen über Fahrgassen gesenkt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass eine ausreichend gute Querverteilung und eine randscharfe Aussparung gewährleistet bleibt (Bröring und Hörsten, 2019). Das theoretische Einsparpotenzial liegt in Abhängigkeit von Arbeitsbreite der Spritze und der Reifenbreite von Schlepper und Spritze zwischen 3 und maximal 5 % (Hörsten et al., 2016).
- (2) **„Spot-Spraying“**: Durch die Kombination von optischen Sensoren und Bilderkennungsalgorithmen ist es möglich, zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern bzw. -gräsern zu differenzieren. Derartige Systeme können mithilfe einer Einzeldüsen-schaltung die entsprechende Düse an der Pflanzenschutzspritze ansteuern und die Herbizidapplikation auf die Unkrautpflanzen beschränken (Kömives, 2016; Bosch Global, 2021; Blue River Technology, 2021). Da

²³ Weitere Informationen zu den Kosten einer mechanischen Unkrautbekämpfung sind in Kapitel 4.2.1 zu finden.

die Ackerflächen in diesem Fall nicht mehr ganzflächig, sondern nur noch punktuell mit Herbiziden behandelt werden, sinkt die ausgebrachte Wirkstoffmenge nach ersten Ergebnissen in Reihenkulturen um 70 %. Herausforderungen liegen in den hohen Technikkosten sowie der Anwendung im Getreide, bei der die Bilderkennungssoftware in frühen Wachstumsstadien noch nicht sicher zwischen Getreide und Ungräsern differenzieren kann (Hampe, 2021).

- (3) **Autonome Feldroboter:** Mithilfe von Robotern könnte der Nachteil steigender Arbeitserledigungskosten von mechanischen Bekämpfungsverfahren überwunden werden. Weiterhin können moderne Hackroboter in Reihenkulturen nicht mehr nur zwischen den Reihen, sondern auch in den Reihen hacken, was zu deutlich höheren Wirkungsgraden führt. Ein weiterer Ansatz besteht darin, autonome Roboter mit der „Spot-Spraying“-Technologie auszurüsten und auf diese Weise den chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittelaufwand zu reduzieren (Ecorobotix, 2021; Meyer-Aurich et al., 2021). Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in der deutlich einfacheren Aktorik der Roboter. Kernherausforderungen autonomer Feldroboter sind derzeit die vergleichsweise geringe Schlagkraft, die Zuverlässigkeit der Systeme sowie die derzeit noch hohen Kosten (Hampe, 2021; Meyer-Aurich et al., 2021).
- (4) **Das Abflammen von Unkräutern und -gräsern:** Zwar handelt es sich hierbei nicht um eine neue Technologie, dennoch wird das Verfahren besonders in Reihenkulturen wieder zunehmend diskutiert. Das Prinzip beruht darauf, dass die Pflanzen kurzfristig mittels direkter oder indirekter Wärme erhitzt werden, sodass die Zellwände aufplatzen und die Pflanze anschließend vertrocknet. Herausforderungen des Verfahrens sind der hohe Energieaufwand sowie negative Effekte auf oberflächennah lebende Organismen (Dierauer, 2000).
- (5) **Elektrische Unkrautbekämpfung:** Mit Strom können die Zellwände der Pflanzen ähnlich wie beim Abflammen zerstört werden, sodass die Pflanze infolgedessen vertrocknet. Die Voraussetzung dieses Verfahrens ist, dass es zu einem direkten physischen Kontakt zwischen der Elektrode und der Zielpflanze kommt. Die notwendige Energie wird von einem Generator erzeugt. Herausforderungen des Verfahrens liegen ebenfalls in der geringen Flächenleistung sowie in Pflanzenbeständen mit einem vergleichsweise hohen Ligningehalt (Koch et al., 2020).

Neben den oben genannten Innovationen, die vorrangig zu einer Einsparung von Herbiziden beitragen, werden im Bereich von Fungiziden und Insektiziden vor allem Entscheidungshilfen und Prognosemodelle entwickelt. Durch Modelle wie „SkleroPro“ (Sclerotinia), „CERC BET“ (Cercospora), „Septri“ (Septoria) oder „SIMLEP“ (Kartoffelkäfer) kann das Auftreten von Schaderregern auf Grundlage des Witterungsverlaufs und weiteren Einflussgrößen modelliert werden (Kraatz, 2018). Auch bei Herbiziden werden Prognosemodelle angewendet. Bückmann und Verschwele (2019) beschreiben Versuche aus den Jahren 2017 und 2018 in den Kulturen Weizen und Mais, bei denen durch das Prognosemodell „IPMwise“ der Behandlungsindex der Herbizide um 25 % gesenkt werden konnte. Gleichzeitig verringerte sich der Wirkungsgrad der Maßnahme zwischen 4 bis maximal 17 %.

Insgesamt zeigt sich, dass langfristig ein erhebliches Potential zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln in dem Einsatz innovativer Technologien liegt. Da diese jedoch kurz- und mittelfristig nur sehr begrenzt in der Praxis verfügbar sein werden, sind zunächst vor allem die genannten ackerbaulichen Maßnahmen geeignet, um den Pflanzenschutzmitteleinsatz und deren Risiken zu reduzieren. Die Effekte dieser Maßnahmen werden sich in der Praxis voraussichtlich überlagern und gegenseitig beeinflussen. Für die Analyse der Kombinationswirkungen verschiedener Maßnahmen sind Versuche aufschlussreich, in denen nicht die Wirkung einer Einzelmaßnahme untersucht wurde, sondern die Wirkungen eines bestimmten Reduktionsziels. Hierauf wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

2.4.2 Ergebnisse pflanzenbaulicher Versuche zu Ertrags- und Einkommenseffekten bei reduziertem Pflanzenschutzmitteleinsatz

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden Ergebnisse aus Versuchen zur Ertragswirkung eines reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatzes vorgestellt. Hierbei werden zunächst Versuche beschrieben, in denen der gesamte Pflanzenschutzmittelaufwand reduziert wurde. Anschließend werden Versuchsergebnisse erläutert, die jeweils lediglich auf eine Reduktion der Herbizide, Fungizide oder Insektizide abzielen. Da allgemein keine Ertragswirkungen in Folge einer Risikoreduktion untersucht werden, muss zunächst auf Intensitäts- und Mengenindikatoren wie den BI oder die aktive Wirkstoffmenge zurückgegriffen werden.

2.4.2.1 Versuchsergebnisse zu den Folgen einer Reduktion des gesamten Pflanzenschutzmitteleinsatzes

In der jüngeren Vergangenheit wurde lediglich in drei Versuchen in Deutschland über einen längeren Zeitraum geprüft, wie sich eine Reduktion des gesamten Pflanzenschutzmitteleinsatzes²⁴ auf das Ertragsniveau auswirkt.

In einem Langzeitversuch der LfL in Freising²⁵ (Bayern) wurden zwischen 2007 und 2019 in der Fruchtfolge *Wintergerste – Silomais – Winterweizen* vier Intensitätsstufen im Pflanzenschutz miteinander verglichen. Die Effekte wurden für die wendende sowie die nicht-wendende Bodenbearbeitung untersucht. Folgende Pflanzenschutzmittelstrategien wurden betrachtet:

- (1) Unbehandelte Kontrolle (bei Mais wurde zwischen den Reihen gemulcht)
- (2) Optimale, ortsübliche Einsatzintensität

²⁴ Dies beinhaltet Herbizide, Fungizide und Insektizide.

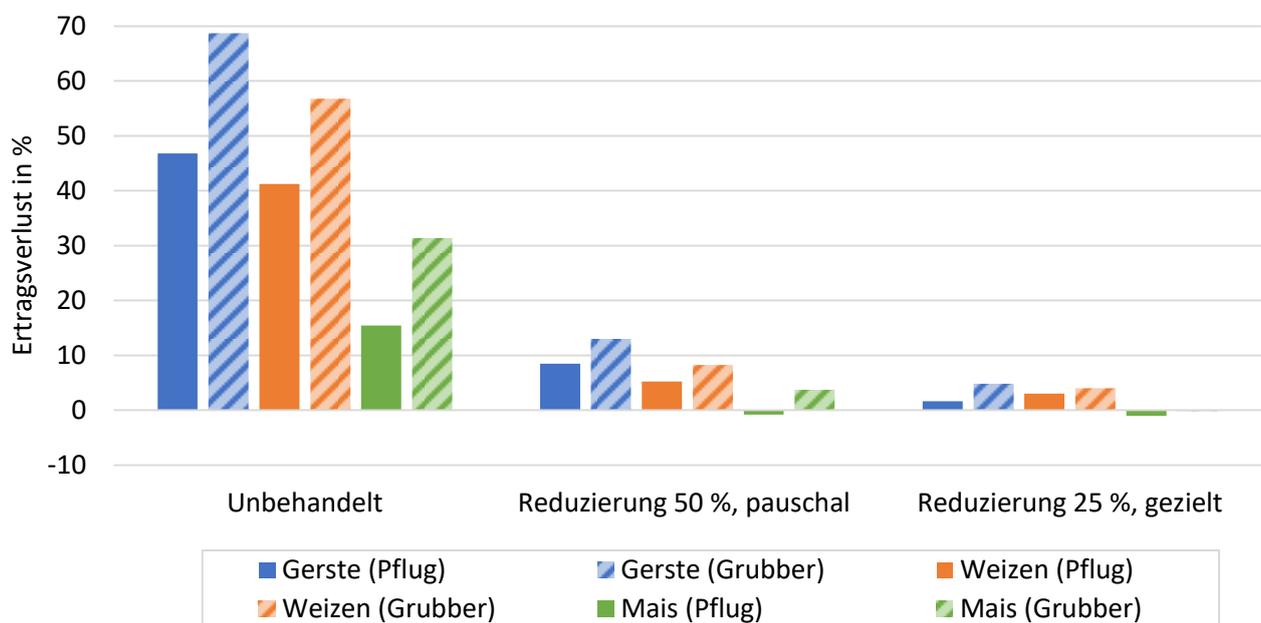
²⁵ Es handelt sich um einen Standort mit schluffigen Lehm Böden und geringem Ungrasdruck.

- (3) Reduktion des PSM-Einsatzes um 25 %, wobei sie situationsbezogen über die gesamte Vegetationsperiode erreicht werden kann und nicht pauschal bei jeder Behandlung erfolgt)
- (4) Pauschale Reduktion der Einsatzintensität um 50 % bei jeder Behandlung

In Abbildung 2 sind die durchschnittlichen Ertragsverluste (in %) gegenüber der ortsüblichen Variante (2) dargestellt. Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- In allen Reduktionsstrategien führt die pfluglose Bodenbearbeitung zu höheren Ertragsverlusten als eine wendende Bodenbearbeitung. Durch Pflügen können die Ertragsverluste um rund ein Drittel bis zur Hälfte gesenkt werden.
- Gerste reagiert im Vergleich der Kulturen am stärksten mit Ertragsverlusten auf eine sinkende PSM-Intensität, während die Verluste bei Mais am geringsten sind.
- Durch eine situationsangepasste Reduktion der PSM-Intensität um 25 % können die Ertragsverluste auf weniger als 5 % begrenzt werden.
- Selbst bei einer pauschalen Halbierung der Intensität liegen die Ertragsverluste kulturübergreifend bei maximal 13 %.

Abbildung 2: Ertragsverlust (in %) ggü. Variante „optimal ortsüblich“ (Ø 2007 - 2019) in Bayern



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach LfL (2007 - 2019)

Über den Versuchszeitraum blickend zeigte sich, dass vor allem in der unbehandelten Variante der Unkrautdruck im Zeitablauf anstieg: Im Vergleich zur ersten Hälfte des Versuchszeitraums nahm der Ertragsverlust der unbehandelten Kontrolle in der zweiten Hälfte um bis zu 18 % zu. Während der Ertragsverlust bei einer Reduktion der PSM-Intensität um 25 % kulturübergreifend um weniger als 2 % zunahm, betrug dieser bei einer Halbierung bis zu 7 %.

Die ökonomische Bewertung der Ertragsverluste sowie eingesparten Mittel- und Ausbringkosten ergab für die situationsangepasste 25 %ige PSM-Reduktion im Getreide (Gerste und Weizen) einen kostenbereinigten Erlösnachteil von 13 €/ha. Dagegen stieg der Nachteil bei einer pauschalen Reduktion um 50 % im Mittel der Jahre auf durchschnittlich 43 €/ha an. In den Pflugvarianten waren die Verluste gegenüber der pfluglosen Bodenbearbeitung gemäß den verringerten Ertragsrückgängen deutlich reduziert. Bei Mais konnten keine monetären Nachteile ermittelt werden (LfL, 2007 - 2019).

Ein ähnlicher Versuch, jedoch über einen kürzeren Zeitraum (2004 bis 2007), wurde in der Region Braunschweig durchgeführt (Busche, 2008). Dabei wurden anhand der Fruchtfolge *Zuckerrübe – Winterweizen – Wintergerste* folgende Strategien miteinander verglichen:

- (1) Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz, jedoch mech. Unkrautbekämpfung im Frühjahr
- (2) ortsüblicher Pflanzenschutzmitteleinsatz nach „Guter fachlicher Praxis“ (GfP)
- (3) Reduktion des BI um 25 % durch den Einsatz von Prognosesystemen und Expertenwissen
- (4) statische Halbierung der Aufwandmengen nach GfP

Die Ertragseffekte der verschiedenen Pflanzenschutzmittelstrategien werden exemplarisch am Beispiel des Weizens nach wendender Bodenbearbeitung dargestellt. Hier führte der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel zu Ertragsrückgängen in der Größenordnung von 19 bis 27 %. Im Gegensatz dazu war der Ertragsunterschied der Varianten (3) und (4) im Vergleich zur Variante (2) sortenunabhängig mit maximal 5 % gering. Aufgrund der geringeren Ertragseinbußen führte dies zu einem Anstieg der PSM-kostenfreien Erlöse um 17 bis 50 €/ha²⁶. Eine pauschale Halbierung des BI zog hingegen einen Rückgang der PSM-kostenfreien Erlöse von 20 €/ha nach sich. Hierbei ist jedoch der vergleichsweise kurze Versuchszeitraum zu berücksichtigen. Aufgrund des zeitverzögerten Aufbaus von Unkrautpopulationen ist langfristig mit höheren Ertragseffekten und Kosten zu rechnen (Pallutt et al., 2010). Weiterhin wurde in dem Versuch deutlich, dass durch den Anbau krankheitstoleranter Getreidesorten die Ertragsrückgänge signifikant reduziert werden konnten (Busche, 2008).

Im brandenburgischen Dahnsdorf wurde in den Jahren 2004 bis 2016 anhand einer regionstypischen Fruchtfolge bestehend aus Getreide, Mais und Kartoffeln²⁷ ein Strategieversuch angelegt (Schwarz et al., 2018). Dabei wurden folgende Varianten untersucht:

- (1) Verzicht auf Pflanzenschutzmittel, jedoch mechanische Unkrautbekämpfung

²⁶ Es gilt zu berücksichtigen, dass der hier unterstellte Weizenpreis bei 20 €/dt liegt und damit verglichen mit dem langjährigen Mittel überdurchschnittlich hoch gewählt ist. Bei geringeren Weizenpreisen gewinnen die pflanzenschutzextensiven Verfahren weiter an relativer Vorzüglichkeit.

²⁷ Die Fruchtfolge bestand aus: Mais – Winterweizen 1 – Wintergerste – Kartoffeln – Winterweizen 2 – Winterroggen.

- (2) Standardvariante: ortsüblicher Pflanzenschutz nach GfP unter Berücksichtigung der Grundsätze des „integrierten Pflanzenschutzes“ (IPS)
- (3) Reduktion des BI aller PSM-Gruppen um 25 % im Vergleich zu Variante (2)
- (4) Reduzierung des BI aller PSM-Gruppen um 50 % im Vergleich zu Variante (2)

Trotz einer durchgängig wendenden Bodenbearbeitung stieg die Verunkrautung in allen Varianten gegenüber der Standardvariante an. Dies führte bei der 25%igen Reduktion des BI im Mittel zu keinen Ertragsverlusten. Eine Verringerung des BI um 50 % zog Ertragsverluste von 7 % nach sich. Der Kornertrag bei einer ausschließlich mechanischen Unkrautregulierung ist im Vergleich zu den chemisch behandelten Varianten im Mittel der Jahre 2004 bis 2016 um rund 30 % reduziert (Schwarz et al., 2018).

Saltzmann und Kehlenbeck (2018) haben die genannten Strategien im Weizen auf Basis der pflanzenschutz- und arbeitskostenfreien Leistung (PAkFL) ökonomisch bewertet. Aufgrund der eingesparten PSM-Kosten führte die 25%ige Reduktion des BI zu rund 30 €/ha höheren PAkFL als die Standardvariante. Selbst die Reduktion des BI um 50 % ergab eine ähnliche PAkFL wie die Standardvariante (< 10 €/ha). Lediglich der vollständige Verzicht auf Pflanzenschutz führte zu Verlusten von bis zu 300 €/ha (Saltzmann und Kehlenbeck, 2018). Zu berücksichtigen ist, dass es sich tendenziell um einen extensiven Standort handelte. An intensiveren Standorten mit ggf. verstärktem Ungrasdruck können sich stärkere Ertragseffekte ergeben.

2.4.2.2 Versuchsergebnisse zu den Folgen einer Herbizidreduktion

In einer Vielzahl von Versuchen wurde der Frage nachgegangen, welche Ertragseffekte aus der Reduktion der Herbizidintensität hervorgehen. In der Vergangenheit wurde vielfach die Wirkung reduzierter Herbizidaufwandmengen in einjährigen Versuchen getestet. Aus den geringen Ertrags- und Wirkungsverlusten wurde zunächst abgeleitet, dass reduzierte Applikationsmengen eine tragfähige Lösung für die Praxis sind. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dies ein Fehlschluss war, da Wirkungsverluste und die Selektion einiger Unkrautarten im Zeitverlauf zunehmen und erst nach mehreren Jahren ein bedeutsames und ertragsschädigendes Maß annehmen. Deshalb sind Schlussfolgerungen nur aus langfristigen Versuchen sinnvoll, in denen populationsdynamische Effekte berücksichtigt werden (Pallutt et al., 2010).

Die längste Versuchsreihe zur Reduktion des Herbizidaufwandes wurde zwischen 1996 und 2007 im brandenburgischen Dahnsdorf durchgeführt²⁸ (Pallutt et al., 2010). Dabei wurde eine situationsbezogene Dosierung und Mittelauswahl mit einer statischen Halbierung der situationsbezogenen Aufwandmenge verglichen. Es zeigte sich, dass die Verunkrautung in allen Kulturen sowie die

²⁸ In dem Versuch wurde folgende Fruchtfolge zugrunde gelegt: Winterraps – Winterweizen – Winterroggen –Brache/Erbsen – Winterweizen – Wintergerste

Ertragsverluste bei statischer Halbierung des Herbizidaufwandes im Zeitverlauf deutlich zunahmen. Während die Weizenerträge der reduzierten Variante in den ersten Versuchsjahren nahezu identisch waren, stieg der Ertragsverlust zum Ende des Versuchszeitraumes auf über 13 dt/ha (>15 %)²⁹ an, sodass der Ertragsverlust bei einem Weizenpreis von 16 €/dt zu einem Erlösrückgang in Höhe von rund 220 €/ha führte und damit die eingesparten Herbizidkosten überstieg. Dagegen reagierte Gerste weniger stark auf die Reduktion des Herbizidaufwandes.

In einem vierjährigen Versuch in Glaubitz (Sachsen) führte eine Reduktion der Herbizidintensität um 50 % in einer Futterbaufruchtfolge mit einem Getreideanteil von 50 % zu keinen Ertragsverlusten gegenüber der vollen Aufwandmenge³⁰. Bei einer Herbizidreduktion von 50 % in Fruchtfolgen mit Getreideanteilen von 75 % waren im Vergleich stärkere Ertragsverluste zu erwarten. Hier führte eine Halbierung des BI zu Ertragsverlusten von weniger als 5 %. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Mulchsaatsysteme zu stärkeren Ertragsverlusten bei Herbizidreduktionen führen als konventionelle Bodenbearbeitungssysteme (Pallutt, 2010).

2.4.2.3 Versuchsergebnisse zu den Folgen einer Fungizidreduktion

In einem dreijährigen Versuch in Niedersachsen wurde untersucht, wie Weizenerträge in Mulchsaat und konventioneller Bodenbearbeitung auf unterschiedliche Fungizidstrategien im Vergleich zu einer ortsüblichen Dreifachbehandlung reagieren (Busche, 2008). Als alternative Strategien wurden eine unbehandelte Kontrolle, eine einfache sowie zwei- und dreifache Applikation³¹ getestet. Diese wurden weiterhin mit einer sortenspezifischen Variante verglichen, in der die Aufwandmengen anhand von Prognosemodellen abgeleitet wurden. In einer weiteren Variante wurde die Aufwandmenge nach dem Prognosemodell um 50 % reduziert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt. Folgende Schlussfolgerungen lassen sich ableiten:

- Weizen reagiert mit höheren Ertragsverlusten auf eine reduzierte Fungizidintensität als Gerste.
- Der vollständige Fungizidverzicht unabhängig von der Bodenbearbeitung führt bei Weizen zu Mindererträgen von 27 %, bei Gerste sind Ertragsverluste von 14 % zu verzeichnen.
- Der Verzicht auf die dritte Fungizidbehandlung führt in Weizen zu Ertragsverlusten von 3 % während die Ertragsverluste bei einer Einfachbehandlung auf über 10 % ansteigen. In der sortenspezifischen Behandlung nach Prognosemodellen konnte der Ertragsverlust bei einer Reduktion des Behandlungsindex um rund 40 % bei Mulchsaat auf 3 % begrenzt werden.

²⁹ Da in der Arbeit kein absoluter Ertrag angegeben ist, wird an dieser Stelle von 75 dt/ha ausgegangen.

³⁰ Im Falle der vollen Herbizidintensität betrug der BI in der Futterbaurotation 1,12 Einheiten und in der Marktfruchtfolge 1,16 Einheiten.

³¹ Der BI der Einfachbehandlung betrug 0,8 Einheiten, der BI der Zweifachbehandlung 1,72 und der BI der Dreifachbehandlung 3,04 Einheiten (Busche, 2008). Bei der sortenspezifischen Behandlung wurde der Gesamt-BI um durchschnittlich mehr als 40 % reduziert.

- Im Vergleich dazu war das Prognosemodell bei konventioneller Bodenbearbeitung weniger erfolgreich, da die Ertragsverluste bei 8 % lagen. Eine zusätzliche Halbierung der nach Prognosemodell empfohlenen Aufwandmengen führt zu Ertragsverlusten in der Größenordnung von 10 %.

Tabelle 3: Mindererträge (in %) gegenüber einer dreifachen Fungizidbehandlung im Mittel der Jahre 2005/06 und 2006/07 für Weizen und Gerste in Niedersachsen

	unbehandelte Kontrolle	1-fach	2-fach	Sortenspezifische Behandlung	
				-50%	
Weizen					
Pflug	27%	11%	3%	8%	14%
Mulch	27%	9%	3%	3%	8%
Gerste	14%	2%	4%	3%	6%

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach Busche (2008)

Böse (2018) analysierte auf Basis der Ergebnisse der Wertprüfungen³² aus den Jahren 2010 bis 2018 die Wirtschaftlichkeit des Fungizideinsatzes im Weizen. Dabei wurde anhand von mehr als 24.000 Einzeldaten der Ertrag von Weizen mit und ohne Fungizid- sowie Wachstumsreglerbehandlung in Deutschland ermittelt. Im Mittel über alle Standorte konnte durch den Einsatz von Fungiziden im Durchschnitt ein Mehrertrag von 11,9 dt/ha erzielt werden. Die Spannweite lag zwischen 7 und 18,8 dt/ha, was etwa 7 bis 19 % entspricht³³. Unter Berücksichtigung der Fungizidkosten³⁴ sowie einem Weizenpreis von 18 €/dt lag der kostenbereinigte Mehrertrag jedoch im Mittel bei 3 dt/ha. In gesunden Sorten lag dieser sogar bei -1 dt/ha, sodass der Fungizideinsatz hier nicht wirtschaftlich war.

Bei Raps wird vor allem ein Einsparpotential von Fungiziden gesehen, da ein ökonomischer Nutzen der Blütenbehandlung häufig nicht gegeben ist (Kreye, 2020). Insbesondere in Jahren mit Vorsommertrockenheit ergibt sich nur eine geringe Gefahr des Befalls mit Sklerotinia, sodass der Ertragsverlust bei einem Verzicht der Blütenbehandlung gering ist. Versuchsauswertungen aus Schleswig-Holstein der Jahre 1996 bis 2019 kommen zu dem Ergebnis, dass der Minderertrag bei keinem bzw. geringem Sklerotinia-Befall auf durchschnittlich 1,3 dt/ha (3 %)³⁵ beschränkt ist, bei mittlerem bzw. starkem Befall steigt der Ertragsverlust auf etwa 5 dt/ha (> 10 %) an (LWK S-H, 2019). Versuche der LWK Niedersachsen in den Regionen Northeim und Hannover aus den Jahren 2017 bis 2019

³² Sollen neue Sorten zugelassen werden, werden diese vom Bundessortenamt einer Wertprüfung unterzogen. Dabei werden im Rahmen eines dreijährigen Anbaus die wertbestimmenden Eigenschaften einer Sorte ermittelt. In diesem Rahmen werden nach BSA (2020) die Erträge mit und ohne dem Einsatz von Fungiziden und Wachstumsreglern gemessen.

³³ Da kein absoluter Ertrag genannt wird, ist unter Versuchsbedingungen von einem Ertrag von 100 dt/ha auszugehen.

³⁴ Die Fungizidkosten von 160 €/ha entsprechen bei einem Weizenpreis von 18 €/dt rund 8,9 dt/ha Weizen.

³⁵ Da in der Arbeit kein absoluter Ertrag genannt ist, wurde ein Referenzertrag von 40 dt/ha angenommen.

kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Je nach Befallsintensität ergeben sich durch den Verzicht der Blütenbehandlung Ertragsminderungen zwischen 0 und rund 10 % (Kreye, 2020; LWK Niedersachsen, 2018, 2019b, 2019a).

Weiterhin werden Fungizide im Winterraps auch als Wachstumsregler im Herbst und Frühjahr eingesetzt, um ein Überwachsen und die Streckung der Sprossachse zu vermeiden (LWK Niedersachsen, 2020a). In diesem Zusammenhang zeigen mehrjährige Versuchsergebnisse aus Schleswig-Holstein, dass durch eine Herbstbehandlung bei geringem Lagerdruck im Durchschnitt ein Mehrertrag von 0,4 dt/ha (1 %)³⁵ erzielt wird, der bei kombinierter Herbst- und Frühjahrsbehandlung auf 0,8 dt/ha (2 %) ansteigt. In Jahren mit ausgeprägter Lagerneigung steigt der Mehrertrag im Mittel jedoch auf 0,8 bzw. 4,3 dt/ha (> 10 %) (LWK S-H, 2019). Versuchsergebnisse aus Northeim und Südhannover kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Hier wurden durch eine reine Herbstbehandlung maximal Ertragszuwächse von 4 % erreicht (LWK Niedersachsen, 2016-2019), welche durch eine kombinierte Herbst- und Frühjahrsbehandlung auf durchschnittlich 2,6 dt/ha (ca. 6 %) gesteigert werden konnten (Kreye, 2020).

Insgesamt wird deutlich, dass im Vergleich zur Reduktion von Herbiziden nur wenige mehrjährige Versuche zur Reduktion von Fungiziden vorliegen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass Ertragsverluste bei einer situationsangepassten und um 25 % reduzierten Fungizidintensität im Getreide moderat sind. Ein vollständiger Fungizidverzicht führt hingegen häufig zu Ertragsverlusten von über 10 %.

2.4.2.4 Exkurs: Analyse von Landessortenversuchen zur Ertragswirkung und Wirtschaftlichkeit eines Fungizidverzichts im Winterweizen

Wie im vorherigen Abschnitt sowie in Kapitel 2.4.1 beschrieben, ist der Anbau gesunder Sorten ein wesentlicher Ansatz zur Reduktion des Fungizideinsatzes. Allerdings wurde im vorherigen Kapitel deutlich, dass es zwar eine Vielzahl an Wirkstoffvergleichen, aber vergleichsweise wenige Versuche zur Ertragswirksamkeit reduzierter Fungizidstrategien gibt.

Da bei den Fungiziden in vielen Fällen protektiv, also meist noch vor dem vollständigen Ausbruch der Krankheit, behandelt wird, ist die Notwendigkeit der Applikation und der damit verbundene Schaden bei Nichtdurchführung der Maßnahme für die Betriebsleitung nur sehr schwer zu quantifizieren. Ebenso erhält der landwirtschaftliche Betrieb in der Regel keine exakte Rückmeldung über die Wirksamkeit der Maßnahme, da in den Betrieben meist keine getrennte Ertragserfassung von behandelten und unbehandelten Beständen möglich ist. Da Landwirtinnen und Landwirte als risikoaverse Entscheider klassifiziert werden (Iyer et al., 2020), führt das Risiko eines hohen Minderertrags häufig dazu, dass eine Fungizidapplikation durchgeführt wird und gleichzeitig

Sicherheitsaufschläge bei Aufwandmengen über das „Notwendige Maß“³⁶ hinaus gegeben werden (Dachbrodt-Saaydeh, 2018).

Eine mögliche Datenquelle zur Analyse der Ertragswirkung durch den Verzicht auf Fungizide sind Landessortenversuche, in denen die Resistenzeigenschaften der Sorten geprüft werden. Dies erfolgt über die Ertragsmessung in zwei Varianten. Hierfür wird in „Stufe 1“ auf Fungizide und Wachstumsregler verzichtet, Herbizide und Insektizide jedoch standortangepasst ausgebracht. In „Stufe 2“ werden hingegen die ortsüblichen Fungizid- und Wachstumsreglerstrategien angewendet (Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2018). Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend die Ergebnisse der Landessortenversuche für Weizen aus den Jahren 2004 bis 2016 hinsichtlich der Ertragswirkung eines Fungizidverzichts ausgewertet. Hierbei werden die Ergebnisse aus den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen, Bayern und Baden-Württemberg berücksichtigt. Grundsätzlich könnten auch die Daten anderer Bundesländer ausgewertet werden. Allerdings sind diese nicht kostenfrei zugänglich. Weiterhin wird analysiert, ob die fungizidbedingten Mehrerträge ausreichen, um die dadurch entstehenden Kosten für Pflanzenschutzmittel sowie Arbeitserledigung zu decken.

Die einzelnen Versuchsstandorte werden für die Auswertung auf Ebene der Boden-Klima-Räume (BKR)³⁷ aggregiert. Nach Bereinigung des Datensatzes³⁸ liegen 16.364 nutzbare Ertragspaare für 16 verschiedene Boden-Klima-Räume vor. Da der Datensatz ebenfalls die Ausbringungsdaten der Fungizide, die eingesetzten Mittel und Aufwandmengen enthält, können die Kosten der Fungizidapplikationen kalkuliert werden. Hierfür werden die Preislisten eines Agrarhändlers aus den Jahren 2010 bis 2016³⁹ herangezogen. Die Kosten der Wachstumsregulatoren werden vereinfachend pauschal mit 10 €/ha bewertet. Die Ausbringungskosten der Fungizide und Wachstumsregler werden mit 11,5 €/ha⁴⁰ (KTBL, 2021) angesetzt (vgl. Tabelle A 2 im Anhang).

³⁶ Das „notwendige Maß“ nach Burth et al. (2002) „beschreibt die Menge von Pflanzenschutzmitteln, die notwendig ist, um die Wirtschaftlichkeit zu sichern, weil keine anderen praktikablen Abwehr- und Bekämpfungsmaßnahmen zur Verfügung stehen“.

³⁷ Die Bodenklimaräume wurden vom JKI für das Versuchswesen entwickelt. Sie beschreiben nach Roßberg et al. (2007) Regionen, die hinsichtlich der agroklimatischen Bedingungen (Klima, Boden, etc.) weitgehend homogen sind.

³⁸ Vor dem Hintergrund, dass einzelne Versuchsjahre aufgrund der Witterung sowohl sehr hohe als auch sehr niedrige Fungizidaufwendungen aufweisen können, werden nur die Boden-Klima-Räume in der Auswertung berücksichtigt, bei denen mindestens drei unterschiedliche Versuchsjahre vorliegen. Ebenso bleiben Datenpunkte unberücksichtigt, die fehlende oder fehlerhafte Werte aufweisen. Dazu zählen die Kategorien: Versuchsjahr, Ortsname oder Ortsnummer, Stufe, Kennnummer, Ertrag, Pflanzenschutzmittel, Aufwandmenge und Anwendungsdatum.

³⁹ Da Preislisten der „Beiselen GmbH“ aus früheren Jahren nicht verfügbar waren, wurden die Fungizide der Jahre 2004 bis 2009 ebenfalls mit der Preisliste aus dem Jahr 2010 bewertet. Weiterhin wurde ein Rabatt von 20 % auf den Listenpreis berücksichtigt, was nach Rücksprache mit Beratern eine übliche Größenordnung ist.

⁴⁰ Es wird vereinfachend von einer durchschnittlichen Flächenleistung von 8 ha/Std., einer Wasseraufwandmenge von 250 l/ha und einem Stundenlohn von 20 €/Std. ausgegangen. Die Kosten können bei überdurchschnittlich großen Flächenstrukturen geringer sein.

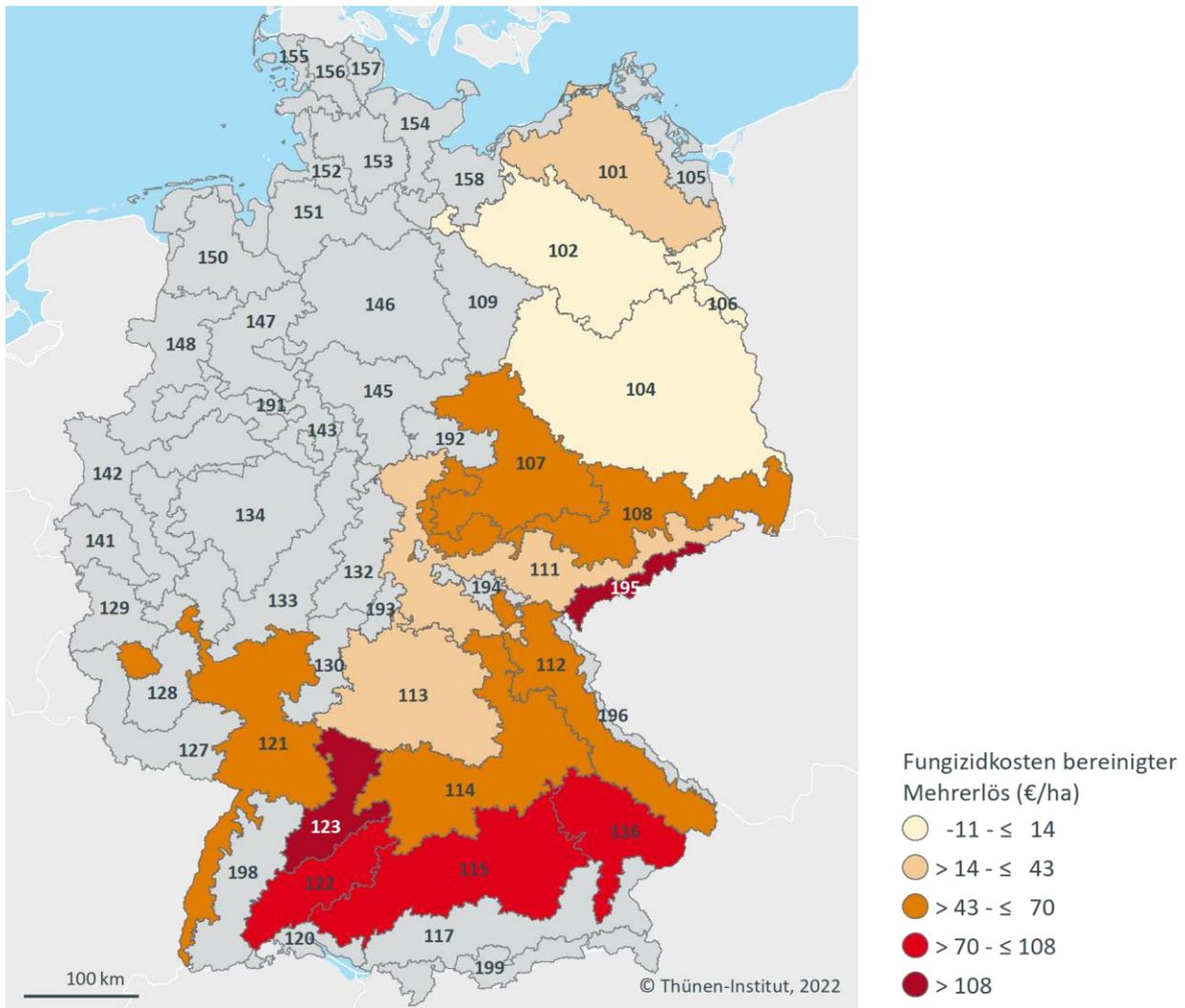
Ergebnisse der Datenauswertung

Nachfolgend werden die Kernergebnisse der Analyse zusammengefasst:

- (1) Im Mittel über alle ausgewerteten Boden-Klima-Räume und Jahre führt der Verzicht auf Fungizide und Wachstumsregler zu einem Ertragsverlust von 13 % (12 dt/ha). Die Spannweite über die betrachteten Versuchsjahre reicht dabei von 9 bis 17 %. Vergleichsweise stark wirkt sich der Fungizidverzicht in den südlich gelegenen Boden-Klima-Räumen aus (> 15 %), während sich in den nord-östlichen Boden-Klima-Räumen vergleichsweise geringe Mindererträge von weniger als 10 % einstellen (vgl. Abbildung A 1 im Anhang). Demgegenüber variiert die Veränderung innerhalb der einzelnen Versuchsjahre im Durchschnitt über alle Boden-Klima-Räume zwischen 8 und 20 %. Als wesentliche Ursache können die geringeren Niederschläge während der Vegetationsperiode im Nordosten angeführt werden. Daraus resultiert ein reduziertes Ertragsniveau und ein dementsprechend geringer Ertragsverlust bei einem Fungizidverzicht. Hinzu kommt, dass das Infektionsrisiko mit Pilzkrankheiten eng mit der Höhe des Niederschlags und einer allgemein feuchten Witterungslage korreliert ist (Lehrke und Werner, 2014; Bartels und Rodemann, 2003).
- (2) Neben Ertragsunterschieden zwischen den einzelnen Boden-Klima-Räumen schwanken die Ertragsverluste durch den Fungizidverzicht auch zwischen den Versuchsjahren (vgl. Abbildung A 1 im Anhang). Dies wird durch die Spannweitenlinien dargestellt. Im Durchschnitt über alle Sorten ergeben sich Schwankungen von mehr als 30 dt/ha. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Ertragswirkung des Fungizidverzichts in hohem Maße jahresindividuellen Einflüssen unterliegt.
- (3) Die Kosten für Fungizide und Wachstumsregler der einzelnen Boden-Klima-Räume sowie die Entwicklung im Zeitverlauf sind in Abbildung A 2 im Anhang dargestellt. Im Mittel liegen die Kosten bei 102 €/ha, variieren jedoch zwischen den einzelnen Boden-Klima-Räumen mit einer Spannweite zwischen 70 bis 114 €/ha. Weiterhin sind die Fungizidkosten von durchschnittlich 86 €/ha im Zeitraum 2004 bis 2009 auf 117 €/h im Zeitraum 2010 bis 2016 angestiegen. Dies entspricht einer Erhöhung von rund 36 %.
- (4) Trotz steigender Mittelkosten führt der Fungizideinsatz mit Ausnahme des BKR 106 (Oderbruch) zu einem kostenbereinigten Mehrerlös (vgl. Abbildung 3). Im Durchschnitt über alle Boden-Klima-Räume und Jahre konnte durch den Fungizideinsatz ein kostenbereinigter Mehrerlös von 62 €/ha erzielt werden. In den trockenen und ertragsschwächeren nordöstlichen Boden-Klima-Räumen 102, 104 und 106⁴¹ sind die fungizidkostenbereinigten Mehrerlöse mit weniger als 14 €/ha vergleichsweise gering. Dementsprechend haben die gesteigerten Erlöse nur knapp ausgereicht, um die Mehrkosten für die Fungizide und der Ausbringung zu kompensieren. Dagegen ergeben sich im BKR 123 und BKR 195 kostenbereinigte Mehrerlöse von 135 bzw. 138 €/ha.

⁴¹ Eine vollständige Übersicht der Boden-Klima-Räume findet sich in Tabelle A 3 im Anhang.

Abbildung 3: Fungizidkostenbereinigter Mehrerlös (in €/ha) ausgewählter Bundesländer im Durchschnitt der Jahre 2004 bis 2016 bei Weizen



Quelle: eigene Darstellung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ertragswirkung eines Fungizidverzichts stark von den Witterungsbedingungen abhängt und zwischen den Jahren schwankt. Besonders hohe Ertragsverluste ergeben sich für Regionen mit hohen Niederschlägen während der Vegetationsperiode und einem hohen Ertragsniveau. Für die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Untersuchungsregion Südhannover (BKR 145) konnten keine Daten ausgewertet werden. Aufgrund der Niederschlagsmengen und des hohen Ertragsniveaus (vgl. Kapitel 4.1.1) ist aber zu vermuten, dass die Kosten eines Fungizidverzichts eher im durchschnittlichen bis oberen Bereich der hier analysierten Boden-Klima-Räume liegen.

Einschränkend ist anzumerken, dass die hier kalkulierten Fungizidkosten im Vergleich zur Realität tendenziell überschätzt werden und der Nutzen des Einsatzes infolgedessen unterschätzt ist. Hintergrund ist, dass in den Versuchen keine sortenspezifischen Fungizidstrategien angewendet

werden, sondern alle Weizensorten unabhängig ihrer Krankheitstoleranz die gleiche Fungizidbehandlung erhalten. Diese orientiert sich in der Regel an Sorten mit den jeweils ungünstigsten Eigenschaften, sodass gesunde Sorten intensiver behandelt werden als notwendig. Ebenso kann es der Fall sein, dass Sorten mit in die Berechnung einfließen, die in der Praxis aufgrund ihrer ungünstigen Eigenschaften nicht bzw. nur in geringem Maße angebaut werden. Dennoch konnten aus der Analyse wesentliche Einflussfaktoren auf die Ertrags- und Kostenwirkung eines Fungizidverzichts abgeleitet werden.

2.4.2.5 Versuchsergebnisse zu den Folgen einer Insektizidreduktion

Im Vergleich zu Herbiziden und Fungiziden haben die Insektizide insgesamt meist eine geringere Bedeutung für die Ertragsbildung von Getreide. Für die Erträge von Winterraps und Zuckerrüben sind sie jedoch von hoher Relevanz (Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018). Gleichzeitig weisen Insektizide, vor allem Phyrethroide, in einigen Regionen Deutschlands durch Resistenzentwicklung zunehmend sinkende Wirkungsgrade gegen Schädlinge wie den Rapsglanzkäfer auf (Zwerger, 2016; LWK Niedersachsen, 2020b). Eine diskutierte Ursache ist, dass die Phyrethroidmaßnahmen durch die geringen Kosten häufig auch ohne Überschreitung der Schadschwellen zur Risikoabsicherung durchgeführt werden (Freier und Pallutt, 2010; Kupfer und Schröder, 2015). Das „notwendige Maß“ liegt nach langjährigen Versuchsauswertungen im deutschen Rapsanbau bei rund 80 %⁴² (Dachbrodt-Saaydeh, 2018). Bei rund 20 % der Anwendungen wird es demnach überschritten. Vor diesem Hintergrund wurden die meisten Versuche zu reduzierten Insektizidstrategien für Raps durchgeführt. Nachfolgend werden die Ergebnisse beschrieben.

Im Dauerfeldversuch Dahnsdorf (vgl. Kapitel 2.4.2.2) wurde ebenfalls die Ertragswirkung und die Wirtschaftlichkeit des Insektizideinsatzes im Winterraps analysiert. Dabei wurden folgende Intensitätsniveaus unterschieden:

- (1) Kontrolle ohne Insektizide
- (2) Integrierter Pflanzenschutz mit situationsbezogener Mittelwahl und Dosierung
- (3) Reduktion des BI gegenüber Var. (2) um ca. 50 %

Nach den Versuchsergebnissen führt der Verzicht auf Insektizide im Vergleich zur integrierten Behandlung zu Ertragsverlusten von 4,6 dt/ha (>10%⁴³) und eine Reduktion um 50 % zu einem Ertragsverlust von 1,8 dt/ha (ca. 5 %). Daraus resultieren kostenbereinigte Erlösnachteile von mehr als 70 €/ha bei einem vollständigen Verzicht bzw. nur 28 €/ha bei einer Teilreduktion (Freier und Pallutt, 2010).

⁴² Der Zielwert gemäß dem NAP beträgt hingegen 95 %.

⁴³ Da in der Arbeit kein absoluter Ertrag genannt ist, wurde ein Referenzertrag von 40 dt/ha angenommen.

In mehreren einjährigen Versuchen in der Region Südhannover schwanken die Ertragsverluste aufgrund eines Insektizidverzichts gegen Rapserrdfloh, Rapsglanzkäfer oder Rapsstängelrüssler zwischen 0 und 16 %. In den meisten Jahren lagen die Ertragsrückgänge in der Größenordnung von 10 %. Geringe Ertragsverluste ergaben sich in Jahren mit geringem Schädlingsdruck infolge strenger Winter (LWK Niedersachsen, 2017, 2018, 2020b, 2019a, 2019b). Versuche an anderen Standorten zeigen bei einem Insektizidverzicht Ertragsverluste in einer ähnlichen Größenordnung. Meist liegen die maximalen Verluste in der Größenordnung von 10 % (Sassenrath et al., 2019).

Während im Winterraps Fraßschäden dominieren, treten beim Getreide Ertragsverluste durch Insektenbefall meist durch Blattläuse als Virusvektoren auf (LWK Niedersachsen, 2020b). Der Insektizidverzicht hat im Getreide meist geringere Ertragsverluste zur Folge. Wie ein einjähriger Versuch aus Schleswig-Holstein zeigt, hat der Insektizidverzicht bei Winterweizen mit der Vorfrucht Winterraps gegen Blattläuse zu Ertragsverlusten zwischen 0 und maximal 9 % geführt (LWK S-H, 2019). Vierjährige Versuchsergebnisse an unterschiedlichen Standorten in Bayern zeigen hingegen, dass der Ertragseffekt eines Insektizidverzichts sowohl bei Früh- als auch bei Spätsaat mit weniger als 2 % auch geringer ausfallen kann (Zellner et al., 2013).

In mehrjährigen Praxisauswertungen in Norddeutschland betrug der Insektizid-BI bei Weizen 1,1 Einheiten (Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018). Gleichzeitig zeigt sich beim Insektizideinsatz in Winterweizen, dass das „notwendige Maß“ nur zu 70 % eingehalten wird und dementsprechend auch 30 % der Behandlungen unterhalb der Schadschwellen durchgeführt werden. Die größte Bedeutung an über das „notwendige Maß“ hinausgehenden Maßnahmen haben nach Dachbrodt-Saaydeh (2018) Behandlungen gegen Saugschädlinge.

2.4.2.6 Ableitung von Schlussfolgerungen für die eigene Arbeit

In den vorangegangenen Abschnitten wurden zahlreiche Versuche zur Ertragswirksamkeit reduzierter Pflanzenschutzmittelstrategien ausgewertet. Mit Blick auf die eigenen Analysen können daraus folgende Ansatzstellen zur Reduktion der aus dem Pflanzenschutz resultierenden Risiken abgeleitet werden:

- (1) Im Bereich der Herbizide haben die Versuche gezeigt, dass die Ertragseffekte kurzfristig gering sind und im Zeitverlauf ansteigen. Eine intensivierte oder wendende Bodenbearbeitung kann dazu beitragen, die Ertragsverluste bei einer Reduktion der Behandlungsintensität zu verringern. Demgegenüber stehen Ziele wie z.B. der Erosionsschutz, die gegen eine zunehmend wendende Bodenbearbeitung sprechen. Anders als in den Versuchen ist in der Praxis jedoch nicht davon auszugehen, dass die wendende Bodenbearbeitung großflächig durchgeführt wird. Vor diesem Hintergrund dürften die Ertragsverluste in der Realität etwas höher ausfallen.

Bei einer Reduktion der Herbizidintensität um 25 % können die Ertragsverluste auf unter 5 % begrenzt werden, solange die Restverunkrautung unterhalb der Schadschwellen gehalten

wird. Eine Reduktion des BI um 50 % ist langfristig mit Ertragsverlusten von bis zu 15 % verbunden. Außerdem kann der BI in Anbausystemen mit Fruchtwechsel zwischen Blatt- und Halmfrucht um mehr als 15 % gesenkt werden. Mechanische Verfahren zur Unkrautbekämpfung können ebenso dazu beitragen, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ertragsneutral zu senken.

- (2) Durch den Anbau krankheitsresistenter Sorten kann die Notwendigkeit von Fungizidbehandlungen wirksam gesenkt werden. Besonders in niederschlagsarmen Regionen Deutschlands, in denen der Infektionsdruck gering ist, kann eine angepasste Fungizidintensität die Wirtschaftlichkeit der Kultur steigern. Während die Ertragsverluste bei einem Wechsel von einer Dreifach-Applikation hin zu einer Doppel- oder Einfachbehandlung mit rund 5 % vergleichsweise gering sind, kann der vollständige Fungizidverzicht in Jahren mit einem ausgeprägten Infektionsgeschehen zu höheren Ertragseinbußen führen. Praxisauswertungen aus Einzeljahren beziffern die Mindererträge auf mehr als 25 %, hingegen beträgt der Ertragsverlust nach Auswertungen aus Landessortenversuchen und Wertprüfungen im Weizen etwa 13 %.
- (3) Bei der Bedeutung von Insektiziden muss zwischen dem Einsatz in Getreide und Raps differenziert werden. Während ein Insektizidverzicht im Getreide im Mittel der Jahre nur Mindererträge von wenigen Prozentpunkten (<5 %) zur Folge hat, kann der Effekt im Raps größer sein. Hier sind Mindererträge von rund 10 % zu erwarten.

Insgesamt zeigt die Auswertung der pflanzenbaulichen Versuche zu den Ertrags- und Einkommenseffekten, dass eine Pflanzenschutzmittelreduktion häufig mit Ertragsverlusten, jedoch nicht zwangsläufig mit Einkommensrückgängen für die Landwirt*innen verbunden ist. Dennoch bestätigen die Studien, dass sich unter Berücksichtigung standort- und jahresindividueller Ertragsschwankungen Reduktionsmöglichkeiten bieten. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Quelle zur Quantifizierung von Ertragseffekten bei Anpassungsmaßnahmen im eigenen Ansatz und als Hintergrundinformation im Rahmen der Fokusgruppendifkussionen.

2.5 Umweltpolitische Strategien zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln auf Basis der Literatur

Nachdem im vorherigen Kapitel aus der Literatur abgeleitet wurde, was die Kernherausforderungen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sind und wie Risiken bewertet und mithilfe pflanzenbaulicher Maßnahmen reduziert werden können, wird im folgenden Kapitel der Wissensstand zu umweltpolitischen Optionen zur Minderung der Risiken aus dem Pflanzenschutz aufbereitet. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass ein weiteres Ziel der Arbeit darin besteht, politische Umsetzungsoptionen abzuleiten und deren Folgen mithilfe der Fokusgruppe abzuschätzen (vgl. Kapitel 1.2). Grundsätzlich kann zwischen konzeptionellen Arbeiten differenziert werden, die verschiedene umweltpolitische Instrumente miteinander vergleichen und Arbeiten, die Folgen einzelner ökonomischer Steuerungsinstrumente abschätzen.

Konzeptionelle Arbeiten zum Vergleich umweltpolitischer Instrumente zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und Möglichkeiten zur Bewertung

Allgemein ist die wissenschaftliche Forschung zu Politikmaßnahmen zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel kein neues Phänomen (Oskam et al., 1997; Lee et al., 2019; Falconer, 1998). Reus et al. (1994) unterscheiden folgende umweltpolitische Instrumente: a) Beratung und Schulung, b) freiwillige Selbstverpflichtungen, c) ökonomische Instrumente sowie d) ordnungsrechtliche Maßnahmen. Diese grundsätzlichen Instrumente können jeweils weiter ausdifferenziert werden. Weiterhin bewerten sie die Instrumente anhand der Effektivität, Umsetzbarkeit und Kontrollierbarkeit, Effizienz, Gerechtigkeit im Sinne des Verursacherprinzips, wirtschaftlichen Folgen sowie der Akzeptanz aus Sicht der landwirtschaftlichen Betriebe. Folgende Kernaussagen lassen sich aus der Arbeit ableiten:

- (1) Schulung und Beratung sind wesentliche Instrumente, um das Problembewusstsein in den landwirtschaftlichen Betrieben für die Reduktion von Risiken durch Pflanzenschutzmittel zu erhöhen.
- (2) Freiwillige Selbstverpflichtungen zwischen Behörden, Privatwirtschaft und landwirtschaftlichen Betrieben haben im Gegensatz zu ordnungsrechtlichen Auflagen den Vorteil, dass sie mehr Flexibilität gewährleisten und die Akzeptanz seitens der Landwirt*innen i.d.R. erhöhen.
- (3) Ökonomische Instrumente wie die Einführung einer Abgabe auf Pflanzenschutzmittel schaffen finanzielle Anreize, den Einsatz und die Risiken von Pflanzenschutzmitteln zu senken. Die Akzeptanz der landwirtschaftlichen Praxis kann erhöht werden, indem die Einnahmen in den Agrarsektor zurückfließen. Ein System mit handelbaren Nutzungsrechten setzt voraus, dass bereits die Abgabe von Wirkstoffen auf Ebene der Händler reguliert werden muss. Die weitreichenden Veränderungen im Vergleich zum Status Quo stellen eine Umsetzung auf europäischer Ebene vor große Herausforderungen.
- (4) Ordnungsrechtliche Maßnahmen können dazu genutzt werden, beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln Mindeststandards wie den Nachweis der notwendigen Sachkunde bei Anwendern oder der technischen Funktionsfähigkeit zu gewährleisten.

Oskam et al. (1997) vergleichen darauf aufbauend in ähnlicher Weise unterschiedliche Kategorien umweltpolitischer Instrumente. Folgende Kernergebnisse lassen sich aus dem Vergleich festhalten:

- (1) Instrumente im Bereich Schulung und Ausbildung dienen dazu, das Bewusstsein des Pflanzenschutzmitteleinsatzes zu steigern und sollten deshalb unmittelbarer Bestandteil einer Reduktionsstrategie sein.
- (2) Mit Blick auf ökonomische Instrumente stellen die Autoren fest, dass eine Erhöhung der Mehrwertsteuer für Pflanzenschutzmittel zielführend sein kann. Dabei streben sie einen in der EU einheitlichen Steuersatz an. Vergleichbar positiv wird ein Abgabemodell bewertet. Die Akzeptanz von Steuersystemen seitens der Landwirt*innen könnte nach ihrer

Einschätzung gesteigert werden, indem die Einnahmen zur Förderung weiterer Projekte genutzt werden.

- (3) Die Wirkstoffmenge mithilfe eines Lizenzsystems mit handelbaren Nutzungsrechten zu senken, ist nach Autoreneinschätzung nicht zu präferieren, da die Umwelteffekte stark standortabhängig sind und zudem vom individuellen Produkt abhängen. Zwar kann eine hohe Effektivität erreicht werden, hingegen ist von einer geringen Effizienz in Folge hoher Informations- und Transaktionskosten auszugehen. Ebenso führen hohe Administrationskosten zu einer schlechten Akzeptanz innerhalb der landwirtschaftlichen Praxis.
- (4) Nach Einschätzung der Autoren sollte eine Kombination umweltpolitischer Instrumente folgende Elemente beinhalten: Erhöhung der Mehrwertsteuer von Pflanzenschutzmitteln auf ein EU-weit einheitliches Niveau, Entwicklung von Aktionsplänen, Förderung von Forschung und Entwicklung in Züchtung und Anwendungstechnik sowie schnellere Zulassungsverfahren.

Beide zuvor genannten Arbeiten geben zwar einen umfassenden Überblick über mögliche Politikinstrumente sowie ihre Vor- und Nachteile, mögliche Folgen und Anpassungsreaktionen von landwirtschaftlichen Betrieben analysieren sie hingegen nicht.

Scheele (1997) stellt heraus, dass eine alleinige Fokussierung auf das umweltpolitische Instrument nicht ausreichend ist, um Gesamtstrategien zu entwickeln und zu bewerten. Die Notwendigkeit von zum Teil standortindividuellen Lösungsansätzen wird dabei häufig nicht berücksichtigt. Gleichwohl können es die standörtlichen Voraussetzungen erfordern, die umweltpolitische Strategie kleinräumig zu differenzieren, um die gewünschten Anpassungen und Ziele zu erreichen. Aus diesem Grund können die Stärken und Schwächen umweltpolitischer Maßnahmen häufig nicht ausschließlich am umweltpolitischen Instrument festgemacht werden - entgegen vieler umweltökonomischer Analysen. Die Instrumentenwahl ist vielmehr auf die in der jeweiligen Situation angemessene Konstellation dreier weiterer Parameter zurückzuführen. Insgesamt umfasst der sogenannte „Dekompositionsansatz“, bei dem die einzelnen Komponenten einer Politikmaßnahme möglichst effizient miteinander kombiniert werden, die in Anlehnung an Scheele et al. (1992) etablierten Aktionsparameter „Wahl der technologischen Ansatzstelle“, „Wahl des Adressaten“, „Wahl des Regelungsraumes“ sowie „Wahl des umweltpolitischen Instruments“⁴⁴.

Durch die Umsetzung umweltpolitischer Maßnahmen werden Kosten verursacht, die sich je nach Ausgestaltung und Kombination der oben genannten „Aktionsparameter“ unterscheiden. Ziel umweltpolitischer Maßnahmen muss es sein, die Zielvorgaben zu möglichst geringen volkswirtschaftlichen Kosten zu erreichen. Hinsichtlich der Kostenwirksamkeit schlägt Scheele (1997) eine Differenzierung der Kosten nach folgenden Gruppen vor:

⁴⁴ Für eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Aktionsparameter wird auf Scheele et al. (1992) sowie auf Scheele (1997) verwiesen. Eine im Kontext dieser Arbeit nähere Beschreibung findet zudem in Kapitel 3.5 statt.

- Opportunitätskosten: „Kosten, die durch den Verzicht auf alternative Produktion aufgrund der Verfolgung von Umweltzielen entstehen“.
- Administrations- und Kontrollkosten: „Kosten, die bei der administrativen Umsetzung und Kontrolle umweltpolitischer Maßnahmen entstehen“.
- Konsensfindungskosten: „Kosten, die bei der politischen Entscheidungsfindung über den umweltpolitischen Instrumenteneinsatz entstehen“.

Die einzelnen Kostenkomponenten werden durch die Kombination und Ausgestaltung der „Aktionsparameter der Umweltpolitik“ unterschiedlich stark beeinflusst. Können die Kosten einer Gruppe durch eine Umgestaltung gesenkt werden, führt dies meist zu einem Anstieg der beiden übrigen Kostengruppen (Scheele et al., 1992).

Neben den Kosten gibt es noch weitere Kriterien, die für die Bewertung eines umweltpolitischen Instruments bzw. einer gesamten Politikmaßnahme relevant sind. Reus et al. (1994) haben dazu ein Bewertungsschema entwickelt, das folgende Kategorien enthält: Effektivität, Umsetzbarkeit und Kontrollierbarkeit, Effizienz, Gerechtigkeit im Sinne des Verursacherprinzips, wirtschaftliche Folgen und Akzeptanz aus Sicht der landwirtschaftlichen Betriebe. Oskam et al. (1997) weichen in ihrer Arbeit von dem oben genannten Bewertungsschema geringfügig ab. Während die Kriterien Effektivität, Effizienz und Durchsetzbarkeit identisch sind, bewerten sie die Akzeptanz nicht nur aus Sicht der landwirtschaftlichen Praxis, sondern beziehen auch die Perspektive der weitgehend unbeteiligten Öffentlichkeit und die Einschätzung von Experten mit ein. Anhand der institutionellen Homogenität bewerten sie, inwiefern sich ein umweltpolitisches Instrument bzw. eine Gesamtstrategie in die bisherige Politik auf nationaler und europäischer Ebene einbettet. Während Reus et al. (1994) die wirtschaftlichen Folgen bewerten, erweitern Oskam et al. (1997) diesen Aspekt zusätzlich um den Einfluss auf die Rechte des Eigentums. Stattdessen findet die differenzierte Gerechtigkeitsbewertung im Sinne des Verursacherprinzips bei Oskam et al. (1997) keine Berücksichtigung.

Arbeiten zur Ausgestaltung ausgewählter ökonomischer Instrumente

Mit Blick auf die Ausgestaltung ökonomischer Instrumente zur Senkung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes wurden bislang vorrangig Steuermodelle⁴⁵ berücksichtigt. Wie weitere ökonomische Instrumente, zum Beispiel Subventions- oder Lizenzmodelle, sinnvoll auszugestalten sind, wurde bisher nur selten analysiert. Aus diesem Grund beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen auf Arbeiten zur Umsetzung eines Steuermodells.

Finger und Böcker (2016) zeigen in ihrer Auswertung von verwendeten ökonomischen Steuerungsinstrumenten zur Senkung des PSM-Einsatzes, dass die Besteuerung⁴⁶ aufgrund der verbreiteten

⁴⁵ Steuer- und Abgabemodelle werden häufig synonym verwendet. Abgaben lassen sich nach Mußhoff (2017) in Gebühren, Beiträge, Sonderabgaben und Steuern unterscheiden.

⁴⁶ Auf eine systematische Übersicht der länderindividuellen Ausgestaltung des Steuermodells wird an dieser Stelle verzichtet. Weitergehende Informationen finden sich in Mußhoff (2017); Finger et al. (2016); Finger und Böcker (2016).

Anwendung das prominenteste ökonomische Instrument innerhalb der Europäischen Union darstellt. Die vorrangigen Ziele sind dabei a) die Schaffung von Anreizen zur Minderung der Risiken und b) die Generierung von Finanzmitteln für Forschung und Entwicklung (Oskam et al., 1997; Wossink und Feitshans, 2000; Möckel et al., 2015).

Zur Steigerung der Akzeptanz fließt in den meisten Ländern ein Großteil der Einnahmen wieder zurück zu den Agrarbetrieben. Beispielsweise werden in Dänemark die Steuereinnahmen dazu genutzt, um einerseits den landwirtschaftlichen Betrieben bei der Vermögenssteuer auf landwirtschaftliche Flächen Vergünstigungen zu gewähren, und um andererseits gesellschaftlich gewünschte Produktionsverfahren weiter zu fördern. Hingegen werden in Frankreich etwa die Hälfte der Steuereinnahmen zur finanziellen Unterstützung von Wasser- und Abwasseraufbereitern verwendet. Die übrigen 50 % stehen für weitere Maßnahmen des NAP zur Verfügung (Finger et al., 2016).

Die Ursache für die starke Verbreitung von Steuermodellen in Europa ist aus ihrer Sicht die hohe allokativen Effizienz (Falconer und Hodge, 2001). Hinzu kommt aus Autorensicht die Einfachheit und der vergleichsweise geringe administrative Aufwand (Finger und Böcker, 2016). Außerdem folgt die Besteuerung stärker als andere Instrumente dem Verursacherprinzip, kann zwischen der Toxizität einzelner Wirkstoffe differenzieren und schreibt den landwirtschaftlichen Betrieben nicht vor, wie die Produktionssysteme zu verändern sind (Reus et al., 1994; Femenia und Letort, 2016). Dennoch gehen mit einem Steuermodell auch Herausforderungen einher: Dazu zählt unter anderem, die angemessene Steuerhöhe zu finden, die zur Zielerreichung führt, sowie die Tatsache, dass der Einkommenseffekt für die landwirtschaftlichen Betriebe meist negativ ist. Hinzu kommt die Erkenntnis bisheriger Studien, dass hohe Steuersätze notwendig sind, um die Anwender von Pflanzenschutzmitteln zu einer merklichen Verhaltensänderung zu animieren (Reus et al., 1994; Hoevenagel und van Noort, 1999). Auf letzteren Aspekt wird nachfolgend näher eingegangen.

Die Effizienz einer Pflanzenschutzmittelsteuer wird in hohem Maße durch die Preiselastizität der Nachfrage beeinflusst, die beschreibt, um wie viel Prozent die Nachfrage sinkt, wenn der Preis um ein Prozent ansteigt (Finger et al., 2016). Auf Basis einer Metastudie gehen die Autoren für Europa von einer Preiselastizität der Nachfrage nach Pflanzenschutzmittel von $-0,28$ aus. Dementsprechend führt eine Verdopplung des Preises zu einer Mengenreduktion von weniger als einem Drittel. Während die in der Metastudie berücksichtigten Arbeiten kurzfristig eine Preiselastizität von $-0,18$ ergeben, steigt diese langfristig auf $-0,39$. Die Ursache ist, dass Landwirt*innen kurzfristig aufgrund des bestehenden Produktionsprogramms nur eingeschränkte Anpassungsmaßnahmen durchführen können, während ihnen langfristig eine größere Auswahl an Optionen zur Verfügung steht. Darüber hinaus ist die Nachfragelastizität von Herbiziden höher, da in diesem Fall grundsätzliche Alternativen wie die mechanische Unkrautbekämpfung zur Verfügung stehen (vgl. Kapitel 2.4.1). Weiterhin hat die Nachfrageelastizität im Zeitverlauf abgenommen, was auf eine zunehmende Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe vom Pflanzenschutzmitteleinsatz schließen lässt (Finger et al., 2016). In der Arbeit von Skevas et al. (2012) beschreiben die Autoren die Nachfrageelastizität für niederländische Betriebe mit noch geringeren Werten. Insbesondere bei Kulturen mit

einem hohen PSM-Bedarf führt eine Verdopplung des Preises lediglich zu einer Mengenreduktion von weniger als 4 %.

Für Deutschland entwickeln Möckel et al. (2015) einen Vorschlag zur Besteuerung von Pflanzenschutzmitteln anhand einer auf Annahmen basierenden Modellkalkulation. Dabei gehen sie von einer Nachfrageelastizität von $-0,4$ aus. Die vorgeschlagene Steuer setzt sich aus drei Komponenten zusammen: einem Grundabgabesatz für die maximale Aufwandmenge innerhalb eines Jahres auf einem Hektar, einem humantoxizitätsabhängigen Risikozuschlag auf Basis von Wirkstoffeigenschaften sowie einem 1,5-fachen Zuschlagsfaktor für Wirkstoffe, die durch die EU-Kommission als Substitutionskandidaten eingestuft wurden. Durch den identischen absoluten Grundabgabesatz werden nach Einschätzung von Mußhoff (2017) vergleichsweise günstigere Pflanzenschutzmittel mit einem relativ höheren Steuersatz belastet als ein teureres Pflanzenschutzmittel. Nach Analysen von Möckel et al. (2021) führt eine durchschnittliche Preissteigerung für Pflanzenschutzmittel um 45 % zu einem Nachfragerückgang von kurzfristig 20 % und langfristig 35 %. Wird das Aufkommen auf die mit Pflanzenschutzmitteln behandelte Fläche umgelegt, sind nach Autoreneinschätzung durchschnittliche Abgaben je nach Preiselastizität zwischen 52 bis 94 €/ha zu erwarten⁴⁷. Für eine ausreichende Akzeptanz seitens der landwirtschaftlichen Betriebe schlagen die Autoren eine Steuererrückzahlung für pflanzenschutz-intensive Kulturen vor, deren Anbau durch hohe Steuerzahlungen ansonsten unwirtschaftlich werden würde. Zusätzlich sollten die Steuermittel dazu genutzt werden, die Kosten der Trinkwasseraufbereitung, zusätzliche Maßnahmen zum Gewässerschutz sowie Investitionen in Beratung und Forschung zu alternativen Pflanzenschutzverfahren zu finanzieren (Möckel et al., 2015). In ihrem modifizierten Vorschlag haben Möckel et al. (2021) ihre Modellierung weiterentwickelt. Aufgrund der geringen Nachfrageelastizität gehen die Autoren auf Basis von Lechenet et al. (2017) davon aus, dass der Einsatz von Herbiziden und Insektiziden zu großen Teilen verringert werden kann, ohne die Produktivität negativ zu beeinflussen. Da diese beiden Pflanzenschutzmittelgruppen einen unmittelbaren Einfluss auf Vögel und Insekten besitzen, werden sie in dem modifizierten Entwurf mit einem Zusatzfaktor von 1,5 belastet. Die Autoren erwarten, dass sich die Produktionskosten je Hektar um 52 und 106 €/ha erhöhen (Möckel et al., 2021).

Mußhoff (2017) setzt sich kritisch mit dem genannten Besteuerungsvorschlag für Deutschland auseinander. Er kritisiert, dass das Steuermodell nicht hinsichtlich der Wirksamkeit und Effizienz alternativer Politikinstrumente verglichen wird. Hinsichtlich der Einkommenswirkung für landwirtschaftliche Betriebe geht er auf Basis von Modellkalkulationen von deutlich höheren Effekten aus, da er erwartet, dass die DAKfL bestenfalls um mehr als ein Drittel sinken und im schlechtesten Fall sogar negative Werte annehmen würde. Weiterhin bezweifelt er, ob der durch die Verteuerung ausgelöste Nachfragerückgang per se zu geringeren Risiken führt. In diesem Zusammenhang argumentieren auch andere Autoren, dass Steuersysteme, die über eine Preissteigerung auf eine reine Mengenreduktion setzen, zu kurz greifen und sich als ineffizientes Instrument herausstellen können, dass die Einkommen der Landwirt*innen belastet, ohne eine wesentliche Risikoreduktion zu

⁴⁷ Bei einer Preiselastizität von $-0,2$ entstehen Kosten in Höhe von 52 €/ha, während bei einer Preiselastizität von $-0,4$ Kosten in Höhe von 94 €/ha entstehen (Möckel et al. (2021).

erreichen (Skevas et al., 2012; Möhring et al., 2019). Der Hintergrund ist, dass sich die zuvor genannten Elastizitäten der Nachfrage nicht unmittelbar auf die Senkung von Toxizitätsindikatoren übertragen lassen. Möhring et al. (2019) beschreiben in diesem Zusammenhang, dass eine Senkung der Produkt- oder Wirkstoffmenge zwar im Durchschnitt auch zu einer reduzierten Toxizität führt, hochrisikoreiche Anwendungen werden mithilfe von mengenbasierten Indikatoren jedoch nur unzureichend gut erfasst (Möhring et al., 2019).

Weitere umweltpolitische Instrumente werden in der Literatur vergleichsweise wenig diskutiert. Skevas et al. (2012) vergleichen mithilfe eines Modellierungsansatzes die Wirkung einer undifferenzierten Pflanzenschutzmittelsteuer, gezielten Preiserhöhungen für Pflanzenschutzmittel mit unerwünschten Umweltwirkungen, Subventionen und mit einem Quotensystem für niederländische Ackerbaubetriebe. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass durch Wirkstoffverbote oder Beratungsleistungen für Landwirt*innen ein größeres Potenzial zur Risikominderung erzielt wird, als durch eine schlichte Besteuerung der Pflanzenschutzmittel. Zudem zeigen ihre Analyseergebnisse, dass mithilfe einer Quotierung eine im Vergleich zur Besteuerung höhere Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und den damit verbundenen Umweltrisiken zu realisieren ist. Weiterhin halten sie es selbst bei der Anwendung anderer politischer Instrumente für unerlässlich, diese durch Beratungs- und Weiterbildungsangebote zu ergänzen, um die Effektivität der umweltpolitischen Strategie zu erhöhen (Skevas et al., 2012). Andere Autoren bestätigen, dass häufig fehlendes Wissen über pflanzenbauliche Alternativen ein Hemmnis dafür ist, die Risiken durch Pflanzenschutzmittel zu senken (Lee et al., 2019).

Insgesamt verdeutlicht bereits die Anzahl bestehender Studien zu Politikoptionen zur Minderung von Risiken durch Pflanzenschutzmittel die hohe Relevanz der Thematik in Europa. Allerdings beschränken sich die bereits bestehenden Studien häufig auf die Ausgestaltung und Bewertung von Besteuerungsmodellen im nationalen Kontext. Eine Hauptursache dürfte die einfache Administrierbarkeit sein. Zusätzlich scheint eine gewisse Pfadabhängigkeit zu bestehen, da diese Modelle bereits in einer Reihe europäischer Mitgliedsstaaten genutzt werden, um den Pflanzenschutzmitteleinsatz generell und die damit einhergehenden Risiken im Speziellen zu senken. Die bisherigen Folgenabschätzungen zu den Steuermodellen basieren auf der Verwendung von Elastizitäten. Inwiefern es zu Ausweichreaktionen durch ackerbauliche Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Betrieben kommt, wird bisher nicht berücksichtigt. Studien, die die tatsächlichen Wirkungen pflanzenschutzpolitischer Maßnahmen ex-post diskutiert und analysiert haben, sind nicht verfügbar. Hinzu kommt, dass sich die bisherigen Folgenabschätzungen auf ein Instrument fokussieren und nur vereinzelte Studien eine vergleichende Bewertung verschiedener politischer Instrumente vornehmen. Vor diesem Hintergrund wird im folgenden Abschnitt ein Ansatz entwickelt, um diese Lücke zu schließen.

3 Entwicklung des eigenen Forschungsansatzes

In diesem Kapitel wird der Forschungsansatz entwickelt, mit dessen Hilfe die Anpassungsreaktionen und -kosten der Landwirt*innen identifiziert sowie die Folgen verschiedener Politikmaßnahmen abgeschätzt werden sollen. Dazu wird in Kapitel 3.1 zunächst der Gesamtansatz der Arbeit dargestellt. Im Anschluss daran wird die Funktionsweise der Kernbestandteile des Ansatzes erläutert. In Kapitel 3.3 werden wesentliche Rahmenbedingungen für die eigenen Analysen dargelegt. Inwiefern mithilfe eines Kalkulationstools die Kosten der Anpassungsmaßnahmen ermittelt werden können, wird in Kapitel 3.4 ausgearbeitet. Im Anschluss daran wird abgeleitet, anhand welcher Parameter die Politikmaßnahmen zur PLI-Reduktion entwickelt und deren Folgen abgeschätzt werden können.

3.1 Der Gesamtansatz im Überblick

Ein wesentliches Ziel der Arbeit besteht darin, die Frage zu klären, wie landwirtschaftliche Betriebe ihre Produktionssysteme anpassen, um künftig auf veränderte umweltpolitische Anforderungen zu reagieren. Um Anpassungsmöglichkeiten zur Risikoreduktion zu identifizieren und die daraus resultierenden Anpassungskosten zu berechnen, werden zunächst einzelbetriebliche Daten mit detaillierten Informationen zur Produktionstechnik, vor allem aber zum Pflanzenschutzmitteleinsatz, benötigt. Zwar stehen über das deutsche Testbetriebsnetz grundsätzlich umfangreiche Buchführungsdaten von Einzelbetrieben zur Verfügung, allerdings sind darin keine detaillierten Informationen zu den Anbausystemen enthalten. Diese Lücke könnte geschlossen werden, indem die Daten um Informationen aus Ackerschlagkarteien ergänzt würden. Dabei ist fraglich, ob und wie stark landwirtschaftliche Unternehmer*innen aus einer Untersuchungsregion bereit wären, ihre Ackerschlagkarteien zu Verfügung zu stellen. Ein Ansatz, um diese Problematik zu umgehen, ist die **Erhebung und Analyse eines typischen Modellbetriebs** (Nehring, 2011; Krug, 2013).

Grundsätzlich existiert eine Vielzahl an Möglichkeiten, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die daraus resultierenden Risiken zu reduzieren. Hierzu liegen ebenfalls zahlreiche **Versuchsergebnisse** vor (vgl. Kapitel 2.4), die für die Ableitung von Reduktionsstrategien und Ertragseffekten herangezogen werden können. Allerdings stellt sich die Frage, inwiefern Versuchsergebnisse auf andere Standorte und reale Betriebsbedingungen übertragen werden können oder mithilfe welcher Maßnahmen die Produktionssysteme von den Landwirt*innen tatsächlich angepasst werden, um auf veränderte Anforderungen zu reagieren. Weiterhin werden insbesondere einjährige Versuche stark von der jahresindividuellen Witterung beeinflusst. Ein probates Mittel, um die Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen auf spezifische Standortbedingungen sowie deren Umsetzbarkeit unter realen Bedingungen zu überprüfen, sind **Fokusgruppendifkussionen** (Nehring, 2011; Chibanda et al., 2020). Vor diesem Hintergrund werden Anpassungsoptionen auf Basis von Versuchsergebnissen und ergänzenden Expertengesprächen entwickelt, bevor sie anschließend in iterativen Fokusgruppendifkussionen mit Landwirt*innen und Berater*innen überprüft und bei Bedarf angepasst werden. Eine detaillierte Beschreibung der drei Bestandteile folgt in Kapitel 3.2.

Welche einzelnen Schritte notwendig sind, um die Forschungsfragen beantworten zu können, wird nachfolgend näher erklärt. Wesentliche Analyseschritte des Gesamtansatzes sind zur vereinfachten Orientierung in Abbildung 4 übersichtsartig dargestellt.

Festlegung des Analyserahmens

Zunächst ist der Analyserahmen für die eigene Analyse zu beschreiben. Dazu zählt, einen für die Analyse geeigneten Standort auszuwählen und einen für die Region typischen Modellbetrieb zu entwickeln. Aufgrund der Komplexität wird das Vorgehen auf einen Modellbetrieb beschränkt. Im zweiten Schritt sind sowohl die quantitativen Minderungsziele näher festzulegen als auch zu betrachtende Anpassungsmaßnahmen zu beschreiben. Eine detaillierte Beschreibung des Analyserahmens erfolgt in Kapitel 3.3.

Analyse einzelbetrieblicher Anpassungsstrategien und -kosten

Im Vorfeld der eigentlichen Fokusgruppendifkussionen werden Expertengespräche mit landwirtschaftlichen Betriebsleiter*innen sowie Pflanzenbauberater*innen geführt, um einen Entwurf für den Modellbetrieb in der Ausgangssituation zu entwickeln. Hierfür werden auch einzelbetriebliche Ackerschlagkarteien und Agrarstrukturdaten herangezogen. Gleichzeitig werden anhand von Versuchen potenzielle Reduktionsmaßnahmen identifiziert sowie deren Ertragswirkung abgeschätzt. Die Darstellung des Modellbetriebs erfolgt mithilfe eines Kalkulationstools (vgl. Kapitel 3.4.1). Damit können die Auswirkungen der modular aufgebauten Anpassungsstrategien auf den PLI sowie auf die Rentabilität des Betriebes simuliert werden.

Aufbauend auf das Basisszenario werden anschließend einzelbetriebliche Anpassungsstrategien im Rahmen von Fokusgruppendifkussionen diskutiert, um die Kosten einer Risikoreduktion ermitteln zu können. Mit der **ersten Fokusgruppendifkussion** werden die nachfolgend genannten Ziele verfolgt:

- Vermittlung von fachlichen Hintergrundinformationen sowie Darstellung der Vorgehensweise und Ziele
- Validierung des Modellbetriebs in der Ausgangssituation hinsichtlich Betriebsstruktur, Fruchtfolge und der einzelnen Produktionsverfahren
- Identifikation kulturindividueller Möglichkeiten zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes sowie Ableiten von konkreten Anpassungsmaßnahmen

Hierfür wird ein Kurzvortrag erstellt, mit dessen Unterstützung die Problemstellung erläutert und der/die Betriebsleiter*innen über die konkrete Vorgehensweise und Ziele der Veranstaltung informiert werden. Im Anschluss daran werden die getroffenen Annahmen zu Preisen, Ertragsniveaus und Produktionsverfahren (vgl. Kapitel 3.3.1) in der Ausgangssituation näher erläutert und zur Diskussion gestellt. Ausgehend von der Ausgangssituation des Modellbetriebs werden mögliche Handlungsfelder und Maßnahmen identifiziert, um die Risiken durch Pflanzenschutzmittel zu senken. Infolgedessen sollen konkrete kulturindividuelle Maßnahmen entwickelt sowie Vor- und Nachteile abgeleitet werden. Aufgrund der Thematik und Fokussierung auf einen Standort werden im

Rahmen dieser Arbeit homogene Realgruppen mit Betriebsleiter*innen aus der Untersuchungsregion gewählt, die bereits im gegenseitigen Erfahrungsaustausch stehen. Da es sich um eine komplexe Thematik handelt, wird eine Gruppengröße von fünf bis acht Landwirt*innen sowie einem Berater/einer Beraterin angestrebt. Die Ergebnisse werden durch die moderierende Person und eine Assistenz schriftlich fixiert. Aufgrund der hohen Komplexität und der Möglichkeit, die Inhalte und Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal hören zu können, werden außerdem Audioaufzeichnungen der Diskussionsrunden durchgeführt.

Im Anschluss an die erste Fokusgruppendifkussion erfolgt eine Nachbereitung der Ergebnisse. Bei Maßnahmen, die nicht durch konkrete Versuchsergebnisse untermauert werden können, werden zusätzliche Expertengespräche mit ackerbaulichen Berater*innen geführt, um die Aussagen der Landwirte*innen zu verifizieren und Wirkungszusammenhänge zu prüfen. Die von der Fokusgruppe erarbeiteten Maßnahmen und Ansatzpunkte zur Risikominderung durch Pflanzenschutzmittel haben Einfluss auf Erlöse und Kosten der Anbauverfahren. Die Anpassungsmaßnahmen sowie deren betriebliche Effekte werden in einem Kalkulationstool visualisiert. Zusätzlich werden die Anpassungsstrategien - sofern möglich - auf Basis der Literatur durch pflanzenbauliche Versuche quantifiziert (vgl. Kapitel 2.4).

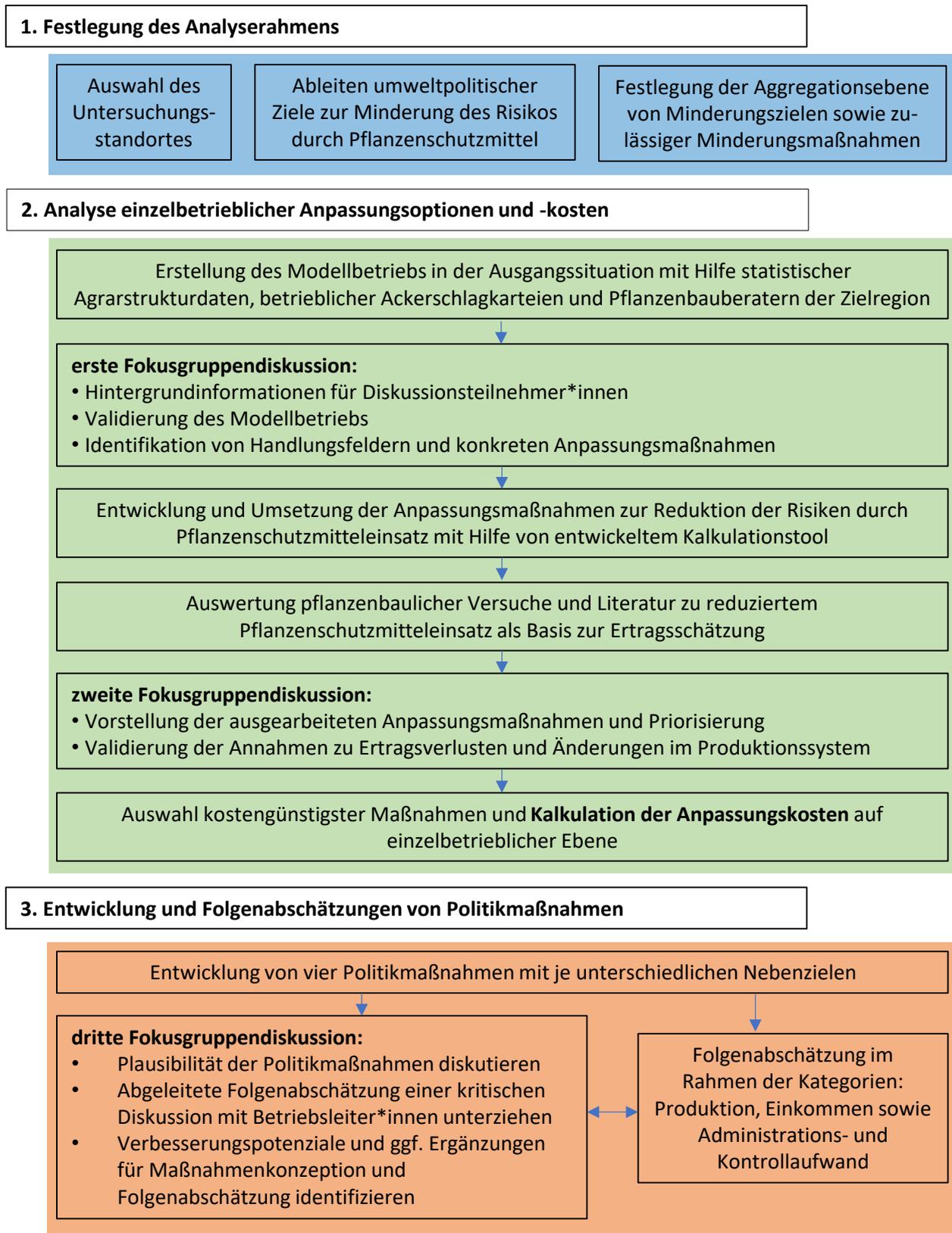
Die Vielzahl grundsätzlich zur Verfügung stehender Anpassungsmaßnahmen und eine vorläufige Schätzung der damit einhergehenden Kosten werden im nächsten Schritt mit der Fokusgruppe erneut diskutiert. Ziele der **zweiten Diskussionsrunde** sind:

- die Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich Veränderungen im Produktionssystem in Folge eines reduzierten Risikos durch Pflanzenschutzmittel zu verifizieren.
- eine Erörterung und Identifikation von Gründen, warum ökonomisch vorteilhafte Szenarien aus Sicht der Betriebsleiter*innen keine breite Akzeptanz in der Praxis finden.
- die Priorisierung der zur Auswahl stehenden Anpassungsmaßnahmen. Dazu werden die entstehenden Kosten ins Verhältnis zur relativen Risikoreduktion gesetzt. Die Maßnahmen werden dabei sowohl innerhalb der jeweiligen Kultur selbst als auch über alle Kulturen hinweg nach ihrer Effizienz sortiert. Die Auswahl erfolgt beginnend mit der effizientesten Maßnahme so lange, bis das Reduktionsziel erreicht wurde.

Bei der Ermittlung der Anpassungskosten wird zwischen folgenden Optionen differenziert:

- (1) Reduktion des PLI um 25 bzw. um 50 %
- (2) Berücksichtigung bzw. keine Berücksichtigung einer Wirkstoffsubstitution
- (3) Einhaltung der Reduktionsziele kulturindividuell, im Rahmen der bestehenden Fruchtfolge oder gesamtbetrieblich

Abbildung 4: Die Umsetzung des eigenen Ansatzes im schematischen Überblick



Quelle: eigene Darstellung

Durch die Kombinationsmöglichkeiten ergeben sich auf Basis des Modellbetriebs der Ausgangssituation 12 Variationen, die sich hinsichtlich der PLI-Reduktion und der Anpassungsmaßnahmen voneinander unterscheiden. Auf Grundlage dieser differenzierten Betrachtung können bei der nachfolgenden umweltpolitischen Umsetzung Maßnahmen identifiziert werden, bei denen die Anpassungskosten für die landwirtschaftlichen Betriebe möglichst gering sind.

Entwicklung und Folgenabschätzung von Politikmaßnahmen

Zunächst sollen konkrete Politikmaßnahmen entwickelt werden, durch die eine PLI-Reduktion um 25 bzw. 50 % erreicht werden kann. Gleichzeitig werden mit den verschiedenen Politikmaßnahmen jeweils unterschiedliche Nebenziele verfolgt (vgl. Kapitel 5.1). Hierfür stehen der Politik vielfältige Möglichkeiten zur Verfügung. Die Maßnahmenentwicklung erfolgt entlang der Aktionsparameter „technologische Ansatzstelle, Adressat, Regelungsraum und umweltpolitisches Instrument“ (vgl. Kapitel 2.5 und 3.5). Daraus ergibt sich eine Vielzahl plausibler Kombinationsmöglichkeiten. Jedoch sollen diese im Rahmen dieser Untersuchung nicht alle hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile bewertet werden. Vielmehr geht es darum, möglichst schlüssige Politikmaßnahmen zu entwickeln. Um diese dem kritischen Urteil der Fokusgruppe aussetzen zu können, ist es erforderlich, nicht mehr als vier Politikoptionen zur Diskussion zu stellen.

Bevor dieser Schritt möglich ist, sind die vier Politikmaßnahmen zunächst im Detail zu beschreiben. Um der Fokusgruppe eine Einschätzung über die Dosierung der Politikmaßnahmen zu geben und eine Folgenabschätzung zu ermöglichen, werden diese anhand des Modellbetriebs konzipiert. Dazu werden die in Kapitel 4 zuvor ermittelten Anpassungskosten an eine PLI-Reduktion als Grundlage genommen, um einen exemplarischen PLI-Reduktionsbedarf, konkrete Abgabehöhen oder PLI-Obergrenzen festzulegen. Da bei der Maßnahmenkonzeption auch innerhalb der vier Aktionsparameter noch viele Möglichkeiten für die konkrete Maßnahmengestaltung bestehen, folgt im Anschluss an die Beschreibung eine Begründung sowie die damit einhergehende Diskussion alternativer Gestaltungsmöglichkeiten.

Eine vollumfängliche Folgenabschätzung erfordert einen interdisziplinären Ansatz, der im Rahmen dieser Arbeit nicht zu leisten ist. Deshalb sind thematische Schwerpunkte zu setzen, in welchen Bereichen eine Folgenabschätzung durchgeführt werden soll (vgl. Kapitel 3.5). Studien zur Bewertung von Politikinstrumenten können hier als Referenz dienen.

Da die Auswahl besonders effizienter Anpassungsmaßnahmen bereits aus der zweiten Fokusgruppendifkussion bekannt ist, können die Anpassungsmaßnahmen in der Produktion sowie Kalkulationen zur Einkommenswirkung anhand der ökonomischen Theorie bereits vor der Fokusgruppendifkussion erstellt werden. Sie werden den Teilnehmenden als Diskussionsgrundlage zur Verfügung gestellt. Mithilfe der **dritten Fokusgruppendifkussion** werden folgende Ziele verfolgt:

- Plausibilität der Politikmaßnahmen diskutieren
- Abgeleitete Folgenabschätzungen einer kritischen Diskussion mit Betriebsleiter*innen unterziehen

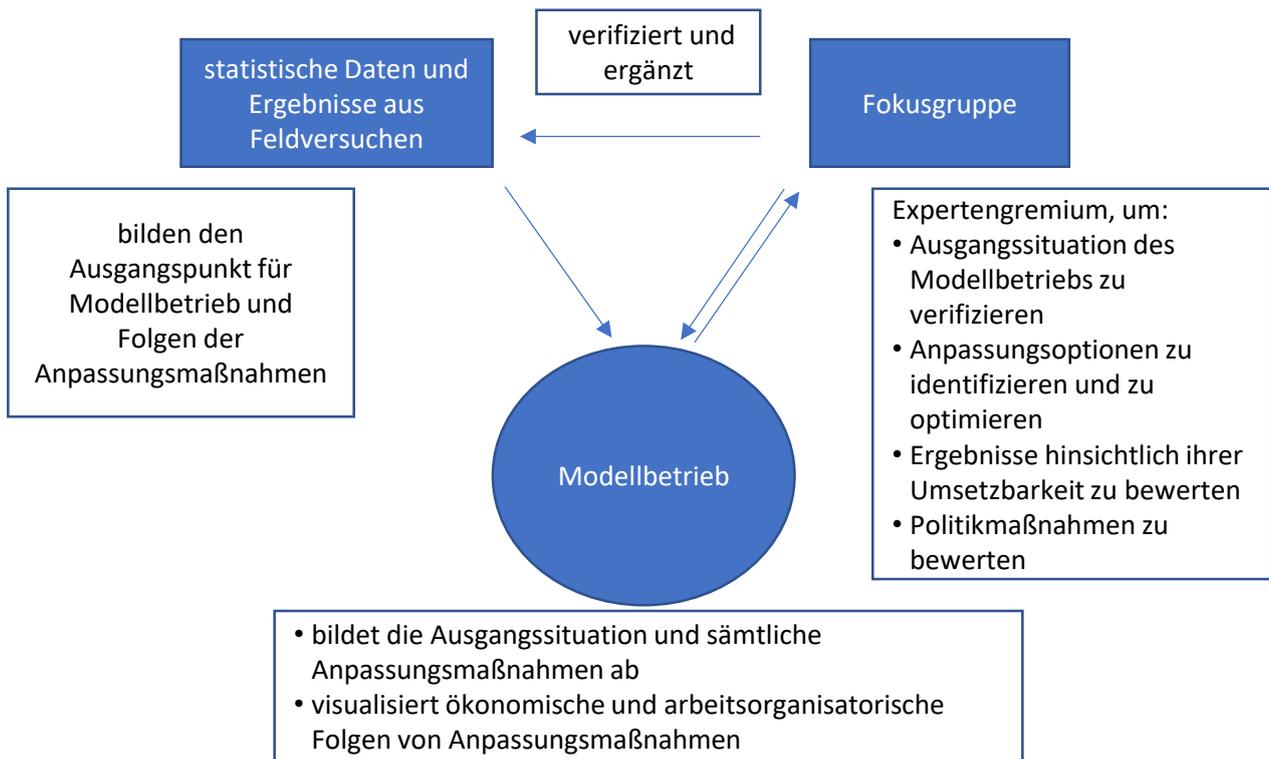
- Verbesserungspotenziale und ggf. Ergänzungen für Maßnahmenkonzeption und Folgenabschätzung identifizieren

Um die Diskussion besser strukturieren zu können und die Betriebsleiter*innen schon vorab in das Thema einzuführen, werden den Teilnehmenden Informationsmaterialien sowie Leitfragen zur Orientierung übermittelt. Dazu werden auf der Basis der vorherigen einzelbetrieblichen Analysen sowie der vorhandenen Literatur vorab vom Autor Folgenabschätzungen hinsichtlich der in Kapitel 3.5 erläuterten Kategorien abgeleitet und in einer PowerPoint-Präsentation dargestellt. Die Präsentation wird den Betriebsleiter*innen vorab übermittelt. Im Rahmen der Fokusgruppendifkussion wird die Ableitung der Folgenabschätzung Schritt für Schritt vorgestellt. Die Landwirt*innen werden dabei gefragt, ob die einzelnen Abschätzungen aus ihrer Sicht plausibel durchgeführt wurden und ob aus Sicht der Landwirt*innen zusätzliche Anpassungsoptionen zu analysieren sind. Im Anschluss an die Diskussionsrunde werden die Ergebnisse evaluiert sowie Handlungsempfehlungen abgeleitet.

3.2 Zusammenwirken und Beschreibung der einzelnen Bestandteile des Forschungsansatzes

Nachdem im vorherigen Kapitel der Ansatz im Überblick dargelegt wurde, wird nachfolgend beschrieben, wie die verschiedenen Kernbestandteile des Ansatzes (Fokusgruppe, Modellbetrieb sowie statistische Daten und Versuchsergebnisse) ineinandergreifen. Anschließend werden die grundlegenden Charakteristika der einzelnen Bestandteile näher erläutert.

In Abbildung 5 ist zunächst das Zusammenwirken der einzelnen Bestandteile dargestellt. Wie dem Schaubild zu entnehmen ist, bilden Daten aus der Agrarstatistik die Grundlage für die Etablierung eines Modellbetriebs. Gleichzeitig dienen Ergebnisse aus Feldversuchen dazu, Minderungsstrategien zu entwickeln und deren Ertrags- und Kosteneffekte abzuschätzen. Dem Modellbetrieb kommt dabei basierend auf der Ausgangssituation die Rolle zu, betriebliche Anpassungsreaktionen abzubilden. Durch die Fokusgruppe können Daten der Agrarstatistik und Versuchsergebnisse für die Standortverhältnisse geprüft und bei Bedarf angepasst werden. Außerdem wird das Expertenwissen der Fokusgruppe dazu genutzt, den Modellbetrieb zu verifizieren sowie Anpassungsoptionen zur Minderung der Risiken zu identifizieren. Gleichzeitig dient die Fokusgruppe dazu, sowohl die Minderungs-, als auch die Politikmaßnahmen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit zu bewerten.

Abbildung 5: Bestandteile des qualitativen Forschungsansatzes im Überblick

Quelle: eigene Darstellung

3.2.1 Nutzung eines regionstypischen Modellbetriebs

Ein typischer Modellbetrieb, im Folgenden als „Modellbetrieb“ bezeichnet, spiegelt in Anlehnung an die *agri benchmark*-Methodik⁴⁸ die dominierende Betriebsform und die zugehörigen Produktionssysteme in einer Region wider. Dabei ist der Modellbetrieb nicht als real existierender Betrieb zu verstehen, sondern wird vielmehr zusammen mit Landwirt*innen und Berater*innen konstruiert. Wesentliche Kennzahlen wie Betriebsgröße, Anbauanteile oder Ertragsniveaus werden zusätzlich mit der regionalen Statistik abgeglichen. Von einzelbetrieblichen Besonderheiten, wie sie in der Realität häufig zu finden sind, wird im Modellbetrieb weitestgehend abstrahiert. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden typische Betriebe nach einer einheitlichen und standardisierten Vorgehensweise erhoben (Chibanda et al., 2020; Zimmer und Deblitz, 2005).

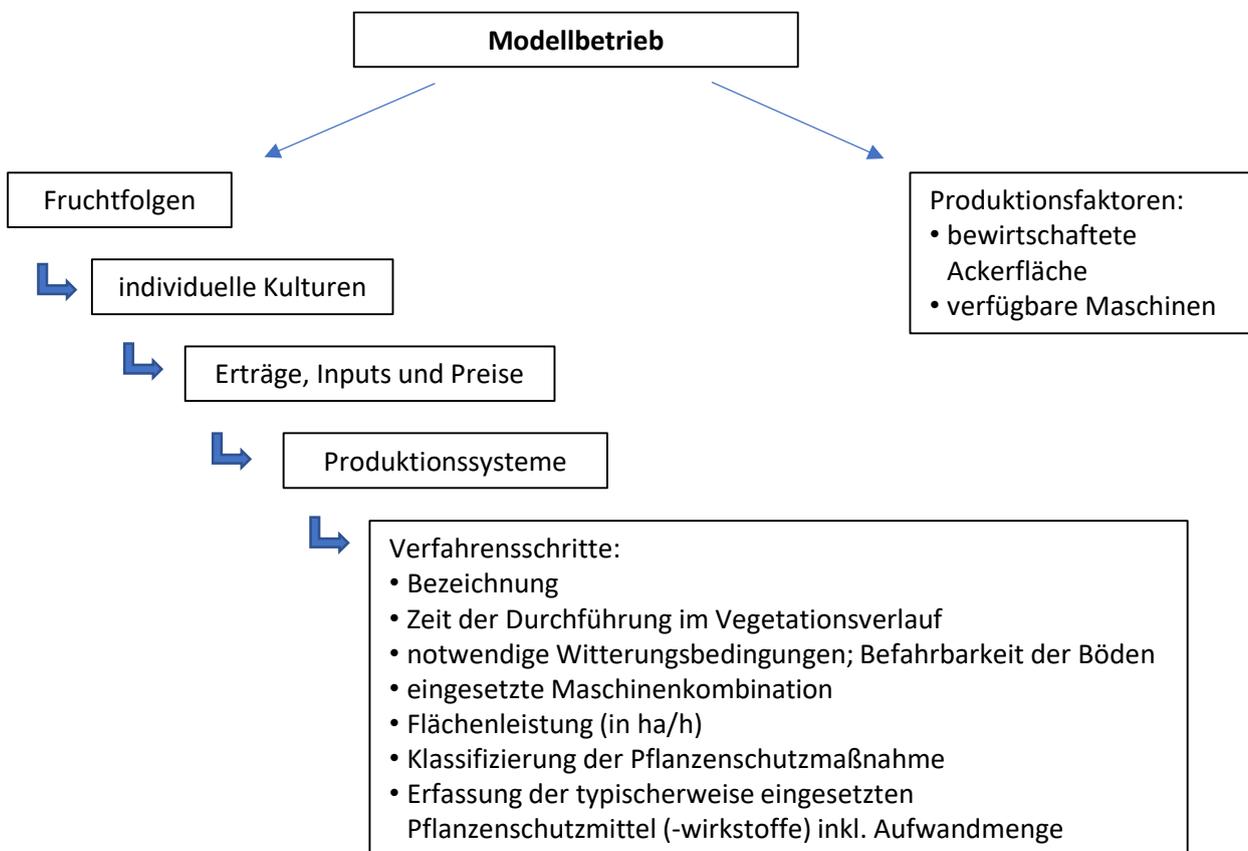
Die für den Modellbetrieb erhobenen Informationen sind in Abbildung 6 dargestellt. Hierzu zählen u.a. die Flächenausstattung sowie die eingesetzten Maschinen. Bezüglich der Produktionssysteme werden die Fruchtfolge inklusive der Anbauumfänge einzelner Kulturen, ihre Erträge sowie die einzelnen Verfahrensschritte innerhalb des Produktionssystems erhoben. Um den Einfluss der

⁴⁸ *agri benchmark* ist ein internationales Netzwerk aus Agrarökonomen zum Vergleich der internationalen Wettbewerbsfähigkeit im Ackerbau. Weitere Informationen finden sich unter: www.agribenchmark.org.

Anpassungsmaßnahmen auf die Betriebsorganisation analysieren zu können und zu verhindern, dass in der Praxis nicht zu realisierende Produktionssysteme entwickelt werden, sind für die einzelnen Verfahrensschritte der Zeitpunkt im Vegetationsverlauf sowie die Ansprüche an Witterung und Befahrbarkeit der Böden erfasst (vgl. Tabelle A 5 und A 10-17). Diese Informationen sind als Restriktionen in das Kalkulationstool eingeflossen. Hinzu kommen Informationen zu jeweils eingesetzten Maschinen und spezifischen Flächenleistungen. Da im Rahmen dieser Arbeit der Pflanzenschutz im Fokus steht, werden zusätzlich für jede Kultur in der Fruchtfolge die typischen Pflanzenschutzstrategien mit den jeweils eingesetzten Produkten bzw. aktiven Wirkstoffen sowie die Aufwandmengen erhoben. Diese bilden die Basis für die spätere Berechnung des PLI. Folgende Informationsquellen wurden für den Modellbetrieb genutzt:

- regionale Agrarstrukturdaten und mehrjährige Ernteschätzungen des stat. Bundesamtes
- Einschätzungen der Betriebsleiter*innen und der Fokusgruppe auf Basis persönlicher Erfahrungen oder einzelbetrieblicher Ackerschlagkarteien
- Expertenwissen regionaler Pflanzenbauberater*innen
- Auswertungen regionaler Arbeitskreise zur Wirtschaftlichkeit des Anbaus

Abbildung 6: Bestandteile des Modellbetriebs



Quelle: eigene Darstellung

3.2.2 Fokusgruppendifkussionen zur Validierung, Bewertung und Anpassung der Reduktionsstrategien

Sofern die Anpassungsoptionen und Ertragseffekte für reduzierte Risiken durch Pflanzenschutzmittel bekannt wären, könnte ein Optimierungsmodell herangezogen werden, um das angepasste optimale Produktionsprogramm zu bestimmen und daraus die Kosten des Pflanzenschutzmittelverzichts abzuleiten. Allerdings liegt die Herausforderung zunächst darin, alternative Produktionsprogramme zu entwickeln. Hinzu kommt, dass Wechselwirkungen bei der Kombination verschiedener Maßnahmen zu erwarten sind. Daher wird auf den Einsatz eines Optimierungsmodells verzichtet und stattdessen eine Fokusgruppe genutzt.

Nachfolgend wird erklärt, wie die Fokusgruppendifkussionen im Rahmen der Arbeit umgesetzt werden. Hierfür wird zunächst erläutert, was in der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Fokusgruppendifkussionen zu berücksichtigen ist. Anschließend werden die Vor- und Nachteile von Fokusgruppendifkussionen aus der Literatur abgeleitet und beschrieben, wie mögliche Nachteile im Rahmen der Arbeit minimiert werden sollen.

Fokusgruppendifkussionen sind moderierte Diskussionen in kleinen Gruppen zu einem bestimmten Thema. Der Vorteil dieser Form der qualitativen Analyse liegt darin, dass sich die Teilnehmenden untereinander intensiv mit einer Fragestellung auseinandersetzen können und in der Diskussion unterschiedliche Sichtweisen zum Tragen kommen (Dürrenberger und Behringer, 1999). Für Wissenschaftler*innen und politische Entscheidungsträger*innen bieten Fokusgruppen die Möglichkeit, herauszufinden, was die Teilnehmenden über das Diskussionsthema denken, wie sie mögliche Herausforderungen lösen möchten und welche Chancen und Risiken sie sehen (Krueger und Casey, 2009). Deshalb sind Fokusgruppendifkussionen ein geeignetes Mittel, um Anpassungsoptionen und Entwicklungsstrategien landwirtschaftlicher Unternehmer*innen an veränderte Rahmenbedingungen zu identifizieren sowie quantitative Daten zu validieren (Krug, 2013; Ebmeyer, 2008).

Nach Dürrenberger und Behringer (1999) lässt sich eine Fokusgruppendifkussion in folgende vier Phasen gliedern:

- (1) In der **Planungsphase** wird zunächst die Gruppengröße festgelegt und der Teilnehmer*innenkreis ausgewählt. Dabei ist zu beachten, dass auf der einen Seite alle Teilnehmenden ihre Erfahrungen und Ansichten einbringen können, andererseits jedoch ausreichend Personen vorhanden sind, um unterschiedliche Perspektiven und Ideen zum Diskussionsthema auszutauschen. Meist ist dies bei Gruppengrößen zwischen drei und maximal 12 Personen gegeben. Bei komplexen Themen, die eine kontroverse Diskussion versprechen oder eine emotionale Betroffenheit der Beteiligten hervorrufen, sollte eine kleinere Gruppengröße bevorzugt werden (Dürrenberger und Behringer, 1999; Nehring, 2011).

Neben der Gruppengröße muss in Vorbereitung von Fokusgruppen nach Dürrenberger und Behringer (1999) ebenfalls festgelegt werden, ob a) eine Real- oder Zufallsgruppe sowie b)

eine homogene oder heterogene Gruppe gebildet werden soll. In Zufallsgruppen kennen sich die Teilnehmer*innen vorab nicht, während sie bei Realgruppen aufgrund ähnlicher Interessen und Hintergründe bereits im Austausch stehen. In homogenen Gruppen haben die Teilnehmenden vergleichbare Hintergründe (z.B. Betriebsleiter*innen eines konventionellen Ackerbaubetriebs in einer Region). In heterogenen Gruppen werden hingegen Teilnehmer*innen mit sehr unterschiedlichen Hintergründen zusammengebracht.

- (2) In der **Vorbereitungsphase** werden die Teilnehmer*innen eingeladen und ihnen wird die inhaltliche Problemstellung erläutert. Weiterhin wird der Diskussionsleitfaden erstellt sowie die räumliche und technische Infrastruktur organisiert.
- (3) In der **Durchführungsphase** führt ein/e Moderator*in durch die Diskussion. Um fachlich in das Thema einzuführen, sollte diese/r Informationen zum Diskussionsthema vorbereiten. Zur Sicherung der Ergebnisse können schriftliche Protokolle sowie Audio- und Videoaufzeichnungen eingesetzt werden.
- (4) Die **Nachbereitungs- und Auswertungsphase** dient dazu, die erhobenen Informationen und Einschätzungen zu evaluieren sowie die eigenen Kalkulationen dementsprechend anzupassen und zu ergänzen.

Vor- und Nachteile von Fokusgruppendifkussionen

Bereits in anderen Arbeiten wurden Fokusgruppen durchgeführt, um produktionstechnische Anpassungsoptionen zu ermitteln. Nach Albrecht (2015), Brüggemann (2011) und Ebmeyer (2008) sind Fokusgruppen aufgrund folgender **Vorzüge** hierfür besonders geeignet:

- Sie sind ein adäquates Mittel, um eine praxisnahe Datengrundlage zu schaffen, die sämtliche Einflussgrößen auf die Betriebsentwicklung berücksichtigt.
- Mit ihnen können für den politischen Entscheidungsprozess benötigte Informationen erhoben werden, die nicht aus bereits vorhandenen Statistiken abzuleiten sind.
- Neben physisch messbaren und rein monetären Größen können in Fokusgruppendifkussionen auch weitere Einflussfaktoren erfasst werden, die die Entscheidungen der Betriebsleitung beeinflussen. Hierzu zählen beispielsweise Risikoerwägungen⁴⁹ und strategische Ausrichtungen, die nicht unmittelbar zu quantifizieren sind.

Allerdings sind mit der Durchführung von Fokusgruppen auch **Nachteile bzw. Herausforderungen** verbunden, die sich in Anlehnung an Ebmeyer (2008), Brüggemann (2011) und Albrecht (2015) wie folgt zusammenfassen lassen:

- Wenn die ökonomischen Effekte der Anpassungsmaßnahmen nicht direkt ermittelt und keine Folgeveranstaltungen durchgeführt werden, bekommen die Teilnehmer*innen keine

⁴⁹ In diesem Fall sind unter Risikoerwägungen potenzielle Gefahren wie Produktionsausfälle, Wetterextreme etc. zu verstehen.

Rückmeldung zu den Konsequenzen ihrer erarbeiteten Strategie. Im Zweifel kann dies zu Fehleinschätzungen führen.

- Den teilnehmenden Landwirten*innen und Beratern*innen wird ein hoher Zeitaufwand abverlangt. Um dennoch Landwirte*innen zur Teilnahme zu motivieren, sollten ihnen die Ergebnisse der Arbeit zur Verfügung gestellt werden.
- Es besteht die Gefahr, dass die Annahmen maßgeblich durch die subjektiven Einflüsse geprägt werden und einzelne Meinungsführer*innen die Ergebnisse stark beeinflussen. Ebenso kann es innerhalb der Gruppe zu einer „sozialen Kontrolle“ hinsichtlich der Aussagen und Meinungen einzelner Personen kommen, insbesondere dann, wenn die Teilnehmer*innen in beruflicher oder persönlicher Beziehung zueinander stehen.
- Wird die Vorstellungskraft der Teilnehmenden durch Inhalte überschritten, in denen sie kein Expertenwissen besitzen, besteht die Gefahr, dass die Ergebnisse verfälscht werden.
- Werden Sachverhalte und Lösungen diskutiert, die einen räumlichen Bezug haben, besitzen die Ergebnisse meist keine Allgemeingültigkeit.

Um die genannten Nachteile zu minimieren, werden im Rahmen der Arbeit folgende Maßnahmen durchgeführt:

- (1) Bereits in der Vorbereitungsphase werden in Absprache mit Pflanzenbauberater*innen zu verschiedenen Anpassungsstrategien Versuchsergebnisse, möglichst aus der Region Südhannover, zusammengetragen (vgl. Kapitel 2.4). Auf Grundlage dessen können subjektive Erfahrungen einzelner Teilnehmenden besser eingeordnet werden.
- (2) Es wird ein Kalkulationstool entwickelt, um den Teilnehmenden eine direkte Rückmeldung zu den Ergebnissen ihrer entwickelten Vorschläge während der Fokusgruppendifkussion zu ermöglichen (vgl. Kapitel 3.4.1).
- (3) Um die Landwirt*innen in weiteren Fokusgruppendifkussionen mit den Konsequenzen und offenen Fragen ihrer Anpassungsstrategien konfrontieren zu können, wird ein iteratives Vorgehen gewählt. Das Ziel muss es letztlich sein, dass die Anpassungsoptionen so weiterentwickelt werden, dass die Betriebsleiter*innen bereit wären, diese auf ihrem Betrieb praktisch umzusetzen. Aus Zeitgründen kann dieses Vorgehen jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht umgesetzt werden.
- (4) In der Diskussion fällt der Moderation die Aufgabe zu, künstlichen Verzerrungen entgegenzuwirken und darauf zu achten, dass einzelne Meinungsführer*innen die Diskussion nicht zu sehr dominieren und alle Teilnehmenden ihre Meinungen vertreten können.

3.2.3 Einbindung von statistischen Daten und Feldversuchen

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, sollen in der Planungsphase der Fokusgruppendifkussionen Versuchsergebnisse herangezogen werden, um a) zu vermeiden, dass subjektive

Wahrnehmungen einzelner Teilnehmer*innen die Gruppe dominieren und b) Annahmen zu Themen treffen zu können, bei denen die Landwirt*innen nicht über ausreichend praktische Erfahrungen verfügen. Dies betrifft aus den folgenden Gründen vor allem die Annahmen zu Ertragseffekten infolge eines reduzierten Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln:

- Die Betriebsleiter*innen führen auf ihren Flächen in der Regel keine unterschiedlichen Pflanzenschutzstrategien in Form von Steigerungsversuchen oder systematischen Wirkstoff- und Mittelvergleichen durch.
- Werden innerhalb eines Jahres unterschiedliche Pflanzenschutzstrategien angelegt, erfolgt häufig keine differenzierte Ertragserfassung des Ernteguts.
- Unterschiedliche Pflanzenschutzmittelstrategien sind oft durch variierende natürliche Bedingungen des jeweiligen Standortes (wie die Bodengüte oder die lokale Witterung) begründet.

Allerdings führt dies zu der Herausforderung, im Vorlauf der Fokusgruppendifkussion abschätzen zu müssen, welche Reduktionsstrategien zur Diskussion stehen und welche Versuchsergebnisse daher für die Einschätzung der Ertragseffekte notwendig sind. Um dieses Problem zu lösen, wird ein mehrstufiges Vorgehen gewählt:

- (1) Im Vorfeld der eigentlichen Fokusgruppendifkussionen werden Expertengespräche mit landwirtschaftlichen Betriebsleiter*innen sowie Pflanzenbauberater*innen geführt, um vorab mögliche Reduktionsstrategien zu identifizieren.
- (2) Auf dieser Basis werden nationale und regionale Versuchsdaten ausgewertet, bei denen der Ertragseffekt in Folge eines reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatzes oder durch eine veränderte Wirkstoffauswahl unter Versuchs- oder Feldbedingungen gemessen wird. Es sollte sich um Versuche mit ähnlichen Standortbedingungen handeln.
- (3) Die vorbereiteten Ergebnisse werden als Hintergrundinformationen mit in die Fokusgruppendifkussion genommen, um diese unterstützend in den Diskussionsprozess einbringen zu können.
- (4) Sofern die Fokusgruppe zusätzliche Maßnahmen zur Minderung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes identifiziert, wird zunächst versucht, ggf. vorhandene Datenlücken mit Einschätzungen aus der Fokusgruppe zu schließen. Zusätzlich werden in der Nachbereitung der ersten Fokusgruppendifkussion für die neu aufgebrachten Strategien nach zusätzlichen Versuchsergebnissen gesucht und ergänzende Expertengespräche geführt. Die Ergebnisse werden aufbereitet und der Fokusgruppe in der zweiten Diskussionsrunde rückgespiegelt.

3.3 Festlegung des Analyserahmens

Damit die Möglichkeiten zur Risikominderung und deren Folgen an einem konkreten Fall entwickelt werden können, müssen nachfolgend die Rahmenbedingungen für die Analysen festgelegt werden. Hierfür wird zunächst die Auswahl des Untersuchungsstandortes sowie das Reduktionsziel

begründet. Anschließend wird beschrieben, wie die Abfolge verschiedener Minderungsstrategien im Rahmen der Arbeit strukturiert wird.

3.3.1 Auswahl des Untersuchungsstandortes

Es ist davon auszugehen, dass sich die einzelbetrieblichen Anpassungsoptionen und -kosten in Folge einer Reduktion der Risiken durch Pflanzenschutzmittel regional unterscheiden. Einflussfaktoren wie die Ertragsfähigkeit der Böden, die angebauten Kulturen und die Verfügbarkeit praxisreifer Alternativen beeinflussen die Kosten. Um standortangepasste Aussagen zu den Anpassungskosten treffen zu können, wird unter idealen Bedingungen eine Folgenabschätzung an einer Vielzahl von Standorten durchgeführt. Da dieses explorative Vorgehen aufgrund von zeitlichen Restriktionen im ersten Schritt nicht flächendeckend erprobt werden kann, ist es zunächst auf einen beispielhaften Standort mit breiter Übertragbarkeit beschränkt. Hierfür wird der Boden-Klima-Raum „Südhanover“⁵⁰ aus folgenden Gründen ausgewählt:

- In der Region dominiert der Ackerbau. Es wird dementsprechend angenommen, dass der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln allgemein und die damit einhergehenden Risiken für Umwelt und Anwender*innen in intensiv genutzten Ackerbauregionen höher sind als auf extensiv bewirtschafteten Standorten.
- Es handelt sich um einen Standort, an dem Resistenzen gegenüber Pflanzenschutzmitteln bisher nicht die Anbauentscheidungen und Produktionsverfahren dominieren. Dies ist mit Blick auf die Analyse vorteilhaft, da auf diese Weise eine Vielzahl ackerbaulicher Anpassungsmaßnahmen mit den Praktiker*innen diskutiert werden kann.
- Es besteht Zugang zu einem Beratungsring/Arbeitskreis, deren Teilnehmer*innen Interesse an einem intensiven Austausch besitzen und neuen Denkansätzen hinsichtlich eines reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatzes und alternativen Produktionsverfahren offen gegenüberstehen.

Eine detaillierte Beschreibung des Boden-Klima-Raums „Südhanover“ folgt in Kapitel 4.1.1.

3.3.2 Auswahl von PSM-Reduktionszielen

Um die Anpassungskosten einer Risikoreduktion durch Pflanzenschutzmittel bestimmen zu können, soll zunächst auf die Ableitung von plausiblen Reduktionszielen näher eingegangen werden. Im deutschen NAP wird das Ziel formuliert, die Risiken von Pflanzenschutzmitteln für den Naturhaushalt bis zum Jahr 2023 um 30 %⁵¹ zu senken (BMEL, 2017). Längerfristige Reduktionsziele sind hingegen in Deutschland bislang nicht festgeschrieben. Aus diesem Grund sollen zur Ableitung der Reduktionshöhe nationale und europäische Strategiepapiere hinzugezogen werden.

⁵⁰ Die Region Südhanover wird auch als „Boden-Klima-Raum 145“ bezeichnet.

⁵¹ Als Referenzjahre wird der Mittelwert der Jahre 1996 bis 2005 gesehen.

In der vom BMEL in 2019 veröffentlichten Ackerbaustrategie wird das Ziel formuliert, u. a. die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, die nicht als „low risk-Produkte“ eingestuft sind, bis zum Jahr 2030 deutlich zu senken. Bis zum Ende des Jahres 2023 soll bereits der Einsatz glyphosathaltiger Produkte verboten werden (BMEL, 2019a). Ein messbares Reduktionsziel sowie ein Bezugszeitraum werden hingegen nicht genannt.

Die „Farm-to-Fork“-Strategie der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2020 hat als Bestandteil des „Green Deals“ eine wesentliche Bedeutung für die Gestaltung der „Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP)“. In ihr wird geregelt, dass der Einsatz von und das Risiko durch Pflanzenschutzmittel bis zum Jahr 2030 um 50 % gesenkt werden sollen. Gleichermaßen soll auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln „mit höherem Risiko“⁵² halbiert werden (Europäische Kommission, 2020). Voraussetzungsweise wird hier der HRI als Bewertungsmaßstab eingesetzt werden (vgl. Kapitel 2.3.2). Hinsichtlich des Referenzzeitraums besteht jedoch Unsicherheit⁵³. Ebenso wird nicht geregelt, auf welcher Aggregationsebene die Reduktion erfolgen soll. Grundsätzlich könnten die Ziele sowohl auf europäischer Ebene als auch auf nationaler- oder betrieblicher Ebene umzusetzen sein (Isermeyer et al., 2020).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bisherige politische Reduktionsziele bei bis zu 50 % liegen. Es ist zu vermuten, dass die Anpassungskosten mit zunehmenden Reduktionszielen ansteigen. Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen dieser Arbeit zweistufig vorgegangen und jeweils Anpassungsmaßnahmen und -kosten einer 25%igen und 50 %igen Reduktion der aus Pflanzenschutzmitteln resultierenden Risiken analysiert. Auch wenn sich die bisherigen Strategien zur Minderung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in der Regel auf die nationale Ebene beziehen, werden die Reduktionsziele im Rahmen der Arbeit auf die einzelbetriebliche Ebene übertragen. Hintergrund ist, dass nationale Ziele langfristig nur realistisch erscheinen, wenn diese auf der Grundlage einer einzelbetrieblichen Umsetzbarkeit abgeleitet werden.

3.3.3 Festlegung der Aggregationsebene von Minderungszielen sowie zulässiger Minderungsmaßnahmen

Sofern die Risikoreduktion auf einzelbetrieblicher Ebene erfolgen soll, ist darüber hinaus zu klären, auf welcher Ebene des Einzelbetriebes die Ziele aggregiert werden. Dies kann a) kulturindividuell, b) im Durchschnitt über eine bestehende Fruchtfolge oder c) unabhängig der angebauten Kulturen im Mittel des Gesamtbetriebes erfolgen. Da je nach festgelegter Aggregationsebene die unternehmerischen Freiheitsgrade unterschiedlich stark eingeschränkt werden, ist auch ein Einfluss auf die Anpassungsmaßnahmen und -kosten zu erwarten. Um zu erfahren, in welchem Ausmaß sich die

⁵² Dazu zählen die Wirkstoffe der Pflanzenschutzmittel, die den Ausschlusskriterien gemäß Anhang II Nr. 3.6.2 bis 3.6.5 sowie 3.8.2 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 entsprechen oder die gemäß den Kriterien unter Nr. 4 als Substitutionskandidaten eingestuft wurden (Europäische Kommission (2020)).

⁵³ Anhand des derzeitigen Standes der Diskussion ist von einem Referenzzeitraum der Jahre 2015 bis 2017 auszugehen.

Anpassungskosten voneinander unterscheiden und welche Aggregationsebene aus Sicht der landwirtschaftlichen Praxis am günstigsten zu realisieren ist, sollen zunächst alle drei Optionen betrachtet und miteinander verglichen werden. Weiterhin ist es erforderlich festzulegen, welche Mindestmaßnahmen zulässig sind. Neben einer Flächenstilllegung bestehen grundsätzlich drei unterschiedliche Arten von Anpassungsmaßnahmen:

- (1) **Wirkstoffsubstitution:** Pflanzenschutzmittelwirkstoffe weisen aufgrund ihrer sehr unterschiedlichen chemischen Eigenschaften ein weites Toxizitätspotenzial auf. Dabei kann sich die Toxizität von Wirkstoffen mit ähnlichen Wirkspektren auf Grundlage eigener Berechnungen des PLI um den Faktor 50 unterscheiden. Vor diesem Hintergrund kann eine Risikoreduktion erreicht werden, indem Wirkstoffe bzw. Pflanzenschutzmittel mit einem hohen PLI durch Wirkstoffe mit einem geringeren PLI bei vergleichbaren Wirkungsspektren ersetzt werden. Dieses Prinzip wird ebenfalls auch bei behördlichen Wirkstoffverboten oder ausbleibenden Wiederzulassungen umgesetzt. Zwar ist eine solche Strategie einfach umzusetzen, birgt aber auch Herausforderungen. Die ausschließliche Fokussierung auf Wirkstoffe mit einer geringen potenziellen Toxizität führt dazu, dass sich das Wirkstoffspektrum zusätzlich verengt. In der Konsequenz würde durch einen vermehrten Einsatz von wenigen Wirkstoffen die Resistenzentwicklung gefördert werden, sodass die Wirkung von risikoarmen Wirkstoffen mittel- und langfristig verringert oder komplett gefährdet wird. Dementsprechend ist die alleinige Wirkstoffsubstitution für Ackerbaubetriebe die am einfachsten umzusetzende Strategie. Sie ist beim Ersatz hoch risikoreicher Wirkstoffe sinnvoll, jedoch sind langfristig auch pflanzenbauliche Anpassungen notwendig, um Fehlentwicklungen beim Resistenzmanagement entgegenzuwirken (Kudsk et al., 2018). Dennoch ist davon auszugehen, dass ein hoher ökonomischer Anreiz besteht, Reduktionsziele zunächst durch eine Wirkstoffsubstitution zu erreichen. Andere pflanzenbauliche Maßnahmen werden voraussichtlich erst umgesetzt, wenn dies günstiger ist als eine weitere Wirkstoffsubstitution⁵⁴.
- (2) **Pflanzenbauliche Maßnahmen:** Neben der Wirkstoffsubstitution kann ein reduziertes Risiko durch Pflanzenschutzmittel bei gleichbleibendem Wirkstoffspektrum alternativ durch pflanzenbauliche Anpassungen erreicht werden (vgl. Kapitel 2.4). Durch die Umsetzung können Aufwandmengen reduziert oder ganze Applikationen eingespart werden. In der Folge können Mindererträge auftreten.
- (3) **Kombination aus Wirkstoffsubstitution und pflanzenbaulichen Anpassungen:** Während die landwirtschaftlichen Betriebe die Wirkstoffsubstitution und pflanzenbauliche Maßnahmen einzeln anwenden können, ist auch eine Kombination aus den beiden bereits beschriebenen Ansätzen möglich.

⁵⁴ Anhand eines Beispiels in Abbildung A 3 im Anhang ist der PLI zweier Insektizide in jeweils voller Aufwandmenge dargestellt, die zur Bekämpfung von Blattläusen eingesetzt werden. Der PLI beider Pflanzenschutzmittel ist stark unterschiedlich, sodass die Risiken durch eine Wirkstoffsubstitution um den Faktor >50 gesenkt werden können.

In der Realität ist davon auszugehen, dass die landwirtschaftlichen Betriebe sowohl Wirkstoffsubstitutionen als auch pflanzenbauliche Anpassungen durchführen werden. Die Auswahl wird in hohem Maß durch die Verfügbarkeit von Handlungsalternativen sowie den daraus entstehenden Kosten beeinflusst. Während bei der Wirkstoffsubstitution kurzfristig von einer kostengünstigen Minderungsstrategie auszugehen ist, kann sie langfristig durch eine beschleunigte Resistenzentwicklung an Grenzen stoßen, sodass dann auch oder ausschließlich pflanzenbauliche Lösungen für eine Risikominderung genutzt werden können. Aus diesem Grund wird im Rahmen der Analysen mehrstufig vorgegangen:

- (1) Analyse der Effekte und Kosten einer Wirkstoffsubstitution je Kultur
- (2) Identifikation pflanzenbaulicher Maßnahmen, deren Ertragseffekte und Kostenschätzung
- (3) Sortierung sämtlicher Maßnahmen hinsichtlich ihrer Effizienz
- (4) Festlegung einer betrieblichen Gesamtstrategie in Abstimmung mit Berater*innen und Landwirt*innen

Aus diesem Grund ist die erste Anpassungsmaßnahme jeweils die alleinige Wirkstoffsubstitution (vgl. Kapitel 4.2). Anschließend werden die pflanzenbaulichen Anpassungsszenarien beschrieben, ebenfalls ohne Berücksichtigung der Wirkstoffsubstitution. Die Kombinationen aus beiden Strategien stellen das maximale Reduktionspotenzial dar. Ziel des stufenweisen Vorgehens ist es, eine Einschätzung über die Reduktionspotenziale der unterschiedlichen Maßnahmen, sowohl einzeln als auch in Kombination, geben zu können.

Die begrenzte Anzahl an Anpassungsmaßnahmen und ihre diskontinuierlichen Abstufungen führen dazu, dass das Reduktionsziel (25 oder 50 %) im Modellbetrieb nicht exakt angesteuert werden kann. Für die Kostenabschätzung werden Maßnahmen ausgewählt, bei denen die PLI-Reduktion mit einer Abweichung von bis zu 10 % um das Reduktionsziel schwankt. Muss eine Maßnahme ausgewählt werden, bei der die PLI-Reduktion mehr als 10 % über der Zielvorgabe liegt, wird das Reduktionspotenzial explizit mit angegeben.

Häufig stehen für eine Indikation unterschiedliche Wirkstoffe und dementsprechend auch Produkte zur Verfügung. Um eine bessere Vergleichbarkeit, insbesondere innerhalb der Kulturen nach unterschiedlichen Vorfrüchten, zu gewährleisten, wird bei der Auswahl der Pflanzenschutzmittel angenommen, dass bei einer identischen Indikation auch gleiche Wirkstoffe bzw. Produkte eingesetzt werden.

3.4 Beschreibung des Kalkulationstools und wesentlicher Annahmen

Ausgehend von den Rahmenbedingungen zur Bestimmung der pflanzenbaulichen Anpassungsreaktionen und -kosten sollen in diesem Kapitel relevante Leitplanken festgelegt werden, mit deren Hilfe eine Strategie zur umweltpolitischen Steuerung erarbeitet wird.

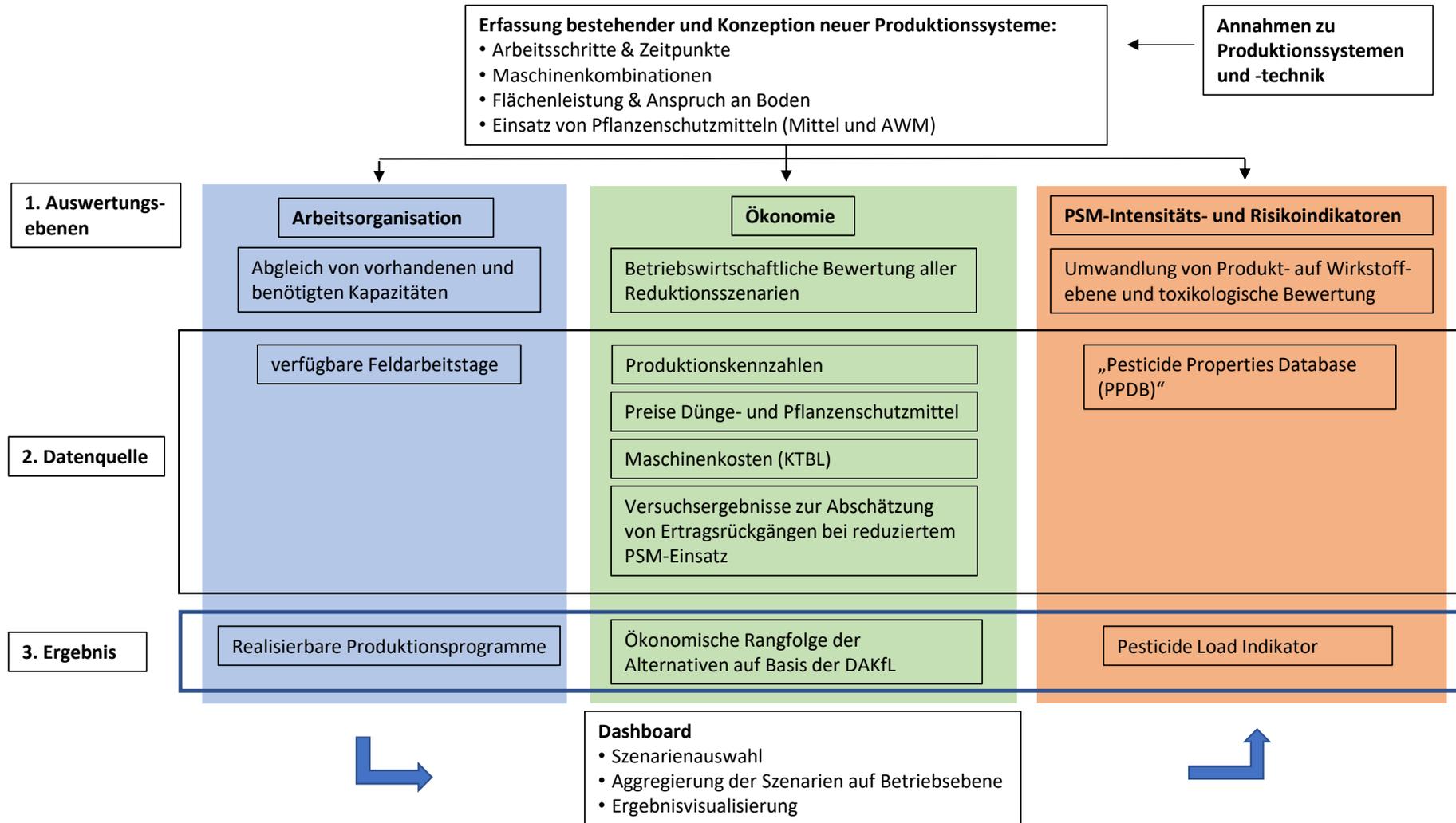
3.4.1 Aufbau des Kalkulationstools

Bereits in Kapitel 3.2.2 wurde abgeleitet, dass für die Analyse ein Kalkulationstool notwendig ist, anhand dessen den Landwirt*innen in den Fokusgruppen unmittelbar eine Rückmeldung zu den diskutierten Anpassungsoptionen gegeben werden kann. Die Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die Funktionsweise und die Auswertungsebenen des hierfür in MS Excel entwickelten Kalkulationstools. Nachfolgend werden die Kernbestandteile und die Systematik des Tools erläutert:

- **Produktionssysteme:** Im Tool erfolgt eine detaillierte Darstellung der Produktionssysteme der einzelnen Kulturen und Reduktionsszenarien. Darin enthalten ist die Bezeichnung der einzelnen Arbeitsgänge, der Zeitpunkt ihrer Durchführung, die eingesetzte Maschinenkombination mit der dazugehörigen Flächenleistung und die Einteilung in die Anspruchsstufe gemäß der Feldarbeitstage. Zusätzlich werden bei Pflanzenschutzmaßnahmen die Mittel sowie die Aufwandmenge je Hektar erfasst. Ergänzt wird der Teilbereich „Produktionssysteme“ durch die Annahmen-Eingabemaske, in der grundlegende Berechnungsgrundlagen wie Aussaatstärken und Flächenleistungen der Maschinen hinterlegt werden.
- **Arbeitsorganisation:** Ausgehend von den Flächenumfängen der einzelnen Produktionssysteme sowie der Flächenleistung je Stunde einzelner Verfahrensschritte kann mithilfe der verfügbaren Feldarbeitstage visuell dargestellt werden, ob und ggf. zu welchem Zeitpunkt im Jahresverlauf es zu Kapazitätsengpässen insgesamt und auch für einzelne Maschinen im Betrieb kommt.
- **Pflanzenschutzmitteleinsatz:** Anhand der erfassten Pflanzenschutzmittel und den zugehörigen Aufwandmengen werden neben den Kosten je Hektar automatisiert die darin enthaltenen Wirkstoffe mit deren Wirkstoffkonzentrationen (g/kg oder g/l) ausgewiesen. Im zweiten Schritt kann der PLI je Applikation oder für das Produktionssystem mithilfe der hinterlegten „Pesticide Properties Database“ (vgl. Kapitel 2.3.2) bestimmt werden.
- **Ökonomie:** Die ökonomische Bewertung der einzelnen Reduktionsszenarien erfolgt auf Basis der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAKfL). Die hierfür unterstellten Annahmen werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

Die Daten der Produktionssysteme der jeweiligen Kulturen bilden die Basis für die nachfolgenden Analysen und sind somit von besonderer Bedeutung. Zur Visualisierung der Ergebnisse für die Fokusgruppenteilnehmer*innen wurde ein „Dashboard“ entwickelt. Hier können die entwickelten Reduktionsmaßnahmen für den Modellbetrieb ausgewählt werden. Weiterhin werden unmittelbar die Veränderungen des PLI (in %) und der DAKfL (in €/ha) grafisch dargestellt. Darüber hinaus werden im Dashboard die Ergebnisse der einzelnen Minderungsmaßnahmen auf eine gesamtbetriebliche Ebene aggregiert. Um verschiedene Reduktionsstrategien bzw. Reduktionsziele umsetzen und testen zu können, gibt es die Möglichkeit, neben der Ausgangssituation weitere Modellbetriebe anzulegen. Die Ergebnisse auf Gesamtbetriebsebene werden tabellarisch verglichen und visuell dargestellt.

Abbildung 7: Schematischer Aufbau des Kalkulations- und Auswertungstools



Quelle: eigene Darstellung

3.4.2 Beschreibung wesentlicher Annahmen für das Kalkulationstool

Um den Modellbetrieb anhand konkreter Szenarien modellieren zu können, müssen sowohl auf der Erlös- als auch auf der Kostenseite Annahmen getroffen werden. Wie diese identifiziert und anhand welcher Grundlagen sie festgelegt werden, wird nachfolgend beschrieben.

Preisannahmen für Marktfrüchte und Inputs

Die Preisannahmen sind von besonderer Bedeutung für die Ergebnisse der Arbeit. Bei hohen Erzeugerpreisen haben bereits geringe Änderungen des Ertragsniveaus einen deutlichen Einfluss auf die Rentabilität der angepassten Produktionsverfahren. Landwirt*innen würden dementsprechend zurückhaltender auf Anpassungsmaßnahmen reagieren, die Ertragsverluste erwarten lassen, da infolgedessen ihre Kosten ansteigen. Dagegen sind die Anpassungskosten bei niedrigen Agrarpreisen geringer und würden in den Betrieben verstärkt umgesetzt werden. Zur Ableitung von Preisszenarien gibt es grundsätzlich zwei Ansätze: a) Ex-ante Annahmen können auf Basis von Preisprojektionen getroffen werden (vgl. Haß et al. (2020)). Dies ist sinnvoll, um die zukünftigen Entwicklungen zu antizipieren. Jedoch sind die Preisprojektionen mit einer großen Unsicherheit behaftet. Alternativ kann b) ein Preisszenario vereinfachend ex-post aus historischen Preisentwicklungen abgeleitet werden. Da sich die zu erfassenden Produktionssysteme auf Grundlage der historischen Preise entwickelt haben, soll im Rahmen dieser Arbeit ein Preisszenario aus der historischen Preisentwicklung abgeleitet werden. Die wesentlichen Preisannahmen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Preisannahmen für Marktfrüchte und Nährstoffe (jeweils ohne Mehrwertsteuer)

Kultur	Erzeugerpreise für Marktfrüchte	Reinnährstoffkosten	
	€/dt		€/kg
Zuckerrüben	2,9	N	0,68
Winterraps	36,7	P ₂ O ₅	0,70
Silomais	2,8	K ₂ O	0,34
Körnermais	17,3	S	0,48
Winterweizen	17,3	MgO	0,80
Wintergerste	16,0		

Quelle: eigene Darstellung nach AMI (2019) und LWK Niedersachsen (2020c)

Die Preisannahmen für Marktfrüchte werden aus den monatlichen Durchschnittspreisen der Jahre 2015 bis 2019 der Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH (AMI) abgeleitet. Die ausgewiesenen Preise sind für die Region Niedersachsen Ost, ohne Mehrwertsteuer sowie frei Lager des Erfassers in Tabelle 4 ausgewiesen.

Die Reinnährstoffkosten werden anhand von LWK Niedersachsen (2020c) ebenfalls im Durchschnitt der Jahre 2015 bis 2019 ermittelt. Der Nährstoffbedarf wird auf Grundlage der Entzugswerte der individuellen Kulturen kalkuliert. In Ackerbaubetrieben ohne Viehhaltung erfolgt die Düngung vorwiegend mineralisch. Gegenüber der organischen Düngung ist die Stickstoffeffizienz⁵⁵ i.d.R. höher, sodass im Modellbetrieb eine Ausnutzung bei Ackerkulturen in Höhe von 85 %⁵⁶ angenommen wird. Das Entzugs-Modell führt dazu, dass die Düngekosten bei einem verminderten Ertrag ebenfalls sinken. Aus Sicht der betrieblichen Praxis ist der Ertragsverlust zum Zeitpunkt der Düngung häufig noch nicht abzuschätzen und würde dementsprechend nicht reduziert werden. Allerdings werden im Rahmen der Arbeit die Folgen einer Produktionsänderung ex-ante abgeschätzt. Vor diesem Hintergrund wird der aus möglichen Ertragsverlusten reduzierte Nährstoffbedarf ebenfalls bewertet.

Da die Preisentwicklungen einzelner Pflanzenschutzmittel nicht statistisch erfasst werden, wird abweichend auf die Preisliste der Beiselen GmbH des Jahres 2019 abzüglich eines unterstellten Rabatts in Höhe von 20 % zurückgegriffen. Diese Rabatthöhe ist für einen Modellbetrieb nach Experteneinschätzung praxisüblich (FG, 2020 & 2021). Gleichzeitig erfolgt eine Plausibilitätsprüfung der Preise anhand der Ackerschlagkarteien einzelner Teilnehmer der Fokusgruppe. Da das Zulassen, Widerrufen oder das Verbot von Wirkstoffen ein dynamischer Prozess ist, der sich stetig weiterentwickelt, werden in den Produktionssystemen dieser Arbeit nur Pflanzenschutzmittel berücksichtigt, bei denen im Oktober 2020 kein Wegfall als sicher oder wahrscheinlich erscheint.

Arbeiterledigungskosten

Datengrundlage zur Berechnung der Maschinenkosten bildet der Maschinen- und Reparaturkosten-Rechner „MaKost“ des KTBL (KTBL, 2021). Zur Berechnung der variablen Maschinenkosten wurden die Reparaturkosten je Hektar bzw. bei den selbstfahrenden Maschinen je Betriebsstunde für die im Modellbetrieb vorhandenen Maschinen genutzt. Die unterstellten Lohnkosten von 20 €/Std. wurden bei den variablen Kosten für Schlepper und Mähdrescher berücksichtigt. Die Kosten für Betriebs- und Schmierstoffe sind den jeweiligen Anbaugeräten und dementsprechend den einzelnen Produktionsschritten zugeordnet. Unter Berücksichtigung der Agrardieselvergütung wird in der Kalkulation ein Dieselpreis von 0,8 €/l unterstellt.

Allgemein können bei Maschinen zur Berechnung der fixen Kosten nach Mußhoff und Hirschauer (2011) zwei Ursachen das Ende der Nutzung bewirken: die technische Veralterung oder der Verschleiß. Die Abschreibungsschwelle beschreibt das Verhältnis aus leistungs- und zeitbezogener Nutzungsdauer. Wenn die tatsächliche Maschinenauslastung unter der Abschreibungsschwelle liegt, ist die zeitbezogene Nutzungsdauer der beschränkende Faktor. Ist hingegen die jährliche Nutzung über der Auslastungsschwelle, ist die leistungsbezogene Nutzungsdauer anzusetzen (Mußhoff und Hirschauer, 2011). Da die Anbauumfänge der Kulturen und dementsprechend auch der Maschinennutzung im Kalkulationsmodell flexibel sein müssen, wird vereinfachend von einer

⁵⁵ Die N-Effizienz beschreibt das Verhältnis von gedüngtem zu dem tatsächlich mit dem Erntegut abgefahrenen Stickstoff.

⁵⁶ Basierend auf Auswertungen typischer agri benchmark-Betriebe (Ø 2017 -2019).

Abschreibung nach Leistung ausgegangen und angenommen, dass die Maschinen bis zu dieser Flächen- oder Betriebsstundenleistung im Betrieb genutzt werden. Eine mögliche Veralterung der Maschinen wird somit nicht berücksichtigt. Auf diese Weise können jeder Maschine Fixkosten je Einheit bewirtschafteter Fläche zugewiesen werden, die unabhängig vom tatsächlichen Nutzungsumfang im Einzeljahr sind⁵⁷.

Zur Berechnung der fixen Maschinenkosten wird von den Anschaffungskosten auf Basis von KTBL (2021) nach Experteneinschätzung ein pauschaler Abzug in Höhe von 10 % vorgenommen. Das Nutzungspotenzial nach Leistung wurde ebenfalls aus der Datenbank übernommen. Der unterstellte Zinssatz beträgt 2 %. Zur Ermittlung der Abschreibung je Hektar bzw. je Betriebsstunde wurde die Gesamtabschreibungssumme durch das Leistungspotenzial dividiert. Um Transport- und Rüstzeiten in angemessenem Maß zu berücksichtigen, wurden 25 % der Feldarbeitszeit als Overhead hinzugefügt.

Verfügbare Feldarbeitstage

Wird die Feldarbeit in Ackerbaubetrieben nicht termingerecht durchgeführt, drohen Mindererlöse z.B. aufgrund von Ertragsverlusten. Um einschätzen zu können, wie realistisch die Umsetzung von Anbauverfahren auf dem Modellbetrieb ist, muss geprüft werden, inwieweit die notwendigen Arbeitsgänge termingerecht durchgeführt werden können. Hierfür werden die verfügbaren Feldarbeitstage in der Region „Südhanover“ abgeleitet. Die Ausgangsbasis dafür sind die vom KTBL veröffentlichten Feldarbeitstage für das Klimagebiet 6 für die Anspruchsstufen a) Mähdrusch, b) Grundbodenbearbeitung und Aussaat sowie c) Stoppelbearbeitung, Pflanzenschutz und Düngung (KTBL, 2016). Allerdings zeigt sich im Rahmen der Fokusgruppendifkussionen, dass drei Anspruchsstufen nicht ausreichen und nach Einschätzung der Landwirt*innen zwischen Bodenbearbeitung und Pflanzenschutz differenziert werden sollte. Hintergrund ist, dass die Feldarbeitsstunden zur Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen gegenüber der Bodenbearbeitung reduziert sind, da diese bei geringen Windgeschwindigkeiten sowie vorrangig in den Abend- und Nachtstunden durchgeführt werden sollten, um Abdrift und negative Umwelteffekte zu minimieren⁵⁸. Weiterhin wird eine Anspruchsstufe für die mechanische Unkrautbekämpfung eingeführt, da die Landwirt*innen auch hier von geringeren Einsatzzeiten gegenüber der tiefen Bodenbearbeitung ausgehen. Ursache dafür ist, dass die Böden abgetrocknet und schüttfähig sein müssen, um Unkräuter und Ungräser mit Erde bedecken zu können. Hierfür wurde gegenüber der Anspruchsstufe Grundbodenbearbeitung ein pauschaler Abschlag in Höhe von 33 % vorgenommen⁵⁹.

Die Zuordnung der Feldarbeitstage erfolgt für jeweils eine Monatshälfte. Ausgehend von den zur Verfügung stehenden Feldarbeitstagen wurden mithilfe der täglich nutzbaren Arbeitszeit die Feldarbeitsstunden je Halbmonat berechnet. Während für Pflanzenschutz- und Erntearbeiten je zehn

⁵⁷ Eine Liste der Maschinen sowie den dazugehörigen Kosten findet sich in den Tabellen A 9 und A 10 im Anhang.

⁵⁸ Im Kalkulationstool wurden deshalb nur 10 statt maximal 14 Feldarbeitsstunden pro Tag für Pflanzenschutzmaßnahmen unterstellt.

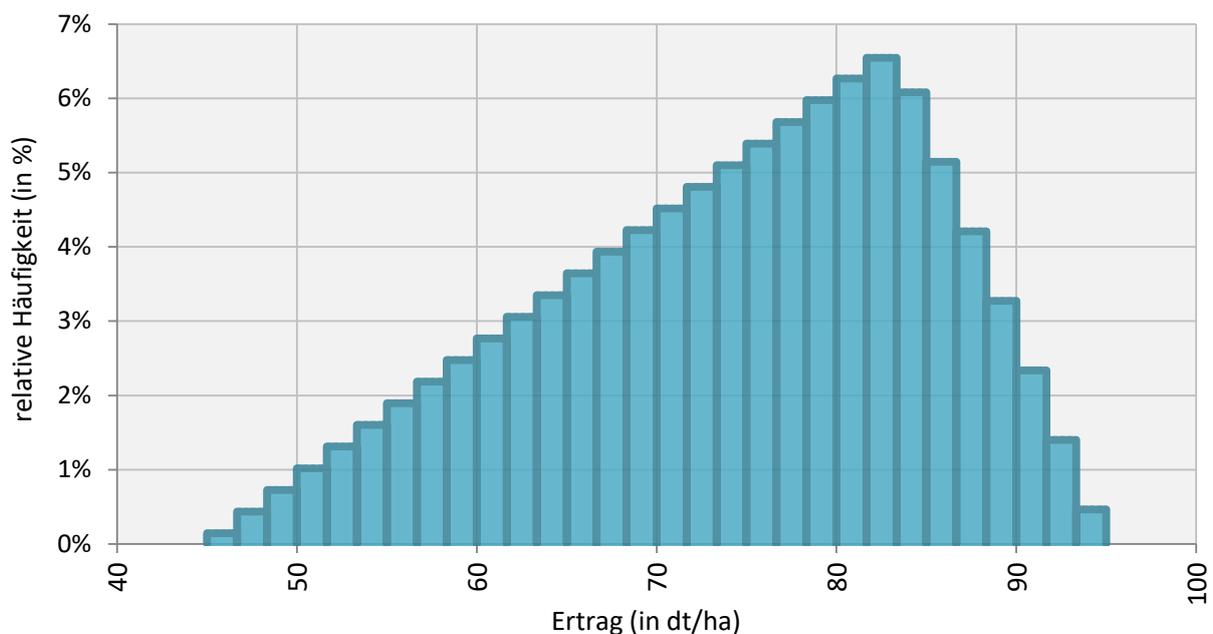
⁵⁹ Eine vollständige Übersicht der verfügbaren Feldarbeitstage ist in Tabelle A 5 im Anhang zu finden.

Arbeitsstunden angenommen wurden, ist bei Arbeitsverfahren wie der Bodenbearbeitung oder der Aussaat von täglich 14 zur Verfügung stehenden Feldarbeitsstunden auszugehen. Allgemein ist zu berücksichtigen, dass die Feldarbeitsstunden bei nicht tageszeitgebundener Bodenbearbeitung und bei hohem Arbeitsanfall durch die Etablierung eines Schichtbetriebs ggf. weiter zu erhöhen sind, um Feldarbeiten termingerecht ausführen zu können.

Umgang mit jahresindividuellen Witterungseinflüssen

Bisherige Versuchsergebnisse zeigen, dass die Ertragswirkung von pflanzenschutzmindernden Maßnahmen sehr stark in Abhängigkeit der Witterung schwankt. Während der zu erwartende Minderertrag in einem „Normaljahr“ nur wenige Prozentpunkte betragen kann, sind Einzeljahre mit Ertragsverlusten von über 50 % ebenfalls möglich. Besonders diese Jahre werden durch die hohen finanziellen Einbußen von den Landwirt*innen als abschreckend wahrgenommen und führen dazu, dass einzelne Pflanzenschutzmaßnahmen vorrangig zur Minderung des Erlösrisikos durchgeführt werden, auch wenn sie im Mittel der Jahre ihre Kosten möglicherweise nicht durch Mehrerträge vollumfänglich decken können. Somit täuscht eine einfache Darstellung des Mittelwertes eine Eindeutigkeit und Exaktheit vor, die in der Realität nicht gegeben ist. Vor diesem Hintergrund werden in der Analyse anhand von Spannweiten Schwankungsbereiche dargestellt, in denen sich die Ergebnisse bewegen können. Hierfür werden ausgehend von dem Ertrag im „Normaljahr“ sowohl minimale Erträge (Worst-Case), z.B. ausgelöst durch ausgeprägten Pilzbefall bei Fungizidverzicht, als auch Ertragsmaxima (Best-Case) mit der Fokusgruppe festgelegt.

Abbildung 8: Exemplarische Ertragsverteilung von Winterweizen



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung mithilfe von @Risk (Version 7.5.1)

Die Spannweiten werden mithilfe einer Dreiecksverteilung geschätzt. Mithilfe der Software „@Risk“ von „Palisade Corporation“ (2016) können Risikoanalysen als Add-In in Microsoft Excel

durchgeführt werden. Durch die Funktion „RiskTriang“ wird eine Dreiecksverteilung unterstellt. Die für die Funktion notwendigen Parameter setzen sich aus dem Ertragsminimum, dem Ertrag mit der höchsten Wahrscheinlichkeit sowie dem Ertragsmaximum zusammen. Am Beispiel von Winterweizen bei vollständigem Fungizidverzicht wird in Abbildung 8 gezeigt, dass sich der Ertrag zwischen minimal 45 dt/ha und 95 dt/ha im Maximum befindet. Der Ertrag mit der höchsten Wahrscheinlichkeit beträgt rund 82 dt/ha.

3.5 Vorgehen zur Ableitung und Folgenabschätzung umweltpolitischer Maßnahmen

Im zweiten Teil der Arbeit sollen konkrete Politikmaßnahmen zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel entwickelt werden. Um dies zu erreichen, müssen Kriterien entwickelt werden, die als Grundlage für die Ableitung der Politikmaßnahmen dienen können. Ebenso ist festzulegen, welche Bereiche im Rahmen einer Folgenabschätzung näher untersucht werden sollen.

Entwicklung umweltpolitischer Maßnahmen

In bisherigen Studien zu möglichen Strategien zur Verringerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes wurde in der Regel nur der umweltpolitische Instrumenteneinsatz diskutiert oder Lösungsansätze am Beispiel einzelner Instrumente entwickelt. Nach Scheele (1997) sollten Politikmaßnahmen jedoch nicht ausschließlich am umweltpolitischen Instrument ausgerichtet werden. Stattdessen sind sie in Abhängigkeit der Umweltziele und der jeweiligen Situation unter Berücksichtigung der Aktionsparameter „Technologische Ansatzstelle“, „Adressat“, „Regelungsraum“ sowie des „umweltpolitischen Instruments“ zu entwickeln (vgl. Kapitel 2.5). Vor diesem Hintergrund werden die folgenden Aktionsparameter nachfolgend knapp beschrieben:

- **Technologische Ansatzstelle:** Sie beschreibt, welche Stellvertretergröße genutzt werden kann, um die Reduktion der Risiken durch Pflanzenschutzmittel zu messen. Möglich ist das unter anderem anhand der Bewirtschaftungsform, der eingesetzten Wirkstoff- oder Produktmengen oder spezifischen Eigenschaften des Produktionsprozesses selbst.
- **Adressat:** Durch die Festlegung des Adressaten wird geregelt, bei welchem Akteur die umweltpolitische Strategie konkret ansetzt. Dies muss nicht zwangsläufig der landwirtschaftliche Betrieb selbst sein. Es können auch Hersteller und Händler von Pflanzenschutzmitteln oder Konsumenten der Endprodukte sein, die den Regelungsimpuls an die landwirtschaftlichen Betriebe als Verursacher der Risiken weitergeben.
- **Regelungsraum:** Umweltprobleme können in Abhängigkeit von den Diffusionseigenschaften und der Entstehung eine räumlich differenzierte Struktur haben. Dementsprechend können Schutzziele ebenfalls räumlich differenziert sein und eine wechselnde Intensität von Regelungsimpulsen erfordern. Mithilfe der Bestimmung eines problemadäquaten Regelungsraumes (regional, national, EU-weit, global) können räumlich differenzierte Umweltprobleme und Schutzziele präzise reguliert werden.

- **Umweltpolitisches Instrument:** Mithilfe der umweltpolitischen Instrumente (z.B. Auflage, Abgabe, Lizenz, Subvention) können die Art und die Höhe eines Regelungsimpulses an den Adressaten beeinflusst werden. Grundsätzlich kann zwischen mengensteuernden und preissteuernden Instrumenten unterschieden werden.

Folgenabschätzung umweltpolitischer Maßnahmen

Bisherige Folgenabschätzungen von Politikmaßnahmen im Bereich Pflanzenschutz fokussieren die Bewertung umweltpolitischer Instrumente hinsichtlich der Effizienz, Effektivität, Umsetzbarkeit und Kontrollierbarkeit sowie der wirtschaftlichen Folgen und der Akzeptanz (vgl. Kapitel 2.5). Die Wahl des Instruments ist jedoch nur einer der vier oben genannten Aktionsparameter in der Umweltpolitik. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen dieser Arbeit konkrete Politikmaßnahmen entwickelt und hinsichtlich ihrer Folgen bewertet.

Wie sich landwirtschaftliche Unternehmer*innen an unterschiedliche Politikmaßnahmen anpassen und wie sich dies auf die landwirtschaftliche Produktion und das Einkommen auswirkt, wurde bisher kaum untersucht. Daher liegt der Schwerpunkt der Folgenabschätzung im Rahmen dieser Arbeit auf möglichen Produktions- und Einkommenseffekten. Hierfür baut die Folgenabschätzung auf die in Kapitel 4 durchgeführten produktionstechnischen Analysen zur Reduktion von Pflanzenschutzmittelrisiken auf. Im Einzelnen werden folgende Effekte betrachtet:

- **Produktion:** Um die gewünschte PLI-Reduktion zu erreichen, sind Veränderungen in den Anbauverfahren der einzelnen Kulturen oder der gesamten Rotation notwendig. Welche Anpassungsmaßnahmen von den Landwirt*innen in Folge unterschiedlicher Politikmaßnahmen umgesetzt werden, soll herausgearbeitet werden.

Wenn landwirtschaftliche Unternehmer aufgrund von Politikmaßnahmen ihre Produktion verringern, kann dies durch die internationale Verflechtung der Agrarmärkte zur Verlagerung der Produktion in andere Teile der Welt führen. Hierfür sind zwei Effekte ausschlaggebend:

- (1) In Folge einer PLI-Reduktion kann es zu kulturübergreifenden Ertragsminderungen kommen. Allerdings sind die Naturalerträge verschiedener Kulturen nicht unmittelbar vergleichbar. Daher werden die Erträge und Ertragsverluste in „Getreideeinheiten (GE)⁶⁰“ ausgedrückt.
- (2) Da nutzbare PLI-Einheiten durch die Politik begrenzt werden, erhalten sie im landwirtschaftlichen Betrieb einen monetären Wert. In Abhängigkeit der Anzahl benötigter PLI-Einheiten und der Rentabilität der Kulturen kann sich die innerbetriebliche Vorzüglichkeit der Kulturen auf den Betrieben verändern. Infolgedessen kann es zu veränderten Anbauentscheidungen der Landwirt*innen kommen. Eine Substitution der angebauten Kulturen kann bei unveränderter Nachfrage ebenfalls zu einer Verlagerung in andere Regionen der Welt führen. Daher

⁶⁰ Durch Getreideeinheiten (GE) wird das Energielieferungsvermögen eines Erzeugnisses in Relation zum Energielieferungsvermögen von Futtergerste ausgedrückt.

wird untersucht, ob und wie stark sich die Vorzüglichkeit der Kulturen durch die verschiedenen Politikmaßnahmen verändert.

- **Einkommen:** Treten Ertragsrückgänge in Folge eines reduzierten PLI-Einsatzes auf, die nicht durch sinkende Kosten kompensiert werden können, kommt es zu einem Rückgang der DAKfL. Langfristig drückt sich diese Minderung bei funktionierenden Pachtmärkten nicht unmittelbar im Einkommen der Betriebsleiter*innen aus, da die bisher hohen Grundrenten als Puffer für mögliche Kosteneffekte fungieren. Infolgedessen wären zunächst sinkende Pachtpreise zu erwarten. Allerdings ist nicht davon auszugehen, dass Pachtverträge kurzfristig angepasst werden, sodass zunächst die Betriebsleiter*innen die Kosten der Anpassungsmaßnahmen tragen.

Zwar liegt der Schwerpunkt der Folgenabschätzung auf den genannten Effekten für Produktion und Einkommen, für eine Bewertung der Maßnahmen greift dies jedoch zu kurz, da aus Sicht des Staates und der landwirtschaftlichen Betriebe ebenfalls der Administrations- und Kontrollaufwand relevant ist. Daher wird dieser qualitativ analysiert, indem die möglichen Chancen und Herausforderungen im Hinblick auf die Administrierbarkeit sowie die notwendigen Kontrollinstanzen aufgezeigt werden.

- **Administrations- und Kontrollaufwand:** Ein nicht unwesentlicher Faktor bei der Folgenabschätzung von Politikmaßnahmen ist die Frage, inwieweit sie sich gut administrieren lassen. Der Administrationsaufwand kann dabei aus zwei Perspektiven bewertet werden: sowohl aus staatlicher als auch aus betrieblicher Sicht können die Politikmaßnahmen unterschiedliche Anforderungen stellen.

Effektiv ist eine Politikmaßnahme nur dann, wenn sie sich rechtssicher kontrollieren lässt, sodass Missbrauch bestmöglich verhindert wird. Wesentliche Merkmale, die für eine rechtssichere Kontrollierbarkeit gewährleistet werden müssen, sollen für die einzelnen Politikmaßnahmen herausgearbeitet werden.

Die auf Basis der produktionstechnischen Analysen abgeleiteten Folgenabschätzungen werden anschließend im Rahmen einer weiteren Fokusgruppendifkussion den Betriebsleiter*innen zur Diskussion gestellt und bei Bedarf angepasst. Hierfür werden vorab Folgenabschätzungen durchgeführt und die Ergebnisse den Landwirt*innen vorab in Form einer erläuternden Präsentation zur Verfügung gestellt (vgl. Kapitel 3.1).

4 Anpassungsmaßnahmen und ökonomische Folgen reduzierter Risiken durch Pflanzenschutzmittel

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Arbeit vorgestellt. Hierfür wird zunächst die Ausgangssituation des Modellbetriebs beschrieben. Im Anschluss werden in Kapitel 4.2 die mit den Landwirt*innen abgestimmten Anpassungsstrategien zur Reduktion der Risiken aus Pflanzenschutzmitteln sowie die daraus resultierenden Kosten auf Ebene der einzelnen Kulturen dargelegt. Darauf aufbauend werden in Kapitel 4.3 Anpassungsstrategien und -kosten auf gesamtbetrieblicher Ebene erläutert. Das Kapitel schließt mit einer Diskussion der Kernergebnisse.

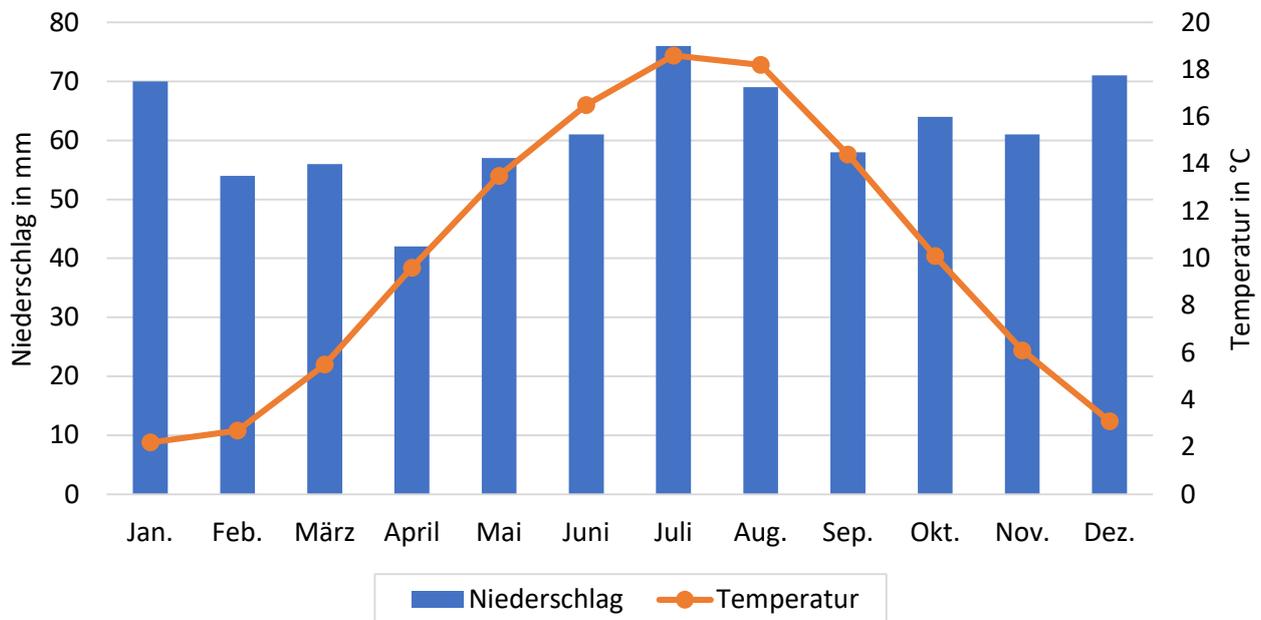
4.1 Der Modellbetrieb in der Ausgangssituation

Die Ausgangssituation des Modellbetriebs bildet die Grundlage für alle Anpassungsreaktionen und damit einhergehenden Kosten. Daher werden nachfolgend zunächst die natürlichen Standortbedingungen, Fruchtfolge und Erträge des Modellbetriebs erläutert. Grundlage sind, sofern verfügbar, statistische Daten, die anhand der Einschätzungen der Fokusgruppe angepasst wurden. Anschließend werden die bisherigen Produktionsverfahren beschrieben und die aus den Pflanzenschutzmitteln resultierenden Risiken anhand des „Pesticide Load Indicators“ bewertet. In Kapitel 4.1.3 wird die innerbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit und Rentabilität der Einzelkulturen anhand der DAKfL gegenübergestellt.

4.1.1 Natürliche Standorteigenschaften und Fruchtfolge des Modellbetriebs

Der Modellbetrieb befindet sich im Boden-Klima-Raum Südhannover. Während die Ackerflächen nördlich von Hannover häufig hohe Sandanteile besitzen, wird in der Region Südhannover auf Lehm Böden mit Ackerzahlen von durchschnittlich ca. 70 Bodenpunkten gewirtschaftet. Für die Klimadaten wird exemplarisch die Wetterstation Hameln-Hastenbeck im Westen des Boden-Klima-Raums herangezogen. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 10,1 °C bei einem mittleren Jahresniederschlag von 738 mm. In Abbildung 9 werden die jeweiligen Monatsdurchschnitte im Mittel der Jahre 1991 bis 2020 dargestellt. Trotz der allgemein guten Wasserhaltefähigkeit von Lehm Böden treten zunehmend Trockenphasen im Frühsommer auf (FG, 2020 & 2021). Aus Abbildung 9 ist ersichtlich, dass der April der niederschlagärmste Monat ist.

Abbildung 9: Temperatur- und Niederschlagsverteilung der Wetterstation Hameln-Hastenbeck im Durchschnitt der Jahre 1991 bis 2020



Quelle: eigene Darstellung nach DWD (2021a) und DWD (2021b)

Der Modellbetrieb verfügt über 600 ha Ackerfläche mit einer durchschnittlichen Schlaggröße von 20 ha. Damit ist der Modellbetrieb größer als der statistische Durchschnittsbetrieb der Region (Landesamt für Statistik Niedersachsen, 2018). Ebenso zeichnet sich der Modellbetrieb durch ein überdurchschnittlich gutes Management aus, was zu vergleichsweise geringen Direkt- und Arbeits erledigungskosten bei gleichzeitig hohen Erträgen führt. Die Pachtpreise von Haupterwerbsbetrie ben werden gemäß der Agrarstrukturerhebung 2016 in der Region Hannover bei Bestandspachten für Ackerland mit 480 bis 530 €/ha beziffert, bei Neupachten liegt das Preisniveau für Ackerland zwischen 580 und 700 €/ha (Landesamt für Statistik Niedersachsen, 2020). Betriebsleiter*innen beziffern den Preis für bestehende Pachtverträge mit rund 550 €/ha, für Neuverpachtungen müssen im Gegensatz zur Officialstatistik ca. 800 €/ha Ackerfläche bezahlt werden (FG, 2020 & 2021).

In einer fünfgliedrigen Fruchtfolge werden Zuckerrübe, Winterweizen, Winterraps, Wintergerste sowie Silomais angebaut. Die Fruchtfolge des Modellbetriebs setzt sich wie in Tabelle 5 dargestellt zusammen.

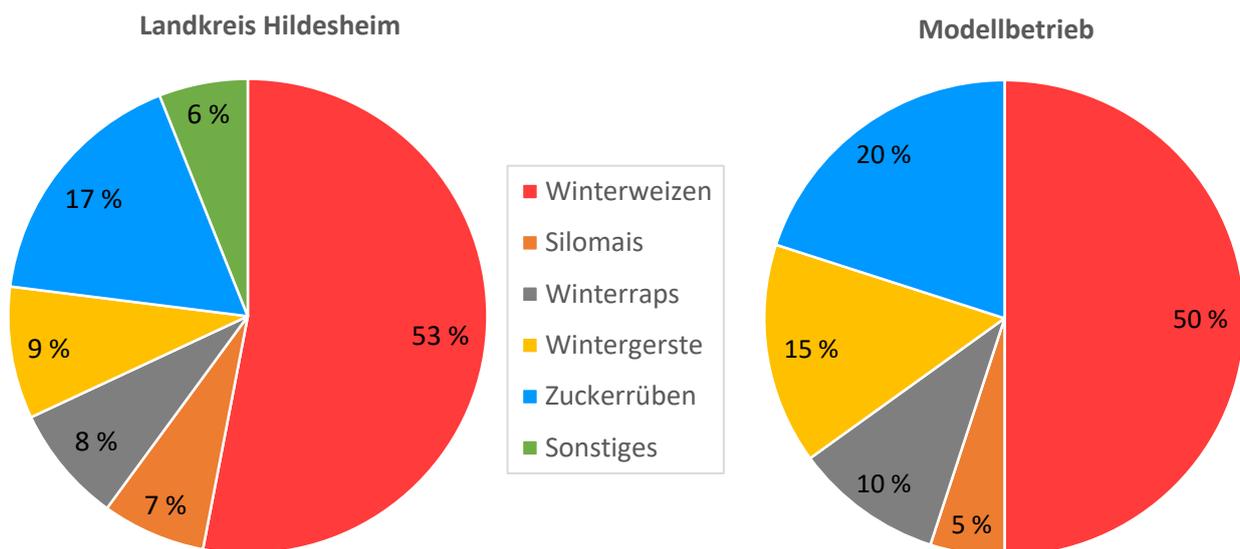
Tabelle 5: Fruchtfolge und deren Flächenanteile im Modellbetrieb

Fruchtfolgeglied	Kultur und Fruchtfolgeanteil in %			
1.	Zuckerrüben	20%	Winterweizen	5%
2.	Winterweizen	20%	Wintergerste	5%
3.	Winterraps	10%	Silomais	15%
4.	Winterweizen	25%		

Quelle: eigene Darstellung

Da Raps und Zuckerrüben in einer Fruchtfolge angebaut werden, ist der Rübenanteil auf 20 % begrenzt. Pflanzenbaulich führt dies zu einem geringeren Risiko des Befalls mit Nematoden. Der Winterweizenanteil beträgt im Modellbetrieb 50 %, Wintergerste wird auf rund 5 % der Ackerfläche angebaut. Auf 15 % der Ackerfläche wird Silomais erzeugt, der in einer Biogasanlage verwertet wird. Der Anbau von Leguminosen als Hauptfrucht hat in der Region nur eine untergeordnete Bedeutung und wird nicht als typischer Bestandteil der Fruchtfolge gewertet (FG, 2020 & 2021). Somit beträgt der Blattfruchtanteil im Modellbetrieb 45 %. Auf insgesamt 10 % der Ackerfläche wird Stoppelweizen oder Winterweizen nach Wintergerste angebaut.

Abbildung 10: Anbauanteile unterschiedlicher Kulturen (in %) in der Region Hildesheim 2016



Quelle: eigene Darstellung gemäß der Kreisdaten des Statistisches Bundesamts 2016

In Abbildung 10 werden die Anbauanteile des Modellbetriebs mit den Anbauanteilen im Landkreis Hildesheim für das Jahr 2016 verglichen. Der Landkreis Hildesheim ist ein Teil des Boden-Klima-Raums „Südhanover“, der durch einen intensiven Anbau von Weizen und Zuckerrüben geprägt wird. Es wird deutlich, dass der Modellbetrieb etwas höhere Anbauanteile bei Zuckerrüben, Mais und Raps im Vergleich zum statistischen Durchschnitt hat. Ursache ist, dass auf dem Modellbetrieb

eine konkrete Fruchtfolge geplant wurde und in der Statistik auch Regionen aus dem Rand des Anbaubereiches enthalten sind. Der Anteil von Kulturen wie Kartoffeln und Leguminosen ist mit insgesamt 6 % als geringfügig einzuschätzen.

Grundlage für die Ertragsannahmen in der Ausgangssituation des Modellbetriebs bilden die statistischen Ernteerträge, die anhand der Einschätzungen der Fokusgruppenteilnehmer*innen angepasst werden. Diese Erträge spiegeln die Ertragserwartung in einem „Normaljahr“⁶¹ wider. Tabelle 6 zeigt sowohl die durch die Fokusgruppe verifizierten Ertragsannahmen, als auch die Erträge auf Landkreisebene des statistischen Bundesamts im Durchschnitt der Jahre 2009 bis 2018. Dabei wurden die Landkreise ausgewählt, deren Flächen sich im Boden-Klima-Raum „Südhanover“ (BKR 145) befinden. Der Ernteertrag wurde anschließend mit dem Flächenanteil des Landkreises am BKR „Südhanover“ gewichtet (Menskes, 2019). Da in der Kreisstatistik die Winterweizenerträge unabhängig von der Vorfrucht erfasst werden, ist die Vergleichbarkeit stark eingeschränkt.

Tabelle 6: Vergleich der Ertragserwartung der Fokusgruppe mit statistischen Ernteerträgen

Kultur	Ertragserwartung Fokusgruppe dt/ha	Statistischer Ertrag (Ø 2009 - 2018) dt/ha
Zuckerrüben	850	749,0
Winterraps	40	39,0
Silomais	550	515,0
Körnermais	110	96,0
Winterweizen	-	85,0
Winterweizen nach Zuckerrüben	85	-
Winterweizen nach Winterraps	100	-
Stoppelweizen	90	-
Winterweizen nach Silomais	95	-
Winterweizen nach Körnermais	85	-
Wintergerste	95	79,0

Quelle: eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt (verschiedene Jahrgänge) und FG (2020 & 2021)

Der Vergleich der getroffenen Ertragsannahmen mit den statistischen Werten zeigt, dass das Modellbetrieb angenommene Ertragsniveau leicht überdurchschnittlich ist. Gründe dafür sind vor allem in dem allgemein sehr guten Betriebsmanagement und einer i.d.R. intensiven pflanzenbaulichen Beratung zu sehen. Hinsichtlich der Erträge in Tabelle 6 sind folgende Besonderheiten anzumerken:

- Der Ertrag von Winterweizen variiert in der Region je nach Vorfrucht. Während nach der Vorfrucht Zuckerrüben ein Ertrag von durchschnittlich 85 dt/ha zu erwarten ist, können bei Weizen

⁶¹ Unter einem „Normaljahr“ wird ein Erntejahr verstanden, in dem ein durchschnittlicher Witterungseinfluss ohne Schadeignisse wie Dürre oder massiver Krankheitsbefall herrscht.

nach Winterraps rund 100 dt/ha geerntet werden. Stoppelweizen ordnet sich ertraglich zwischen Rüben- und Rapsweizen ein.

- Im Gegensatz zu Zuckerrüben ist die Ertragsersparnis bei Winterraps aufgrund ausgeprägter Trockenperioden zur Aussaat oder einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit der zurückliegenden Anbaujahre rückläufig.

Zu Mais, Raps und Zuckerrüben wird ausschließlich zertifiziertes Saatgut eingesetzt. Dagegen werden bei Gerste rund 50 % und bei Weizen 70 % der Saatgutmenge nachgebaut. Die Bodenbearbeitung erfolgt weitgehend pfluglos. Lediglich vor Stoppelweizen, Weizen nach Mais und Wintergerste (auf insgesamt rund 20 % der AF) wird eine Pflugfurche durchgeführt, um a) das Risiko des Fusariumbefalls im Stoppelweizen und b) das Risiko von Weizendurchwuchs im Gerstenbestand zu reduzieren (FG, 2020 & 2021).

Der Großteil der relevanten Arbeitsgänge wird mit eigenen Maschinen durchgeführt. Lediglich das Maislegen, das Roden der Zuckerrüben sowie die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern werden an Lohnunternehmen ausgelagert. Eine Übersicht zu den im Modellbetrieb vorgehaltenen Maschinen sowie den daraus hervorgehenden Kosten findet sich in Tabelle A 6-A 8 im Anhang⁶².

4.1.2 Bisherige Produktionssysteme sowie Risiken durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Um Anpassungsmaßnahmen im Produktionssystem entwickeln zu können, die zu einem reduzierten Risiko durch Pflanzenschutzmittel führen, müssen zunächst die bisherigen Produktionssysteme dargestellt werden. Im nachfolgenden Kapitel werden diese anhand der zuvor genannten Anbaukulturen des Modellbetriebs vorgestellt und kulturbedingte Unterschiede des PLI als Maß für die Toxizität erläutert (vgl. Kapitel 2.3.2). Die nachfolgende Darstellung erfolgt kulturindividuell. Anschließend werden die Toxizitätsprofile der Einzelkulturen miteinander verglichen und der betriebliche Durchschnittswert für die Ausgangssituation abgeleitet.

In den Tabellen A 9 bis A 16 sind die mit der Fokusgruppe abgestimmten Produktionssysteme sowie Pflanzenschutzmittelstrategien⁶³ in der Ausgangssituation des Modellbetriebs dargestellt. Es wurden für alle Pflanzenschutzmaßnahmen die ausgebrachten Mittel einschließlich ihrer Aufwandsmengen (AWM) und ihres PLI je Hektar erfasst.

⁶² Während in Tabelle A 6 die fixen Maschinenkosten und variablen Reparaturkosten abgeleitet werden, sind in Tabelle A 7 und A 8 die Gesamtkosten (variable und fixe Maschinenkosten) je Hektar für die relevanten Kombinationen aus Zugmaschine und Anbaugerät dargestellt.

⁶³ Da die Kosten für Düngemittel anhand des Nährstoffzugs ermittelt werden und die Aufteilung der Düngegaben im weiteren Vorgehen konstant bleibt, wird in der Beschreibung der Produktionssysteme auf Düngemaßnahmen nicht detailliert eingegangen.

Zuckerrübe

Dem Anbau der Zuckerrüben geht regionstypisch eine Zwischenfrucht wie Ölrettich, Phazelia oder Senf voraus, die nach einer Kalkung sowie einer organischen Düngung mit Gärsubstrat in der ersten Septemberhälfte gedrillt wird und die Flächen über die Wintermonate begrünt (vgl. Tabelle A 9). Sie dient dazu, Nährstoffauswaschungen und Erosion zu vermeiden, fördert eine verbesserte Bodenstruktur sowie die Bekämpfung von Rübennematoden (Lütke Entrup et al., 2018). Bei winterharten Zwischenfrüchten, einer unzureichenden Frosteinwirkung oder starker Verunkrautung in Folge einer unzureichenden Bestandsetablierung erfolgt im zeitigen Frühjahr eine Behandlung mit einem Totalherbizid.

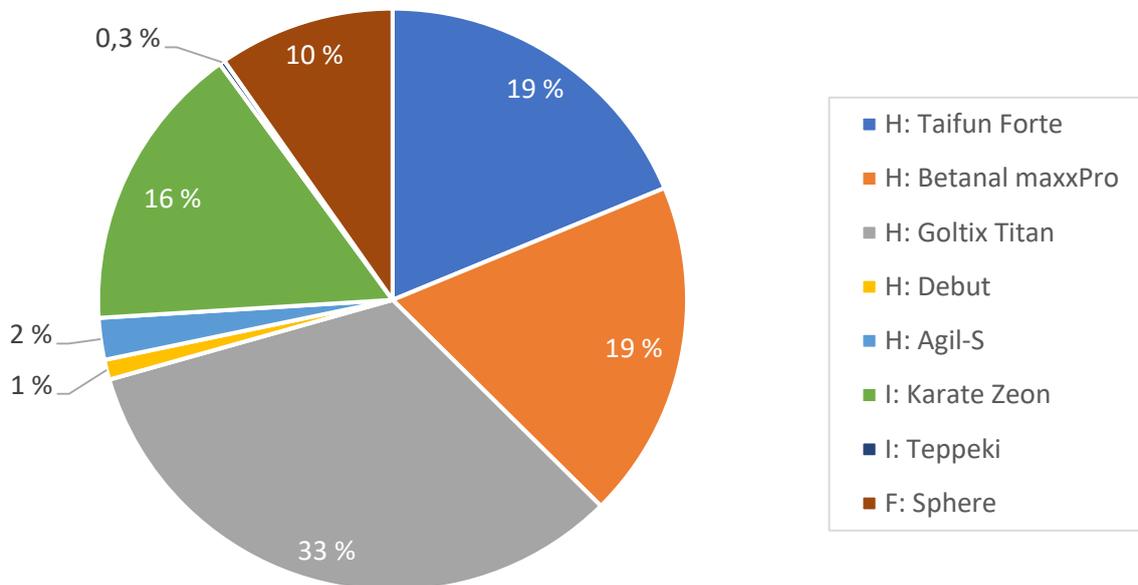
Eine gute Grundnährstoffversorgung ist für Zuckerrüben von hoher Bedeutung (LWK Niedersachsen, 2020a), sodass diese als Fruchtfolgedüngung durchgeführt wird und den Nährstoffbedarf an Phosphor und Kali für den nachfolgenden Winterweizen beinhaltet. Die Düngung mit den Grundnährstoffen erfolgt sowohl organisch vor Aussaat der Zwischenfrucht als auch mittels DAP und Kornkali auf die bereits bestellten Flächen. Die Rübenaussaat wird Ende März mit einer 18-reihigen Rübendrille durchgeführt, nachdem der Boden rund 20 cm tief gelockert, die verbliebene organische Masse der Zwischenfrucht eingemischt sowie eine Saatbettbereitung durchgeführt wurde.

In der Regel werden beim Zuckerrübenanbau drei ganzflächige Herbizidanwendungen im Nachauflauf in einem zeitlichen Abstand von je zehn bis vierzehn Tagen durchgeführt. Ziel der Maßnahmen ist es, die aufgelaufenen Unkräuter im Keim- bzw. ersten Laubblattstadium zu behandeln, um hohe Wirkungsgrade zu erzielen. Auswertungen des Instituts für Zuckerrübenforschung (IfZ) zum Rübenganbau der Jahre 2010 bis 2017 in Deutschland zeigen, dass nahezu 100 % der Betriebe die Wirkstoffe Metamitron, Ethofumesat und Desmedipham einsetzen. Hinzu kommen Wirkstoffe wie Quinmerac oder Lenacil (Ladewig et al., 2018). Die Anzahl der notwendigen Insektizidmaßnahmen wird maßgeblich durch die Witterung und den lokalen Schädlingsdruck beeinflusst. Auswertungen zeigen, dass der Anteil an Zuckerrübenflächen mit Blattlausbefall im Zeitraum der Jahre 2004 bis 2016 zwischen 10 bis nahezu 50 % schwankte. Dennoch wurden zusätzlich zur neonicotinoiden Beize lediglich auf durchschnittlich 10 bis 15 % der Flächen zusätzliche Insektizidspritzungen durchgeführt (Ladewig et al., 2018). Die neonicotinoide Beize schützt die Zuckerrübe bis zum 6-Blattstadium gegen Insektenfraß, da sie systemisch von der Pflanze aufgenommen wird. Seit dem Verbot im Jahr 2018 stehen nur Beizen zur Verfügung, die die Rübenpille gegen unterirdischen Fraß schützen, nicht aber in die oberirdischen Pflanzen übergehen. Im Modellbetrieb werden daher zwei Insektizidanwendungen gegen Virusvektoren wie dem Moosknopfkäfer, der schwarzen Bohnenlaus und der grünen Pfirsichblattlaus durchgeführt.

Durch den Anbau blattgesunder Sorten beschränkt sich der Fungizideinsatz auf eine einmalige Behandlung im August und dient der Vermeidung von Blattkrankheiten wie Cercospora, Ramularia oder dem Echten Mehltau. Auswertungen des IfZ zur Folge werden auf rund 70 % der deutschen Zuckerrübenflächen Fungizide ausgebracht (Ladewig et al., 2018). Mit Blick auf in der Vegetationsperiode zunehmend spätere Rodetermine und eine wachsende Bedeutung von Cercospora-Befall,

wird ein Verzicht auf die Fungizidmaßnahme von Beratern und Landwirten als nicht zielführend bewertet. Das Roden der Zuckerrüben im Oktober (Ertrag von 850 dt/ha FM) und der anschließende Abtransport wird von einem Lohnunternehmen durchgeführt.

Abbildung 11: Anteile einzelner Pflanzenschutzmittel am PLI je Hektar Zuckerrübenfläche



Quelle: eigene Darstellung

Die Zusammensetzung des PLI je Hektar Zuckerrübenfläche ist in Abbildung 11 dargestellt. Es zeigt sich, dass ein Drittel des PLI durch das Bodenherbizid Goltix Titan mit den darin enthaltenen Wirkstoffen Metamitron und Quinmerac hervorgerufen wird, während blattaktive Herbizide, wie beispielsweise Debut, einen deutlich geringeren Einfluss haben. Insgesamt verursachen die Herbizide zusammen rund 75 % des gesamten PLI. Das mögliche Einsparpotenzial von Insektiziden und Fungiziden mit Anteilen von 16 bzw. 10 % am Gesamt-PLI ist im Vergleich dazu gering.

Winterweizen

Winterweizen wird sowohl nach Blatt- als auch nach Halmfrüchten angebaut, was sich auf das Produktionssystem und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auswirkt. Deshalb wird im Modellbetrieb zwischen Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten differenziert. Exemplarisch wird das Produktionssystem von Winterweizen nach Zuckerrüben erläutert und gleichzeitig auf strukturelle Unterschiede zu Winterweizen nach anderen Vorfrüchten eingegangen⁶⁴.

Die Saatbettbereitung von Winterweizen nach Zuckerrüben erfolgt nach der Rübenernte im Oktober pfluglos mit einem Grubber zur Lockerung auf ca. 20 cm Tiefe. Da Raps und Zuckerrüben in

⁶⁴ Die detaillierte Ausgestaltung der einzelnen Produktionssysteme ist in den Tabellen A 10 bis A 13 im Anhang zu finden.

einer Fruchtfolge angebaut werden, ist bei Winterweizen nach Raps darauf zu achten, dass Ausfallraps intensiv bearbeitet wird, um eine Vermehrung von Nematoden zu vermeiden. Deshalb werden aufgelaufene Rapspflanzen nach etwa drei bis vier Wochen mit einem Totalherbizid behandelt. Während Stoppelweizen bedingt durch eine langsame Jugendentwicklung bereits Ende September ausgesät wird, erfolgt die Bestellung von Rügenweizen bedingt durch die späte Ernte der Vorfrucht erst in der zweiten Oktoberhälfte. Aufgrund des späten Saattermins mit dementsprechend ungünstigeren Wachstumsbedingungen (kürzere Restvegetationszeit, hohe Bodenfeuchte) wird die Ausaatstärke im Vergleich zur Vorfrucht Winterraps von 150 kg/ha auf 180 kg/ha erhöht.

Folgende Pflanzenschutzstrategien im Weizen werden von den Landwirt*innen und Berater*innen als typisch angesehen:

- (1) **Herbizide:** Um auflaufende Ungräser wie Windhalm oder Ackerfuchsschwanz in einem möglichst frühen Entwicklungsstadium erfassen zu können, werden bereits in der ersten Novemberrhälfte (bei Weizen nach anderen Vorfrüchten ggf. auch früher) flufenacethaltige Bodenherbizide (Herold 0,3 l/ha und Traxos 1,2 l/ha) ausgebracht. Während das Wirkungsspektrum von Traxos auf Gräser wie Ackerfuchsschwanz, Weidelgräser und Windhalm beschränkt ist, werden mit dem Einsatz von Herold zusätzlich zweikeimblättrige Unkräuter bekämpft. Da im Frühjahr erneut Ungräser und -kräuter zum Keimen angeregt werden, findet im April eine zweite Herbizidanwendung mit Atlantis Flex (0,33 l/ha), bestehend aus boden- und blattaktiven Sulfonylharnstoffen, statt. Ihr folgt eine zweite Maßnahme gegen zweikeimblättrige Unkräuter wie Klettenlabkraut, Kamille oder Vogelmiere in EC 31-39⁶⁵.
- (2) **Fungizide:** Zur Vermeidung und Bekämpfung von Pilzinfektionen werden drei Fungizidbehandlungen durchgeführt. Sie erfolgen in EC 31/32, EC 39/49 zum Schutz des Fahnenblattes, sowie in EC 59/61 zur Gesunderhaltung der Ähre. Insbesondere bei pfluglos bestelltem Winterweizen nach Mais ist diese Maßnahme zur Vermeidung von Ährenfusariosen von großer Bedeutung. Gleichzeitig ist bei Stoppelweizen durch den frühen Saatzeitpunkt und der damit einhergehend höheren Infektionsgefahr meist eine gesteigerte Fungizidintensität im Vergleich zu Weizen nach Blattfrüchten notwendig.
- (3) **Insektizide:** Aufgrund der vergleichsweise späten Aussaat des Rügenweizens ist im Gegensatz zu Raps- und Stoppelweizen im Herbst in der Regel keine Insektizidmaßnahme erforderlich, da der Befall von Blattläusen als Virusvektoren gering ist. Insbesondere milde Winter fördern die Entwicklung von Schadinsekten wie Blattläusen oder Sattelmücken. Sie befallen die Getreidepflanzen, sodass bei unzureichendem Vorhandensein von Nützlingen wie Marienkäfern, Schlupfwespen oder Schwebfliegen eine weitere Insektizidmaßnahme notwendig ist. Im Durchschnitt der Jahre werden zwei Behandlungen mit voller AWM appliziert.

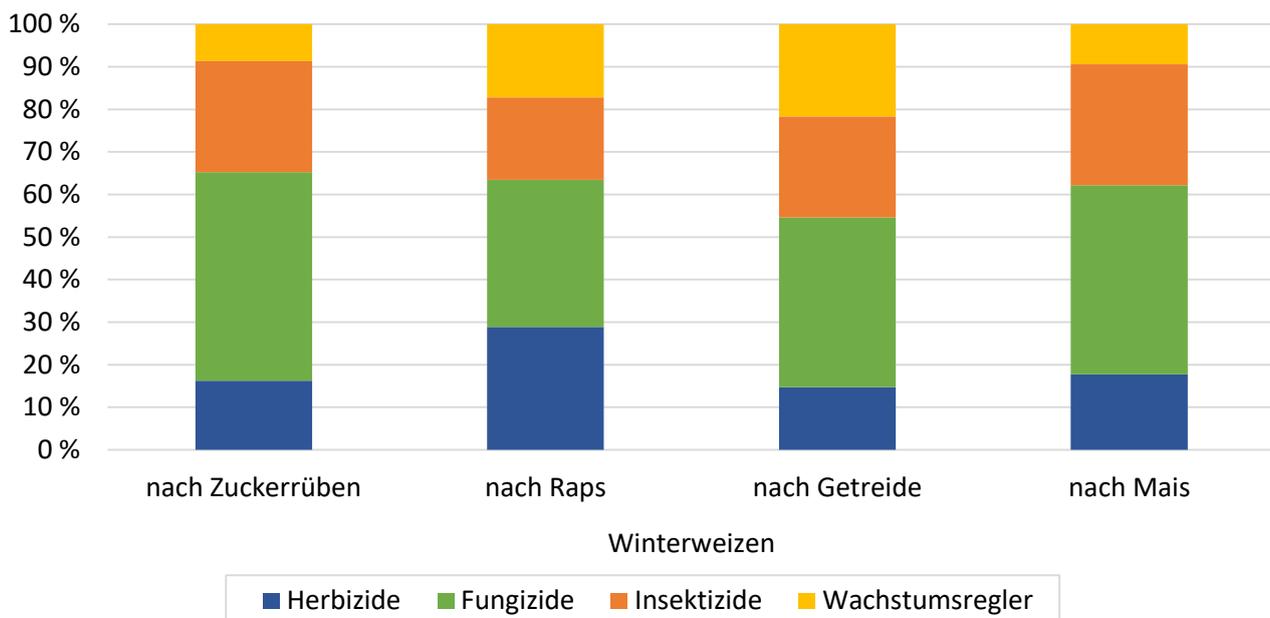
⁶⁵ EC-Stadien beschreiben die Entwicklungsstadien von Nutzpflanzen. Weitere Informationen finden sich in Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (2001).

- (4) **Wachstumsregler:** Durch den Einsatz von Wachstumsreglern kann das Längenwachstum der Pflanze reguliert und damit die Standfestigkeit gesteuert werden. Während die Anwendung von Wachstumsreglern in früh gedrillten und wüchsigen Beständen meist in einer dreigeteilten Maßnahme erfolgt, kann bei Spätsaaten nach Zuckerrüben auf eine Doppelanwendung reduziert werden. Basiswirkstoff beim Einkürzen von Weizen ist der Wirkstoff Chlormequat.

Nach der Ernte im August erfolgt eine Stoppelbearbeitung mit der Kurzscheibenegge, um Ausfallgetreide zum Auflaufen zu bringen und gleichzeitig den Wasserverlust durch Brechen der Kapillarität zu reduzieren.

In Abbildung 12 ist der Anteil einzelner Pflanzenschutzmittelgruppen am PLI je Hektar Winterweizen nach verschiedenen Vorfrüchten dargestellt. Dabei wird deutlich, dass Weizen nach Vorfrucht Mais und Zuckerrüben ein sehr ähnliches Toxizitätsprofil haben. Im Vergleich dazu ist der PLI bei Weizen nach Raps und Getreide im Bereich der Wachstumsregulatoren erhöht. Grund dafür ist, dass früher ausgesäte und dementsprechend wüchsiger Bestände stärker im Längenwachstum reguliert werden müssen als Spätsaaten. Während die Herbizidmaßnahmen der Ausgangssituation in der Kultur keine Unterschiede aufweisen, ist bei Winterweizen nach Raps die Anwendung des Totalherbizids vor der Aussaat mit zu berücksichtigen, wodurch der Herbizidanteil auf nahezu 30 % ansteigt.

Abbildung 12: Anteil einzelner PSM-Gruppen am PLI je Hektar Winterweizen nach verschiedenen Vorfrüchten



Quelle: eigene Darstellung

Winterraps

Aufgrund des kurzen Zeitfensters zwischen der Weizenernte und der nachfolgenden Rapsbestellung ergeben sich hohe Anforderungen an das Strohmanagement der Vorfrucht. Damit Erntereste

abgebaut werden können und Ausfallgetreide auflaufen kann, werden Weizenbestände mit der Folgefrucht Winterraps möglichst früh geerntet und die Stoppelbearbeitung unmittelbar danach durchgeführt. Um den Abbauprozess zu unterstützen, werden im gleichen Arbeitsschritt 10 m³/ha Gärrest ausgebracht (vgl. Tabelle A 14 im Anhang). Neben einer mineralischen Phosphatdüngung erfolgt vor der Aussaat eine lockernde Bodenbearbeitung mit dem Grubber auf rund 20 cm Bearbeitungstiefe. Die Aussaat wird mit konventioneller Drilltechnik zwischen dem 25. August und den ersten Septembertagen durchgeführt. Aufgrund des geringen Befallsdrucks werden kohlherniere-sistente Sorten in der Region nicht eingesetzt. In der Regel werden Hybridsorten mit einer angestrebten Bestandesdichte von 45 Pflanzen/m² angebaut.

Der Einsatz von Metazachlor wurde in der Fokusgruppe kritisch diskutiert. Nach Auswertungen der deutschen „Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ wurden im Jahr 2019 von nahezu 90 % der Betriebe metazachlorhaltige Herbizide im Voraufbau eingesetzt (JKI, 2020b). Da der Wirkstoff sehr auswaschungsgefährdet ist, sind Wirkstoffhöchstmengen und -wechsel zu beachten bzw. ist auf grundwassersensiblen Standorten auf den Wirkstoff zu verzichten (LWK Niedersachsen, 2020a). Vor diesem Hintergrund verzichtete die Fokusgruppe auf eine Voraufbaubehandlung mit dem herbiziden Wirkstoff. Die Kombination der Mittel Belkar und Synero wirken im Nachaufbau blattaktiv gegen eine Vielzahl zweikeimblättriger Unkräuter wie Klette, Taubnessel oder Storchschnabel Metazachlor. Mit Panarex werden Ausfallgetreide sowie Ungräser wie Quecke oder Ackerfuchschwanz bekämpft. Eine Nachbehandlung gegen Unkräuter wie Stiefmütterchen oder Storchschnabel erfolgt ab EC 16 mit reduzierter Aufwandmenge.

Der Fungizideinsatz im frühen Oktober (EC 16) trägt zur Vermeidung von Phoma bei, hat jedoch maßgeblich eine wachstumsregulierende Wirkung und soll verhindern, dass es zu einer Sprosstreckung im Herbst kommt, die den Raps anfälliger für Auswinterungsschäden machen würde. Gleichermassen dient die Fungizid-Behandlung im Frühjahr dazu, Lager durch ausgeprägtes Längenwachstum zu vermeiden. Die Verringerung der Gefahr von Pilzinfektionen ist ein positiver Nebeneffekt. Das Auftreten von Rapskrankheiten wie der Weißstängeligkeit (*Sclerotinia sclerotiorum*) oder Alternaria wird durch die Witterung und Fruchtfolge beeinflusst und kann durch eine Fungizidbehandlung im Stadium der Vollblüte (EC 65) bekämpft werden.

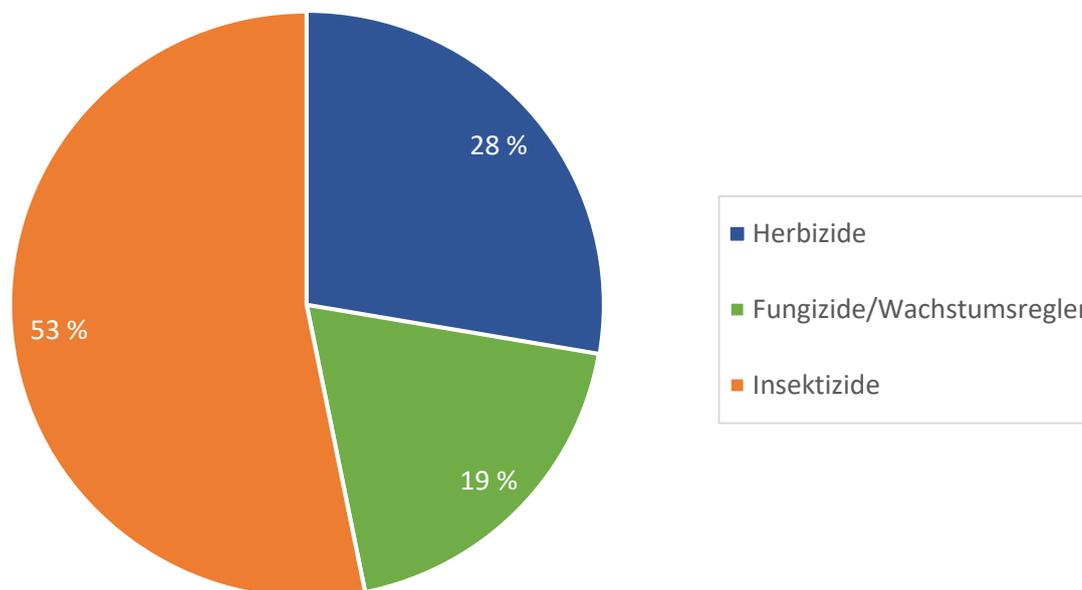
Um die Rapspflanze gegen tierische Schädlinge⁶⁶ wie Rapserrdfloh, Kohlschotenmücke oder Kohltriebrüssler zu schützen, werden im Laufe der Vegetationszeit eine Reihe von Insektizidbehandlungen durchgeführt: Bereits im Herbst erfolgt eine zweifache Anwendung von Phyrethroiden zur Bekämpfung des Rapserrdflohs. Um Schäden durch den Rapsglanzkäfer im Frühjahr zu reduzieren, wird eine erste Maßnahme mit Avaunt zur Knospenbildung Anfang/Mitte März durchgeführt. Eine weitere Applikation findet Anfang April statt, um Rapsglanzkäfer und Kohlschotenrüssler zu bekämpfen. Schlussendlich wird in Kombination mit der Blütenspritzung die dritte Insektizidmaßnahme durchgeführt. Sie dient dazu, Kohlschotenrüssler und Kohlschotenmücke zu kontrollieren.

⁶⁶ Die Bekämpfung von Schnecken und Feldmäusen wird aufgrund des stark jahresabhängigen Auftretens nachfolgend nicht weiter betrachtet.

Nach der Ernte Ende Juli erfolgt eine flache Bodenbearbeitung, um einen guten Auflauf des Ausfallrapses zu gewährleisten.

In Abbildung 13 wird deutlich, dass mehr als die Hälfte des PLI beim Anbau von Winterrapen von Insektiziden verursacht werden. Aus Herbiziden resultiert dagegen etwa ein Viertel (28 %) des PLI, während der Anteil der Fungizide/Wachstumsregler bei 19 % liegt.

Abbildung 13: Anteile einzelner PSM-Gruppen am PLI je Hektar Winterrapen



Quelle: eigene Darstellung

Silomais

Vor Mais erfolgt der Anbau einer Zwischenfrucht, die im September gedrillt wird (vgl. Tabelle A 15 im Anhang). Gegen winterharte oder nicht vollständig abgefrorene Zwischenfrüchte wird im März ein Totalherbizid eingesetzt, bevor der Bewuchs anschließend mit der Scheibenegge flach eingearbeitet wird. Der Silomais wird in einer Biogasanlage genutzt und die Nährstoffe werden über den Gärrest wieder an den Modellbetrieb zurückgeführt⁶⁷.

Der Mais wird mit 2 dt/ha DAP als Unterfußdünger Mitte bis Ende April von einem Lohnunternehmer in Einzelkornsaat gelegt. Der Reihenabstand beträgt 45 cm und die angestrebte Pflanzendichte neun Pflanzen je m². Aufgrund der langsamen Jugendentwicklung des Mais erfolgt im 2-bis 4-Blattstadium eine Herbizidbehandlung mit blatt- und bodenaktiven Wirkstoffen. Die Ernte erfolgt Anfang bis Mitte Oktober bei einem Trockensubstanzgehalt von rund 33 % durch einen Lohnunternehmer. Im Anschluss an die Maisernte werden die Stoppeln gemulcht, um a) das Überleben des Maiszünslers in den Pflanzenresten über die Wintermonate zu verhindern und b) das

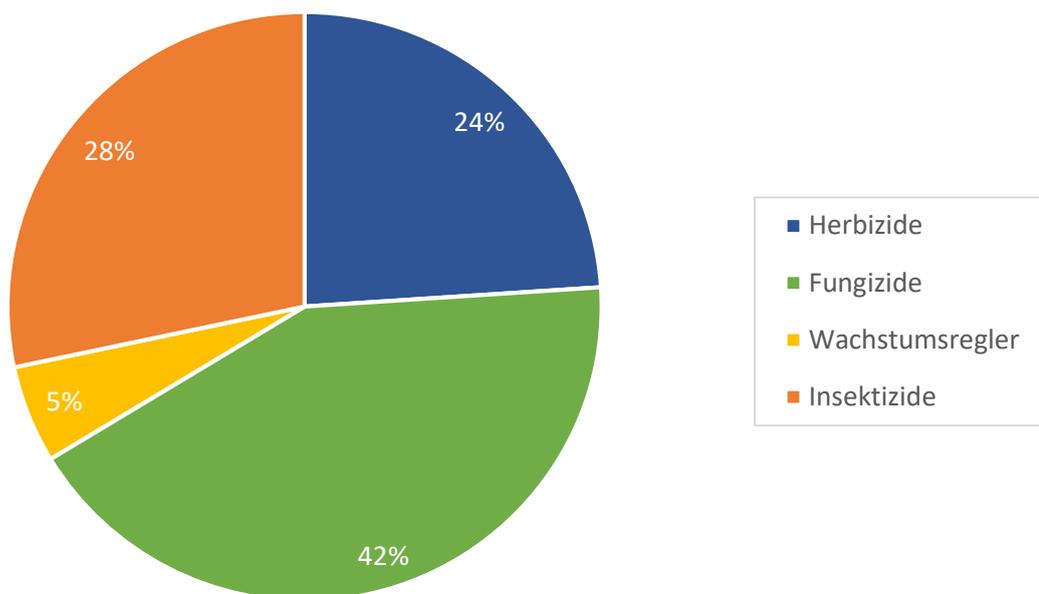
⁶⁷ Die vom landwirtschaftlichen Betrieb anteilig zu tragenden Ausbringkosten fließen mit 2 €/m³ Gärrest in die Berechnung mit ein.

Fusariumrisiko für den nachfolgenden Winterweizen in Mulchsaat zu verringern. Da keine anderen Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden, wird der PLI nur durch die eingesetzten Herbizide bestimmt.

Wintergerste

Wintergerste wird im Modellbetrieb in der Regel nach Winterweizen angebaut. Im Anschluss an eine flache Bodenbearbeitung mit der Scheibenegge zum Einmischen der Ernterückstände erfolgt Ende September eine wendende Grundbodenbearbeitung (vgl. Tabelle A 16 im Anhang). Insbesondere nach einer Getreidevorfrucht ist das Pflügen eine wirksame Maßnahme, um Problemen durch spät abreifenden Ausfallweizen im Gerstenbestand entgegenzuwirken. Es wird eine Saatstärke von 250 Körner/m² angestrebt. Die erste Herbizidmaßnahme wird ab dem Dreiblattstadium gegen Ungräser und -kräuter bereits Mitte Oktober durchgeführt. Im Frühjahr erfolgt dann eine Nachbehandlung gegen zweikeimblättrige Unkräuter. Um die Populationen von Virusvektoren wie Blattläusen zur Ausbreitung des Gelbverzwergungsvirus zu reduzieren, wird je nach Befallsstärke meist Ende Oktober eine Insektizidbehandlung mit Phyrethroid-Wirkstoffen durchgeführt. Zum Schutz vor Pilzinfektionen wird eine Fungizidstrategie mit einer Behandlung zum Schossen (EC 31) und einer weiteren Behandlung zum Ährenschieben (EC 39/49) angewendet. Nach der Ernte Mitte bis Ende Juli erfolgt wiederum eine flache Stoppelbearbeitung mit der Kurzscheibenegge, um die Kapillarität und den damit erhöhten Wasserverlust zu unterbrechen, sowie die Ausfallgerste zum Auflaufen zu bringen.

Abbildung 14: Anteile einzelner PSM-Gruppen am PLI je Hektar Wintergerste



Quelle: eigene Darstellung

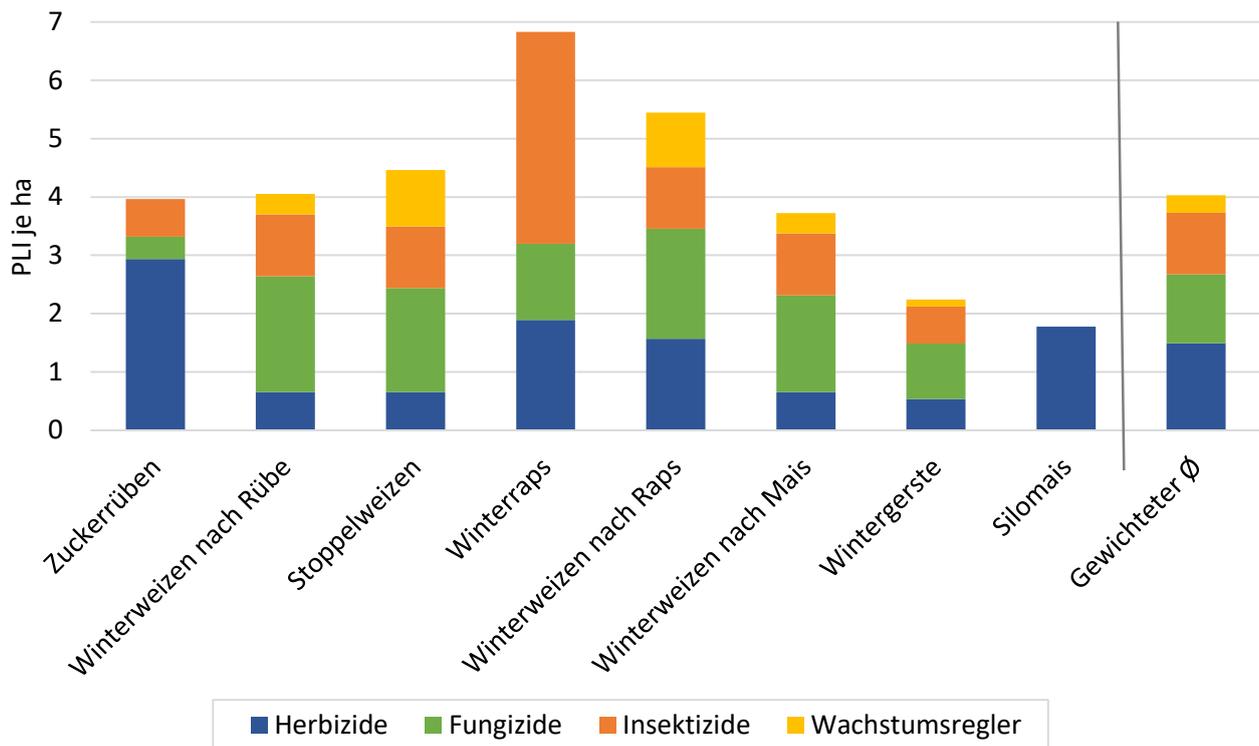
In Abbildung 14 ist der Anteil der einzelnen Pflanzenschutzmittelgruppen am PLI von Wintergerste dargestellt. Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie zuvor beim Winterweizen: Etwa ein Viertel des PLI entsteht jeweils durch den Herbizid- und Insektizideinsatz. Fungizide Wirkstoffe verursachen dagegen mehr als 40 % des Gesamt-Loads. Der Einfluss von Wachstumsreglern ist mit 5 % gering.

Absoluter PLI im Quervergleich der Kulturen

Nachdem zuvor für die jeweiligen Kulturen die relativen Anteile der verschiedenen Pflanzenschutzmittelgruppen am PLI der einzelnen Kulturen beschrieben wurden, ist in Abbildung 15 die absolute Höhe des PLI je ha für jede Kultur sowie im Mittel der Fruchtfolge dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ableiten:

- Im Mittel der Fruchtfolge liegt der PLI bei 4,03 Einheiten je Hektar. Dabei ergeben sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den Kulturen. Während sich der PLI für Silomais und Wintergerste auf einem Niveau von rund 2,0 Einheiten/ha befindet, werden beim Anbau von Winterraps die höchsten Werte mit nahezu 7 PLI-Einheiten/ha erreicht. Für Getreide ist der PLI bei Wintergerste nur etwa halb so hoch wie bei Winterweizen. Daraus lässt sich ableiten, dass der gesamtbetriebliche PLI erheblich über die Gestaltung der Fruchtfolge beeinflusst werden kann.
- Grundsätzlich zeigt sich, dass keine Gruppe der eingesetzten Pflanzenschutzmittel pauschal als Verursacher eines hohen PLI ausgewiesen werden kann, sondern je nach Kultur andere Wirkstoffgruppen überwiegen.
- Während beim Anbau von Zuckerrüben und Silomais Herbizide den stärksten Einfluss auf den PLI haben, liegt der Haupttreiber für den hohen PLI von Winterraps vor allem beim Einsatz der Insektizide. Diese Pesticide Load-Verteilung legt nahe, dass Reduktionsmaßnahmen bei Winterraps, sowohl durch Wirkstoffsubstitution als auch durch pflanzenbauliche Maßnahmen, bei den Insektiziden das höchste Potenzial haben. Dagegen wirkt sich im Getreideanbau der Fungizideinsatz stärker auf den PLI aus.

Die Anbauentscheidung der landwirtschaftlichen Betriebe wird bislang hingegen nur unwesentlich durch das Toxizitätsprofil der jeweils benötigten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe beeinflusst. In der Regel ist diese Information in der Praxis nicht bekannt und dementsprechend auch nicht entscheidungsrelevant. Einen deutlich größeren Einfluss auf die Frage, welche Kulturen angebaut werden, hat die Rentabilität der Kulturen, weshalb diese im nächsten Kapitel näher beleuchtet wird.

Abbildung 15: PLI je Hektar der Kulturen in der Ausgangssituation im Vergleich

Quelle: eigene Darstellung

4.1.3 Die innerbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit der angebauten Kulturen

Nachdem im vorherigen Kapitel die Produktionssysteme der einzelnen Kulturen sowie deren PLI beschrieben wurden, werden nachfolgend die Rentabilität und innerbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit der Kulturen anhand ihrer Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAKfL) dargestellt. Dies ist notwendig, da die DAKfL das bisher wichtigste Entscheidungskriterium für den Anbau der Kulturen ist und gleichzeitig die Basis für die später kalkulierten Kosten der Anpassungsstrategien bildet. In Tabelle 7 ist die DAKfL der einzelnen Kulturen sowie des Gesamtbetriebes vergleichend gegenübergestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ableiten:

- Im gewichteten Mittel erwirtschaftet der Modellbetrieb eine DAKfL von 633 €/ha. Die rentabelsten Kulturen sind Winterweizen nach Raps und Zuckerrüben. Zu den schwächsten Kulturen zählen Stoppelweizen und Wintergerste. Somit beträgt die Spannweite zwischen den Kulturen bis zu 228 €/ha.
- Die **Zuckerrübe** zählt mit einer DAKfL von 724 €/ha zu den rentabelsten Kulturen im Anbau. Die Marktleistungen sind mit rund 2.470 €/ha fast doppelt so hoch wie bei den anderen Kulturen. Allerdings stehen den hohen Erlösen auch Kosten gegenüber. Bei den Direktkosten fallen mit über 430 €/ha sehr hohe Kosten für Pflanzenschutzmittel, vor allem für Herbizide, an. Auch die Saatgutkosten sind mit 264 €/ha ebenfalls deutlich höher als bei den anderen Kulturen. Die Arbeitserledigungskosten betragen rund 615 €/ha. Da das kostenintensive Roden der

Zuckerrüben durch ein Lohnunternehmen ausgeführt wird, überwiegt der Anteil der variablen Kosten an den Arbeitserledigungskosten.

- Die DAKfL von **Weizen** liegen je nach Vorfrucht zwischen 515 und 739 €/ha. Nachfolgend werden die Unterschiede und Ursachen näher beschrieben:
 - Raps ist eine ideale Vorfrucht für Weizen, da er durch die tiefe Durchwurzelung eine gute Bodenstruktur hinterlässt und der Weizen von den Stickstoffüberschüssen des Rapses profitieren kann. In der Folge sind die Erträge von **Rapsweizen** mit 100 dt/ha sowie die Erlöse mit 1.726 €/ha am höchsten. Die DAKfL liegt mit 739 €/ha mehr als 220 €/ha über der von Stoppelweizen. Die Kosten für Pflanzenschutzmittel betragen insgesamt 274 €/ha, wobei der Anteil der Herbizide mit 165 €/ha deutlich überwiegt. Aufgrund des überdurchschnittlichen Ertrags im Vergleich zu Weizen nach anderen Vorfrüchten und den dementsprechend höheren Nährstoffentzügen, sind bei Rapsweizen die Kosten für Düngemittel ebenfalls am höchsten. Die Kosten der Arbeitserledigung betragen 355 €/ha.
 - Auch mit **Winterweizen nach Silomais** wurden in der Region sehr gute Erfahrungen gemacht. Gegenüber Rapsweizen ist die DAKfL um rund 40 €/ha verringert und beträgt 700 €/ha. Die Basis für die hohe DAKfL ist der Ertrag von 95 dt/ha. Dies entspricht einem Minderertrag von 5 % gegenüber Rapsweizen. Da Weizen nach Silomais in der Regel später gedreht wird, muss die Aussaatstärke erhöht werden. Deshalb sind um 12 €/ha gesteigerte Saatgutkosten von insgesamt 67 €/ha zu erwarten. Im Bereich der Fungizide fallen gegenüber dem Rapsweizen um 10 €/ha höhere Ausgaben an, da dieser intensiver gegen Fusarium behandelt werden muss. Hingegen können Herbizidkosten in Höhe von rund 30 €/ha eingespart werden. Da insgesamt zwei Pflanzenschutzapplikationen weniger notwendig sind, sinken die Arbeitserledigungskosten ebenfalls um 20 €/ha auf insgesamt 336 €/ha.
 - Mit **Winterweizen nach Zuckerrüben** kann eine DAKfL von 558 €/ha erwirtschaftet werden. Im Vergleich zu Rapsweizen entspricht das einer Differenz von etwa 180 €/ha. Der Erlös von Weizen nach Zuckerrüben ist aufgrund des Minderertrags gegenüber Rapsweizen um rund 260 €/ha reduziert. Hinzu kommen um 16 €/ha erhöhte Saatgutkosten in Folge einer vergleichsweise späten Aussaat. Ähnlich wie bei Weizen nach Mais sind die Herbizidkosten auch nach der Vorfrucht Zuckerrüben mit insgesamt 134 €/ha verringert. Auch mit Blick auf die Arbeitserledigungskosten ist Rübenweizen mit Weizen nach Silomais zu vergleichen.
 - Mit einer DAKfL von 515 €/ha hat **Stoppelweizen** die im Vergleich mit Weizen nach anderen Vorfrüchten geringste Rentabilität. Die Gründe dafür sind vielseitig: Durch den Minderertrag von 10 dt/ha ist der Erlös gegenüber Rapsweizen um rund 170 €/ha reduziert. Da vor Stoppelweizen eine wendende Bodenbearbeitung erfolgt, sind geringere Herbizidkosten zu erwarten. Ebenfalls sind aufgrund der reduzierten Nährstoffentzüge reduzierte Düngekosten zu erwarten. Die Summe der Direktkosten ist gegenüber Rapsweizen um rund 50 €/ha vermindert. Gleichwohl erhöht der Pflugeinsatz die Arbeitserledigungskosten deutlich. Im Vergleich zu Winterweizen nach Raps steigen sie um rund 100 €/ha an. Eine geringe Flächenleistung sowie zusätzliche Arbeitsgänge zur Saatbettbereitung sind die wesentlichen Kostentreiber hierfür.

- Der Anbau von **Winterraps** gilt allgemein nach dem Zuckerrüben- und Winterweizenanbau zu den wettbewerbsstärksten Kulturen der Fruchtfolge. Er generiert im Modellbetrieb eine DAKfL in Höhe von 612 €/ha und verliert somit mehr als 100 €/ha gegenüber Zuckerrüben. Mit einem Rapserttrag von 40 dt/ha kann ein Erlös von rund 1.470 €/ha erzeugt werden. Durch die zunehmend steigenden Herausforderungen wie ausgeprägte Trockenperioden zur Aussaat oder dem wachsenden Krankheitsdruck in engen Fruchtfolgen ist kurzfristig kein weiterer Ertragsanstieg zu erwarten. Im Gegenteil, in Kombination mit einer restriktiven N-Düngung sind auch Ertrags- einbußen möglich. Mit Blick auf die Direktkosten bilden Pflanzenschutz und Düngung mit 211 bzw. 194 €/ha die größten Kostenblöcke. Da Winterraps für die Bestandsetablierung mehr Stickstoff benötigt als im Erntegut abgefahren wird, werden die Kosten auf Grundlage des Entzugs tendenziell unterschätzt. Bei den Kosten für Wachstumsregler im Raps ist die Besonderheit zu berücksichtigen, dass Fungizide ebenfalls eine wachstumsregulierende Wirkung besitzen und somit die Kosten zusammenzufassen sind. Die Arbeitserledigungskosten von 338 €/ha sind mit Weizen nach Zuckerrüben oder Mais vergleichbar. Allerdings ist bei der vermeintlich geringen DAKfL die bereits beim Rapsweizen beschriebene positive Vorfruchtwirkung von Winterraps zu berücksichtigen. Sie führt zu dem hohen Ertrag des nachfolgenden Winterweizens. Die Kombination aus den Kulturen Raps und Weizen liefert in Summe eine um rund 70 €/ha höhere DAKfL als Zuckerrüben und Weizen.
- Der **Silomaisanbau** erfolgt im Rahmen eines Anbauvertrages für eine externe Biogasanlage. Dabei wird der Mais stehend ab Feld verkauft, sodass die Kosten der Ernte vom Käufer getragen werden. Die DAKfL befindet sich auf Höhe des Fruchtfolgedurchschnitts von 633 €/ha. Der Marktleistung von 1540 €/ha stehen Direktkosten in Höhe von 630 €/ha gegenüber. Dabei sind die Kosten für Z-Saatgut und Düngemittel mit 170 bzw. 264 €/ha die größten Kostenblöcke, während die Kosten für Herbizide mit insgesamt 72 €/ha im Vergleich zu anderen Kulturen gering sind. Hinzu kommen Arbeitserledigungskosten von 300 €/ha, die den geringsten Wert im Vergleich der Kulturen darstellen. Die Vergleichbarkeit ist jedoch eingeschränkt, da keine Erntekosten enthalten sind.
- Mit einer DAKfL von 511 €/ha besitzt **Wintergerste** die geringste Rentabilität im Vergleich der Kulturen. Dabei ist der Erlös mit 1.436 €/ha nur um 30 €/ha unter dem von Winterraps. Einen Anteil von jeweils rund 40 % haben die Kosten für Pflanzenschutz- und Düngemittel an den Direktkosten. Das entspricht jeweils rund 200 €/ha. Durch die wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug sind die Arbeitserledigungskosten mit insgesamt 420 €/ha rund 60 €/ha höher als bei pfluglos bestelltem Winterweizen nach Vorfrucht Winterraps. Trotz der geringen Wirtschaftlichkeit bringt die Wintergerste durch ihre frühe Ernte arbeitswirtschaftliche Vorteile, um Erntespitzen zu entzerren.

Tabelle 7: Wirtschaftlichkeit der Kulturen in der Ausgangssituation im Vergleich

		Zucker-	Winterweizen nach				Winter-	Winter-	Silo-	Ø (gewichtet)
		rübe	Zuckerrübe	Winterraps	Weizen	Silomais	raps	gerste	mais	
Ertrag	dt/ha	850	85,0	100,0	90	95	40	90	550	
* Preis	€/dt	2,9	17,3	17,3	17	17	37	16	3	
= Marktleistung	€/ha	2.465	1.467	1.726	1.553	1.640	1.467	1.436	1.540	1728
Saatgut Zwischenfrucht	€/ha	70	0	0	0	0	0	0	70	25
Saat- und Pflanzgut ¹	€/ha	264	71	55	59	67	78	49	171	121
Pflanzenschutz	€/ha	433	244	274	248	248	211	196	72	254
Herbizid	€/ha	369	134	165	133	133	69	63	72	164
Fungizid	€/ha	30	75	69	67	80	76	79	0	54
Insektizid	€/ha	34	12	12	12	12	66	9	0	20
Wachstumsregler	€/ha	0	23	28	37	23	0	45	0	16
Düngemittel	€/ha	306	207	244	219	231	194	208	264	241
sonstige Direktkosten	€/ha	55	52	60	56	57	34	52	30	49
Trocknungskosten ²	€/ha	0	22	26	24	25	5	24	0	14
Versicherung ³	€/ha	25	15	17	16	16	15	14	15	17
Zinskosten (2%)	€/ha	30	15	16	16	15	14	14	15	18
- Summe Direktkosten	€/ha	1.128	573	632	583	603	517	505	607	690
variable Maschinenkosten	€/ha	490	195	205	276	195	193	250	213	269
fixe Maschinenkosten	€/ha	124	141	150	179	141	145	170	87	136
- Summe Arbeiterledigungskosten	€/ha	614	336	355	456	336	338	420	300	405
= DAKfL	€/ha	724	558	739	515	700	612	511	633	633

¹ Während für Z-Saatgut bei Winterweizen von 50 €/dt ausgegangen wird, fallen für den Nachbau rund 35 €/dt an.

² 20 % der Erntemenge

³ 1 % der Marktleistung

4.2 Strategien und Kosten zur Risikoreduktion von Pflanzenschutzmitteln auf Kulturebene

In Abschnitt 3.3.3 wurde aufgezeigt, dass es notwendig ist mögliche Anpassungsoptionen zur Reduktion der PSM-Risiken in einem zweistufigen Verfahren zunächst auf Ebene der Kulturen und anschließend auf Ebene des Gesamtbetriebes zu identifizieren. Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend zunächst Anpassungsoptionen auf Ebene der einzelnen Kulturen abgeleitet mit denen die aus dem Pflanzenschutz resultierenden Risiken um 25 bzw. 50 % reduziert werden können. Der Aufbau der kulturindividuellen Unterkapitel ist einheitlich. Aus diesem Grund wird er zum verbesserten Verständnis an dieser Stelle kurz erläutert:

Zunächst werden die einzelnen Anpassungsmaßnahmen vorgestellt. Dazu werden die Maßnahmen übersichtsartig in den Tabellen 8 bis 15 abgebildet. In den Tabellen sind die Maßnahmen jeweils anhand einer Kurzkennzeichnung⁶⁸ gelistet. Neben einer kurzen Beschreibung werden die mit der Maßnahme einhergehenden Ertragsverluste im Vergleich zur Ausgangssituation beschrieben. Dazu wird zwischen dem zu erwartenden Normalertrag sowie dem Ertrag im Best- und Worst-Case differenziert (vgl. Kapitel 3.4.2). In der letzten Spalte ist die PLI-Reduktion gegenüber der Basis abgetragen. Im zweiten Schritt wird auf die Kosten der jeweiligen Anpassungsmaßnahmen eingegangen. Dazu werden die Veränderungen der DAKfL (in €/ha) im Vergleich zur Ausgangssituation für die einzelnen Maßnahmen dargestellt. Sowohl die Gesamtkosten, verstanden als negative Differenz der DAKfL im Vergleich zur Ausgangssituation, als auch die Reduktion des PLI steigen bei einer Verringerung des PSM-Intensitätsniveaus an. Auf dieser Grundlage können im dritten Schritt jene Maßnahmen ausgewählt werden, mit denen eine PLI-Reduktion um 25 bzw. um 50 % zu geringsten Anpassungskosten erreicht werden kann.

4.2.1 Zuckerrübe

Nachfolgend werden unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen im Zuckerrübenanbau vorgestellt. Zur verbesserten Übersichtlichkeit werden sie in Tabelle 8 dargestellt und anschließend im Detail erläutert.

⁶⁸ „W“ beschreibt die Wirkstoffsubstitution; „A“ beschreibt ackerbauliche Anpassungsmaßnahmen und „WA“ beschreibt die Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen. Danach folgt eine für jede Kultur fortlaufende Nummer.

Tabelle 8: Übersicht der Anpassungsoptionen im Zuckerrübenanbau

Maßnahmenbezeichnung ¹	Ertragsverlust in % ²			Reduktion PLI in %
	Best Case	Normal	Worst Case	
		/	/	
W 1 Wirkstoffsubstitution	0	3,0	10,0	11
A 2 Glyphosatverzicht	0	2,5	5,0	19
A 3 (Teil-)mechanische UKB	0	0,0	5,0	23
A 4 Glyphosatverzicht und (teil-)mechanische UKB	0	2,5	9,8	42
WA 5 Kombination aus W 1 und A 2	0	5,4	14,5	29
WA 6 Kombination aus W 1 und A 3	0	3,0	14,5	31
WA 7 Kombination aus W 1 und A 4	0	5,4	18,8	50

¹ W: Wirkstoffsubstitution, A: ackerbauliche Maßnahme, WA: Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen

² Der Ertragsverlust der kombinierten Maßnahmen setzt sich multiplikativ aus den Einzelmaßnahmen zusammen.

Quelle: eigene Darstellung

Wirkstoffsubstitution (W 1): Rund ein Drittel des Zuckerrüben-PLI in der Ausgangslage (vgl. Tabelle 8) stammt aus der Anwendung des Produkts „Goltix Titan“ mit den Wirkstoffen Metamitron und Quinmerac. Metamitron ist dabei als Hauptverursacher zu sehen, sodass dessen Substitution großes Potenzial bietet, um den PLI zu mindern. Bisher gilt die Behandlung mit Metamitron im Zuckerrübenanbau nach Experteneinschätzung in der Modellregion besonders gegen Spätverunkrautung (z.B. durch Nachtschatten, Weißem Gänsefuß oder Vogelmiere) als Standardanwendung. Aufgrund fehlender Versuchsergebnisse zu möglichen Ertragsverlusten durch den Verzicht von Metamitron muss auf eine konservative Experteneinschätzung durch die Fokusgruppe zurückgegriffen werden. Sie geht davon aus, dass die Wirkung des Bodenwirkstoffs in niederschlagsarmen Jahren als gering einzuschätzen ist. Hingegen kann in niederschlagsreichen Jahren eine zunehmende Spätverunkrautung auftreten, die zu Ertragsverlusten von 3 % im Normaljahr, 10 % in der Worst-Case-Betrachtung und keinen Ertragseinbußen im Best-Case berücksichtigt. Zudem können unter ungünstigen Bedingungen Ernteprobleme auftreten. Insgesamt führt die Substitution von Metamitron zu einer Reduktion des PLI um rund 11 %.

Nach dem Metamitron-Verzicht werden in den Nachauflaufbehandlungen (NAK) folgende Herbizide eingesetzt:

- NAK 1: 1,3 l/ha Belvedere Duo + 0,03 l/ha Debut + 0,3 l/ha Tanaris + 0,15 l/ha Vivendi 100
- NAK 2: 1,3 l/ha Belvedere Duo + 0,02 l/ha Debut + 0,25 l/ha Venzar 500 SC⁶⁹ + 0,3 l/ha Tanaris + 0,25 l/ha Vivendi 100 + 1 l/ha Agil-S

⁶⁹ Der darin enthaltene Wirkstoff Lenacil wird bereits von der EU-Kommission als Substitutionskandidat klassifiziert, was eine längerfristige Nutzung unsicher erscheinen lässt.

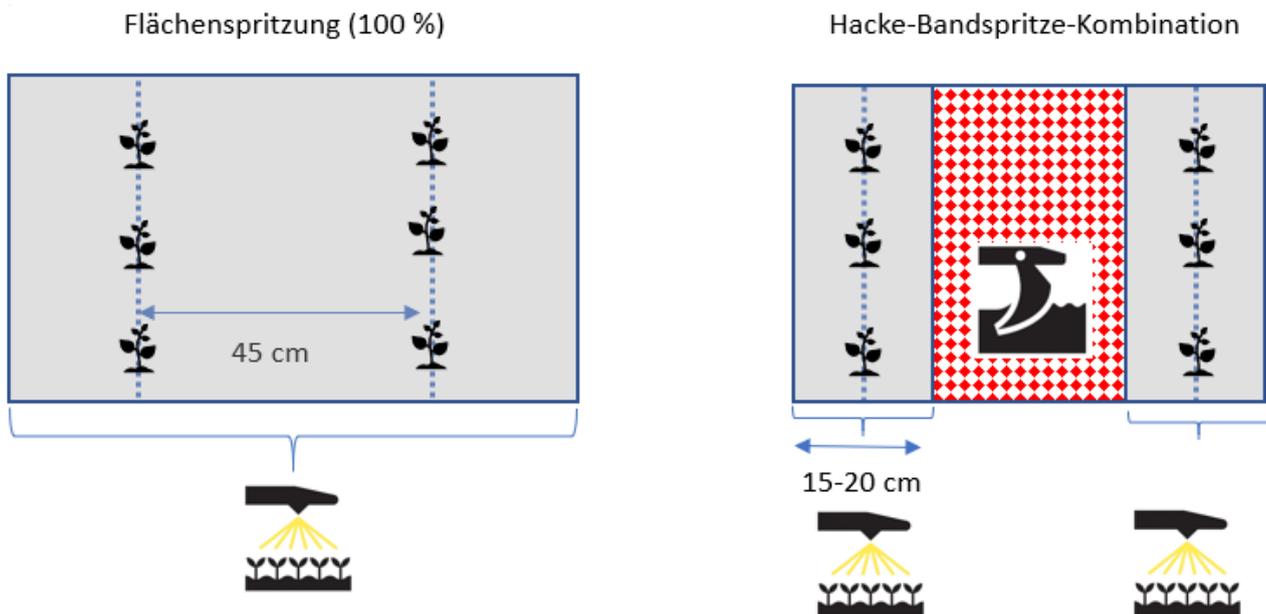
- NAK 3: 1,3 l/ha Belvedere Duo + 0,02 l/ha Debut + 0,25 l/ha Venzar 500 SC + 0,3 l/ha Tanaris + 0,25 l/ha Vivendi 100

Glyphosatverzicht (A 2): Die Glyphosatanwendung zum Einarbeiten der Zwischenfrucht und Beseitigen der Altverunkrautung vor der Zuckerrüben Aussaat kann grundsätzlich durch eine zusätzliche mechanische Bodenbearbeitung mit einer Scheibenegge ersetzt werden. Durch den Verzicht des Totalherbizids kann der PLI um rund 19 % gegenüber der Ausgangssituation reduziert werden. Nach Annahmen aus der Arbeit von Schulte et al. (2016) ist bei einem Glyphosatverzicht in Süddeutschland im pfluglosen Zuckerrübenanbau mit Ertragsverlusten von 0-5 % im Normaljahr bzw. 5-10 % im Worst-Case in Folge eines gesteigerten Wasserverlusts und einer höheren Intensität mit selektiv-wirkenden Herbiziden zu rechnen. Nach Experteneinschätzung kommt die zusätzliche Evatranspiration aufgrund des hohen Wasserhaltevermögens der Lehmböden nur begrenzt zum Tragen, sodass nach Rücksprache mit Experten und der Fokusgruppe von Mindererträgen von 2,5 % im Normaljahr bzw. 5 % im Worst-Case ausgegangen wird.

(teil-)mechanische Unkrautbekämpfung (A 3): Der Herbizideinsatz in Zuckerrüben kann mittels mechanischen Hackwerkzeugen zwischen den Zuckerrübenreihen und einer Bandspritzung innerhalb der Reihen verringert werden (Reichenberger et al., 2007; Melander et al., 2013). Dieses Verfahren ist in der Untersuchungsregion praxiserprobt und die notwendige Technik ist bei Lohnunternehmen verfügbar (vgl. Kapitel 2.4.1). Dazu wird eine Kombination aus kameragesteuerter Hacke und integrierter Bandspritze eingesetzt⁷⁰. Auf diese Weise wird das Herbizid nicht mehr ganzflächig, sondern lediglich auf einem rund 15 cm breiten Band über die Kulturpflanze gelegt, die verbleibenden rund 30 cm zwischen den Reihen (bei einem Reihenabstand von 45 cm) bleiben dementsprechend unbehandelt (vgl. Abbildung 16). Dieser Bereich wird durch die direkt folgenden Hackwerkzeuge mechanisch bearbeitet. Da die Herbizide nur noch auf rund einem Drittel der Fläche appliziert werden, kann die absolut ausgebrachte Menge um bis zu 66 % reduziert werden. Nach Abzug von Sicherheitszuschlägen kann vereinfachend von einem Wirkstoffrückgang um 60 % ausgegangen werden.

⁷⁰ Dass die Technik schon Anwendung findet, zeigt sich dadurch, dass nach Auswertungen des Instituts für Zuckerrübenforschung (IfZ) der Jahre 2010 bis 2016 bereits 12 % der befragten Betriebe in Süddeutschland die Maschinenhacke in Zuckerrüben ganzflächig eingesetzt haben. Dabei wurde sie in nahezu allen Betrieben in Kombination mit chemischen Bekämpfungsmethoden verwendet (IfZ (2018)).

Abbildung 16: schematischer Vergleich von Flächenspritzung und einer Kombination aus Hacke und Bandspritze



Quelle: eigene Darstellung

Neben den genannten Vorteilen sind mit dem Hacke-Bandspritze-Verfahren auch Herausforderungen verbunden. Dazu zählt bzw. zählen nach Dehler (2020) und Experteneinschätzungen der FG:

- hohe Arbeitserledigungskosten in Folge einer geringen Schlagkraft⁷¹ und hohen Investitionskosten für die Spezialtechnik, sodass die Anforderungen an Management und Betriebsorganisation steigen.
- „dass große Zuckerrübenbestände unter ungünstigen Witterungsbedingungen aufgrund der geringen Schlagkraft und hohen Termingebundenheit nicht mehr mit einer Maschinenkombination bearbeitet werden können oder die „Terminkosten“ ansteigen.
- die steigende Erosionsgefahr in Hanglagen durch regelmäßige Bodenbearbeitung sowie Flächen, die aufgrund hoher Tonanteile nur bedingt schütffähig⁷² sind.

Während bei der konventionellen Bewirtschaftung von drei Flächenspritzungen auszugehen ist (vgl. Kapitel 4.1.2), wird im Produktionssystem mit einer teilmechanischen Unkrautbekämpfung unterstellt, dass die Nachauflaufbehandlung 1 (NAK 1) weiterhin als Flächenspritzung erfolgt, da

⁷¹ Die im Vergleich zur Flächenspritzung reduzierte Schlagkraft ist die Folge von geringeren Fahrgeschwindigkeiten (in Abhängigkeit von der Größe der Zuckerrübenpflanze) und einer um zwei Drittel reduzierten Arbeitsbreite.

⁷² Während beim Hacken möglichst trockene, gut schütffähige Böden benötigt werden, sind Bodenherbizide für hohe Wirkungsgrade auf Bodenfeuchte angewiesen. Um solche Kompromisslösungen zu vermeiden, besteht durch eine veränderte Düsenanordnung an Pflanzenschutzmittelspritzten die Möglichkeit, rund 15 cm breite Bänder auf der gesamten Arbeitsbreite zu applizieren. Durch das absetzige Verfahren kann den unterschiedlichen Witterungsansprüchen Abhilfe geschaffen werden, erhöht hingegen die Kosten der Arbeitserledigung.

der kameragesteuerte Verschieberahmen der Hacke die jungen Zuckerrübenpflanzen noch nicht sicher erkennen kann. Die zweite und dritte NAK erfolgt mit einer Kombination aus Bandspritze und Hacke in einem Arbeitsgang. Zusätzlich wird kurz vor Reihenschluss eine zusätzliche Überfahrt mit der Hacke durchgeführt, um die Spätverunkrautung zwischen den Zuckerrübenreihen zu verringern. Die Wirkstoffkonzentration sowie die -zusammensetzung innerhalb der Rübenreihe bleibt beim Bandspritzverfahren unverändert. Während das kombinierte Hacke-Bandspritzverfahren bei günstiger Witterung gut umzusetzen ist und nach Praxiseinschätzungen zu keinen Mindererträgen führt, können feuchte Bodenverhältnisse das Verfahren in niederschlagsreichen Frühjahren begrenzen (FG, 2020 & 2021; Münke-Svendsen, 2021). Deshalb wird in der Worst-Case-Betrachtung ein Ertragsabschlag von 5 % berücksichtigt. Insgesamt kann der PLI durch dieses Verfahren um rund 23 % gemindert werden. In niederschlagsreichen Frühjahren haben die Betriebe dennoch die Möglichkeit, verstärkt Flächenspritzungen durchzuführen, da die hierfür notwendige Technik ohnehin im Betrieb vorhanden ist. Auf diese Weise können niederschlagsfreie Perioden durch die höhere Schlagkraft besser ausgenutzt werden. Zu berücksichtigen ist, dass landwirtschaftliche Betriebe in der Realität vor der gesamtbetrieblichen Umstellung und der Investition in ein solches Verfahren, die Leistungen für Teilflächen durch einen externen Dienstleister zukaufen würden.

Glyphosatverzicht und teilmechanische UKB (A 4): Um auch bei einem Glyphosatverzicht erfolgreich hacken zu können, muss die organische Masse zwischen den Reihen ausreichend zerkleinert sein, da es sonst zu einem Aufschieben des abgestorbenen Pflanzenmaterials zwischen den Hackwerkzeugen kommen kann. Verhindert werden kann das, indem die Zwischenfrucht vor der Einarbeitung zusätzlich mit einem Schlegelmulcher zerkleinert wird. Durch den Verzicht des Totalherbizids in Kombination mit teilmechanischer Unkrautbekämpfung kann der PLI um 42 % gegenüber der Ausgangssituation gesenkt werden.

Kombination der Maßnahmen (WA 5-7) Durch die Kombination aus Wirkstoffsubstitution (W1) mit den ackerbaulichen Maßnahmen (A 2-4) kann der PLI um 29 bis maximal 50 % gesenkt werden.

Eine Insektizid- und Fungizidreduktion wird aus folgenden Gründen nicht näher betrachtet:

- Seit dem Verbot der neonicotinoiden Beize tritt die Viröse Vergilbung (Beet yellow virus (BYV) oder Beet mild yellowing virus (BMYV)) regional verstärkt auf, insbesondere im Süden und Westen Deutschlands. Übertragen wird sie durch infizierte Blattläuse, wodurch je nach Infektionszeitpunkt und Stärke des Befalls Ertragsverluste von mehr als 40 % entstehen können (IFZ, 2020). Vor dem Hintergrund einer stetig wachsenden Befallsfläche mit dem Virus in Deutschland erscheint eine Verringerung der Insektizidmaßnahmen mittelfristig nicht wahrscheinlich, wengleich im Einzeljahr durch das Vorhandensein von Nützlingen Maßnahmen eingespart werden können (Ladewig et al., 2018).
- Bei einem pauschalen Fungizidverzicht ist mit Ertragsverlusten von bis zu 13 % (LWK Niedersachsen, 2019b) zu rechnen, was einem Mindererlös von rund 300 €/ha entspricht. Da der Anteil von Fungiziden am PLI nur ca. 10 % beträgt und das Reduktionspotenzial dementsprechend gering ist, erscheint ein Verzicht unverhältnismäßig (FG, 2020 & 2021).

Kosten der Anpassungsmaßnahmen

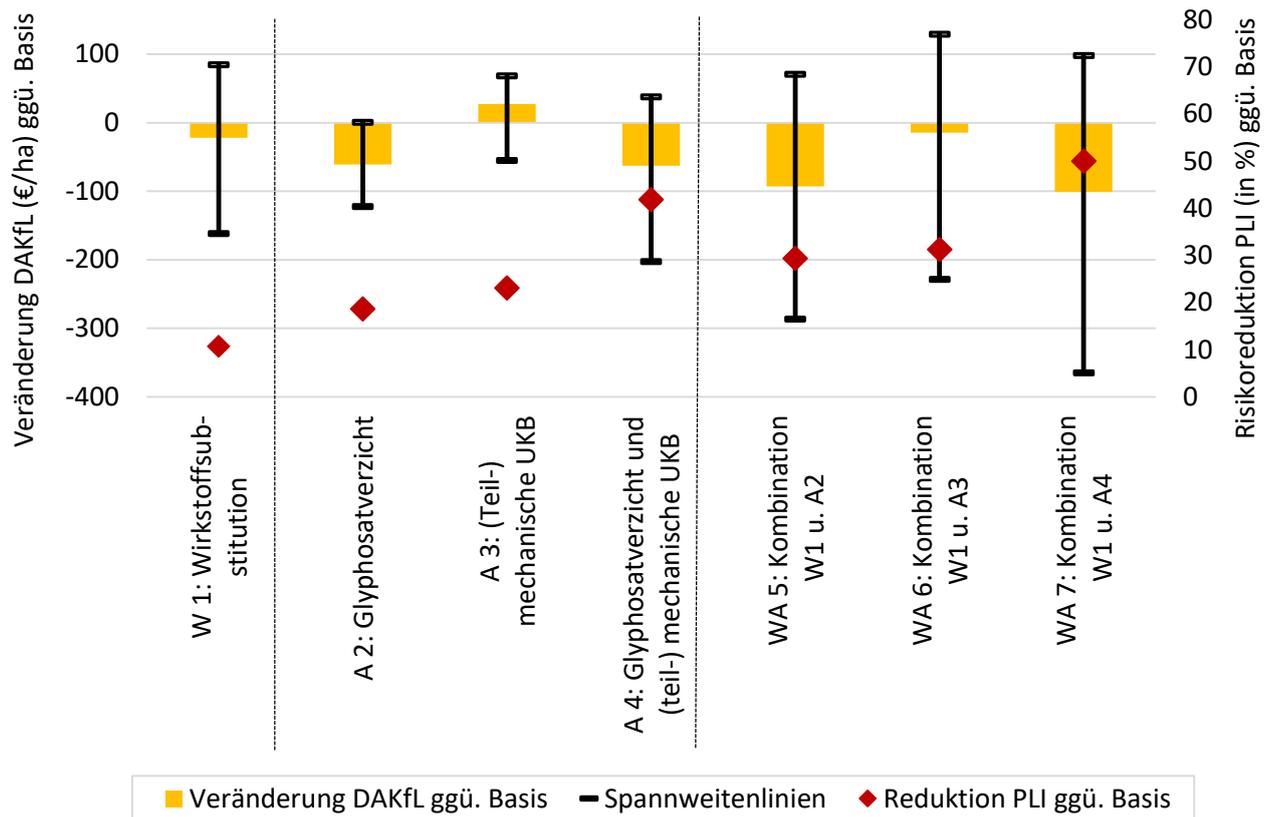
In Abbildung 17 werden die durchschnittlichen Veränderungen der DAKfL gegenüber der Ausgangssituation dargestellt. Die Spannweitenlinien geben die Veränderung der DAKfL im Worst- und Best-Case an. Gleichzeitig wird die relative Risikoreduktion gemessen am PLI gegenüber der Basis abgebildet. Allgemein zeigt Abbildung 17, dass die Spannweite der DAKfL mit einer ansteigenden Risikoreduktion ebenfalls zunimmt. Für den Anbau von Zuckerrüben lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

- Die Wirkstoffsubstitution (W 1) führt neben einer Reduktion des PLI um 11 % zu einem durchschnittlichen Verlust der DAKfL von 22 €/ha. Der Ersatz von Metamitron hat zwar reduzierte Herbizidkosten in Höhe von etwa 70 €/ha im Vergleich zur Ausgangssituation zur Folge, kann jedoch den Erlösrückgang von ca. 100 €/ha durch Mindererträge nicht kompensieren. Insbesondere in Jahren mit starker Spätverunkrautung ist der wirtschaftliche Schaden mit rund 160 €/ha hoch.
- Durch den Glyphosatverzicht (A 2) sinkt der PLI um 19 %. Dies führt im Mittel jedoch zu Verlusten der DAKfL von durchschnittlich um 61 €/ha mit einer Spannweite von +1 bis maximal -122 €/ha. Zwar sinken die Herbizidkosten um 16 €/ha, diese können den Verlust der Marktleistung durch Ertragsverluste sowie die höheren Arbeitserledigungskosten durch einen zusätzlichen mechanischen Bodenbearbeitungsgang (23 €/ha) aber nicht kompensieren.
- Die teilmechanische Unkrautbekämpfung (A 3) mindert den PLI um 23 % und steigert die DAKfL um 27 €/ha im Vergleich zur Basis. Pflanzenschutzmitteleinsparungen in Höhe von 148 €/ha und geringe Erlösverluste (40 €/ha) können die gesteigerten Arbeitserledigungskosten durch die mechanische Bearbeitung ausgleichen. Bei Herbizidkosten von 370 €/ha, besteht eine Differenz der Gesamtkosten der Unkrautbekämpfung von rund 70 €/ha zugunsten des (teil-)mechanischen Verfahrens (vgl. Abbildung A 4 im Anhang). Hiervon sind noch Erlösverluste auszugleichen.

Somit kann mit der Maßnahme eine Risikoreduktion ohne zusätzliche Kosten realisiert werden. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass Terminkosten durch eine verminderte Schlagkraft und gesteigerte Witterungsabhängigkeit sowie nicht-monetäre Risiken wie eine gesteigerte Erosionsgefahr und höhere Managementanforderungen hinzukommen.

- Zwar kann der PLI bei einem kombinierten Glyphosatverzicht (A 2) und der (teil-)mechanischen Unkrautbekämpfung (A 4) um 42 % gesenkt werden, das führt jedoch gleichzeitig auch zu einem Verlust der DAKfL von durchschnittlich 63 €/ha im Vergleich zur Ausgangssituation.
- Wird die DAKfL-mindernde Wirkstoffsubstitution (W 1) in den Maßnahmen WA 5-7 mit ackerbaulichen Anpassungsmaßnahmen (A 2-A 4) kombiniert, wird die PLI-Reduktion auf bis zu 50 % gesteigert, gleichzeitig sinkt die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Basis um 15 bis maximal rund 100 €/ha.

Abbildung 17: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Zuckerrüben



* Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

Quelle: eigene Darstellung

Soll der PLI auf Kulturebene um 25 % gesenkt werden, ist dies unter Berücksichtigung der genannten Einschränkungen am günstigsten über eine (teil-)mechanische Unkrautbekämpfung (A 3) zu realisieren, da die DAKfL um 27 €/ha ansteigt. Die Schwankungsbreite ist mit -55 bis +68 €/ha vergleichsweise gering. Sofern der PLI im Zuckerrübenanbau hingegen um 50 % reduziert werden soll, sind durch die Maßnahmen Wirkstoffsubstitution, Glyphosatverzicht und (teil-)mechanischer Unkrautbekämpfung (WA 7) Kosten von 101 €/ha zu erwarten. Die Spannweite von Worst- und Best-Case reichen von -365 bis maximal +98 €/ha. Daran zeigt sich, dass die Risiken von Ertragsschwankungen mit zunehmender PLI-Einsparung ansteigen.

4.2.2 Winterweizen

Wie bereits in Kapitel 4.1 beschrieben, unterscheiden sich die Produktionssysteme von Winterweizen je nach Vorfrucht. Daher werden nachfolgend jeweils die Minderungsmaßnahmen für Weizen nach den Vorfrüchten Zuckerrüben, Raps, Weizen und Mais dargestellt.

4.2.2.1 Winterweizen nach Zuckerrübe

In Tabelle 9 sind die betrachteten Maßnahmen zur Reduktion des PLI übersichtsartig dargestellt und werden nachfolgend beschrieben:

Tabelle 9: Übersicht der Anpassungsoptionen bei Winterweizen nach Zuckerrüben

Maßnahmenbezeichnung ¹	Ertragsverlust in % ²			Reduktion PLI in %
	Best Case	Normal	Worst Case	
W 1 Wirkstoffsubstitution	0	0,0	0	23
A 2 Später Aussaatzeitpunkt	0	10,0	25	20
A 3 Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme	2	5,0	15	26
A 4 Später Aussaatzeitpunkt und Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme	2	14,5	36,3	46
A 5 Später Aussaatzeitpunkt und vollständiger Fungizidverzicht	5	21,3	50	69
WA 6 Kombination W1 und A2	0	10,0	25	28
WA 7 Kombination W1 und A3	2	5,0	15	49
WA 8 Kombination W1 und A4	2	14,5	36	53
WA 9 Kombination W1 und A5	5	21,3	50	77

¹ W: Wirkstoffsubstitution, A: ackerbauliche Maßnahme, WA: Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen

² Der Ertragsverlust der kombinierten Maßnahmen setzt sich multiplikativ aus den Einzelmaßnahmen zusammen.

Quelle: eigene Darstellung

Wirkstoffsubstitution (W 1): Bisher wird in der Regel das Pyrethroid „Karate Zeon“ zur Bekämpfung von Blattläusen eingesetzt. Ein vergleichbarer Wirkungserfolg kann durch das Pyridincarboxamid „Teppeki“ erreicht werden. Bei voller Aufwandmenge beträgt der PLI von Teppeki (Wirkstoff Flonicamid) 0,011 Einheiten/ha, während der PLI von Karate Zeon mit 0,635 Einheiten/ha um den Faktor 58 höher ist. Ähnliches gilt für den Wachstumsregler CCC 720 (0,5 l/ha) (Wirkstoff Chlormequat). Wird dieser durch Promax (0,4 l/ha) (Wirkstoffe Trinexapac und Prohexadion) ersetzt, kann der PLI um den Faktor 50 reduziert werden. Sowohl bei den Insektiziden, als auch bei den Wachstumsreglern ist durch die Wirkstoffsubstitution kein Ertragseffekt zu erwarten. Der PLI sinkt auf diese Weise um mehr als 23 %.

Später Aussaatzeitpunkt (A 2): Zuckerrüben haben auch im späten Herbst noch hohe Ertragszuwächse, sodass späte Erntetermine bei einer längeren Vegetationszeit im Herbst für Landwirte zunehmend attraktiver werden (FG, 2020 & 2021). In der Folge verschiebt sich auch die nachfolgende Weizenaussaat. Da bei spät gedriltem Rübenweizen i.d.R. nur noch eine geringe Zahl an Unkräutern und -gräsern aufläuft, kann im Herbst auf eine Herbizidapplikation verzichtet werden. Die Frühjahrsbehandlung bleibt davon unberücksichtigt. Neben dem genannten Vorteil des reduzierten Herbizideinsatzes steigt damit jedoch auch das Risiko, die Weizenbestellung in niederschlagsreichen Jahren nicht unter optimalen Aussaatbedingungen durchführen zu können. Gleichzeitig

sinkt die Restvegetationszeit zur Bestandsetablierung. Wird der Weizen erst in der ersten Novemberhälfte gedrillt, muss von einem Ertragsverlust von 10 % gegenüber Weizen ausgegangen werden, der Mitte/Ende Oktober ausgesät wird. Unter ungünstigen Bedingungen (Worst-Case) sind Ertragsverluste von 25 % zu erwarten, bestenfalls kommt es zu keinem Minderertrag (vgl. Kapitel 2.4.1). Um den späten und damit auch ungünstigeren Aussaatbedingungen entgegenzuwirken, wird die Aussaatstärke von 180 auf 210 kg/ha gesteigert. Neben dem Einfluss auf den Herbizideinsatz hat der Aussaatzeitpunkt auch einen Effekt auf die Notwendigkeit von Insektiziden (Schwabe, 2018). Der Insektizideinsatz beschränkt sich auf eine Frühjahrsbehandlung, da durch die späte Aussaat im Herbst i.d.R. keine Bekämpfung gegen Blattläuse als Virusvektoren notwendig ist. Der PLI sinkt infolgedessen um 20 % im Vergleich zur Ausgangssituation.

Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme (A 3): Krankheitserreger wie Pilzsporen befallen meist die Pflanzenbasis und steigen dann z.B. durch Spritzwasser von Regentropfen in den Blattetagen von unten nach oben auf (Lfl, 2005). In niederschlagsarmen Perioden herrschen dementsprechend schlechte Infektionsbedingungen, die einen geringeren Krankheitsdruck hervorrufen. Deshalb wird in dieser Anpassungsmaßnahme anstelle einer dreigeteilten Fungizidbehandlung auf eine Einfachbehandlung in EC 39 zum Schutz des Fahnenblattes abgezielt. Infolgedessen wird die Aufwandmenge der Fungizide Elatus Era und Sympara anstelle von 0,6 bzw. 0,25 l/ha auf 1 bzw. 0,33 l/ha erhöht. Nach bisherigen Versuchsergebnissen kann der Ertragsverlust unter 10 % gehalten werden (vgl. Kapitel 2.4.2.3). Auf dieser Basis geht die FG unter der Annahme niederschlagsarmer Frühjahre von einem durchschnittlichen Ertragsverlust von 5 % aus. Im Worst-Case wird ein Minderertrag von 15 % und im Best-Case kein Ertragsverlust angenommen.

Später Aussaatzeitpunkt und Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme (A 4): Wie in Tabelle 9 dargestellt, führt die Kombination der Maßnahmen A 2 und A 3 zu einer Reduktion des PLI um 46 %.

Später Aussaatzeitpunkt und vollständiger Fungizidverzicht (A 5): Der vollständige Fungizidverzicht ist unter der Voraussetzung, konsequent gesunde Sorten anzubauen, eine weitere Möglichkeit, den PLI zu senken (vgl. Kapitel 2.4.1). Vor diesem Hintergrund wird ebenfalls ein kompletter Fungizidverzicht in Kombination mit einem späten Aussaatzeitpunkt (A 2) berücksichtigt. Ein vollständiger Fungizidverzicht wird nicht als Einzelmaßnahme betrachtet, da die Praktiker*innen aufgrund des hohen Ertragsausfallrisikos erst vollständig auf Fungizide verzichten würden, wenn trotz aller übrigen Maßnahmen ein weiterer Reduktionsbedarf besteht (FG, 2020 & 2021). Auf Basis der in Kapitel 2.4.2.3 und 2.4.2.4 beschriebenen Versuchsergebnisse zum Fungizidverzicht wird in Abstimmung mit der FG ein Ertragsverlust von 12,5 % angenommen. Als maximaler Ertragsverlust (Worst-Case) in Jahren mit hohem Infektionsdruck wird von 50 % ausgegangen. Im Best-Case, z.B. bei schlechten Infektionsbedingungen beträgt der unterstellte Minderertrag 5 %. Gegenüber der Ausgangssituation kann der PLI durch die Kombination beider Maßnahmen um 69 % gesenkt werden.

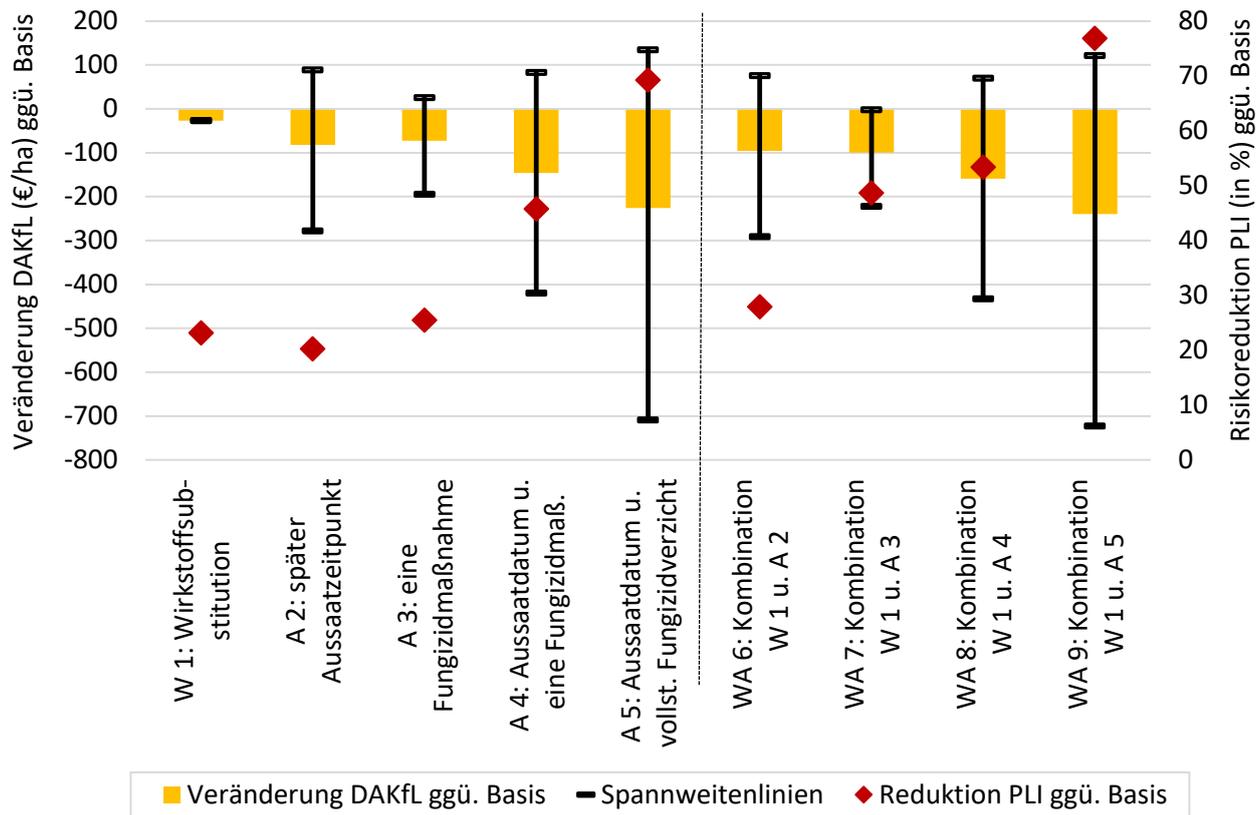
Kombination der Maßnahmen (WA 6-9): Hier wird die Wirkstoffsubstitution (W 1) mit den ackerbaulichen Maßnahmen A 2-5 kombiniert. Daraus ergeben sich PLI-Reduktionen von 28 % bis maximal 77 %.

Kosten der Anpassungsmaßnahmen

In Abbildung 18 sind die Veränderungen der DAKfL (in €/ha) sowie die Reduktion des PLI für die unterschiedlichen Anpassungsmaßnahmen dargestellt. Zwischen den einzelnen Maßnahmen sind Differenzen von bis zu 200 €/ha zu erwarten. Für Winterweizen nach Zuckerrüben lassen sich aus Abbildung 18 folgende Ergebnisse festhalten:

- Durch die Wirkstoffsubstitution kommt es bei einer PLI-Reduktion von 23 % zu einem Rückgang der DAKfL in Höhe von 27 €/ha. Grund dafür sind gesteigerte Pflanzenschutzmittelkosten.
- Während die PLI-Reduktion bei einem späteren Aussaatzeitpunkt (A 2) auf vergleichbarem Niveau mit der Wirkstoffsubstitution liegt, sind die Anpassungskosten mit 82 €/ha höher. Zwar können Herbizid- und Insektizidkosten sowie auch die Kosten der Arbeiterledigung gesenkt werden, dennoch reichen die Einsparungen nicht aus, um die geringere Marktleistung durch Ertragsverluste zu kompensieren.
- Die Beschränkung auf eine Fungizidbehandlung (A 3) führt zu Kosten von 73 €/ha bei einem PLI-Reduktionspotenzial von 25 %.
- Werden die Maßnahmen „späteres Aussaatdatum“ und „Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme“ kombiniert (A 4), kann der PLI um 46 % gesenkt werden. Jedoch sinkt die DAKfL um rund 145 €/ha. Gleichzeitig steigt auch die Spannweite zwischen Best- und Worst-Case an. Sie reicht von +83 bis zu -420 €/ha.
- Wird die Spätsaat in Verbindung mit einem vollständigen Fungizidverzicht (A 5) durchgeführt, sinkt die DAKfL um 226 €/ha. Bei einer DAKfL von 558 €/ha in der Ausgangssituation, entspräche die Veränderung einem Rückgang in Höhe von etwa 40 %. Während im Best-Case mit einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit um rund 140 €/ha zu rechnen ist, beträgt die Veränderung der DAKfL im Worst-Case mehr als 700 €/ha.
- Durch die Kombination von Wirkstoffkombination (W 1) und ackerbaulichen Anpassungen (A 2-A 5) kann der PLI um bis zu 77 % gegenüber der Ausgangssituation gesenkt werden. Durch die höheren Pflanzenschutzmittelkosten bei der Wirkstoffsubstitution sind die Verluste der DAKfL bei den Maßnahmen WA 6-9 gegenüber A 2-5 ebenfalls leicht erhöht.
- Dass mit steigender Risikoreduktion gleichzeitig auch das Ertrags- und damit auch das Erlösrisiko zunimmt, wird durch die Spannweitenlinien dargestellt. Sie zeigen an, dass bei der Maßnahme WA 9 bei einem Verlust von mehr als 700 €/ha die Direkt- und Arbeiterledigungskosten im Extremfall (Worst-Case) nicht mit den Erlösen gedeckt werden können.

Abbildung 18: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Winterweizen nach Zuckerrüben



* Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

Quelle: eigene Darstellung

Für das Ziel einer 25 %igen Reduktion des PLI ist bei Winterweizen nach Zuckerrüben durch die Wirkstoffsubstitution mit Kosten von 27 €/ha zu rechnen. Sofern nur ackerbauliche Maßnahmen ohne Wirkstoffsubstitution eingesetzt werden sollen, steigen die Kosten auf über 70 €/ha an. Soll der PLI hingegen um 50 % gesenkt werden, sind durch Wirkstoffsubstitution und reduzierte Fungizidintensität durchschnittliche Anpassungskosten von 97 €/ha zu erwarten. Während im Best-Case keine Kosten im Vergleich zur Ausgangssituation anfallen, betragen sie im Worst-Case bis zu 220 €/ha.

4.2.2.2 Stoppelweizen

Auf 10 % der Ackerfläche des Modellbetriebes wird Stoppelweizen oder Weizen nach Gerste angebaut (vgl. Kapitel 4.1.1). Daher ist in Tabelle 10 dargestellt, mit welchen Anpassungsmaßnahmen der PLI beim Anbau von Stoppelweizen verringert werden kann. Im Gegensatz zu Weizen nach anderen Vorfrüchten wird keine Spätsaat berücksichtigt, da bei Stoppelweizen nach Einschätzungen der Fokusgruppe eine ohnehin verzögerte Jugendentwicklung festzustellen ist. Nachfolgend werden die Maßnahmen beschrieben:

Tabelle 10: Überblick der Anpassungsoptionen für Stoppelweizen

Maßnahmenbezeichnung ¹	Ertragsverlust in % ²			Reduktion PLI in %
	Best Case /	Normal	/ Worst Case	
W 1 Wirkstoffsubstitution	0 /	0,0	/ 0	30
A 2 Insektizidreduktion	0 /	2,5	/ 5	6
A 3 Beschränkung auf eine Fungizidbehandlung	0 /	7,5	/ 20	37
A 4 Insektizid- und Fungizidreduktion	0 /	9,8	/ 24	44
A 5 Insektizidreduktion und vollständiger Fungizidverzicht	5 /	15,0	/ 50 ³	56
WA 6 Kombination W1 und A2	0 /	2,5	/ 5	36
WA 7 Kombination W1 und A3	0 /	7,5	/ 20	61
WA 8 Kombination W1 und A4	0 /	9,8	/ 24	67
WA 9 Kombination W1 und A5	5 /	15,0	/ 50	80

¹ W: Wirkstoffsubstitution, A: ackerbauliche Maßnahme, WA: Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen

² Der Ertragsverlust der kombinierten Maßnahmen setzt sich multiplikativ aus den Einzelmaßnahmen zusammen.

³ Angegebener Ertragsverlust beinhaltet noch keine Insektizidreduktion.

Quelle: eigene Darstellung

Wirkstoffsubstitution (W 1): Wie beim Rübenweizen wird ebenfalls der Wachstumsregler CCC 720 (0,7 l/ha) durch Prodx (0,5 l/ha) ersetzt. Gleichermaßen wird das Insektizid Karate Zeon (0,075 kg/ha) durch Teppeki substituiert. Dies führt zu einer Reduktion des PLI um rund 30 %, ohne dass eine Ertragswirkung zu erwarten ist.

Insektizidreduktion (A 2): Anders als bei Weizen nach Zuckerrüben werden bei Stoppelweizen in der Ausgangslage zwei Insektizidbehandlungen (mit voller Aufwandmenge für Herbst- und Frühjahrsmäßnahme) durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Dachbrodt-Saaydeh et al. (2018) ist an dieser Stelle ein allgemeines Reduktionspotenzial gegeben (vgl. Kapitel 2.4.2.5). Das Auftreten von Schädlingen wird in hohem Maße durch Jahreseffekte wie der Witterung und Temperaturen im Winter beeinflusst, sodass eine pauschale Aussage zum „notwendigen Maß“ im Voraus nicht möglich ist. Da der Virusbefall im Herbst in früh gedrillten Beständen meist ausgeprägter ist als bei Normal- oder Spätsaaten (Schwabe, 2018), wird bei Stoppelweizen angenommen, dass in zwei von drei Jahren auf eine Doppelanwendung verzichtet werden kann.

Bereits in Kapitel 2.4.2.5 wurde deutlich, dass nur wenige mehrjährige Versuche zur reduzierten Insektizidintensität im Weizen verfügbar sind. Aufgrund fehlender Versuchsergebnisse zur Ertragswirkung einer reduzierten Insektizidintensität im Weizen wird in Anlehnung an einen einjährigen Versuch von Wildenhayn et al. (1991) und mithilfe der Fokusgruppe ein durchschnittlicher Ertragsverlust in Höhe von 2,5 % im Normaljahr bzw. 5 % in der Worst-Case-Betrachtung angenommen. Durch die Maßnahme kann der PLI um 6 % im Vergleich zur Ausgangssituation reduziert werden.

Beschränkung auf eine Fungizidbehandlung (A 3): Wie bereits bei Winterweizen nach Zuckerrüben wird die dreigeteilte Fungizidbehandlung auf eine Maßnahme beschränkt. Während die erste Spritzung (EC 31/32) und die Abschlussbehandlung (EC 59/61) wegfallen, erfolgt eine Applikation in EC 39/49 mit Adexar. Gegenüber der Ausgangssituation wird die Aufwandmenge von 1,0 auf 1,4 l/ha gesteigert. Der PLI sinkt um rund 37 % im Vergleich zur Basis. In den in Kapitel 2.4.2.3 beschriebenen Versuchen zur Fungizidreduktion ergaben sich Ertragsverluste zwischen 3 und 11 %. Zwar wurde der Stoppelweizen zur Minderung des Infektionsdrucks nach einer wendenden Bodenbearbeitung gedreht, dennoch ist der Ertragsverlust nach Rücksprache mit Beratern und der FG durch die reduzierte Fungizidintensität mit 7,5 % höher als bei vergleichbarem Blattfruchtweizen (5 %). Während bei schlechten Infektionsbedingungen und geringem Schädlingsdruck ein Ertragsverlust von 2 % zu erwarten ist, kann dieser im Worst-Case bis zu 20 % betragen.

Insektizidreduktion und Beschränkung auf eine Fungizidbehandlung (A 4): Wie in Tabelle 10 dargestellt, setzt sich die Maßnahme aus Kombination der Einzelmaßnahmen A 2 und A 3 zusammen. Der PLI kann auf diese Weise um 44 % reduziert werden.

Insektizidreduktion und vollständiger Fungizidverzicht (A 5): Der vollständige Fungizidverzicht setzt den konsequenten Anbau gesunder Sorten voraus. Dennoch ist in Anlehnung an die Versuchsergebnisse aus Kapitel 2.4.2.3 und 2.4.2.4 sowie Einschätzungen der FG mit einem mittleren Ertragsverlust von 15 % zu rechnen. Dieser ist im Vergleich zu Weizen nach Blattfrüchten um weitere 2,5 % erhöht. Ein plötzlich stark auftretendes Infektionsgeschehen kann hohen Schaden im Bestand verursachen, sodass Ertragsausfälle von bis zu 50 % zu erwarten sind (vgl. Kapitel 2.4.2.4). Dieser Verlauf wird im Worst-Case berücksichtigt. In Jahren mit äußerst geringem Infektionsdruck, in denen also keine Behandlungswürdigkeit gegeben ist, wird ein Minderertrag in Höhe von 5 % angenommen. Die verringerte Insektizidintensität aus Maßnahme A 2 bleibt erhalten, sodass sich insgesamt Mindererträge von 20 % im Normaljahr, 50 % im Worst-Case und 5 % im Best-Case ableiten lassen.

Kombination der Maßnahmen (WA 6-9): In den Maßnahmen WA 6-9 wird die Wirkstoffsubstitution (W1) mit ackerbaulichen Maßnahmen (A 2-5) kombiniert. Der PLI kann dadurch im Vergleich zur Ausgangssituation zwischen 36 bis maximal 80 % gesenkt werden.

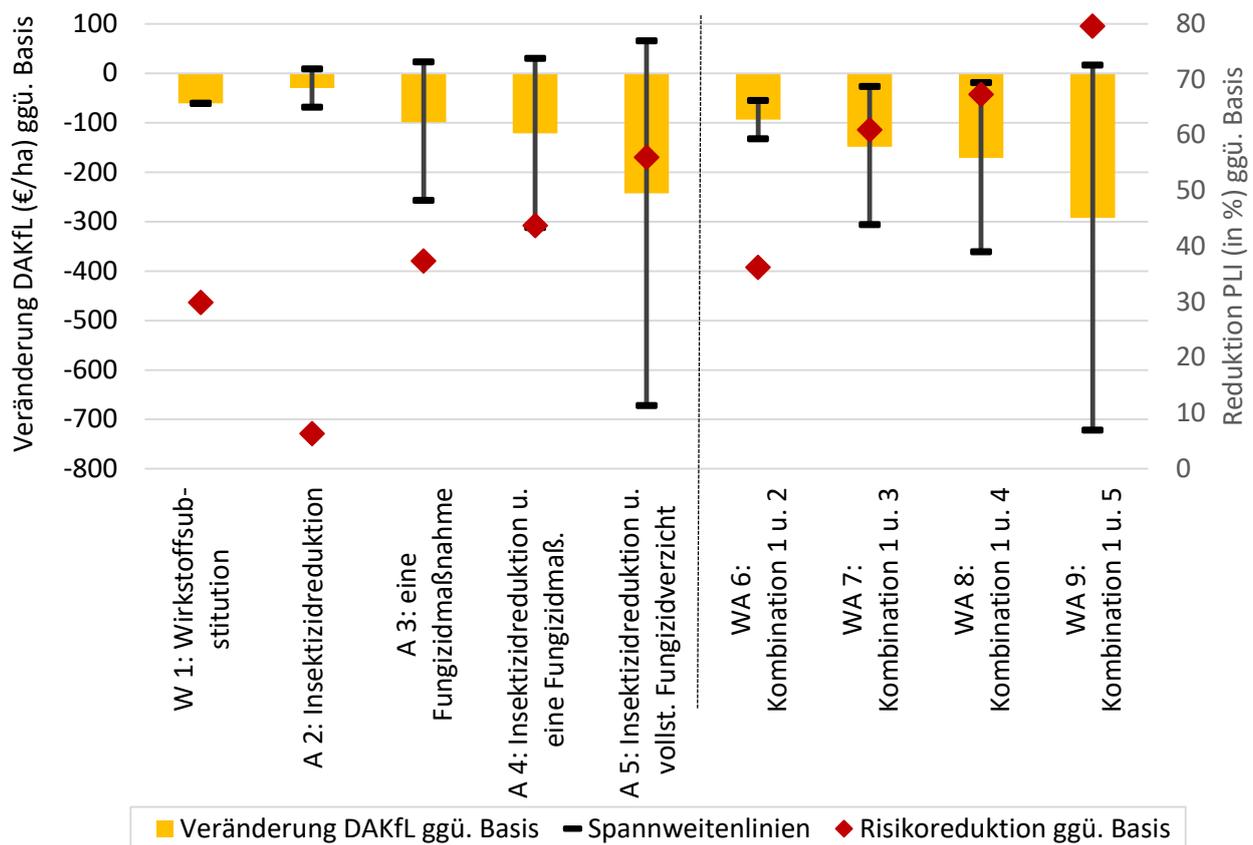
Kosten der Anpassungsoptionen

Die Veränderungen der DAKfL (in €/ha) sowie die Reduktion des PLI für die unterschiedlichen Anpassungsmaßnahmen sind in Abbildung 19 dargestellt. Zwischen den einzelnen Maßnahmen ergeben sich Differenzen von bis zu 200 €/ha. Wie auch bei anderen Kulturen sinkt die Wirtschaftlichkeit des Anbaus je nach Reduktionsniveau des PLI zum Teil erheblich. Folgende Kernaussagen lassen sich aus Abbildung 19 hinsichtlich der Kosten einer PLI-Reduktion in Stoppelweizen ableiten:

- Stoppelweizen muss im Vergleich zu Winterweizen nach Zuckerrüben durch das frühere Ausaatdatum intensiver mit Wachstumsregulatoren behandelt werden. Durch die Substitution von CCC 720 mit dem teureren Wachstumsregler Prodax steigen in Maßnahme W 1 die Anpassungskosten auf 61 €/ha.

- Durch die Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme (A 3) sinkt die DAKfL um 99 €/ha. Die Spannweite reicht unterdessen von +23 im Best- bis hin zu -257 €/ha im Worst-Case.
- Beim vollständigen Fungizidverzicht in Maßnahme A 5 in Kombination mit einer reduzierten Insektizidintensität steigen die Kosten deutlich an: In diesem Fall ist ein mittlerer Verlust von 243 €/ha zu erwarten, was nahezu einer Halbierung der DAKfL entspricht. In Extremjahren sind Veränderungen der DAKfL von +66 bis zu -672 €/ha möglich.
- Durch die negative Veränderung der DAKfL bei der alleinigen Wirkstoffsubstitution (W 1) führt auch die Kombination mit ackerbaulichen Anpassungen (A 2-5) zu einem weiteren Verlust der Wirtschaftlichkeit. Gleichzeitig steigt das Potenzial zur PLI-Senkung auf bis zu 80 % im Vergleich zur Basis an.

Abbildung 19: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Stoppelweizen



* Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

Quelle: eigene Darstellung

Eine PLI-Reduktion um 25 % kann beim Anbau von Stoppelweizen am günstigsten durch die alleinige Wirkstoffsubstitution zu Kosten von 61 €/ha erreicht werden. Soll die Reduktion jedoch ausschließlich über ackerbauliche Maßnahmen realisiert werden entstehen Kosten von rund 100 €/ha durch die Maßnahme A 3. Soll der PLI hingegen halbiert werden, entstehen Kosten von bis zu 148 €/ha. Dies ist durch eine Wirkstoffsubstitution in Kombination mit einem verringerten Fungizideinsatz möglich (WA 7). Die Spannweite der Veränderung gegenüber der Basis beträgt zwischen

-27 bis maximal -306 €/ha. Sofern nur ackerbauliche Maßnahmen berücksichtigt werden sollen, steigen die Kosten durch die Maßnahme A 5 für eine mindestens 50%ige PLI-Reduktion auf rund 240 €/ha an.

4.2.2.3 Winterweizen nach Winterraps

In Tabelle 11 sind die erarbeiteten Maßnahmen mit den jeweiligen PLI-Reduktionspotenzial übersichtsartig dargestellt und werden nachfolgend beschrieben:

Tabelle 11: Überblick der Anpassungsoptionen für Winterweizen nach Winterraps

Maßnahmenbezeichnung ¹		Ertragsverlust in % ²			Reduktion PLI in %
		Best Case	Normal	Worst Case	
W 1	Wirkstoffsubstitution	0	0,0	0,0	27
A 2	Glyphosatverzicht	0	0,0	2,5	10
A 3	Später Aussaatzeitpunkt	0	5,0	10,0	11
A 4	Beschränkung auf eine Fungizidbehandlung	0	5,0	15,0	23
A 5	Glyphosatverzicht und späte Saatzeit	0	5,0	12,3	21
A 6	Glyphosatverzicht und Fungizidreduktion	0	5,0	17,1	33
A 7	Glyphosatverzicht, späte Saatzeit und Fungizidreduktion	0	9,8	25,4	44
A 8	Kombination A 5 und vollständiger Fungizidverzicht	5	12,5	50,0	55
WA 9	Kombination aus W1 und A2	0	0,0	2,5	37
WA 10	Kombination aus W1 und A3	0	5,0	10,0	37
WA 11	Kombination aus W1 und A4	0	5,0	15,0	50
WA 12	Kombination aus W1 und A5	0	5,0	12,3	47
WA 13	Kombination aus W1 und A6	0	5,0	17,1	60
WA 14	Kombination aus W1 und A7	0	9,8	25,4	70
WA 15	Kombination aus W1 und A8	5	12,5	50,0	82

¹ W: Wirkstoffsubstitution, A: ackerbauliche Maßnahme, WA: Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen

² Der Ertragsverlust der kombinierten Maßnahmen setzt sich multiplikativ aus den Einzelmaßnahmen zusammen.

Quelle: eigene Darstellung

Wirkstoffsubstitution (W 1): Bei der Substitution höher toxischer Wirkstoffe wird der Wachstumsregler CCC 720 (0,7 & 0,5 l/ha) durch die Anwendung von Prodax (0,5 l/ha), sowie Medax Top (0,5 l/ha) ersetzt. Gleichermaßen wird das Insektizid Karate Zeon (0,075 kg/ha) durch Teppeki substituiert. Der Ertrag bleibt von der Wirkstoffsubstitution unverändert. Die damit einhergehende Risikoeinsparung gegenüber dem Basisszenario beträgt 27 %.

Glyphosatverzicht (A 2): Der Einsatz des glyphosathaltigen Totalherbizids Taifun Forte (3,0 l/ha) zur Sikkation des Ausfallrapses kann durch mechanische Bodenbearbeitung ersetzt werden. Die FG geht davon aus, dass zwei Überfahrten mit einem Leichtgrubber einen vergleichbaren Wirkungserfolg erzielen können und im Normaljahr keine Ertragsminderung zur Folge haben (FG, 2020 & 2021). Allerdings ist die Glyphosatanwendung unter sehr feuchten sowie trockenen Bedingungen vorteilhaft. Die Ursache ist, dass die Befahrbarkeit mit Bodenbearbeitungsgeräten in nassen Jahren häufiger eingeschränkt ist und in trockenen Jahren der zusätzliche Wasserverlust durch eine intensivere Bodenbearbeitung das Ertragspotential begrenzt. Vor diesem Hintergrund rechnet die FG unter ungünstigen Bedingungen mit Ertragsverlusten von 2,5 %. Dies deckt sich mit den Annahmen aus der Literatur von Schulte et al. (2016). Das PLI-Reduktionspotenzial gegenüber der Ausgangssituation beträgt 10 %.

Später Saatzeitpunkt (A 3): Während die Aussaat von Winterweizen nach Raps in der Ausgangssituation zwischen Ende September und Anfang Oktober erfolgt, wird der Saatzeitpunkt auf Mitte Oktober geschoben. Durch die verzögerte Aussaat können in Kombination mit der zweifachen mechanischen Bearbeitung mehr Ungräser vor der Saat zum Keimen angeregt werden, sodass weniger Samen nach der Aussaat im Herbst und Frühjahr auflaufen. Die Herbstbehandlung sichert hohe Wirkungsgrade, sodass auf eine Gräserbehandlung im Frühjahr mit Atlantis Flex unter der Voraussetzung von geringem Ackerfuchsschwanzdruck verzichtet werden kann. Je nach Witterung kann auch ein Verzicht im Herbst sinnvoll sein, der durch eine Maßnahme im Frühjahr ersetzt wird. Die spätere Aussaat des Weizens reduziert das Infektionsrisiko von Virusvektoren im Herbst zusätzlich, sodass im Durchschnitt der Jahre eine Insektizidmaßnahme (im Frühjahr oder Herbst) anstelle einer Doppelbehandlung ausreichend ist. Während der Saatzeiteffekt zwischen Früh- und Normalssaat zu vernachlässigen ist (vgl. Kapitel 2.4.1), geht die Fokusgruppe für die reduzierte Herbizid- und Insektizidintensität aufgrund eines späteren Aussaattermins von Ertragsrückgängen von 5 % im Normaljahr bzw. von 10 % im Worst-Case und keiner Veränderung im Best-Case aus. Die Basis dieser Einschätzung sind die Kapitel 2.4.1 beschriebenen Versuchsergebnisse, in denen Ertragsverluste bis zu 10 % bei einer Novembraussaat festgestellt wurden. Der PLI kann durch diese Maßnahme um 11 % gesenkt werden.

Beschränkung auf eine Fungizidbehandlung (A 4): Neben der verringerten Herbizid- und Insektizidintensität kann auch der Fungizideinsatz reduziert werden. Dazu wird die dreimalige Behandlung auf eine Maßnahme in EC 39/49 reduziert. Gleichzeitig wird die Aufwandmenge von Asca Xpro für eine verlängerte Wirkdauer von 0,8 auf 1,0 l/ha erhöht. Die damit verbundenen Ertragsverluste werden in Anlehnung an die Ergebnisse in Kapitel 2.4.2.3 nach Rücksprache mit der Fokusgruppe mit einem durchschnittlichen Minderertrag von 5 % im Normaljahr beziffert. Während bei schlechten Infektionsbedingungen kein Ertragsverlust zu erwarten ist (Best-Case), kann er im Worst-Case auf bis zu 15 % ansteigen. Die Fungizidreduktion trägt dazu bei, den PLI um 23 % zu senken.

Glyphosatverzicht & später Saatzeitpunkt (A 5): Wie Tabelle 11 dargestellt, setzt sich die Maßnahme aus Kombination der Einzelmaßnahmen A 2 und A 3 zusammen. Der PLI kann auf diese Weise um 21 % reduziert werden.

Glyphosatverzicht & Reduktion Fungizide (A 6): Die Maßnahme setzt sich aus Kombination der Einzelmaßnahmen A 2 und A 4 zusammen. Der PLI kann auf diese Weise um 33 % reduziert werden.

Glyphosatverzicht, später Saatzeitpunkt & Reduktion Fungizide (A 7): Wie in Tabelle 11 dargestellt ist, setzt sich die Maßnahme aus Kombination der Einzelmaßnahmen A 2, A 3 und A 4 zusammen. Der PLI kann auf diese Weise um 44 % reduziert werden.

Glyphosatverzicht, später Saatzeitpunkt & vollständiger Fungizidverzicht (A 8): In dem Szenario wird ein vollständiger Fungizidverzicht unterstellt. Wie bereits in Kapitel 2.4.2.4 dargelegt wurde, ist im Normaljahr mit einem Minderertrag in Höhe von 12,5 % gegenüber der Basis zu rechnen. Nach Einschätzung der Fokusgruppe ist in Abhängigkeit der Infektionsbedingungen eine Spannweite zwischen 5 und maximal 50 % zu erwarten. In Verbindung mit dem Glyphosatverzicht und dem späten Saatzeitpunkt kann eine PLI-Senkung von 55 % erzielt werden.

Kombination der Maßnahmen (WA 9-15): In den Maßnahmen WA 9 - 15 wird die Wirkstoffsubstitution (W 1) mit den ackerbaulichen Maßnahmen (A 2-8) kombiniert. Der PLI kann dadurch im Vergleich zur Ausgangssituation zwischen 37 % bis maximal 82 % gesenkt werden.

Kosten der Anpassungsoptionen

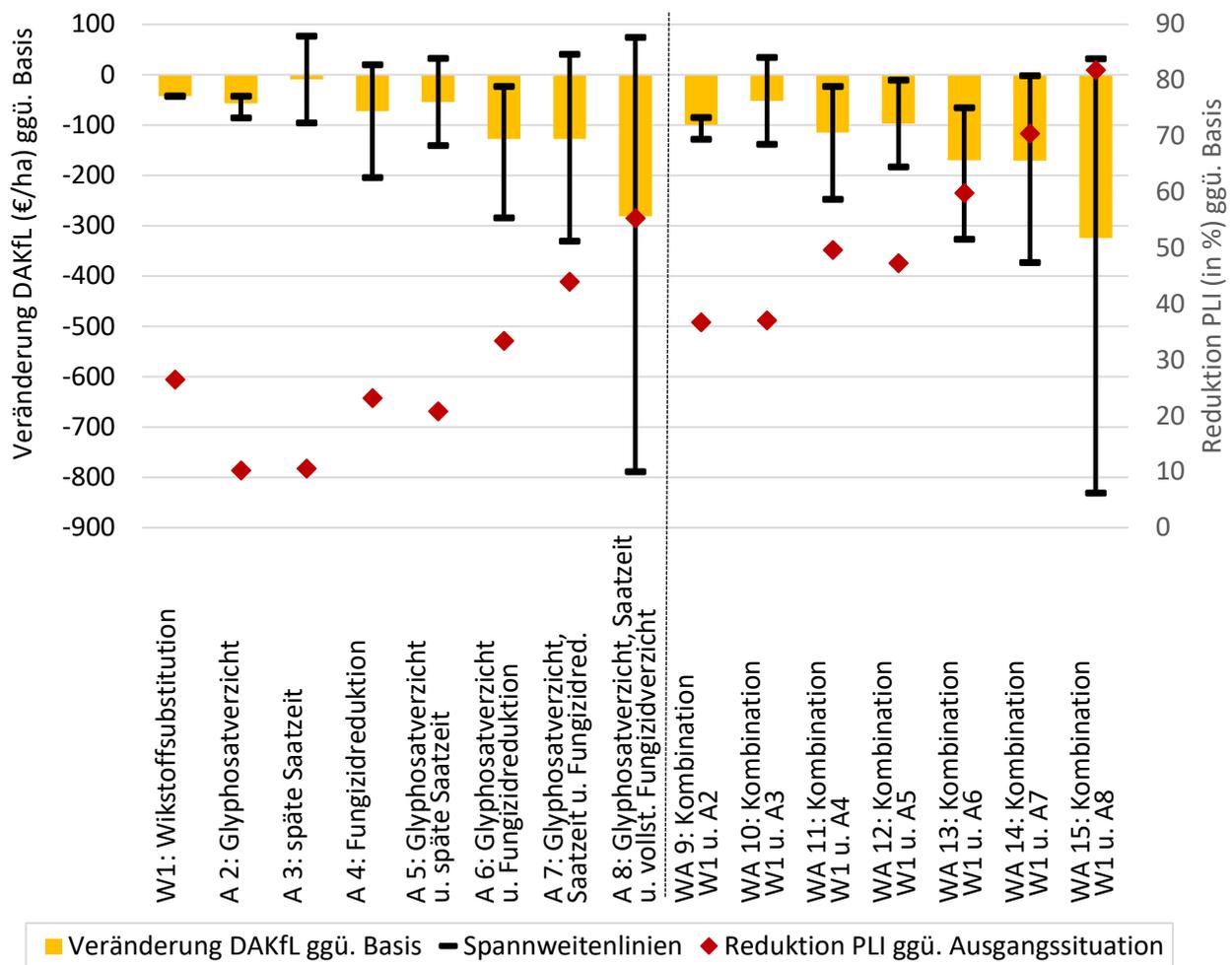
In Abbildung 20 sind die Kosten der betrachteten Maßnahmen zur PLI-Reduktion für Winterweizen nach Raps dargestellt. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

- Ähnlich wie bei Rüben- oder Stoppelweizen führt die Wirkstoffsubstitution zu Kosten von 43 €/ha und einer Verringerung des PLI um 26 %.
- Ein Glyphosatverzicht (A 2) führt neben dem geringfügigen Erlösrückgang (-14 €/ha) zu steigenden Arbeiterledigungskosten durch die mechanische Bodenbearbeitung und somit zu einem Verlust der DAKfL in Höhe von durchschnittlich 57 €/ha. Den eingesparten Pflanzenschutzmittelkosten (12 €/ha) kommt dabei nur eine untergeordnete Bedeutung zu.
- Wird der Saatzeitpunkt auf Mitte Oktober verschoben (A 3), ist bei Weizen nach einer Blattfrucht nur mit geringen Einbußen der Marktleistung (-85 €/ha) zu rechnen. Aufgrund der späteren Bodenbearbeitung vor der Aussaat laufen danach weniger Ungrassamen auf, sodass ein reduzierter Herbizideinsatz möglich wird. In der Folge sinken die Herbizidkosten um rund 50 €/ha sowie die Nährstoffkosten in Folge des Minderertrags um etwa 15 €/ha. Zusammen mit den rückläufigen Arbeiterledigungskosten um 20 €/ha kann der Wirtschaftlichkeitsverlust auf durchschnittlich 9 €/ha begrenzt werden.
- Eine einmalige Fungizidbehandlung (A 4), führt getrieben durch die Ertragsverluste zu Kosten von 72 €/ha. Im Worst-Case entstehen Kosten von mehr als 200 €/ha, während die DAKfL im Best-Case um 20 €/ha ansteigt.
- Durch die Kombination von Glyphosatverzicht, späterer Saatzeit und vollständigem Fungizidverzicht kann der PLI um 55 % gesenkt werden. Dies führt jedoch zu Kosten von durchschnittlich 280 €/ha, was deutlich höher ist als bei den vorherigen Maßnahmen. Im Worst-Case entstehen

sogar Kosten von 800 €/ha, sodass in diesem Fall keine positive DAKfL mehr erwirtschaftet werden kann.

- Die Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen erhöht einerseits das PLI-Reduktionspotenzial, andererseits steigt auch der Verlust der DAKfL weiter an. Die durchschnittlichen Anpassungskosten liegen zwischen ca. 50 und 325 €/ha, bei einer PLI-Senkung von bis zu 82 %.

Abbildung 20: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Winterweizen nach Wintertraps



* Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

Quelle: eigene Darstellung

Wie bereits beim Rügen- und Stoppelweizen kann auch beim Rapsweizen eine PLI-Reduktion von 25 % mit Kosten von 43 €/ha am günstigsten durch eine Wirkstoffsubstitution realisiert werden. Bei rein ackerbaulichen Maßnahmen sind Kosten von 72 €/ha zu erwarten (A 4). Soll der PLI hingegen um 50 % vermindert werden, sind durch die kombinierte Wirkstoffsubstitution mit einer Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme mit Anpassungskosten von 115 €/ha zu rechnen. Während die Anpassungskosten im Best-Case mit 23 €/ha gering sind, fallen im Worst-Case Kosten von etwa 250 €/ha an. Wird auf die Wirkstoffsubstitution verzichtet, wären durch die Maßnahme A 8 durchschnittliche Anpassungskosten in Höhe von 280 €/ha zu erwarten.

4.2.2.4 Winterweizen nach Silo- und Körnermais

Nachfolgend werden zunächst relevante Unterschiede zwischen dem Weizenanbau nach der Vorfrucht Silo- bzw. Körnermais herausgearbeitet. Dies ist notwendig, da, wie noch in Kapitel 4.3 deutlich werden wird, die Substitution von Silomais durch Körnermais in der Fruchtfolge eine gesamtbetriebliche Anpassungsmaßnahme sein kann. Wird Winterweizen nach Körnermais angebaut, ergeben sich im Vergleich zur Vorfrucht Silomais einige produktionstechnische Veränderungen, die nachfolgend aufgeführt werden:

- Um die große Masse an Maisstroh in den Boden einzuarbeiten, ist gegenüber Silomais eine zusätzliche Bodenbearbeitung notwendig. In niederschlagsreichen Jahren erfordert dies eine wendende Bodenbearbeitung.
- Je nach Witterungslage kann die Aussaat erst Anfang bzw. Mitte November erfolgen. Das spätere Aussaatdatum und die damit einhergehend kürzere Restvegetationszeit führt zu einem Ertragsverlust in der Größenordnung von 10 dt/ha (LWK Niedersachsen, 2019a). In äußerst niederschlagsreichen Jahren kann möglicherweise kein Weizen mehr bestellt werden, sodass auf den Anbau einer Sommerung wie Silomais ausgewichen werden muss.
- Durch den späteren Aussaatzeitpunkt werden im Herbst nur noch wenige Ungräser zum Auflaufen angeregt, sodass die Herbizidmaßnahme im Herbst entfällt.

Tabelle 12: Überblick der Anpassungsoptionen für Winterweizen nach Silo- und Körnermais

Maßnahmenbezeichnung ¹	Ertragsverlust in % ²			Reduktion PLI in %
	Best Case	Normal	Worst Case	
Winterweizen nach Silomais				
W 1 Wirkstoffsubstitution	0	0,0	0,0	25
A 2 Reduktion Insektizide	0	2,5	5,0	17
A 3 Reduktion Fungizide	0	5,0	15,0	19
A 4 Reduktion Insektizide und Fungizide	0	7,4	19,3	36
WA 5 Kombination aus W1 und A2	0	2,5	5,0	25
WA 6 Kombination aus W1 und A3	0	5,0	15,0	44
WA 7 Kombination aus W1 und A4	0	7,4	19,3	44
Winterweizen nach Körnermais				
W 8 bis WA 14: Die Maßnahmen sind identisch zu Winterweizen nach Silomais. Die PLI-Reduktion ist jeweils um 11 % erhöht.				

¹ W: Wirkstoffsubstitution, A: ackerbauliche Maßnahme, WA: Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen

² Der Ertragsverlust der kombinierten Maßnahmen setzt sich multiplikativ aus den Einzelmaßnahmen zusammen.

Quelle: eigene Darstellung

Die diskutierten Maßnahmen zur Reduktion des PLI sind in Tabelle 12 übersichtsartig dargestellt und werden nachfolgend beschrieben:

Wirkstoffsubstitution (W 1): Bei der Substitution höher toxischer Wirkstoffe wird der Wachstumsregler CCC 720 (0,7 l/ha) durch die Anwendung von Proxax (0,5 l/ha) ersetzt. Bei den Insektiziden wird Karate Zeon (0,075 kg/ha) durch Teppeki (0,12 l/ha) substituiert. Der Ertrag bleibt von der Wirkstoffsubstitution unverändert. Die damit einhergehende PLI Reduktion beträgt rund 25 %.

Reduktion Insektizide (A 2): Wie bereits bei Weizen nach anderen Vorfrüchten wird der Insektizideinsatz anstelle einer Zweifachbehandlung auf eine Frühjahrs- oder Herbstbehandlung reduziert, wodurch der PLI um 17 % sinkt (vgl. Kapitel 4.2.2.2). Als Ertragsverlust wird wie bei Stoppelweizen von 2,5 % im Normaljahr bzw. 5 % im Worst-Case ausgegangen.

Reduktion Fungizide (A 3): Während Maisweizen in der Ausgangssituation dreimal mit Fungiziden behandelt wird, wurde als Alternative eine extensivere Zweifachbehandlung mit 1,0 l/ha Elatus Era + 0,33 l/ha Sympara in EC 39/49 in der FG diskutiert. Da die Gefahr durch Ährenfusariosen bei Weizen nach Vorfrucht Mais besonders groß ist (LWK Niedersachsen, 2020a), kann die Fungizidintensität aus Sicht der FG nur gesenkt werden, wenn zuvor eine wendende Bodenbearbeitung durchgeführt wird. Eine zusätzliche Saatbettbereitung ist nicht erforderlich. Zwar kann das Pflügen hohen Ertragsverlusten entgegenwirken, jedoch können sie nicht vollständig kompensiert werden. Während unter günstigen Bedingungen kein Minderertrag entsteht, geht die FG im Normaljahr von Ertragsverlusten in Höhe von 5 % bzw. im Worst-Case von 15 % aus. Die damit einhergehende Reduktion des PLI beträgt rund 19 % im Vergleich zur Ausgangssituation.

Reduktion Insektizide & Fungizide (A 4): Wie in Tabelle 12 dargestellt, setzt sich die Maßnahme aus Kombination der Einzelmaßnahmen A 2 und A 3 zusammen. Der PLI kann auf diese Weise um 36 % reduziert werden.

Kombination der Maßnahmen (WA 5-7): In WA 5-7 werden die Maßnahmen aus W 1 (Wirkstoffsubstitution) mit A 2-4 (ackerbauliche Maßnahmen) kombiniert. Der PLI kann dadurch im Vergleich zur Ausgangssituation zwischen 25 bis maximal 44 % gesenkt werden.

Winterweizen nach Körnermais (W 8-WA 14): Durch den Anbau von Winterweizen nach Körnermais im Vergleich zu Silomaisweizen ist im späten Herbst keine Herbizidbehandlung notwendig, sodass der PLI um knapp 11 % sinkt. Ansonsten sind die Anpassungsmaßnahmen und Ertragseffekte identisch mit denen von Weizen nach Silomais (W 1-WA 7).

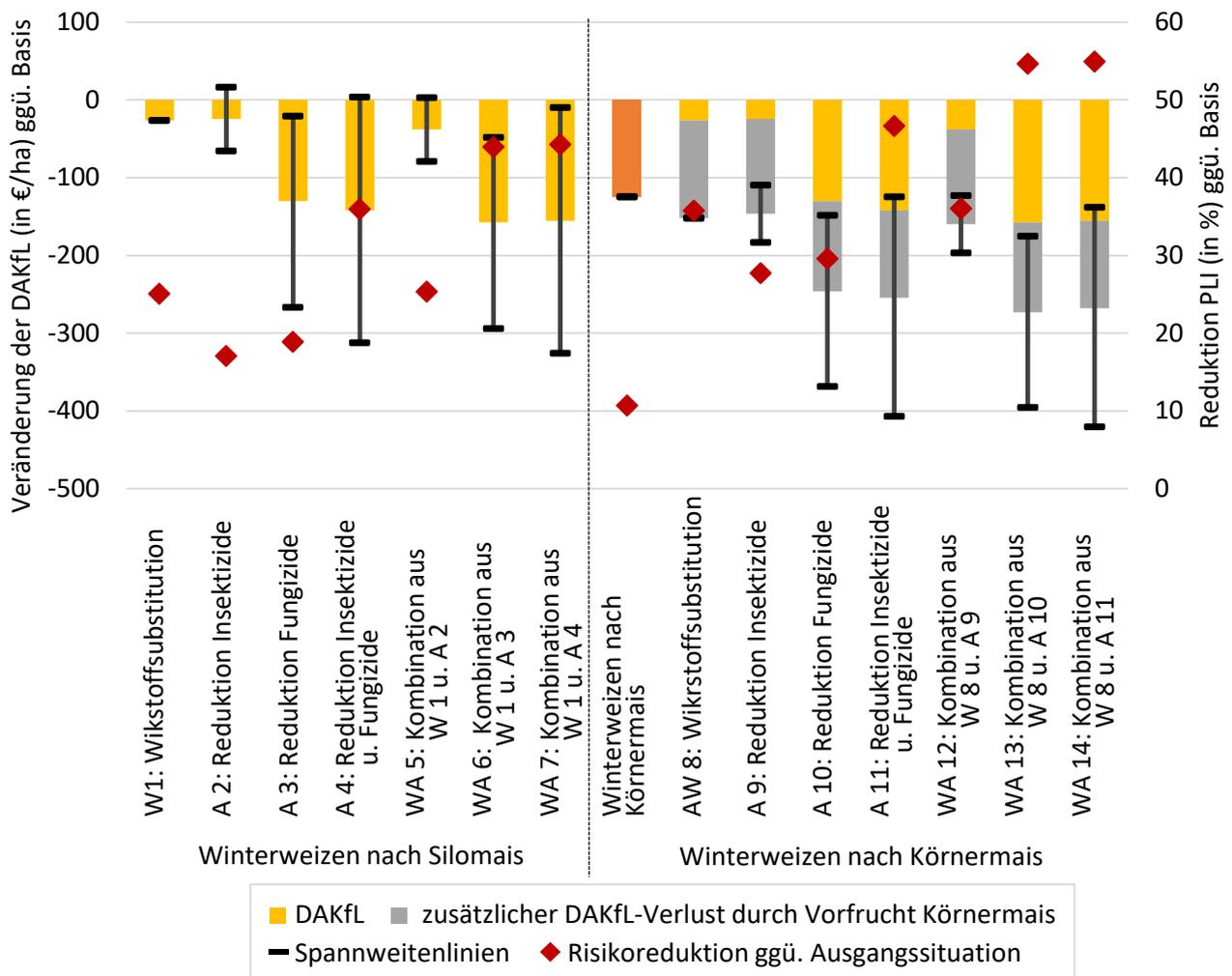
Kosten der Anpassungsmaßnahmen

In Abbildung 21 sind die Kosten der zuvor beschriebenen Anpassungsmaßnahmen dargestellt. Wie deutlich werden wird, unterscheidet sich die DAKfL von Winterweizen nach unterschiedlichen Mais-Vorfrüchten. Folgende Kernaussagen lassen sich aus der oben angesprochenen Abbildung

ableiten, in der die Anpassungsoptionen gegenüber Winterweizen nach Silomais in der Ausgangssituation dargestellt sind:

- Zunächst ist festzustellen, dass durch den Wechsel von der Vorfrucht Silo- auf Körnermais Kosten von 113 bis maximal 125 €/ha entstehen und eine zusätzliche PLI-Reduktion von 11 %-Punkten erreicht wird. Der Erlös von Winterweizen nach Körnermais ist gegenüber Winterweizen nach Silomais durch den Minderertrag um rund 170 €/ha reduziert. Gleichzeitig steigen die Arbeitserledigungskosten durch einen zusätzlichen Arbeitsgang zur Einarbeitung von Ernterückständen an. Einsparungen werden hingegen durch geringere Herbizid- und Düngemittelkosten erzielt. Infolgedessen sind die Anpassungskosten in allen untersuchten Maßnahmen erhöht und weisen eine Spannweite von durchschnittlich -125 bis -268 €/ha auf. Das Potenzial zur Senkung des PLI kann auf bis zu 55 % gesteigert werden. Da die Anpassungsmaßnahmen und Kosten von Winterweizen nach Körnermais ansonsten mit denen nach Silomais identisch sind, wird nachfolgend nur auf die Vorfrucht Silomais näher eingegangen.
- Die Substitution von Wirkstoffen mit einem hohen PLI durch solche mit einem geringeren PLI führt durch gesteigerte Kosten zu einem Verlust der DAKfL um 26 €/ha.
- Während die Insektizidreduktion (A 2) mit Kosten von 24 €/ha einhergeht, sind bei einer geringeren Fungizidintensität (A 3) Verluste von durchschnittlich 130 €/ha zu erwarten. Die PLI-Reduktion beider Maßnahmen ist hingegen mit 17 bzw. 19 % auf vergleichbarem Niveau. Ursachen für den vergleichsweise hohen Verlust an Wettbewerbsfähigkeit sind a) höhere durchschnittliche Erlösverluste und -schwankungen. Unter ungünstigen Bedingungen können diese im Einzeljahr 260 €/ha betragen, im Best-Case sind keine Verluste zu erwarten. Ebenso ist mit b) steigenden Arbeitserledigungskosten (ca. 50 €/ha), durch die Notwendigkeit einer wendenden Bodenbearbeitung bei geringer Fungizidintensität aufgrund des hohen Fusarium-Risikos nach dem Anbau von Mais zu rechnen.
- Durch die Kombination von Wirkstoffsubstitution (W 1) sowie einer Fungizid- und Insektizidreduktion (A 4) sinkt die durchschnittliche DAKfL um bis zu 155 €/ha. Dem steht eine PLI-Einsparung von 44 % gegenüber.

Abbildung 21: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Winterweizen nach Silo- und Körnermais



Quelle: eigene Darstellung

Eine PLI-Reduktion um 25 % kann bei Weizen nach Silomais mit 26 €/ha am kostengünstigsten durch eine Wirkstoffsubstitution (W 1) erreicht werden. Soll das Reduktionsziel ausschließlich durch ackerbauliche Maßnahmen realisiert werden, ist dies am günstigsten über eine kombinierte Insektizid- und Fungizidreduktion möglich. Dabei entstehen jedoch durchschnittliche Kosten von mehr als 130 €/ha. Soll ein Reduktionsziel von 50 % erreicht werden, ist mit Kosten von mehr als 150 €/ha zu rechnen. Hier ist jedoch die hohe Schwankung zwischen den Extremjahren zu berücksichtigen, sodass Veränderungen zwischen -10 und -326 €/ha auftreten können. Ohne die Wirkstoffsubstitution ist eine Halbierung nur schwer zu realisieren. Hinsichtlich der Anpassungskosten von Winterweizen nach Körnermais ist die Bezugsbasis entscheidend. Wird der Anbau mit Winterweizen nach Silomais verglichen, sind die Kosten bedeutend höher. Wenn der Indikator halbiert werden soll, fallen Kosten von rund 145 €/ha für eine PLI-Reduktion um 25 % bzw. 273 €/ha an.

4.2.3 Winterraps

Nachdem im vorherigen Kapitel Anpassungsmaßnahmen im Weizen analysiert wurden, werden nachfolgend Maßnahmen zur PLI-Reduktion im Raps erläutert. Hierfür sind in Tabelle 13 zunächst die betrachteten Maßnahmen zusammengefasst. Folgende Maßnahmen wurden dabei berücksichtigt:

Tabelle 13: Überblick der Anpassungsoptionen für Winterraps

Maßnahmenbezeichnung ¹	Ertragsverlust in % ²			Reduktion PLI in %
	Best Case	Normal	Worst Case	
		/	/	
W 1 Wirkstoffsubstitution	0	0,0	0,0	24
A 2 Verzicht auf Blütenbehandlung	0	6,0	12,0	17
A 3 Reduktion Wachstumsregler	0	2,0	5,0	1
A 4 Reduktion Insektizide	0	5,0	12,0	19
A 5 Verzicht Blütenbehandlung und Reduktion Insektizide	0	10,7	22,6	37
A 6 (Teil-) mechanische UKB	0	0,0	10,0	28
A 7 Verzicht Blütenbehandlung und (teil-) mechanische UKB	0	6,0	20,8	46
A 8 Reduktion Insektizide und (teil-) mechanische UKB	0	5,0	20,8	47
A 9 Verzicht Blütenbehandlung, Reduktion Insektizide und (teil-) mechanische UKB	0	10,7	30,3	65
WA 10 Kombination aus W1 und A2	0	6,0	12,0	41
WA 11 Kombination aus W1 und A3	0	2,0	5,0	42
WA 12 Kombination aus W1 und A4	0	5,0	12,0	42
WA 13 Kombination aus W1 und A5	0	10,7	22,6	61
WA 14 Kombination aus W1 und A6	0	0,0	10,0	38
WA 15 Kombination aus W1 und A7	0	6,0	20,8	56
WA 16 Kombination aus W1 und A8	0	5,0	20,8	56
WA 17 Kombination aus W1 und A9	0	10,7	30,3	75

¹ W: Wirkstoffsubstitution, A: ackerbauliche Maßnahme, WA: Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen

² Der Ertragsverlust der kombinierten Maßnahmen setzt sich multiplikativ aus den Einzelmaßnahmen zusammen.

Quelle: eigene Darstellung

Wirkstoffsubstitution (W 1): Das Herbizid Fox (Wirkstoff Bifenox) zur Nachbehandlung gegen Unkräuter wird durch Runway (Wirkstoffe Aminopyralid, Picloram, Clopyralid) ersetzt, das ebenfalls ein breites Wirkspektrum gegen die regional bedeutenden Leitunkräuter besitzt. Lediglich bei Ehrenpreis und Taubnessel ist die Wirkung eingeschränkt. Aufgrund der regional geringen Verbreitung geht die FG jedoch nicht von einer negativen Ertragswirkung aus. Dies führt zu einer PLI-Reduktion von 1,52 auf 0,58 Einheiten. Weiterhin kann das Insektizid Bulldock (0,3 l/ha) (beta-Cyfluthrin) durch Lambda WG (0,15 l/ha) (lambda-Cyhalothrin) substituiert werden. Dies führt zu

einer ertragsneutralen Reduktion des PLI von 1,31 auf 0,64 Einheiten, sodass der PLI in Summe um 24 % sinkt⁷³.

Verzicht auf Blütenbehandlung (A 2): Wie in Kapitel 2.4.2.3 beschrieben, wird die Blütenbehandlung im Raps kritisch diskutiert, da ein ökonomischer Nutzen nicht immer gegeben ist. In Anlehnung an Versuchsergebnisse in den Regionen Northeim und Hannover ist bei Verzicht auf eine Blütenspritzung in diesem Szenario von einem mittleren Ertragsverlust in Höhe von 6 % auszugehen. In niederschlagsreicheren Jahren mit einem dementsprechend höheren Sklerotinia-Infektionsdruck (Worst-Case) wird ein Ertragsabschlag von bis zu 12 % berücksichtigt, im Best-Case hat der Verzicht keine negative Ertragswirkung. Der PLI kann bei Verzicht um 17 % gesenkt werden.

Reduktion Wachstumsregler (A 3): Wachstumsregler haben im Herbst und Frühjahr neben der untergeordneten Wirkung gegen Pilzinfektionen maßgeblich die Aufgabe den Bestand einzukürzen (vgl. Kapitel 2.4.2.3). Aufgrund des hohen monetären Risikos einer Auswinterung und des geringen Reduktionspotenzials des PLI bei einem vollständigen Wachstumsreglerverzicht (1 % gegenüber A 2), würden die Landwirt*innen in der Fokusgruppe nicht auf eine Herbstbehandlung (0,5 l/ha Carax) verzichten. Stattdessen könnte auf die Frühjahrsbehandlung mit Carax (0,6 l/ha) verzichtet werden, da die Ertragsrisiken in diesem Fall weitaus geringer sind. In Anlehnung an bisherige Versuchsergebnisse (vgl. Kapitel 2.4.2.3) geht die Fokusgruppe von einem durchschnittlichen Minderertrag von 2 % aus. Während es unter günstigen Bedingungen zu keinen Ertragsverlusten kommt, geht die FG für das Worst-Case Szenario von einem Ertragsverlust von 5 % aus. Der PLI kann geringfügig um 1 % zur Referenz gesenkt werden.

Reduktion Insektizide (A 4): Wie aus Abbildung 15 (Kapitel 4.1.2.) hervorgeht, wird der PLI beim Winterrapsanbau durch den Einsatz von Insektiziden dominiert. Da das Schädlingsaufkommen von einer Vielzahl an Umweltfaktoren abhängig ist und von Jahr zu Jahr stark variiert, hält die FG einen pauschalen und im Voraus festgelegten Maßnahmenverzicht für nicht zielführend. Stattdessen würde sie situationsangepasst versuchen, den BI von 5,0 auf 3,0 Einheiten⁷⁴ zu verringern. Da die Phyrethoide Karate Zeon und Lambda WG aus dem Wirkstoff „lambda-Cyhalothrin“ bestehen und dementsprechend bei voller Aufwandmenge den identischen PLI je Hektar haben, wird angenommen, dass auf zwei Anwendungen verzichtet wird. Zu einer derartigen Insektizidreduktion existieren jedoch keine Versuchsergebnisse, sodass hinsichtlich der Ertragseffekte auf Einzelversuche und Experteneinschätzungen zurückgegriffen werden muss. In Abstimmung mit der FG wird von einem durchschnittlichen Ertragsverlust von 5 % bzw. 12 % im Worst-Case ausgegangen. Dies entspricht den Größenordnungen aus bisherigen Versuchen der LWK Niedersachsen (2018) sowie von Gerowitt und Wildenhayn (1997) (vgl. Kapitel 2.4.2.5). Der PLI kann auf diese Weise um 18 % verringert werden.

⁷³ Bedingt durch die auslaufende Zulassung des Insektizids Biscaya aus der Wirkstoffgruppe Neonicotinoide mit einem Anwendungsverbot ab dem 03.02.2021 wird das Mittel in allen Szenarien durch Mavrik Vita (0,2 l/ha) ersetzt.

⁷⁴ Der BI im Netz „Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ im Durchschnitt der Jahre 2007 - 2016 der Region Nord betrug 2,9.

Verzicht der Blütenbehandlung & Reduktion Insektizide (A 5): In diesem Szenario wird der Verzicht der Blütenbehandlung (A 2) mit den verringerten Insektizidmaßnahmen (A 4) kombiniert, wodurch der PLI um 37 % gesenkt wird.

(teil-)mechanische UKB (A 6): Da Winterraps als Reihenkultur geführt werden kann, ist neben der chemischen - auch eine mechanische Unkrautbekämpfung möglich (Wahmhoff, 2000). Hierfür eignet sich ebenfalls das Hacke-Bandspritze-Verfahren (vgl. Kapitel 4.2.1). Damit das Hacken der jungen Rapsbestände im Herbst möglich ist, darf der Anteil an Ernteresten auf der Bodenoberfläche nicht zu hoch sein, da sonst die Hackwerkzeuge verstopfen. Durch das kurze Zeitfenster zwischen Getreideernte und Rapsaussaat kann das gehäckselte Getreidestroh bei einer pfluglosen Bestellung von den Bodenorganismen nicht ausreichend abgebaut werden, sodass die Bestellung nach einer wendenden Bodenbearbeitung mit dem Pflug erfolgen muss. Nach einer Saatbettbereitung wird der Winterraps mit einer Einzelkornsämaschine mit einem Reihenabstand von 45 cm gelegt. Das Hacken und Bandspritzen erfolgt wie bei den Zuckerrüben 18-reihig. Durch die Einzelkornablage kann die Saatgutmenge um 25 % gesenkt werden (FG, 2020 & 2021). Im Herbst werden zwei Überfahrten im Hacke-Bandspritz-Verfahren und im Frühjahr eine Soloüberfahrt mit der Hacke angestrebt. In Anlehnung an bisherige Versuchsergebnisse wird im Mittel kein negativer Ertragseffekt durch die mechanische Unkrautbekämpfung erwartet. Unter ungünstigen Bedingungen geht die FG von einem Ertragsverlust von 10 % aus. Dies entspricht den Erfahrungen bisheriger Versuche (LWK Niedersachsen, 2019a). Der PLI kann durch die (teil-)mechanische Unkrautbekämpfung um 28 % reduziert werden.

Verzicht Blütenbehandlung & (teil-)mechanische UKB (A 7): Die Maßnahme setzt sich aus Kombination der Einzelmaßnahmen A 2 und A 6 zusammen. Der PLI kann auf diese Weise um 46 % reduziert werden.

Reduktion Insektizide & (teil-)mechanische UKB (A 8): Wenn die geringere Insektizidintensität und die (teil-)mechanische UKB (A 3 und A 6) kombiniert werden, kann der PLI um 47 % reduziert werden.

Verzicht Blütenbehandlung, Reduktion Insektizide & (teil-)mechanische UKB (A 9): Wird in Ergänzung zur vorherigen Maßnahme zusätzlich auf die Blütenbehandlung mit Cantus Gold verzichtet, kann der PLI um 65 % reduziert werden.

Kombination der Maßnahmen (WA 10-17): Durch die Kombination aus Wirkstoffsubstitution (W 1) und ackerbauliche Maßnahmen (A 2-A 9) kann der PLI um 41 bis maximal 75 % reduziert werden.

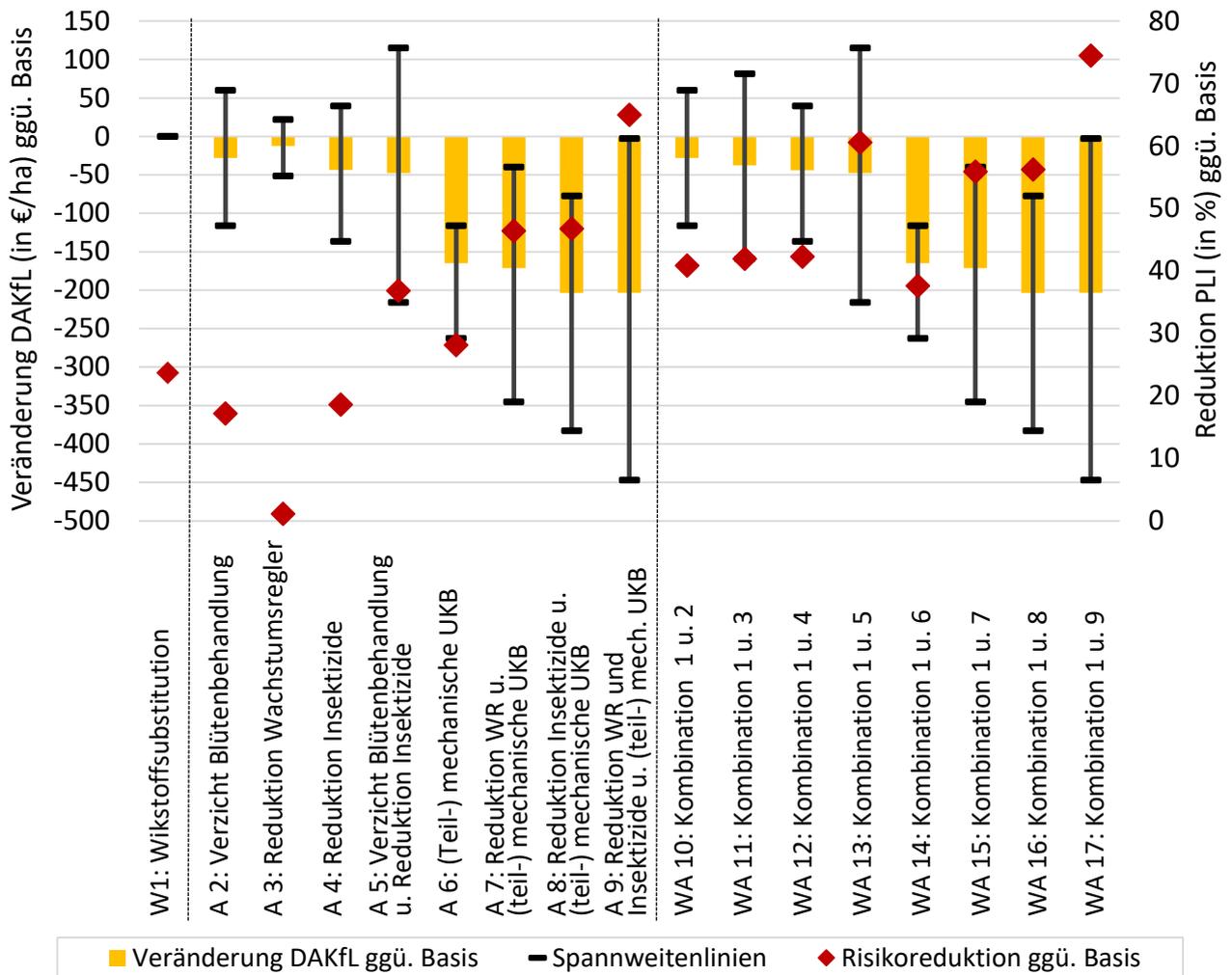
Kosten der Anpassungsmaßnahmen

In Abbildung 22 ist das PLI-Reduktionspotenzial der einzelnen Anpassungsmaßnahmen sowie die Veränderung der DAKfL im Vergleich zur Ausgangssituation dargestellt. Folgende Kernaussagen lassen sich ableiten:

- Die Substitution durch Wirkstoffe mit einer geringeren Toxizität (W 1) ist mit nahezu identischen Pflanzenschutzmittelkosten ohne monetäre Einbußen durchzuführen. Das PLI-Reduktionspotenzial beträgt 24 %.
- Der Verzicht einer Blütenbehandlung (A 2), die Reduktion von Wachstumsreglern (A 3) oder der geringere Einsatz von Insektiziden (A 4) verursachen Anpassungskosten zwischen 12 und 44 €/ha. Besonders der jährlich stark schwankende Insektenzuflug führt zu einer erhöhten Spannweite beim Verlust der DAKfL von bis zu -137 €/ha. Durch das äußerst geringe Reduktionspotenzial bei der Einschränkung von Wachstumsregulatoren (1 %) erscheint die Maßnahme aus Sicht der Anbauer*innen unattraktiv.
- Werden die reduzierte Wachstumsregler- und Insektizidintensität kombiniert (A 5), sinkt die DAKfL um 48 €/ha. Dabei sind aufgrund der großen Spannweite zwischen Best- und Worst-Case große Schwankungen zu erwarten: Während die DAKfL unter günstigen Bedingungen um bis zu 115 €/ha gesteigert werden kann, ist im Worst-Case ein Verlust von maximal 216 €/ha zu erwarten.
- Die (teil-)mechanische Unkrautbekämpfung ist im Winterraps mit hohen Anpassungskosten von 165 €/ha verbunden. Grund dafür sind a) im Vergleich zu Zuckerrüben geringe Herbizidkosten und ein dementsprechend geringes Einsparpotenzial (40 €/ha) durch die Bandspritzung sowie b) steigende Arbeiterledigungskosten in Höhe von rund 190 €/ha durch mechanische Unkrautbekämpfung und den Wechsel von der pfluglosen zur wendenden Bodenbearbeitung.
- In Kombination von (teil-)mechanischer Unkrautbekämpfung sowie einer sinkenden Wachstumsregler- und Insektizidintensität steigt die PLI-Reduktion auf bis zu 65 % an. Gleichmaßen erhöhen sich jedoch auch die Anpassungskosten, sodass der durchschnittliche DAKfL-Verlust in Maßnahme A 9 ca. 200 €/ha, bei einer Spannweite von -3 bis zu -447 €/ha beträgt.
- Sollen die ackerbaulichen Maßnahmen (A 2-A 9) zusammen mit der Wirkstoffsubstitution (W 1) umgesetzt werden, steigt der Verlust der DAKfL weiter an. Gleichzeitig kann jedoch auch das Potenzial zur PLI-Senkung auf bis zu 74 % erhöht werden.

Um den PLI von Winterraps um 25 % zu senken, reicht eine Substitution von toxischeren durch weniger toxische Wirkstoffe nahezu aus (24 %). Da die Herbizidkosten durch den Wirkstoffwechsel insgesamt unverändert bleiben, kann die Maßnahme ohne ökonomische Verluste umgesetzt werden. Soll das 25%-Ziel nur über ackerbauliche Maßnahmen erreicht werden, fallen durch die kombinierte Fungizid- und Insektizidreduktion (A 5) Kosten in Höhe von rund 50 €/ha. Eine PLI-Reduktion um 50 % kann am günstigsten erreicht werden, indem die Wirkstoffsubstitution mit einem Verzicht auf die fungizide Blütenbehandlung und der Insektizidreduktion (WA 13) kombiniert wird. Der PLI sinkt zu Kosten von weniger als 50 €/ha um 61 %. Sofern dieses Ziel ausschließlich über ackerbauliche Maßnahmen realisiert werden soll, wäre dies am günstigsten durch eine verringerte Insektizidintensität zu erreichen. Die Kosten würden dabei auf etwa 200 €/ha ansteigen.

Abbildung 22: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Winterraps



* Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

Quelle: eigene Darstellung

4.2.4 Silo- und Körnermais

Bevor die einzelnen Anpassungsvarianten im Detail erläutert werden, sind sie in Tabelle 14 übersichtsartig dargestellt.

Aufgrund der begrenzten Wirkstoffverfügbarkeit zur Herbizidanwendung in Silomais, ist eine Wirkstoffsubstitution als Anpassungsmaßnahme nach Einschätzung der FG nicht zielführend. Deshalb wird nachfolgend darauf verzichtet.

Tabelle 14: Überblick der Anpassungsoptionen für Silo- und Körnermais

Maßnahmenbezeichnung ¹	Ertragsverlust in % ²			Reduktion PLI in %
	Best Case /	Normal /	Worst Case	
Silomais				
A 1 Glyphosatverzicht	0 /	2,5 /	5,0	31
A 2 (Teil-) mechanische UKB	0 /	0,0 /	10,0	41
A 3 Glyphosatverzicht und (teil-) mechanische UKB	0 /	2,5 /	14,5	73
A 4 Vollständiger Verzicht auf chemisch-synthetische PSM und mechanische UKB	Ertragsverlust in Höhe von 25 % von A 3			100
Körnermais				
A 5				
A 6 bis A8: Da die Anpassungsmaßnahmen identisch zum Silomaisanbau sind, können die oben genannten Werte genutzt werden.				

¹ W: Wirkstoffsubstitution, A: ackerbauliche Maßnahme, WA: Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen

² Der Ertragsverlust der kombinierten Maßnahmen setzt sich multiplikativ aus den Einzelmaßnahmen zusammen.

Quelle: eigene Darstellung

Glyphosatverzicht (A 1): Ähnlich wie im Produktionssystem Zuckerrübe kann die Anwendung des glyphosathaltigen Totalherbizids zum Abtöten der Zwischenfrucht durch eine zusätzliche flache mechanische Bodenbearbeitung mit einem Leichtgrubber erfolgen. Negative Ertragseffekte werden in Anlehnung an Schulte et al. (2016) mit 2,5 % berücksichtigt. Während unter günstigen Bedingungen keine Mindererträge zu erwarten sind, betragen sie im Worst-Case bis zu 5 %. In trockenen Jahren sind sie in dem zusätzlichen Wasserverlust bzw. in nassen Jahren durch mögliche Verdichtungen bei der zusätzlichen Überfahrt begründet. Gleichzeitig kann eine anhaltend feuchte Witterung dazu führen, dass keine mechanische Bearbeitung erfolgen kann. Durch das allgemein geringe Niveau des PLI von Silomais ist der Anteil des Totalherbizids höher als bei Zuckerrüben, sodass der Verzicht zu einem Rückgang des PLI in Höhe von rund 31 % führt.

(teil-)mechanische UKB (A 2): Da neben Metaboliten des Wirkstoffs S-Metolachlor auch zunehmend Metabolite von Terbutylazin im Grundwasser nachgewiesen werden, sollten auch beim Maisanbau Aufwandmengen reduziert werden (LWK Niedersachsen, 2020a). Ähnlich wie bei Zuckerrüben ist auch bei Mais eine mechanische Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen möglich. Um vorhandene Hacktechnik und Pflegeschlepper aus dem Anbau von Zuckerrüben nutzen zu können, muss der Anbau in einem Reihenabstand von 45 cm erfolgen. Die Unkrautbekämpfung wird durch folgende Verfahrensschritte durchgeführt:

- (1) Anfang Mai: Blindstriegeln auf ca. 2 cm Tiefe
- (2) Anfang Juni: Einsatz von Hacke (zwischen den Reihen) und Bandspritze (in den Reihen)

(3) Mitte und Ende Juni: zweimaliger Einsatz von Hacke solo

Wenige Tage nach der Aussaat und dementsprechend noch vor dem Auflaufen der Maispflanzen, erfolgt ein erstes Blindstriegeln, um den Unkrautbesatz insbesondere zwischen den Reihen gering zu halten. Im 2-bis-4-Blattstadium erfolgt die Herbizidapplikation im Band mit gleichzeitigem Hacken zwischen den Reihen (vgl. Kapitel 4.2.1). Um den mechanisch bearbeiteten Raum bis zum Reihenschluss weitestgehend unkrautfrei zu halten, sind bei ausreichendem Niederschlag zwei weitere Überfahrten mit der Hacke notwendig (LWK Niedersachsen, 2020a). Im Vergleich zum kombinierten Bandspritzverfahren kann dabei die Fahrgeschwindigkeit erhöht werden. Durch die eingesparte Wirkstoffmenge kann der PLI um rund 41 % verringert werden.

Glyphosatverzicht & teilmechanische UKB (A 3): Wie in Tabelle 14 dargestellt, setzt sich die Maßnahme aus Kombination der Einzelmaßnahmen A 1 und A 2 zusammen. Der PLI kann dadurch um 73 % reduziert werden.

Vollständiger Verzicht auf Pflanzenschutzmittel (A 4): Aufbauend auf die vorherigen Maßnahmen kann vollständig auf den Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel verzichtet werden, sodass der PLI auf diese Weise um 100 % sinkt. Röder et al. (2021) beziffern den Ertragsverlust bei einem einjährigen PSM-Verzicht auf 15 %. Nach Rücksprache mit der FG wird der Ertragsrückgang im Vergleich zu Maßnahme A 3 auf 25 % angehoben.

Wie in Kapitel 4.3 noch zu zeigen sein wird, ist die Substitution von Winterraps durch Körnermais in der Fruchtfolge eine Anpassungsoption. Dies ist möglich, da aufgrund einer zunehmend länger werdenden Vegetationszeit mit steigenden Wärmesummen der Körnermaisbau auch in der Modellregion Südhannover attraktiv wird. Während sich das Produktionsverfahren mit Ausnahme der Ernte nur unwesentlich vom herkömmlichen Silomais unterscheidet, ist die veränderte Handhabung mit dem Erntegut zu beachten, um es lagern zu können. Üblicherweise wird der Körnermais mit einer Erntefeuchte von rund 30 % auf 14 % getrocknet, wodurch bei einem Ertragsniveau von mehr als 11 t/ha Frischmasse Kosten von ca. 300 €/ha entstehen. Um die Trocknungskosten zu senken, könnte das Erntegut alternativ feucht in Silageschläuchen zwischengelagert werden. Anschließend könnte eine Trocknung über die Abwärme einer Biogasanlage erfolgen oder durch Kooperationen mit Tierhaltern direkt in der Fütterung eingesetzt werden.

A 5-8: Die Anpassungsmaßnahmen unterscheiden sich bis auf den veränderten Reihenabstand von 75 statt 45 cm nicht vom Silomais. Während aufgrund der Erntetechnik für Körnermais der Reihenabstand 75 cm beträgt, ist die vorhandene Hacketechnik auf einen Reihenabstand von 45 cm ausgelegt. Daher müsste das Hacken und Bandspritzen in den Maßnahmen A 7 und A 8 durch Lohnunternehmen durchgeführt oder in neue Technik investiert werden.

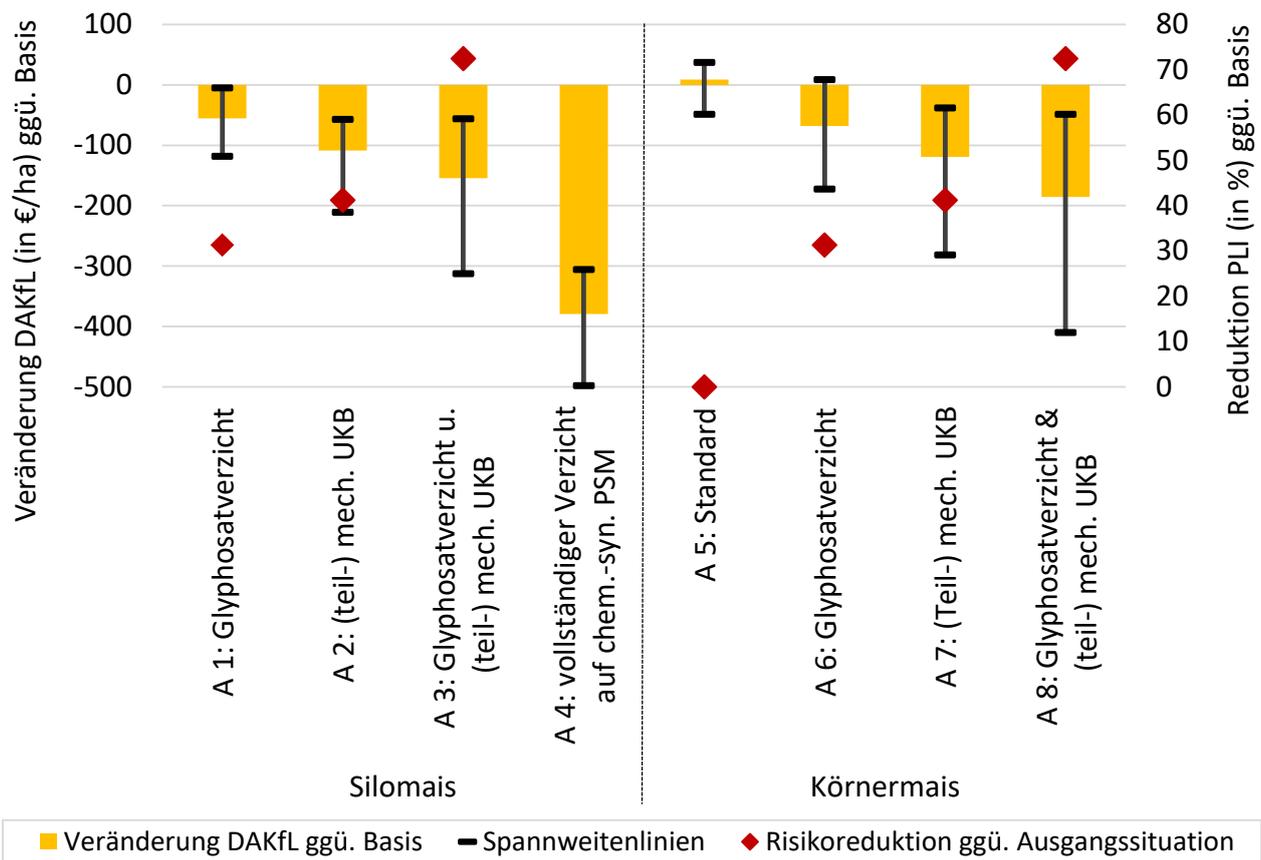
Kosten der Anpassungsoptionen

Wie auch bei den vorherigen Kulturen führen die Anpassungsmaßnahmen zur Risikominderung durch Pflanzenschutzmittel zu einer sinkenden DAKfL (vgl. Abbildung 23). Das hat folgende Gründe:

- Während durch einen Glyphosatverzicht (A 1) Mittelkosten von 9 €/ha und Arbeitserledigungskosten für die Ausbringung von rund 9 €/ha eingespart werden können, betragen die Gesamtkosten einer mechanischen Bodenbearbeitung in diesem Fall rund 33€/ha⁷⁵. Hinzu kommt die sinkende Marktleistung durch Mindererträge, sodass die verfahrensbedingten Netto-Mehrkosten auf 55 €/ha zu beziffern sind. Während unter günstigen Bedingungen kein DAKfL-Verlust zu erwarten ist, kann dieser in Einzeljahren bis zu 118 €/ha betragen.
- Die Pflanzenschutzmittelkosten sind durch den einmaligen Herbizideinsatz im Vergleich zu anderen Kulturen mit 72 €/ha gering. Abzüglich der Einsparungen für das Totalherbizid (9 €/ha) betragen sie somit nur 63 €/ha. Durch die Bandapplikation in Maßnahme A 2 können die Kosten um 60 % reduziert werden. Demgegenüber steht ein hohes Maß an mechanischer Bearbeitung, sodass die Kosten der Arbeitserledigung um nahezu 100 €/ha im Vergleich zur Ausgangssituation ansteigen. Auch insgesamt ist die DAKfL der Maßnahme A 2 um rund 110 €/ha geringer als in der Ausgangssituation. Die Spannweite reicht von -57 €/ha im Best-Case bis hin zu -211 €/ha im Worst-Case.
- Wird der Glyphosatverzicht mit der (teil-)mechanischen Unkrautbekämpfung kombiniert (A 3), steigen neben dem PLI-Reduktionspotenzial auch die Anpassungskosten auf durchschnittlich 154 €/ha an. Unter ungünstigen Bedingungen kann der Verlust auf mehr als 300 €/ha ansteigen. Bei einem vollständigen Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel sinkt die DAKfL um durchschnittlich 353 €/ha im Vergleich zur Ausgangssituation (A 4).
- Wird an Stelle von Silomais künftig Körnermais angebaut, befinden sich die durchschnittlichen Anpassungskosten bei gleichen ackerbaulichen Maßnahmen auf ähnlichem Niveau wie mit Silomais. Aufgrund der höheren Marktleistung von Körnermais haben relative Ertragsverluste im Worst-Case mit mehr als 400 €/ha einen größeren absoluten Einfluss.

⁷⁵ Zu den reinen Feldarbeitszeiten wird für Schlepper ein Overhead-Anteil (Wartung, Straßenfahrten, etc.) von zusätzlich 25 % berücksichtigt.

Abbildung 23: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Silo- und Körnermais



* Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

Quelle: eigene Darstellung

Zusammenfassend kann aus Abbildung 23 abgeleitet werden, dass ein Glyphosatverzicht beim Anbau von Silo- oder Körnermais ausreicht, um den PLI um mehr als 25 % zu senken. Dabei fallen Anpassungskosten in Höhe von 55 €/ha für Silomais bzw. 68 €/ha für Körnermais an. Aufgrund der begrenzten Anzahl an Maßnahmen zur PLI-Senkung kann für eine 50%ige Reduktion nur eine Spannweite aufgezeigt werden. Bei Silomais ist dabei mit Kosten zwischen rund 100 und 150 €/ha zu rechnen. Wird der Anbau von Körnermais erwogen, ist eine Spannweite zwischen ca. 120 und 185 €/ha zu erwarten.

4.2.5 Wintergerste

Für Wintergerste sind mögliche Maßnahmen zur Reduktion des PLI in Tabelle 15 übersichtsartig dargestellt und werden nachfolgend beschrieben:

Tabelle 15: Überblick der Anpassungsoptionen für Wintergerste

Maßnahmenbezeichnung ¹		Ertragsverlust in % ²			Reduktion PLI in %
		Best Case	Normal	Worst Case	
W 1	Wirkstoffsubstitution	0	2,5	5,0	24
A 2	Reduktion Insektizide	0	2,5	5,0	14
A 3	Reduktion Fungizide	0	5,0	10,0	9
A 4	Reduktion Insektizide und Fungizide	0	7,4	14,5	23
A 5	Reduktion Insektizide und vollständiger Fungizidverzicht	5	12,5	40,0	57
WA 6	Kombination aus W 1 und A 2	0	4,9	9,8	38
WA 7	Kombination aus W 1 und A 3	0	7,4	12,3	33
WA 8	Kombination aus W 1 und A 4	0	9,7	16,6	48

¹ W: Wirkstoffsubstitution, A: ackerbauliche Maßnahme, WA: Kombination aus Wirkstoffsubstitution und ackerbaulichen Maßnahmen

² Der Ertragsverlust der kombinierten Maßnahmen setzt sich multiplikativ aus den Einzelmaßnahmen zusammen.

Quelle: eigene Darstellung

Wirkstoffsubstitution (W 1): Bereits in Kapitel 4.1.2 wurde deutlich, dass der Fungizideinsatz neben den Insektiziden den größten Einfluss auf den PLI hat. Da der PLI zwischen den Produkten zum Teil stark schwankt, können höher toxische Wirkstoffe durch solche mit einer geringeren Toxizität ersetzt werden. Aus diesem Grund wird das Carboxamid Ascra Xpro (1,2 l/ha) durch das Azol Proline (0,6 l/ha) und das Strobilurin Torero (0,3 l/ha) ersetzt. Während im Normaljahr mit einem Minderertrag von 2,5 % zu rechnen ist, wird im Worst-Case nach Rücksprache mit der FG ein Ertragsverlust von 5 % gegenüber der Ausgangssituation berücksichtigt. Hintergrund ist die reduzierte Wirkung gegenüber Rosten (LWK Niedersachsen, 2020a). Die Reduktion des PLI beträgt dabei 24 %.

Reduktion Insektizide (A 2): Ähnlich wie bei Winterweizen ist die Insektizidintensität im Netz der „Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ geringer als im Modellbetrieb. Während in der Ausgangssituation von einer Behandlung in voller Aufwandmenge ausgegangen wird, betrug der BI im „Vergleichsbetriebe“-Netzwerk im mehrjährigen Durchschnitt weniger als 0,5 BI-Einheiten (Dachbrodt-Saaydeh et al., 2018; JKI, 2020a). Deshalb wird in dieser Anpassungsmaßnahme davon ausgegangen, dass durchschnittlich nur alle zwei Jahre eine Behandlung notwendig ist. Der PLI wird durch diese Maßnahme um nahezu 17 % gemindert. Dabei werden in Anlehnung an Versuchsergebnisse der LWK Niedersachsen in Absprache mit der FG Ertragsrückgänge von 2,5 % im Normaljahr bzw. 5 % im Worst-Case angenommen. Insbesondere in Kombination mit frühen Saatzeiten sind

Gelbverzwergungsviren von Bedeutung. In Jahren mit geringem Insektenzuflug wird der Ertrag nicht beeinträchtigt (LWK Niedersachsen, 2020b).

Reduktion Fungizide (A 3): Weiterhin wurde in der FG diskutiert, inwiefern die Fungizidintensität gesenkt werden kann. Die FG geht davon aus, dass die Fungizid-Spritzfolge von zwei Maßnahmen auf eine Einmalbehandlung in EC 39/49 reduziert werden kann. Ausgehend von Ergebnissen in Kapitel 2.4.2.3 wird hierfür ein Ertragsabschlag von durchschnittlich 5 % im Normaljahr bzw. 10 % im Worst-Case berücksichtigt. In trockenen Jahren mit geringem Infektionsdruck wird hingegen kein Ertragsverlust erwartet. Durch die Umsetzung der Maßnahme kann das Risiko gemessen am PLI um rund 9 % reduziert werden.

Reduktion Insektizide & Fungizide (A 4): Wie in Tabelle 15 dargestellt, setzt sich die Maßnahme aus Kombination der Maßnahmen A 2 und A 3 zusammen. Der PLI kann auf diese Weise um 23 % reduziert werden.

Reduktion Insektizide & vollständiger Fungizidverzicht (A 5): Neben der Fungizidreduktion wurde ebenfalls die Option eines vollständigen Fungizidverzichts diskutiert. In Anlehnung an bisherige Versuchsergebnisse (vgl. Kapitel 2.4.2.3 und 2.4.2.4) wird für Wintergerste ein durchschnittlicher Ertragsabschlag von 12,5 % unterstellt (LWK Niedersachsen, 2020b). Auf Basis der Einschätzungen der FG wurde eine Spannweite der Ertragsverluste von 5 % im Best-Case bis hin zu 40 % im Worst-Case angenommen.

Kombination der Maßnahmen (WA 6-8): Durch die Kombination aus W 1 (Wirkstoffsubstitution) und der ackerbaulichen Maßnahmen (A 2-5) kann der PLI zwischen 38 bis maximal 48 % gesenkt werden. Da in Maßnahme W 1 nur Fungizide ersetzt werden, auf die in Maßnahme A 5 vollständig verzichtet wird, ist hierfür keine Kombination notwendig.

Kosten der Anpassungsmaßnahmen

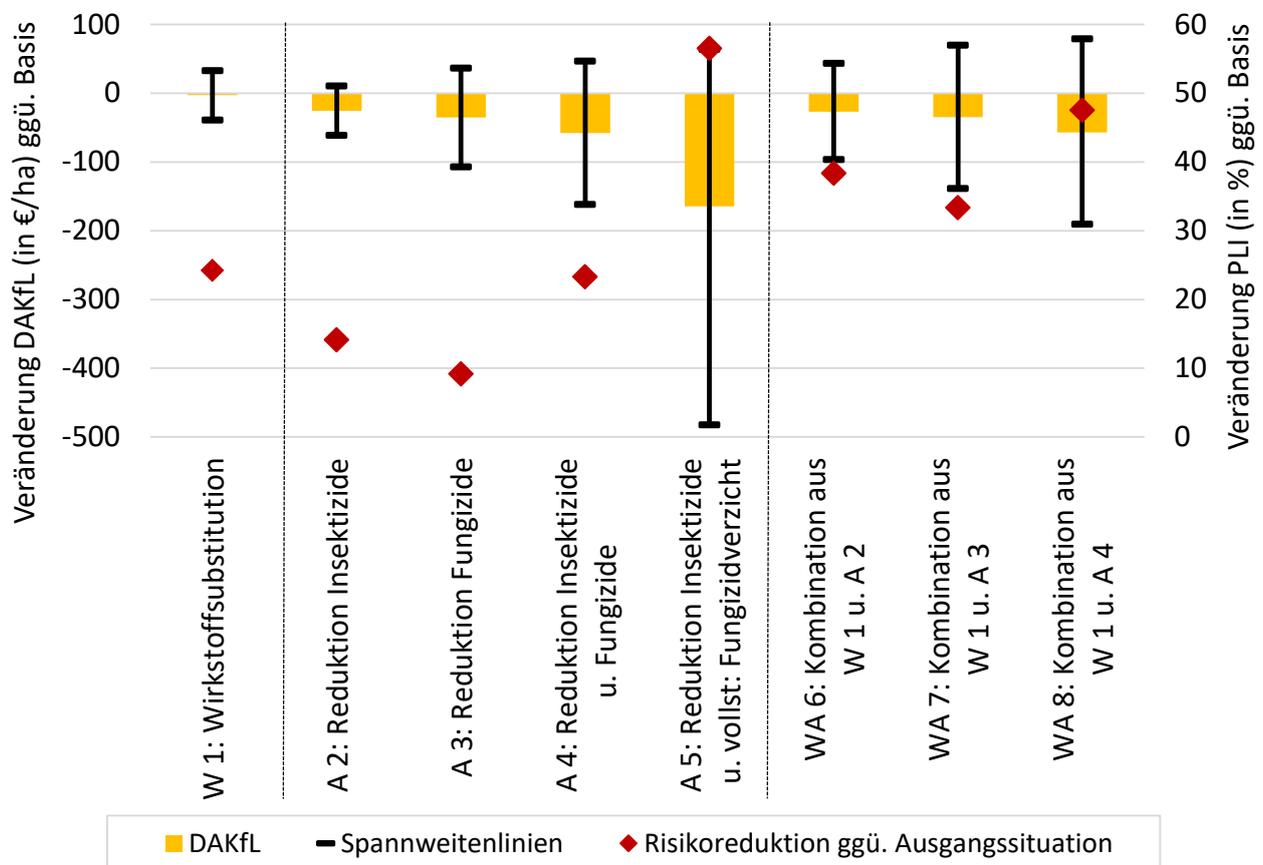
Durch die zuvor beschriebenen Anpassungsmaßnahmen beim Anbau von Wintergerste kann eine PLI-Reduktion zwischen 9 und rund 57 % erreicht werden. Dabei ergeben sich die in Abbildung 24 dargestellten Kosten:

- Bei der Substitution von Wirkstoffen sind zwar einerseits Erlösverluste durch einen Minderertrag zu berücksichtigen, andererseits können diese durch den Einsatz günstigerer Fungizide (-26 €/ha) nahezu ausgeglichen werden. Insgesamt führt die daraus resultierende PLI-Reduktion zu Kosten in Höhe von durchschnittlich 3 €/ha. Die Spannweite reicht von -39 bis maximal +33 €/ha.
- Die Insektizidreduktion (A 2) führt zu durchschnittlichen Anpassungskosten von 25 €/ha. Aufgrund der insgesamt geringen Insektizidkosten sind die Mitteleinsparungen (5 €/ha) im Vergleich zu den Erlösverlusten (ca. 40 €/ha) nahezu unbedeutend.
- Eine geringere Fungizidintensität (A 3), führt bei einer PLI-Reduktion um 9 % zu Kosten von 35 €/ha. Hier reicht die Spannweite von -107 bis +37 €/ha. Während der Erlös um rund 80 €/ha

sinkt, können infolge des Minderertrages Einsparungen durch geringere Fungizid- und Düngekosten realisiert werden.

- Werden sowohl Insektizide als auch Fungizide reduziert (A 4), steigen die Kosten bei einer PLI-Reduktion von 23 % auf 55 €/ha.
- Deutlich höhere Kosten werden durch den vollständigen Fungizidverzicht hervorgerufen. Während im Mittel Kosten von 165 €/ha entstehen, ist die Spannweite insbesondere im Worst-Case zu beachten. Unter ungünstigen Bedingungen können im Einzeljahr Anpassungskosten von mehr als 480 €/ha entstehen. Gleichzeitig kann der PLI mit 57 % im Vergleich mit anderen Maßnahmen am stärksten gesenkt werden.
- Da die Wirkstoffsubstitution (W 1) nahezu kostenneutral erfolgt, führt auch die Kombination mit ackerbaulichen Anpassungen (WA 6-8) zu keinen deutlichen Mehrkosten. Gleichzeitig kann in den betrachteten Maßnahmen der PLI um 38 bis 48 % gesenkt werden.

Abbildung 24: Veränderung der DAKfL (in €/ha) der Anpassungsmaßnahmen von Wintergerste



* Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

Quelle: eigene Darstellung

Insgesamt kann für Wintergerste festgehalten werden, dass durch die Substitution höher toxischer Wirkstoffe durch solche mit einer geringeren Toxizität (W 1) eine Reduktion des PLI um 25 % zu geringsten Kosten (-5 €/ha) erreicht werden kann. Werden rein ackerbauliche Maßnahmen berücksichtigt, steigen die Kosten durch Maßnahme A 4 auf knapp 60 €/ha an. Soll der PLI hingegen um

50 % gesenkt werden, ist das am günstigsten durch die Maßnahme WA 8 zu erreichen. Es entstehen Anpassungskosten in Höhe von 57 €/ha. In diesem Fall kann eine Spannweite in Einzeljahren von -190 bis maximal +80 €/ha abgeleitet werden. Ohne die Wirkstoffsubstitution sind hingegen durch Maßnahme A 5 Kosten von 165 €/ha zu erwarten. Dementsprechend ist die Risikoreduktion bei Wintergerste günstiger als bei Winterweizen umzusetzen.

4.2.6 Vergleich der Kosten zur Reduktion des PLI in den angebauten Kulturen

In den vorherigen Unterkapiteln wurden die Anpassungskosten des Modellbetriebs quantifiziert, wenn der PLI auf Ebene der Einzelkultur um 25 bzw. um 50 % im Vergleich zur Ausgangssituation gesenkt werden soll. In Abbildung 25 sind die Kosten der jeweils günstigsten Optionen zusammengefasst⁷⁶. Für eine PLI-Reduktion **um 25 %** lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

- Mit Ausnahme von Winterweizen nach Körnermais ist eine PLI-Reduktion um 25 % bei den betrachteten Kulturen mit Kosten von 0 bis maximal 61 €/ha verbunden. Besonders günstig ist das Ziel bei Zuckerrüben und Winterraps zu erreichen, da entweder keine Kosten anfallen bzw. die DAKfL im Falle der Zuckerrüben um rund 40 €/ha gesteigert werden kann. Der Anstieg der DAKfL bei Zuckerrüben in Folge einer PLI-Reduktion lässt den Schluss zu, dass das Produktionsverfahren in der Ausgangssituation nicht optimal gestaltet ist oder es weitere und in dieser Analyse nicht erfasste Gründe gibt, sodass landwirtschaftliche Betriebe alternative Produktionsverfahren trotz ökonomischer Vorzüglichkeit nicht in der Praxis umsetzen.
- Mit Anpassungskosten von maximal 22 €/ha befinden sich Wintergerste und Winterweizen nach Silomais im Mittelfeld der angebauten Kulturen.
- Hingegen sind die durchschnittlichen Kosten bei Stoppelweizen (61 €/ha) und Silomais (48 €/ha) als vergleichsweise hoch einzuschätzen.

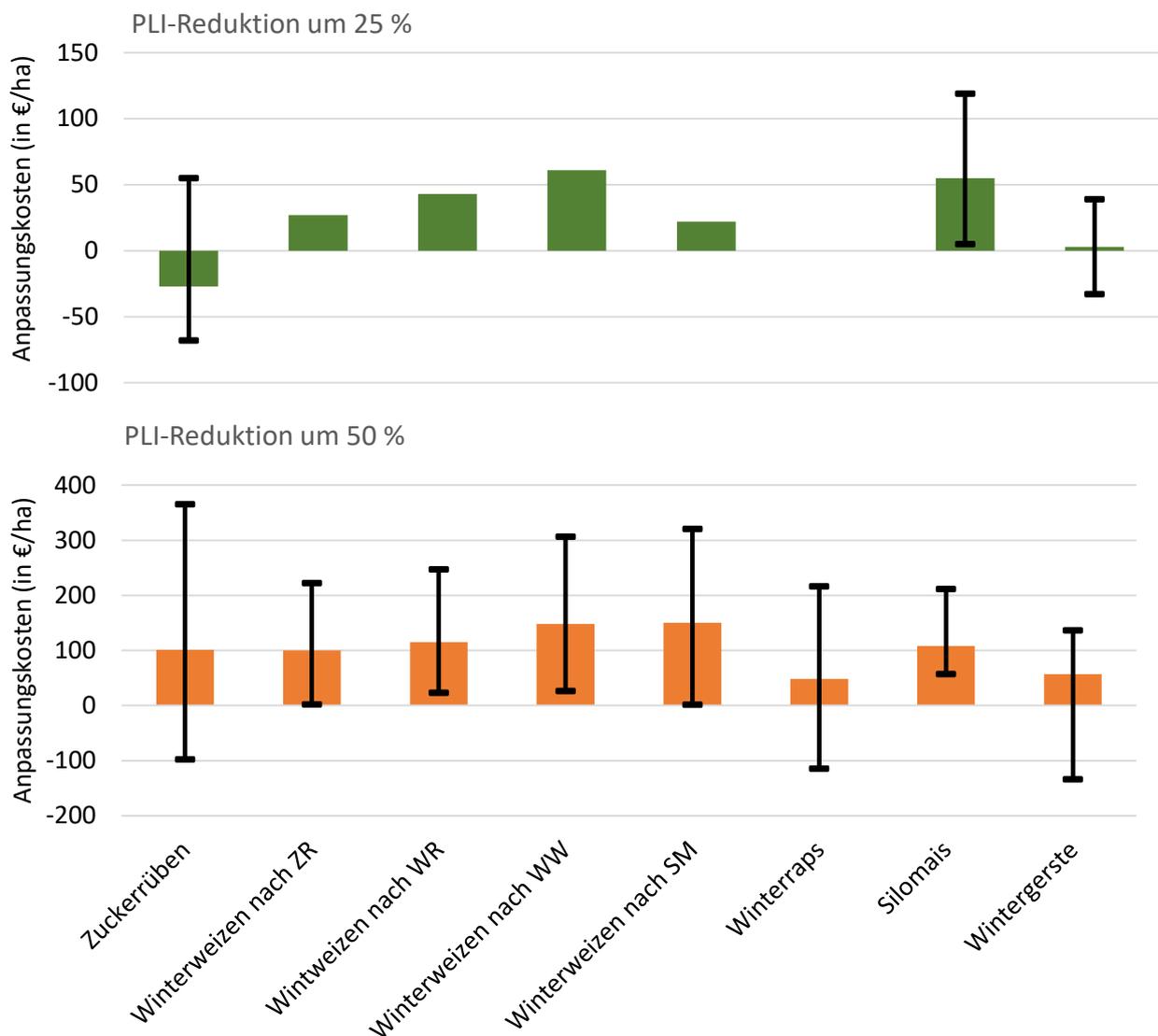
Wird der PLI **um 50 %** im Vergleich zur Ausgangssituation gesenkt, können auf Basis von Abbildung 25 folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

- Im Vergleich zur Reduktion des PLI um 25 % nimmt sowohl die Höhe der Anpassungskosten als auch die Spannweite zwischen dem Worst- und Best-Case zu.
- Je nach Kultur fallen Anpassungskosten zwischen 48 und 150 €/ha an. Eine Verdopplung der PLI-Reduktion von 25 auf 50 % erhöht die Anpassungskosten dementsprechend überproportional stark.
- Besonders günstig ist eine Halbierung des PLI bei Wintergerste und Winterraps zu realisieren. Hier betragen die Anpassungskosten weniger als 60 €/ha.

⁷⁶ In den Maßnahmen wird eine Wirkstoffsubstitution als Maßnahme zur Risikominderung berücksichtigt.

- Zuckerrüben, Silomais sowie wie Winterweizen nach Raps und Zuckerrüben liegen mit Anpassungskosten zwischen 100 und 115 €/ha im Mittelfeld der Kulturen.
- Durch Anpassungskosten in Höhe von rund 150 €/ha sind Winterweizen nach Silomais und Stoppelweizen die Kulturen mit den höchsten Kosten im Kulturvergleich. Der Wechsel von der pfluglosen zur wendenden Bodenbearbeitung ist als wesentlicher Kostentreiber zu sehen.
- Besonders stark schwanken die Anpassungskosten bei Zuckerrüben. Durch die überdurchschnittlich hohen Erlöse haben selbst moderate relative Ertragsrückgänge hohe absolute Erlösrückgänge zur Folge. Sie betragen im Worst-Case bis zu 380 €/ha. Gering ist die Spannweite der Anpassungskosten hingegen bei Silomais. Hier sind im ungünstigen Fall Anpassungskosten von bis zu 210 €/ha zu erwarten.

Abbildung 25: Anpassungskosten (in €/ha) auf Ebene der Einzelkulturen



Quelle: eigene Darstellung

4.3 Anpassungsstrategien und -kosten auf gesamtbetrieblicher Ebene

Im vorherigen Kapitel wurden die Maßnahmen und Kosten zur PLI-Reduktion auf Ebene der einzelnen Kulturen analysiert. In der Realität werden Unternehmer*innen jedoch voraussichtlich über gesamtbetriebliche Anpassungen versuchen, die Kosten zu minimieren. Die Möglichkeiten hierfür werden von der Ausgestaltung der umweltpolitischen Umsetzung abhängen. Hierzu zählt vor allem die Frage, ob die Reduktion kulturindividuell oder im Durchschnitt über die gesamte Fruchtfolge zu erfolgen hat.

Ziel des Kapitels ist es daher, die gesamtbetrieblichen Kosten der Risikoreduktionen für unterschiedliche umweltpolitische Umsetzungsoptionen anhand des Modellbetriebs zu bestimmen. Dazu werden mithilfe des Kalkulations- und Auswertungstools nachfolgend 12 unterschiedlich angepasste Umsetzungsszenarien des Modellbetriebs entwickelt. Diese werden zunächst differenziert dargestellt (vgl. Tabelle 16). Dazu zählen:

- (1) **PLI-Reduktion auf Ebene der Einzelkulturen (Szenarien 1-4):** Der Modellbetrieb behält sein bestehendes Produktionsprogramm wie in der Ausgangssituation bei und muss den PLI bei allen Kulturen jeweils um 25 bzw. 50 % senken. Eine Durchschnittsbetrachtung über die Fruchtfolge ist nicht zulässig. Da landwirtschaftliche Betriebe in der Realität in ihrer Anbauentscheidung frei sind, würden sie infolgedessen unter Berücksichtigung von Fruchtfolgerestriktionen nach Möglichkeit verstärkt Kulturen anbauen, deren Anpassungskosten vergleichsweise gering sind und die gleichzeitig eine höchstmögliche DAKfL generieren. In diesem Beispiel wird zunächst davon abgesehen und unterstellt, dass sowohl Anbaufrüchte als auch deren Fruchtfolgeanteile konstant bleiben. Demzufolge entsprechen die Anpassungsmaßnahmen den in Kapitel 4.2 jeweils am Ende vorgestellten kostenminimalen Maßnahmen.
- (2) **PLI-Reduktion bei konstanter Fruchtfolge und flexibler Umsetzung in den Kulturen (Szenarien 5-8):** Der Modellbetrieb behält die bestehende Fruchtfolge und deren Anteile ebenfalls bei, muss die PLI-Reduktion jedoch nicht kulturindividuell umsetzen. Die durchschnittliche Betrachtung über die gesamte Fruchtfolge ermöglicht es ihm, in Kulturen mit hohen Anpassungskosten weniger und den PLI bei Kulturen mit geringen Anpassungskosten überdurchschnittlich stark zu reduzieren.
- (3) **PLI-Reduktion bei variabler Fruchtfolge (Szenarien 9-12):** Auf Grundlage der Ausgangssituation wird für den Modellbetrieb ein zu reduzierender PLI-Wert ermittelt. Wie der Betrieb die PLI-Reduktion umsetzt, ist ihm freigestellt. Sowohl eine durchschnittliche Betrachtung über die Fruchtfolge, als auch der verstärkte Anbau von Kulturen mit einem geringen PLI-Bedarf oder die vollständige Extensivierung von Flächen ist zulässig. Dementsprechend würden Kulturen mit einem vergleichsweise hohen PLI-Bedarf Fruchtfolgeanteile einbüßen.

Für jedes Szenario wird zusätzlich zwischen Varianten mit und ohne Wirkstoffsubstitution sowie zwischen dem Reduktionsziel in Höhe von 25 bzw. 50 % unterschieden.

Tabelle 16: potenzielle politische Umsetzungsoptionen auf gesamtbetrieblicher Ebene

Szenario	Politische Umsetzungsoptionen	Wirkstoff- substitution	PLI-Reduktion	Beispiel
1.	Reduktion	Fruchtfolge	ohne	Der PLI von Weizen und Raps muss jeweils um 25 bzw. 50 % reduziert werden.
2.	zwingend für	und	50%	
3.	jede Kultur	-anteile fix	mit	
4.	individuell		50%	
5.	Reduktion im	Fruchtfolge	ohne	Der PLI wird bei Kulturen mit geringen Anpassungskosten stärker, bei hohen Anpassungskosten weniger stark reduziert.
6.	Durchschnitt	und	50%	
7.	über alle	-anteile fix	mit	
8.	Kulturen		50%	
9.	Reduktion im	Fruchtfolge	ohne	Vermehrter Anbau von Kulturen, bei denen hohes PLI-Reduktionspotenzial oder allgemein geringes Ausgangsniveau gegeben ist.
10.	Durchschnitt	und	50%	
11.	über alle	-anteile	mit	
12.	Kulturen	variabel	50%	

Quelle: eigene Darstellung

Ist durch die umweltpolitische Umsetzung eine veränderte Flächennutzung zulässig (Szenario 9-12), sieht die FG neben den in Kapitel 4.2 vorgestellten Anpassungsmöglichkeiten zusätzliche Optionen. Hier wurde vor allem die Anpassung der Fruchtfolge durch den Anbau von Leguminosen und Körnermais gesehen sowie eine vollständige Extensivierung in Form einer einjährigen Brache, sodass auf den restlichen Flächen weniger Anpassungen notwendig sind⁷⁷. Nachfolgend werden die genannten Alternativen diskutiert:

- (1) **Anbau von Leguminosen:** Grundsätzlich hat die FG die Option gesehen, Ackerbohnen nach einer Zwischenfrucht anzubauen. Bei einem angenommenen Durchschnittsertrag von 50 dt/ha ergibt sich eine DAKfL in Höhe von rund 90 €/ha⁷⁸. Darin unberücksichtigt ist der vergleichsweise hohe Vorfruchtwert der Ackerbohnen auf den in der Regel nachfolgenden Winterweizen. Durch den Einsatz von Voraufbauherbiziden, bei denen in der Regel die Wirkstoffe Aclonifen oder Pendimethalin zum Einsatz kommen, ruft der Anbau von Ackerbohnen jedoch einen überdurchschnittlich hohen PLI je Hektar hervor⁷⁹. Der Anbau von Ackerbohnen mithilfe von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln ist dementsprechend keine Maßnahme zur Senkung des betrieblichen PLI. Würde der Herbizideinsatz durch

⁷⁷ Anpassungsoptionen wie der Leguminosenanbau oder die Einrichtung von Brache können unter Umständen mit Agrarumweltprogrammen zusätzlich gefördert werden. Bei der nachfolgend ökonomischen Bewertung soll zwar auf zusätzliche Fördermöglichkeiten hingewiesen werden, eine Inanspruchnahme der Leistungen wird jedoch nicht berücksichtigt, da Unsicherheit über das Fortbestehen bzw. die Förderhöhe besteht.

⁷⁸ Eine detaillierte Darstellung der DAKfL von Ackerbohnen findet sich in Tabelle A 17 im Anhang.

⁷⁹ Wie aus Tabelle A 17 im Anhang hervorgeht, beträgt der PLI bei der unterstellten praxisüblichen Herbizidanwendung 7,67 Einheiten/ha und wäre dementsprechend die Frucht mit dem höchsten PLI im Vergleich der angebauten Kulturen.

mechanische Verfahren⁸⁰ ersetzt werden, sinkt der PLI um mehr als 75 % (vgl. Tabelle A 13 im Anhang). Dennoch sinkt die DAKfL selbst bei unveränderter Ertragsannahme auf 74 €/ha, da die eingesparten Herbizidkosten die deutlich erhöhten Arbeitserledigungskosten der mechanischen Unkrautbekämpfung nicht kompensieren können. Durch die stark eingeschränkte Wirtschaftlichkeit der Ackerbohne ist auch bei mechanischer Unkrautbekämpfung kein ausgedehnter Anbau als Strategie zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel zu erwarten. Inwiefern die Rentabilität der Ackerbohne aufgrund von Agrarumweltprogrammen künftig erhöht wird, bleibt abzuwarten.

- (2) **Anbau von Körnermais:** Als weitere Option zur PLI-Reduktion sieht die FG den Anbau von Körnermais (vgl. Kapitel 4.2.4). Hintergrund ist, dass der PLI je Hektar bei Silo- und Körnermais durch die einmalige Herbizidanwendung im Vergleich zu anderen Marktfrüchten sehr gering ist (vgl. Kapitel 4.1.2). Mais wird in der Untersuchungsregion vorrangig als Silomais zur Nutzung in Biogasanlagen eingesetzt. Künftig ist jedoch nicht mit einem Ausbau des Biogasanlagenbestandes und damit der Silomaisanbaufläche zu rechnen, sodass der Silomaisanbau als Strategie zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel unrealistisch erscheint. Gleichwohl ist die Nutzung als Körnermais möglich, da das Erntegut bei vorhandenen Trocknungsmöglichkeiten lagerfähig und über weite Entfernungen transportwürdig ist. Während die DAKfL von Körnermais geringfügig höher ist als von Silomais (+9 €/ha), ist die DAKfL des nachfolgenden Winterweizens nach Körnermais durch erhöhte Arbeitserledigungskosten einer wendenden Bodenbearbeitung und einem Minderertrag in Folge der späteren Aussaat um rund 120 €/ha im Vergleich zu Winterweizen mit der Vorfrucht Silomais vermindert (vgl. Tabelle A 13 im Anhang).
- (3) **Brache:** Wird eine Fläche temporär aus der Produktion genommen, sinkt der PLI in diesem Zeitraum um 100 %. Da keine Erlöse generiert werden und Kosten zur Arbeitserledigung durch Mulcharbeiten entstehen, ist die DAKfL dieser Maßnahme mit -107 €/ha negativ⁸¹. Da zum Beispiel die DAKfL von Silomais bei vollständigem Verzicht auf Pflanzenschutzmittel weiterhin positiv ist, würde im Modellbetrieb zunächst kein Brachlegen von Ackerflächen zur Minderung des PLI erfolgen. Zwar ist es wahrscheinlich, dass Betriebsleiter*innen zur Erfüllung der Anforderungen durch die „Gemeinsame Agrarpolitik (GAP)“ unproduktive Flächen stilllegen und so positiv auf den PLI einwirken, jedoch ist in der Region „Südhanover“ eine umfangreiche Flächenstilllegung aufgrund kosteneffizienterer Alternativen zur Senkung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel nicht zu erwarten.

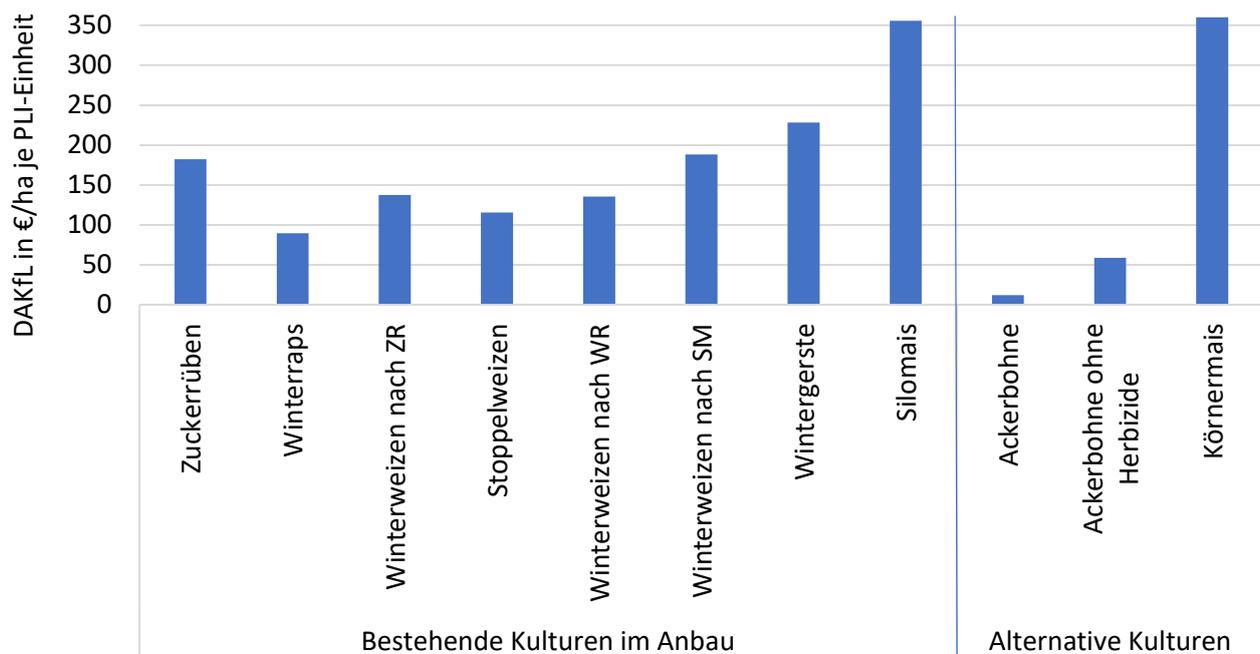
Um die einzelnen Alternativen bewerten zu können und Kulturen zu identifizieren, die zuerst aus der Fruchtfolge verdrängt werden würden, kann die DAKfL je PLI-Einheit als Maßstab herangezogen werden. Dieser Wert (vgl. Abbildung 26) beschreibt die Höhe der DAKfL, die durch den Einsatz

⁸⁰ Für eine vollständig mechanische Unkrautbekämpfung wird jeweils eine zweifache Striegel- und Hackanwendung unterstellt.

⁸¹ Eine detaillierte Darstellung der DAKfL von Brache findet sich in Tabelle A 16 im Anhang.

von einer PLI-Einheit generiert werden kann. Unter ökonomischen Gesichtspunkten würden zuerst Kulturen ausgedehnt werden, die eine hohe DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit erzielen. Im Spektrum der bisher im Modellbetrieb angebauten Kulturen ist das Verhältnis von DAKfL je PLI-Einheit bei Winterraps mit 90 €/PLI-Einheit am geringsten. Silomais kann hingegen ein Verhältnis von mehr als 350 €/PLI-Einheit erzielen und liefert dadurch die höchste DAKfL je ausgebrachter PLI-Einheit. Auf einem vergleichbaren Niveau befindet sich auch der Körnermaisbau. Angesichts der bereits beschriebenen geringen DAKfL und dem gleichzeitig hohen PLI können Ackerbohnen die im Vergleich geringste DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit erzielen⁸².

Abbildung 26: Die DAKfL der Kulturen je ausgebrachter PLI-Einheit



Quelle: eigene Darstellung

Der Systematik in Abbildung 26 folgend, wird in den in Tabelle 16 vorgestellten Szenarien 9-12 unterstellt, dass im Modellbetrieb der Anbau von Winterraps vollständig durch Körnermais ersetzt wird. Das hat dementsprechend auch zur Folge, dass der nachstehende Winterweizen nicht mehr nach Raps, sondern nach Mais bestellt wird. Der Anbau von Ackerbohnen und das Brachlegen von Ackerflächen werden aufgrund der geringen Rentabilität als Anpassungsoption nicht berücksichtigt.

⁸² Auf die Darstellung der Brache wird in dieser Abbildung verzichtet, da keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden und sich deshalb ein PLI von null ergibt.

4.3.1 Produktionstechnische Anpassungen

Damit der PLI im Modellbetrieb um durchschnittlich 25 bzw. um 50 % reduziert wird, sind eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen notwendig. Wie in Tabelle 18 beschrieben, ergeben sich für eine 25 und 50 %ige PLI Reduktion jeweils sechs politische Umsetzungsoptionen. Zur verbesserten Übersichtlichkeit wird an dieser Stelle exemplarisch auf die Szenarien 7 und 8 bzw. 11 und 12 eingegangen⁸³. Sie haben gemeinsam, dass sie die Substitution von Wirkstoffen und die Durchschnittsbetrachtung über die Fruchtfolge ermöglichen. Anhand der in Tabelle 17 dargestellten kostenminimalen Anpassungsmaßnahmen lassen sich folgende Schlüsse ableiten:

- Soll der PLI bei gleichbleibender Fruchtfolge um 25 % gesenkt werden (Szenario 7), werden überwiegend Wirkstoffe substituiert. Dennoch werden auch ackerbauliche Maßnahmen durchgeführt. Das ist vor allem durch die (teil-)mechanische Unkrautregulierung mittels einer Hacke-Bandspritze-Kombination in Zuckerrüben der Fall. Zudem erfolgt die Aussaat von Winterweizen nach Raps zu einem späteren Saatzeitpunkt. Zum Abtöten der Zwischenfrucht vor Silomais wird zukünftig auf den Einsatz von Glyphosat verzichtet. Stattdessen werden mechanische Verfahren zur Zerkleinerung und Einmischung genutzt.
- Für eine Halbierung des PLI bei konstanter Fruchtfolge (Szenario 8) sind aufbauend auf einer Reduktion um 25 % weitreichendere Maßnahmen notwendig, die in der Regel über eine Wirkstoffsubstitution und die zuvor genannten Schritte hinausgehen. Dazu gehört, dass beim Anbau von Winterweizen nur noch eine Fungizidmaßnahme stattfindet, beim Rapsanbau auf die Blütenbehandlung verzichtet und eine Insektizidreduktion realisiert wird sowie eine (teil-)mechanische Unkrautbekämpfung im Mais durchgeführt wird. Bei letzterer kann nach Einschätzung der Praktiker*innen insbesondere in niederschlagsreichen Jahren ein zeitlicher Konflikt mit dem Hacken von Zuckerrüben entstehen. Tritt dieser Fall ein, müsste ein externer Dienstleister hinzugezogen werden, um die Arbeiten termingerecht durchführen zu können.
- In Szenario 11 wird unterstellt, dass neben den bereits genannten Anpassungsmaßnahmen zusätzlich die Möglichkeit besteht, die Fruchtfolge sowie die Anbauanteile der Einzelkulturen zu verändern. Zwar konnte im vorherigen Kapitel gezeigt werden, dass eine Reduktion des PLI bei Raps vergleichsweise günstig zu erreichen ist, dennoch befindet sich die DAKfL je PLI-Einheit auch bei einer Halbierung des PLI unterhalb der Alternativkulturen. Das führt dazu, dass Raps aus der Fruchtfolge verdrängt und stattdessen vermehrt Körnermais angebaut wird. Infolgedessen kann auch kein Winterweizen nach Vorfrucht Raps mehr angebaut werden. Aus Sicht der Praktiker*innen würde dieser Schritt in der Realität nicht unmittelbar erfolgen, da es durch den Anbau von Körnermais zu weitreichenden Veränderungen im Betrieb kommt. Dazu zählt, dass:
 - a) sich die Arbeitsspitzen im Jahresverlauf verschieben und eine späte Weizenaussaat mit zusätzlichen Witterungsrisiken verbunden ist.

⁸³ Eine vollständige Übersicht zu den in den jeweiligen Szenarien ausgewählten kostenminimalen Anpassungsmaßnahmen findet sich in den Tabellen A 19.1 bis A 19.6 im Anhang.

- b) Trocknungskapazitäten für Körnermais erst aufgebaut werden oder Vermarktungswege zu viehhaltenden Betrieben erschlossen werden müssen.
- c) Betriebsleiter*innen steigende Rapspreise erwarten, damit Rapsverarbeiter ihren Bedarf decken können.
- Soll der PLI unter diesen Rahmenbedingungen um 50 % gesenkt werden (Szenario 12), würden zusätzliche Maßnahmen wie eine Beschränkung auf eine Fungizidbehandlung im Weizen, der Verzicht auf Glyphosat bei Zuckerrüben und Mais sowie eine Wirkstoffsubstitution bei einer Vielzahl von Anbaufrüchten erfolgen.

Tabelle 17: Kostenminimale Anpassungsmaßnahmen zur Umsetzung verschiedener PLI-Reduktionsziele und Umsetzungsszenarien

Szenario	Beschreibung	Kultur	Umgesetzte Maßnahmen
7	PLI -25 % Durchschnittsbetrachtung bestehende Fruchtfolge	Zuckerrüben	A 3: (teil-)mechanische Unkrautbekämpfung
		Weizen nach ZR	W 1: Wirkstoffsubstitution
		Stoppelweizen	W 1: Wirkstoffsubstitution
		Winterraps	W 1: Wirkstoffsubstitution
		Weizen nach Raps	A 3: später Aussaatzeitpunkt
		Silomais	A 1: Glyphosatverzicht
		Weizen nach Mais	W 1: Wirkstoffsubstitution
		Wintergerste	W 1: Wirkstoffsubstitution
8	PLI -50 % Durchschnittsbetrachtung bestehende Fruchtfolge	Zuckerrüben	WA 7: Wirkstoffsubstitution, Glyphosatverzicht und (teil-)mechanische UKB
		Weizen nach ZR	WA 7: Wirkstoffsubstitution und Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme
		Stoppelweizen	WA 7: Wirkstoffsubstitution und Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme
		Winterraps	WA 13: Wirkstoffsubstitution, Verzicht Blütenbehandlung und Reduktion Insektizide
		Weizen nach Raps	WA 10: Wirkstoffsubstitution und später Aussaatzeitpunkt
		Silomais	A 3: Glyphosatverzicht und (teil-)mechanische UKB
		Weizen nach Mais	W 1: Wirkstoffsubstitution
		Wintergerste	WA 8: Wirkstoffsubstitution, Reduktion Insektizide und Fungizide
11	PLI -25 % Durchschnittsbetrachtung volle Anpassungsflexibilität	Zuckerrüben	A3: (teil-)mechanische Unkrautbekämpfung
		Winterraps	Senken des Anbauanteils um 10 % (Ausstieg aus der Produktion)
		Winterweizen	Kein Anbau von Winterweizen nach Raps; stattdessen mehr Weizen nach Mais
		Körnermais	Erhöhung des Anbauanteils um 10 % (anstelle von Raps)
		Wintergerste	W1: Wirkstoffsubstitution
12	PLI -50 % Durchschnittsbetrachtung volle Anpassungsflexibilität	Zuckerrüben	WA 7: Wirkstoffsubstitution, Glyphosatverzicht und (teil-)mechanische Unkrautbekämpfung
		Weizen nach ZR	WA 7: Wirkstoffsubstitution und Beschränkung auf eine Fungizidmaßnahme
		Stoppelweizen	W 1: Wirkstoffsubstitution
		Winterraps	Senken des Anbauanteils um 10 % (Ausstieg aus der Produktion)
		Silomais	A 1: Glyphosatverzicht
		Körnermais	Erhöhung des Anbauanteils um 10 % (anstelle von Raps)
		Weizen nach Mais	WA 5: Wirkstoffsubstitution und Reduktion Insektizide
		Wintergerste	W 1: Wirkstoffsubstitution

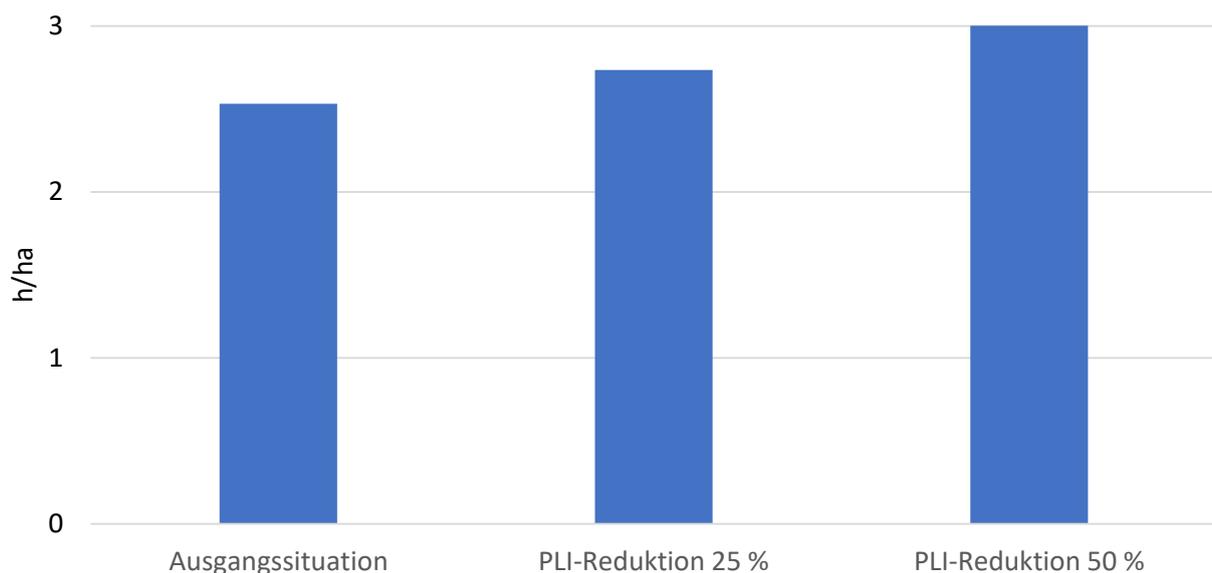
Quelle: eigene Darstellung

Nebeneffekte einer PLI-Reduktion

Ein reduziertes PLI-Niveau hat, wie bereits gezeigt werden konnte, erheblichen Einfluss auf einzelne Verfahrensschritte innerhalb der Produktionssysteme. Wenn sich die Bewirtschaftung der Flächen verändert, beeinflusst das neben ökonomischen Kennzahlen ebenfalls den Dieserverbrauch oder die Feldarbeitszeit. Dass eine Herbizidreduktion durch eine mechanische Unkrautbekämpfung bzw. eine intensiviertere Bodenbearbeitung kompensiert wird, zeigt sich auch im durchschnittlichen Dieserverbrauch des Modellbetriebs. Während in der Ausgangssituation rund 111 l/ha Diesel (ohne Overhead-Anteil) benötigt wurden, ist bei einer PLI-Reduktion um 25 % von einem Anstieg des Dieserverbrauchs in Höhe von rund 5 % auszugehen. Soll der PLI halbiert werden, steigt der Dieseleinsatz durchschnittlich um bis zu 15 % an.

Neben einem gesteigerten Dieserverbrauch hat ein verändertes Produktionsprogramm ebenso Auswirkungen auf die benötigte Feldarbeitszeit. Als Indikator hierfür werden die Motormaschinenstunden⁸⁴ ohne Overhead-Zeiten herangezogen. Wie in Abbildung 27 zu sehen ist, führt ein sinkendes PLI-Niveau zu einer steigenden Zahl an Maschinenstunden. Während in der Ausgangssituation rund 2,5 h/ha anfallen, steigt die Anzahl im Durchschnitt der 25%igen PLI-Reduktionsstrategien um 8 % an. Bei einer Halbierung des PLI fallen rund 3 h/ha an, was einem Zuwachs von 19 % im Vergleich zur Ausgangssituation entspricht.

Abbildung 27: Motormaschinenstunden (in h/ha) bei unterschiedlichem PLI-Niveau



Quelle: eigene Darstellung

⁸⁴ Die Motormaschinenstunden beinhalten alle Feldarbeitsstunden von Traktoren und selbstfahrenden Erntegeräten wie Mähreschern oder Rübenroden.

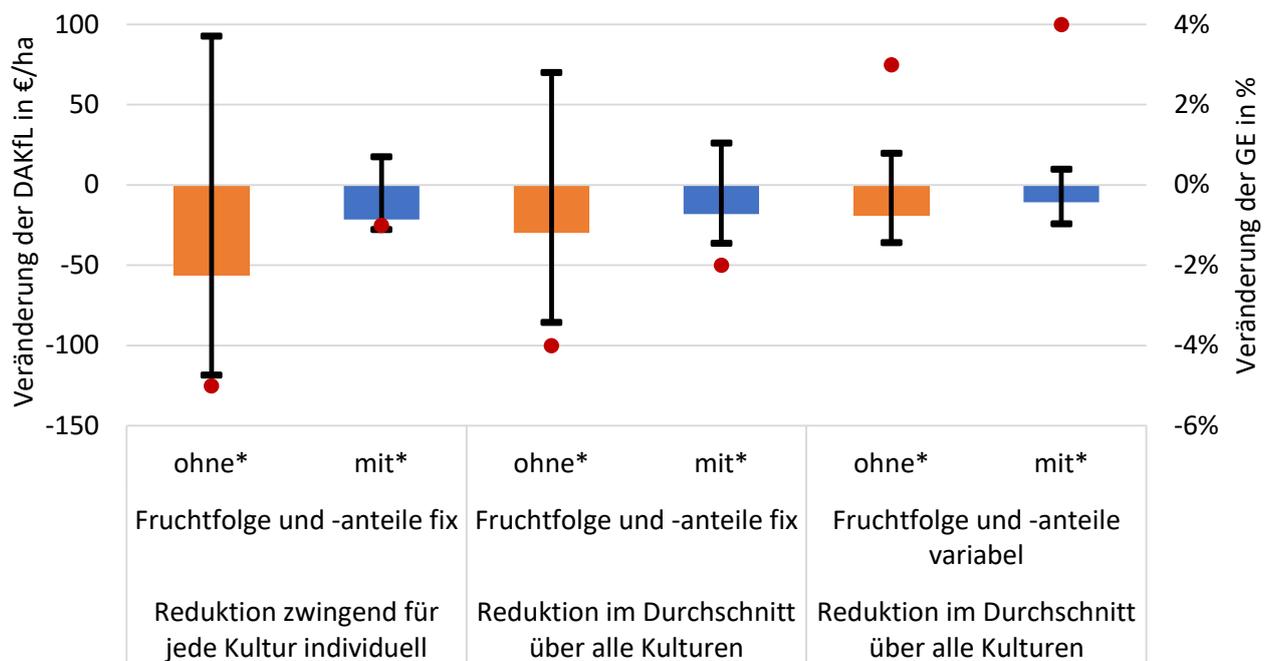
4.3.2 Anpassungskosten der verschiedenen Umsetzungsoptionen zur PLI-Reduktion auf gesamtbetrieblicher Ebene

Nachdem nun die grundsätzlichen Anpassungsstrategien und die umgesetzten kostenminimalen Anpassungsmaßnahmen diskutiert wurden, sollen nachfolgend die aggregierten Kosten verschiedener Umsetzungsoptionen verglichen werden. Dabei wird zur besseren Übersichtlichkeit zwischen den beiden Reduktionsstufen 25 und 50 % differenziert. In Abbildung 28 werden zunächst die Veränderung der DAKfL (in €/ha) sowie die Veränderung erzeugter Getreideeinheiten (GE)⁸⁵ (in %) bei einer Reduktion des PLI um 25 % dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich aus der Abbildung ableiten:

- Die Anpassungskosten sinken, je mehr Flexibilität den landwirtschaftlichen Unternehmer*innen bei der Umsetzung gewährt wird.
- Muss die PLI-Reduktion um 25 % für jede Kultur individuell umgesetzt werden und wird langfristig eine Wirkstoffsubstitution ausgeschlossen, entstehen die höchsten Anpassungskosten von rund 56 €/ha. Die Spannweite reicht dabei von -93 €/ha bis hin zu einer positiven Veränderung im Best-Case von etwa 120 €/ha. Mithilfe der Wirkstoffsubstitution können die durchschnittlichen Kosten auf 20 €/ha bei entsprechender Verringerung der Spannweite gesenkt werden.
- Wenn die Reduktionsziele nicht für jede Kultur einzeln, sondern im Durchschnitt über die Fruchtfolge erzielt werden können, haben die landwirtschaftlichen Betriebe die Möglichkeit, bei Kulturen mit vergleichsweise geringen Anpassungskosten stärker zu reduzieren als bei Kulturen mit hohen Anpassungskosten. Während der PLI in Wintergetreide wie Winterweizen nach Raps oder Stoppelweizen unterdurchschnittlich stark reduziert wird, wird das Risiko bei Zuckerrüben oder Mais überdurchschnittlich gesenkt. Dadurch sinken die durchschnittlichen Kosten auf 30 (ohne Wirkstoffsubstitution) bzw. 18 €/ha, wenn höher toxische Wirkstoffe ersetzt werden.
- In einer Situation, in der die Betriebe den gesamtbetrieblichen PLI senken können, indem sie Früchte mit einem hohen PLI durch Kulturen mit einem geringen PLI ersetzen, können die Anpassungskosten abermals gesenkt werden. Neben Anpassungsmaßnahmen in den Einzelkulturen wurde dazu im Modellbetrieb der Anbau von Raps durch Körnermais ersetzt. Im Mittel entstehen Anpassungskosten zwischen 19 und 11 €/ha, je nachdem ob die Wirkstoffsubstitution langfristig mit einbezogen wird oder nicht. Gleichzeitig sinkt die jahresindividuelle Streuung der Ergebnisse deutlich.
- Die Veränderung im Betrieb erzeugter GE beträgt je nach Anpassungsmaßnahmen zwischen -5 bis maximal +4 %. Ein positiver GE-Saldo entsteht, wenn der Anbau von Raps durch Körnermais ersetzt wird (vgl. Tabelle A 20 und A 21 im Anhang).

⁸⁵ Im Rahmen von Getreideeinheiten wird das Energielieferungsvermögen eines Erzeugnisses in Relation zum Energielieferungsvermögen von Futtergerste ausgedrückt. Mithilfe von GE können die naturalen Erträge unterschiedlicher Kulturen miteinander verglichen werden.

Abbildung 28: Veränderung der DAKfL (in €/ha) und erzeugter GE bei einer 25 %igen PLI-Reduktion verschiedener Umsetzungsoptionen auf gesamtbetrieblicher Ebene



* Wirkstoffsubstitution

** Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

• Veränderung der GE in %

Quelle: eigene Darstellung

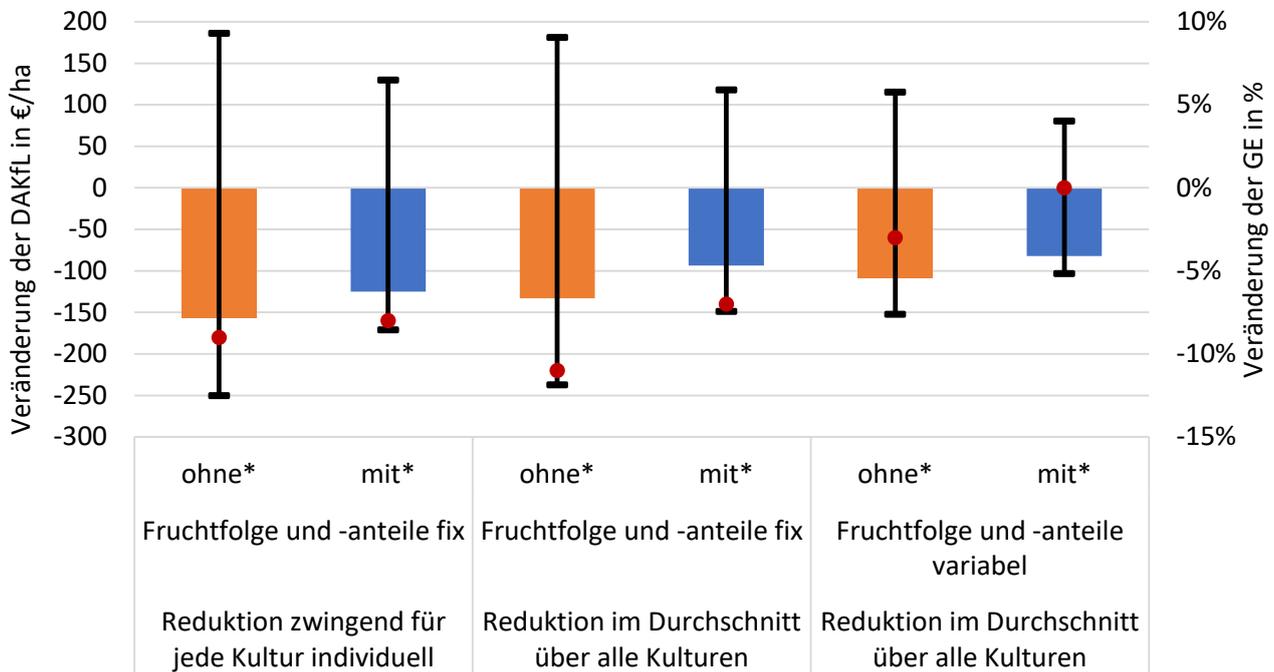
Im nächsten Schritt werden in Abbildung 29 die Anpassungskosten bei einer Reduktion des PLI um 50 % dargestellt. Daraus lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

- Ähnlich wie bei den Anpassungskosten einer 25 %igen PLI-Reduktion sinken die Kosten auch bei einer Halbierung des PLI sowohl bei Berücksichtigung der Wirkstoffsubstitution als auch durch eine steigende Anpassungsflexibilität der landwirtschaftlichen Betriebe.
- Eine zwingend kulturindividuelle Umsetzung sorgt bei einer Halbierung des PLI für Kosten in Höhe von 157 €/ha ohne Berücksichtigung der Wirkstoffsubstitution bzw. 125 €/ha, wenn höher toxische Wirkstoffe ersetzt werden. Die jahresindividuelle Spannweite von Best- und Worst-Case reicht dabei von -185 €/ha bis hin zu +250 €/ha.
- Können die Reduktionsvorgaben im Durchschnitt über die Fruchtfolge erreicht werden, sinken die Anpassungskosten auf 126 bzw. 89 €/ha⁸⁶.
- Bei Veränderung der Anbaukulturen, wie einem Wechsel von Winterraps zu Körnermais, sinken die Kosten auf 101 bzw. 77 €/ha. Die durchschnittlichen Anpassungskosten sowie die Spannweite zwischen Best- und Worst-Case, ausgelöst durch jährlich schwankende Witterungseinflüsse, sinken im Vergleich zur kulturindividuellen Reduktion um ca. ein Drittel.

⁸⁶ jeweils ohne bzw. mit Berücksichtigung der Wirkstoffsubstitution

- Die Veränderung im Betrieb erzeugter GE beträgt je nach Anpassungsmaßnahmen zwischen -11 % bis maximal 0 %. Je höher die Anpassungsflexibilität ist, umso geringer ist Verlust erzeugter GE (vgl. Tabelle A 20 und A 21 im Anhang).

Abbildung 29: Veränderung der DAKfL (in €/ha) und erzeugter GE bei einer 50 %igen PLI-Reduktion verschiedener Umsetzungsoptionen auf gesamtbetrieblicher Ebene



* Wirkstoffsubstitution

** Spannweitenlinien stellen die Veränderung der DAKfL im Best- und Worst-Case dar.

● Veränderung erzeugter GE in %

Quelle: eigene Darstellung

Vergleicht man Abbildung 28 und 29 miteinander, wird deutlich, dass sich der Grenznutzen⁸⁷ der eingesetzten PLI-Einheiten unterscheidet. Während es für den Modellbetrieb vergleichsweise günstig ist, auf die vierte PLI-Einheit zu verzichten, steigen die Anpassungskosten bei einem Verzicht der dritten PLI-Einheit überproportional stark an. Umgekehrt sinkt der Grenznutzen für die landwirtschaftlichen Betriebe mit jeder weiteren eingesetzten PLI-Einheit. Relevant ist diese Information insbesondere bei der Frage, welcher Anreiz den Betriebsleiter*innen gesetzt werden muss, damit sie eine Reduktion des PLI in ihren Betrieben umsetzen.

⁸⁷ Der Grenznutzen bezeichnet „die Zunahme des Nutzens [...], die beim Konsum einer zusätzlichen weiteren Einheit eines Gutes entsteht. Nach dem ersten gossenschen Gesetz nimmt mit steigendem Konsum eines Gutes der Grenznutzen dieses Gutes immer mehr ab.“ (bpb (2016)).

4.3.3 Zwischenfazit zu den Anpassungsmaßnahmen und -kosten einer PLI-Reduktion

Die Analysen auf Ebene von Einzelkultur und Gesamtbetrieb haben gezeigt, dass die Anpassungskosten um etwa ein Viertel verringert werden können, wenn die landwirtschaftlichen Betriebe höher toxische Wirkstoffe durch solche mit einer geringeren Toxizität substituieren. Kurzfristig scheint dies eine realistische Option zur Senkung der Kosten zu sein. Vor dem Hintergrund sich zunehmend entwickelnder Wirkstoffresistenzen ist jedoch unklar, ob die Wirkstoffsubstitution als eine langfristig tragfähige Strategie anzusehen ist. Eine Fokussierung auf weniger toxische Wirkstoffe schränkt die Wirkstoffauswahl stark ein und führt dazu, dass ähnliche oder identische Wirkstoffe häufiger appliziert werden. Dadurch wiederum wird die Entwicklung von Resistenzen gefördert. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass eine Wirkstoffsubstitution nur eine kurz- bis mittelfristige Lösung darstellt. Bei den genannten Anpassungskosten ist deshalb davon auszugehen, dass diese langfristig tendenziell unterschätzt werden.

Die Art der umweltpolitischen Ausgestaltung hat hohen Einfluss auf die unternehmerische Flexibilität, sich an die veränderten Rahmenbedingungen anzupassen. Grundsätzlich können die Reduktionsziele auf jede Kultur individuell, aber auch auf den Durchschnitt über die Fruchtfolge oder den Gesamtbetrieb bezogen werden. Je mehr Flexibilität den landwirtschaftlichen Betrieben gewährt wird, umso geringer sind die Kosten der Anpassung. Beim Wechsel von einer kulturindividuellen Kontrolle zu einer Umsetzung auf Ebene der Fruchtfolge⁸⁸ können die Anpassungskosten um bis zu 25 % gesenkt werden. Wird der Anbau von Kulturen mit einem geringen PLI als Maßnahme zur Senkung des gesamtbetrieblichen PLI herangezogen, erhalten die landwirtschaftlichen Betriebe weitere Möglichkeiten zur Anpassung. Die Kosten sinken dadurch um rund ein Drittel im Vergleich zur kulturindividuellen Umsetzung.

Insgesamt wurden im vorherigen Kapitel die Anpassungskosten für zwölf Szenarien einer umweltpolitischen Umsetzung betrachtet. Vor dem Hintergrund der praktischen Umsetzbarkeit sind zusätzlich folgende Einschränkungen zu berücksichtigen:

- (1) Zwar ist es grundsätzlich denkbar, dass eine PLI-Reduktion für jede Kultur gefordert wird, gleichwohl erscheint eine kulturindividuelle Kontrollierbarkeit über die Einhaltung der Vorgaben in der Praxis nicht praktikabel, da die einzelnen Pflanzenschutzmittel letztlich häufig bei einer Vielzahl an Kulturen zugelassen ist. Deshalb erscheint eine Umsetzung der Varianten 1-4 in der Realität unwahrscheinlich.
- (2) Die Substitution von Wirkstoffen ist trotz ihrer potenziellen Gefahr für eine verstärkte Resistenzenentwicklung die zunächst erste Anpassungsreaktion landwirtschaftlicher Betriebe. Hinzu kommt, dass seitens der Politik kein Verbot der Wirkstoffsubstitution ausgeübt werden kann.

⁸⁸ Die Referenzwerte des PLI setzen sich weiterhin auf Basis der Einzelkulturen zusammen, die Reduktion kann jedoch innerhalb der Fruchtfolge frei gestaltet werden.

Infolgedessen sind ausschließlich ackerbauliche Anpassungsstrategien an dieser Stelle ebenfalls nicht weiter zu berücksichtigen.

Aus den genannten Gründen scheinen die Szenarien 7 und 8 bzw. 11 und 12 die größte Praxisrelevanz zu besitzen und dienen deshalb als Grundlage für die nachfolgenden Überlegungen. Mit Blick auf den relativen Verlust der DAKfL haben die Umsetzungsszenarien folgenden Einfluss:

In der Ausgangssituation wird im Modellbetrieb mit der bestehenden Fruchtfolge (vgl. Kapitel 4.1.2) eine DAKfL in Höhe von 633 €/ha erwirtschaftet. Bei einem Reduktionziel des PLI um 25 % würde die DAKfL um 2 bis 3 % reduziert werden. Bei einer PLI-Reduktion um 50 % sinkt die DAKfL des Modellbetriebs hingegen um 13 und 15 % gegenüber der Ausgangssituation und würde die Rentabilität des Marktfruchtbaus im Modellbetrieb deutlich negativ beeinflussen. Zudem wurde durch die Analyse gezeigt, dass eine Risikoreduktion einer Ertragsstabilisierung entgegenwirkt, so dass die Spannbreite der DAKfL im Einzeljahr dementsprechend ansteigt.

Der Anstieg notwendiger Motormaschinenstunden um nahezu 20 % bei einer Halbierung des PLI kann unter gewissen Umständen weitreichende Betriebsanpassungen zur Folge haben. Dabei muss zwischen folgenden Fällen differenziert werden: Im Fall, dass mit den vorhandenen Maschinen und unter den verfügbaren Feldarbeitstagen die Mehrarbeit geleistet werden kann, ergeben sich keine weitreichenden Veränderungen für die Arbeitsorganisation im Betrieb. Sind die Maschinen und ggf. weitere knappe Produktionsfaktoren wie Arbeitskräfte etc. bereits in der Ausgangssituation unter der Annahme bestehender Feldarbeitstage voll ausgelastet, kann das veränderte Produktionssystem nicht ohne weitere Anpassungen umgesetzt werden. In diesem Fall müsste der Betrieb entweder in größere Technik investieren oder zur Erledigung weiterer Aufgaben einen externen Dienstleister hinzuziehen.

5 Möglichkeiten einer umweltpolitischen Steuerung zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel

Die Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel ist ein politisches Ziel (vgl. Kapitel 1.1). Zur Erreichung dieses Ziels sind politische Maßnahmen erforderlich. Die landwirtschaftlichen Betriebe stehen auf den Boden- und Pachtmärkten im Wettbewerb und können es sich deshalb im Regelfall nicht leisten, freiwillig auf Produktionssysteme umzuschwenken, die Mindererträge oder Kostensteigerungen verursachen und somit einen Wettbewerbsnachteil gegenüber Nachbarbetrieben bringen. Die Politik muss deshalb die Rahmenbedingungen für alle Betriebe so verändern, dass die Anpassung der Produktionssysteme entweder zwingend vorgeschrieben oder betriebswirtschaftlich rentabel wird. Unabhängig von der Politikmaßnahme ist das Ziel, bei den landwirtschaftlichen Betriebsleiter*innen als unmittelbare Anwender*innen der Pflanzenschutzmittel eine Verhaltensänderung hin zur Nutzung von weniger toxischen Wirkstoffen und/oder geringeren Wirkstoffmengen herbeizuführen.

Hierfür stehen der Politik vielfältige Maßnahmen zur Verfügung. Das Spektrum ist deshalb so groß, weil bei jeder Spezifikation einer Politikmaßnahme implizit eine Festlegung von vier Aktionsparametern erfolgt (technologische Ansatzstelle, Adressat, Regelungsraum, umweltpolitisches Instrument) und es somit - auch für das Ziel „Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel“ - eine Vielzahl plausibler Kombinationsmöglichkeiten gibt (vgl. Kapitel 3.4.1). In der hier vorliegenden Untersuchung geht es nicht darum, alle denkbaren Politikoptionen zu identifizieren und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile zu bewerten. Vielmehr soll anknüpfend an die Ergebnisse des Kapitels 4 untersucht werden, wie die Politik die technologische Ansatzstelle „PLI“ (Pesticide Load Indicator) nutzen könnte, um ihr Minderungsziel zu erreichen.

Selbst bei dieser Einengung auf die technologische Ansatzstelle „PLI“ verbleiben immer noch sehr viele Politikoptionen. Zum einen muss diese Ansatzstelle näher spezifiziert werden (z. B. PLI je kg Wirkstoff; je ha AF; je ha einer individuellen Kultur), zum anderen lässt sich diese Ansatzstelle in vielfältiger Weise mit den anderen drei Aktionsparametern kombinieren. Hier ist also eine zusätzliche Einengung erforderlich, um im weiteren Verlauf der Untersuchung die ausgewählten Politikmaßnahmen dem kritischen Urteil der Fokusgruppe aussetzen zu können. Eine Fokusgruppendifkussion ist erfahrungsgemäß nur dann erfolgversprechend, wenn dort nicht mehr als vier Politikoptionen ausgewählt und zur Diskussion gestellt werden.

Nachfolgend werden deshalb zunächst vier Politikoptionen vorgestellt, in denen jeweils der PLI zum Einsatz kommt. Diese Optionen werden spezifiziert und alternative Ausgestaltungsformen beschrieben. Anschließend werden die Politikoptionen jeweils hinsichtlich ihrer potenziellen Wirkung bewertet. Diese Bewertung erfolgt auf der Grundlage der ökonomischen Theorie und der in Kapitel 4 gewonnenen Erkenntnisse. Ebenso wird bei der Bewertung der vier ausgewählten Politikoptionen die Sicht der landwirtschaftlichen Praxis durch die Fokusgruppe berücksichtigt.

5.1 Vorstellung und Folgenabschätzung der ausgewählten Politikoptionen

Bei der Gestaltung einer Politikoption erfolgt immer eine Festlegung von vier Aktionsparametern, unabhängig davon, ob die Politikinstanzen sich dieser Tatsache bewusst sind oder nicht (vgl. Scheele et al., 1992). Je nachdem, welche Kombination der Aktionsparameter gewählt wird, resultieren daraus unterschiedliche Wirkungen der Politikmaßnahme: Beispielsweise wird eine Steuer andere Einkommenswirkungen auslösen als eine Subvention und ein Adressat „Landwirtschaftlicher Betrieb“ ermöglicht eine stärkere regionale Differenzierung als ein Adressat „Händler von Pflanzenschutzmitteln“.

Die Frage, für welche Kombination der Aktionsparameter sich die Politik entscheiden sollte, kann nicht von der Wissenschaft allein beantwortet werden. Das politische Hauptziel „Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel um 25 oder 50 %“ kann durch verschiedene Parameter-Kombinationen erreicht werden und wenn die Politik dann letztlich die eine Kombination stärker präferiert als die andere, dann tut sie das vermutlich deshalb, weil mit der ausgewählten Kombination ein politisch attraktiveres Bündel an Nebenzielen erreicht wird. Solche Nebenziele können beispielsweise sein: die Sicherung landwirtschaftlicher Einkommen, eine Produktionsverlagerung in Drittstaaten zu verhindern, die Vermeidung steigender Verbraucherausgaben, die Minimierung des administrativen Aufwandes oder die Förderung der biologischen Vielfalt.

Auf der Grundlage dieser Überlegungen wurden die vier Politikoptionen für die vorliegende Untersuchung so konzipiert, dass a) alle Politikoptionen das deklarierte Hauptziel „Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel um 25 bzw. 50 %“ erfüllen, aber b) jede der vier Politikoptionen ein anderes Nebenziel in den Vordergrund stellt. Alle vier Politikoptionen arbeiten mit der Ansatzstelle „PLI“, wenngleich in unterschiedlicher Spezifikation. Die anderen drei Aktionsparameter werden möglichst schlüssig auf die jeweils im Vordergrund stehenden Nebenziele der Politikmaßnahme ausgerichtet. Dabei wird bei allen vier Politikoptionen davon ausgegangen, dass ihre Umsetzung zeitgleich im Gesamttraum der Europäischen Union erfolgt⁸⁹.

Eine abrupte PLI-Reduktion in voller Höhe kann zu drastischen Veränderungen in den Produktionssystemen und zu einer geringen Akzeptanz der Landwirt*innen führen. Der Grund dafür ist, dass die Betriebe ohne Übergangszeitraum nicht genug Zeit haben, sich an die neuen Rahmenbedingungen anzupassen. Um dies zu verhindern, kann in der Praxis ein stufenweises Vorgehen angewendet werden. Da die Anpassungskosten einer PLI-Reduktion um 25 % vergleichsweise gering sind (vgl. Kapitel 4.3.2), ist keine weitere Unterteilung notwendig und sie kann dementsprechend unmittelbar von der Politik angesteuert werden. Für die verbleibende PLI-Reduktion auf insgesamt 50 % wird eine schrittweise jährliche Steigerung in Höhe von 5 % angenommen. Zur Vereinfachung werden in der nachfolgenden Folgenabschätzung nur die 25 bzw. 50 %-Schritte berücksichtigt.

⁸⁹ Der Geltungsbereich der Europäischen Union wurde aufgrund der gemeinsamen Marktordnung gewählt. Um eine Verlagerung der Produktion zu verhindern, ist eine weltweit einheitliche Risikoreduktion durch Pflanzenschutzmittel naheliegend. Ein derartiges Vorgehen erscheint jedoch aufgrund global unterschiedlicher nationaler Interessen nicht umsetzbar.

Treten ähnliche Folgen unterschiedlicher Politikmaßnahmen auf, werden sie in den Folgekapiteln nur an einer Stelle im Detail erläutert und anschließend wird im weiteren Verlauf darauf verwiesen.

5.1.1 Einzelbetriebliche PLI-Obergrenzen

Zunächst wird eine Kurzübersicht über die Ausgestaltung der Politikmaßnahme „einzelbetriebliche PLI-Obergrenzen“ gegeben und anschließend die Konzeption der Maßnahme begründet. Darauf aufbauend werden die Folgen auf Produktion und Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe abgeschätzt. Weiterhin wird der staatliche und betriebliche Administrations- und Kontrollaufwand bewertet.

5.1.1.1 Maßnahmenkonzeption

Nebenziel: Keine Verlagerung der Produktion einzelner Kulturen in Drittstaaten

Der Staat legt für alle Kulturarten gesetzlich fest, wie viele PLI-Einheiten je Hektar Anbaufläche der jeweiligen Kultur maximal eingesetzt werden dürfen. Diese kulturindividuellen Grenzwerte werden zunächst um 25 % und anschließend um bis zu 50 % gesenkt. Die für die einzelnen Kulturarten festgelegten Grenzwerte (vgl. Abbildung 35) gelten für das Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland. Für einige Kulturarten (vor allem Winterweizen) werden je nach Vorfrucht unterschiedliche Grenzwerte festgelegt. Die zuständige Behörde teilt jedem landwirtschaftlichen Betrieb für jedes Jahr seine maximal zur Verfügung stehende Anzahl an PLI-Einheiten mit⁹⁰. Diese errechnet sich durch Multiplikation des Anbauumfangs der einzelnen Kulturarten (gemäß InVeKoS) mit den kulturindividuellen Grenzwerten.

Wird eine Kultur umgebrochen, sodass keine Ernte erfolgt, und im selben Wirtschaftsjahr eine weitere zu erntende Hauptkultur angebaut, sind die bereits eingesetzten PLI-Einheiten nicht zu Lasten der zweiten Kultur zu werten. Die Betriebsleiter*innen melden den Umbruch sowie die bisher eingesetzten Pflanzenschutzmittel an die zuständige Behörde. Um Missbrauch vorzubeugen, kann diese mittels satellitengestützter Bildaufnahmen den Anbau der ursprünglich angebauten Kultur verifizieren.

⁹⁰ Da die Mitteilung der betrieblichen PLI-Obergrenzen aufgrund geltender Antragsfristen nicht vor Juni eines Jahres erfolgen kann, bis dahin aber wesentliche Anteile des Pflanzenschutzmitteleinsatzes erfolgen, sind die Landwirt*innen angehalten, die betrieblichen PLI-Obergrenzen zunächst eigenständig zu ermitteln.

Abbildung 30: kulturindividuelle PLI-Obergrenzen anhand des Modellbetriebs

Kultur	Vorfrucht	PLI-Obergrenze je ha AF	
		PLI -25 %	PLI -50 %
Zuckerrübe		3,0	2,0
Silomais		1,3	0,9
Winterweizen	Winterraps	4,1	2,7
	Zuckerrübe	3,0	2,0
	Getreide	3,3	2,2
	Mais	2,8	1,9
Winterraps		5,1	3,4
Wintergerste		1,7	1,1

Quelle: eigene Darstellung

Es ist den landwirtschaftlichen Betrieben gestattet, ihre zugeweilte PLI-Gesamtmenge zur Anpassung an besondere Witterungs- und Schadbedingungen in einzelnen Jahren um maximal 30 %⁹¹ zu überschreiten. Die Betriebe müssen aber sicherstellen, dass der tatsächliche PLI-Einsatz im rollenden Dreijahresmittel die zugeweilte PLI-Gesamtmenge nicht überschritten hat. Die behördliche Kontrolle der Einhaltung der PLI-Obergrenzen erfolgt auf Ebene des Gesamtbetriebs. Die Behörde kontrolliert mithilfe der Online-Datenbank (vgl. Kapitel 5.2), ob die tatsächlich eingesetzte PLI-Menge unterhalb der maximal zulässigen PLI-Obergrenze lag.

Kommt es zu einer Betriebsübernahme durch einen anderen Bewirtschaftenden oder zu einer Betriebsaufgabe, sind negative PLI-Salden vor dem Bewirtschaftungsende auszugleichen. Im Falle einer PLI-Überschreitung bei Betriebsaufgabe ist diese durch den Bewirtschaftenden finanziell zu entschädigen. Die Höhe orientiert sich an behördlich festgelegten Standardsätzen je PLI-Einheit. Ein Übertragen von „ungenutzten“ PLI-Einheiten unterhalb der PLI-Obergrenze aus vorherigen Jahren eines Betriebs auf andere Betriebe wird ausgeschlossen.

Wird eine PLI-Überschreitung im Durchschnitt der drei zurückliegenden Anbaujahre festgestellt, verhängt die zuständige Behörde ein Bußgeld. Die Höhe des Bußgelds ergibt sich aus dem durch den Verstoß nach Standardwerten zu erwartenden finanziellen Zugewinn des Bewirtschaftenden je Hektar Ackerfläche sowie zusätzlichen Verwaltungs- und Bearbeitungskosten. Am Beispiel des Modellbetriebs muss das Bußgeld in einer Größenordnung von mehr als 75 €/PLI-Einheit liegen, damit kein finanzieller Anreiz zum vorsätzlichen Überschreiten der PLI-Obergrenze besteht.

⁹¹ Die maximale PLI-Überschreitung im Einzeljahr ist als exemplarische Größe zu sehen und anhand von Pflanzenschutzmitelanwendungen in Jahren mit einer überdurchschnittlich hohen Notwendigkeit festzulegen.

5.1.1.2 Begründung der Maßnahmenkonzeption

Die zuvor beschriebene Maßnahme „Einzelbetriebliche PLI-Obergrenze“ könnte an verschiedenen Stellen grundsätzlich auch anders ausgestaltet werden. Daher werden nachfolgend die wichtigsten Alternativen diskutiert und die getroffene Auswahl begründet.

Im Zuge einer PLI-Reduktion kann es zur Verlagerung der Produktion einzelner Kulturen in Drittstaaten kommen. Dies ist aufgrund des Nebenziels zu verhindern. Die Frage, an welcher Referenzgröße die Höhe zur Verfügung stehender PLI-Einheiten bemessen wird, hat wesentlichen Einfluss auf die Wirkung einer einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze. Neben dem gewählten kulturindividuellen Bemessen von PLI-Einheiten wären grundsätzlich auch andere Bemessungsgrundlagen möglich. Dazu zählen vor allem (1) eine pauschale Zuweisung von PLI-Einheiten je Hektar Ackerfläche (AF) oder (2) ein Bemessen von PLI-Einheiten je ha AF oder kulturindividuell auf Basis des betrieblichen PLI-Einsatzes in der Vergangenheit. Aus folgenden Gründen wurden die genannten Alternativen nicht gewählt:

- Orientiert sich die Anzahl an PLI-Einheiten an der jeweils vom Betrieb bewirtschafteten Ackerfläche in Hektar unabhängig von der Form der Bewirtschaftung oder Anbaukultur, würde es aufgrund der heterogenen Standortvoraussetzungen in Deutschland und der EU zu sehr unterschiedlichem Anpassungsdruck kommen. Auf leichten und trockenen Standorten werden Kulturen wie Roggen oder Hafer eher extensiv geführt, während in fruchtbareren Regionen in der Regel Kulturen wie Raps, Zuckerrüben oder Weizen mit einer höheren Pflanzenschutzintensität angebaut werden. Somit sind auch die potenziellen Risiken durch Pflanzenschutzmittel heterogen im Land verteilt. Die undifferenzierte Begrenzung des PLI je ha AF würde in einigen Regionen aufgrund des derzeit angebauten Kulturartenspektrums zu einem drastischen PLI-Reduktionsbedarf führen und massiv in die bestehenden Produktionssysteme eingreifen, da die PLI-Einheiten in der beschriebenen Maßnahme nicht zwischen den Betrieben handelbar sind. In der Folge würde eine Zuteilung auf Basis der Fläche die Gefahr bergen, dass die Produktion PLI-intensiver Kulturen in Drittstaaten außerhalb der EU abwandert und somit dem in Kapitel 5.1.1.1 erklärten Nebenziel widersprechen.
- Wenn die PLI-Einheiten auf Basis historischer Anwendungsdaten bemessen werden, sind landwirtschaftliche Betriebe benachteiligt, die bereits in zurückliegenden Jahren durch Anpassungsprozesse eine Risikominderung erzielen konnten. Ihre Anstrengungen würden dementsprechend nicht honoriert werden, zumal weitere Risikominderungen mit steigenden Anpassungskosten verbunden sind. Auf dieser Grundlage scheidet diese Alternative für die PLI-Obergrenze sowie für alle im Anschluss zu diskutierenden Politikmaßnahmen aus.

Neben der gleichmäßigen PLI-Reduktion über alle Kulturen, wäre es ebenfalls denkbar, kulturindividuelle PLI-Reduktionsziele festzulegen. Der Hintergrund dieser Überlegung ist, dass sich die Anpassungskosten in den Kulturen bei gleicher PLI-Reduktion um mehr als 100 €/ha unterscheiden können (vgl. Kapitel 4.2.6). Somit wäre es über kulturindividuelle Anpassungsziele, die in Summe der anvisierten Gesamtreduktion entsprechen, theoretisch möglich die Anpassungskosten im

Sektor zu senken. Allerdings repräsentieren die in Kapitel 4 durchgeführten Modellkalkulationen nur die typischen Verhältnisse einer Region. In anderen Regionen können sich ganz unterschiedliche DAKfL-Relationen und Anbauanteile ergeben, die vorab schwer abzuschätzen sein dürften, so dass dieser Ansatz nicht weiter verfolgt wird.

Damit einzelbetriebliche PLI-Obergrenzen festgelegt werden können, müssen die Behörden national einheitliche PLI-Referenzwerte für die einzelnen Kulturen differenziert nach Vorfrüchten ausweisen. Es wird davon ausgegangen, dass dies auf der Informationsbasis bestehender Referenzbetriebe (z.B. dem PAPA-Netzwerk des JKI) für unterschiedliche Jahre, Standorte und Kulturen in Deutschland geschieht. Ergänzt werden die Daten durch die Expertise regionaler Experteneinschätzungen der Pflanzenschutzämter. Sie kondensieren regionale PLI-Referenzwerte auf einen bundeseinheitlichen Wert. Grundsätzlich können die Betriebe auch dazu verpflichtet werden, ihre Pflanzenschutzmittelaufwendungen in eine Online-Datenbank einzupflegen, sodass auf dieser Basis PLI-Referenzwerte abgeleitet werden können. Dieses Vorgehen würde die Datenbasis erheblich verbreitern und eine präzisere Analyse typischer Anwendungsmuster ermöglichen. Allerdings ist hierfür ein längerer zeitlicher Vorlauf notwendig. Da die Ziele bereits bis zum Jahr 2030 erreicht werden sollen, erscheint dieses Vorgehen zu zeitaufwändig.

Neben national einheitlichen PLI-Referenzwerten sind auch regional differenzierte Werte, beispielsweise auf Basis von Boden-Klima-Räumen, möglich. Auf diese Weise könnten ggf. existierende standortspezifische Unterschiede im PLI-Bedarf berücksichtigt werden. Allerdings steigt hierdurch der Administrationsaufwand für den Staat an, da bei der Kontrolle nicht mehr nur die angebauten Kulturen, sondern auch die Standorte der Flächen berücksichtigt werden müssen. Sollte sich jedoch im Zuge der Auswertung bisheriger Anwendungsmuster herausstellen, dass große regionale Unterschiede existieren, wäre es möglich, im Zeitablauf regional differenzierte PLI-Obergrenzen einzuführen.

Ebenso stellt sich die Frage, ob es notwendig ist, die PLI-Referenzwerte der Kulturen wie vorgeschlagen in Abhängigkeit ihrer Vorfrüchte zu differenzieren. Aufgrund des hohen Einflusses der Vorfrucht auf den PLI (vgl. Abbildung 15 in Kapitel 4.1.2) erscheint dies sinnvoll, auch wenn es die Komplexität bei der Ermittlung der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze erhöht.

Da die PLI-Einheiten je Hektar Anbaufläche einer Kultur ermittelt werden, ist es zunächst naheliegend, die Einhaltung auch einzelflächenspezifisch zu kontrollieren. Jedoch sind Pflanzenschutzmittel und deren Wirkstoffe zum Teil in mehreren Kulturen gleichzeitig zugelassen, sodass anhand der im Betrieb eingekauften Pflanzenschutzmittel nicht eindeutig auf den Einsatz in einer bestimmten Kultur geschlossen werden kann. Somit ist eine flächenscharfe Kontrolle bisher nicht rechtssicher umsetzbar und würde sehr hohe Kontrollkosten hervorrufen.

Anders als in der Maßnahmenbeschreibung vorgeschlagen, könnte ein pauschales Überschreiten der PLI-Obergrenzen aufgrund von Witterungsereignissen oder eines erhöhten Schaderregeraufkommens in Einzeljahren ausgeschlossen werden und stattdessen Ausnahmen von den regionalen

Pflanzenschutzmittelämtern erteilt werden. Diese müssten mithilfe von Stellvertretergrößen⁹² begründet werden. Folgende Herausforderungen sprechen jedoch gegen diesen Ansatz:

- (1) Zunächst müssen relevante Indikatoren ausgewählt und Schwellenwerte ermittelt werden, die eine Einschätzung über die Notwendigkeit einer Überschreitung der PLI-Obergrenze ermöglichen. Besonders das Festlegen von Schwellenwerten ist nicht ohne weiteres möglich.
- (2) Die Indikatoren sind aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit nicht auf Ebene des Einzelbetriebs zu ermitteln. Deshalb muss auf regionalisierte Daten zurückgegriffen werden. Dadurch kann die Situation entstehen, dass eine Erhöhung der PLI-Obergrenze aus einzelbetrieblicher Sicht angemessen wäre, die Indikatoren sich hingegen auf regionaler Ebene unterhalb des Schwellenwerts befinden. Der Hintergrund hierfür ist, dass sich das Auftreten von Schaderegern oder die Witterung auch kleinräumig stark unterscheiden kann.
- (3) Die Genehmigung von einzelbetrieblichen PLI-Überschreitungen anhand von Vor-Ort-Begutachtungen sowie die regionale Indikatorenauswertung würden einen bedeutenden Verwaltungsaufwand nach sich ziehen und wären mit dementsprechend hohen Kosten verbunden.

Kommt es zu einem Umbruch der Hauptkultur, wird in der Regel je nach Umbruchzeitpunkt im Herbst oder Frühjahr eine andere Kultur ausgesät. In diesem Fall ist die umgebrochene Kultur nicht in den InVeKoS-Daten zu identifizieren. Dennoch wurden möglicherweise bereits Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt und dementsprechend PLI-Einheiten eingesetzt. Neben dem beschriebenen Vorschlag, bereits eingesetzte PLI-Einheiten in der Folgekultur nicht zu berücksichtigen, könnte alternativ auch erwogen werden, diese (anteilig) zu Lasten der neu ausgesäten Kultur anzurechnen. Dies wäre ohne zusätzlichen Verwaltungsaufwand für den Staat zu administrieren. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass der Anbau der neu ausgesäten Kultur dadurch unrentabel wird, wenn die zur Verfügung stehenden PLI-Einheiten weiter reduziert werden und damit sinkende Erlöse bzw. höhere Kosten einhergehen.

Wird im Rahmen einer Datenbank-Kontrolle eine PLI-Überschreitung festgestellt, ist die Höhe des Bußgelds so zu bemessen, dass ein Überschreiten der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze aus ökonomischer Sicht unattraktiv ist. Anderenfalls könnten Landwirt*innen erwägen, ein vergleichsweise geringes Bußgeld in Kauf zu nehmen und den bisherigen PLI-Einsatz unvermindert fortzuführen.

⁹² Hierzu kann u.a. die Niederschlagsmenge in einem definierten Zeitraum, die Ergebnisse von Prognosemodellen zum Auftreten von Pilzinfektionen und Insektenzuflug oder stichprobenartige Bestandsbonituren auf Praxis schlägen durch den Pflanzenschutzdienst zählen.

5.1.1.3 Folgenabschätzung

Im letzten Abschnitt dieses Teilkapitels sollen die Folgen der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze abgeschätzt werden. Dabei wird der Einfluss auf die bereits in Kapitel 3.5.2 abgeleiteten Bereiche Produktion, Einkommen sowie Administrations- und Kontrollaufwand näher eingegangen.

Produktion

Einzelbetriebliche PLI-Obergrenzen führen unmittelbar zu einer Anpassung der Produktionsverfahren landwirtschaftlicher Erzeugnisse, da sie grundsätzlich von jedem Betrieb einzuhalten sind. Wie bereits exemplarisch bei der Ermittlung der Anpassungskosten in Kapitel 4.3.1 beschrieben, kann eine PLI-Reduktion um 25 % durch eine einzelbetriebliche PLI-Obergrenze in weiten Teilen durch eine Wirkstoffsubstitution in Kombination mit einem Glyphosatverzicht und einer (teil-)mechanischen Unkrautbekämpfung bei Zuckerrüben erreicht werden. Wird die PLI-Obergrenze ausgehend vom Status Quo um 50 % gesenkt, sind für den Modellbetrieb im Boden-Klima-Raum Südhannover folgende Anpassungsreaktionen zu erwarten:

- Substitution von Wirkstoffen mit einem überdurchschnittlichen PLI durch weniger toxische Wirkstoffe
- Zunahme mechanischer Unkrautbekämpfungsverfahren (ggf. in Kombination mit chemisch-synthetischen Verfahren) zunächst vorrangig in Reihenkulturen wie Zuckerrüben und Mais
- Verzicht auf den Einsatz von Totalherbiziden zur Vorsaatbehandlung auf nicht-erosionsgefährdeten Flächen
- Verringerung der Behandlungsintensität bei Fungiziden und Insektiziden
- Verstärkte Nutzung später Aussaattermine bei Winterungen um das Auflaufen von Ungräsern und -kräutern im Bestand zu mindern

Setzen Landwirt*innen produktionstechnische Anpassungen zur PLI-Minderung um, führt dies je nach Reduktionsziel zu Ertragsrückgängen. Mithilfe von Getreideeinheiten (GE) kann der erzeugte Naturalertrag im Rahmen unterschiedlicher Politikmaßnahmen miteinander verglichen werden (vgl. Kapitel 4.3.2). Wird der PLI mithilfe einzelbetrieblicher PLI-Obergrenzen um 25 % reduziert, sinken die im Vergleich zur Ausgangssituation erzeugten GE um 2 %. Kommt es zu einer Reduktion des PLI um 50 %, ist im Modellbetrieb Südhannover ein Rückgang erzeugter GE um 7 % zu erwarten. Da sich die Anbauumfänge der einzelnen Kulturen nicht verändern, ist der GE-Verlust ausschließlich auf Mindererträge in Folge pflanzenbaulicher Anpassungsmaßnahmen zurückzuführen. Sollte die Anpassung großräumig umgesetzt werden, müsste die Produktion a) auf bisher ungenutzte Flächen innerhalb der EU ausgedehnt, b) in Drittstaaten intensiviert oder c) die Nachfrage innerhalb der EU dementsprechend reduziert werden.

Die Anzahl einsetzbarer PLI-Einheiten bemisst sich, wie in Kapitel 5.1.1.1 dargelegt, am Anbauumfang der jeweils im Betrieb angebauten Kulturen. Dadurch kann die innerbetriebliche Konkurrenz der Kulturen um PLI-Einheiten im Vergleich zu den übrigen Politikmaßnahmen ausgesetzt werden.

Die Landwirt*innen haben folglich keinen Anreiz, Kulturen mit einer unterdurchschnittlichen DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit aus dem Produktionssystem auszuschließen. Dementsprechend ist nicht zu erwarten, dass PLI-intensive Kulturen wie Winterraps aus den Fruchtfolgen verdrängt werden und die Produktion in Drittstaaten erfolgen müsste. Das Nebenziel, die Verlagerung der Produktion einzelner Kulturen zu verhindern, kann deshalb mithilfe der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze erfüllt werden.

Einkommenswirkung

Die PLI-Reduktion mithilfe einer einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze führt zu Einkommensrückgängen, die dem Rückgang der DAKfL nach Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen (vgl. Tabelle 21 in Kapitel 4.3.2) entsprechen. Wenn der PLI um 25 % verringert werden soll, muss in dem Modellbetrieb auf eine PLI-Einheit verzichtet werden. Dies führt zu einem Verlust der durchschnittlichen DAKfL von 18 €/ha. Um den PLI-Einsatz um 50 % zu senken, muss in dem Modellbetrieb auf eine zweite PLI-Einheit verzichtet werden. Dies verursacht einen Rückgang der DAKfL um weitere 76 €/ha, sodass ein Einkommensrückgang von insgesamt 94 €/ha zu erwarten ist.

Tabelle 18: Ermittlung der Einkommenswirksamkeit einer einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze für den Modellbetrieb

	PLI -25 %	PLI -50 %
Anzahl PLI-Einheiten Ausgangssituation	4	4
Anzahl PLI-Einheiten mit betrieblicher Obergrenze	3	2
Rückgang der DAKfL bei Verzicht einer PLI-Einheit	18 €/ha	18 €/ha
zusätzlicher Rückgang der DAKfL bei Verzicht auf zwei PLI-Einheiten	-	76 €/ha
Einkommensrückgang je Hektar	18 €/ha	94 €/ha

Quelle: eigene Darstellung

Administrations- und Kontrollaufwand

Für die Kontrolle einzelbetrieblicher PLI-Obergrenzen muss eine Online-Datenbank eingerichtet werden (vgl. Kapitel 5.2). Die Hersteller und Händler von Pflanzenschutzmitteln werden verpflichtet, unmittelbar bei der Warenübergabe an den/die Landwirt*in die damit verbundenen PLI-Einheiten auf das jeweilige PLI-Konto der Bewirtschaftenden zu buchen. Die Landwirt*innen müssen jedoch die verbuchten PLI-Einheiten kontrollieren und bei einer überjährigen Verwendung der Produkte Korrekturbuchungen vornehmen. Die Kontrolle erfolgt anhand einer Datenbankauswertung durch die Behörde.

Aufgrund der Tatsache, dass die einzelbetriebliche PLI-Obergrenze keine unmittelbar prozesssteuernde Auflage⁹³ ist, können die Landwirt*innen frei entscheiden, welche Anpassungsmaßnahmen

⁹³ Eine prozesssteuernde Auflage schreibt den Landwirt*innen vor, welche Maßnahmen innerhalb des Produktionssystems zwingend einzuhalten sind. Im Gegensatz dazu wird in der skizzierten Umsetzungsoption lediglich das Ziel definiert. Innerhalb des gesetzlichen Rahmens werden keine weiterführenden Maßnahmen vorgeschrieben.

sie umsetzen, um das Reduktionsziel zu erreichen. Auf diese Weise wird ein kreativer Suchprozess der landwirtschaftlichen Unternehmer*innen nach innovativen und möglichst effizienten Lösungen zur Risikoreduktion durch Pflanzenschutzmittel ermöglicht.

Aus Behördensicht geht mit der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze der Nachteil einher, dass die absolute PLI-Reduktion auf nationaler Ebene vorab nicht exakt anzusteuern ist. Das hat folgende Ursachen:

- Aufgrund national einheitlicher PLI-Referenzwerte für die Einzelkulturen aber zwischenbetrieblicher Variabilität beim bisherigen PLI-Einsatz ist zu erwarten, dass der Anpassungsbedarf unterschiedlich hoch sein wird. Von den Betrieben, die mehr PLI-Einheiten benötigen als durch den Referenzwert zulässig sind, wird eine überdurchschnittlich hohe Anpassung gefordert. In Betrieben, deren PLI-Bedarf bereits in der Ausgangssituation unter dem Referenzwert liegt, ist der Anpassungsbedarf gering. Da der PLI-Referenzwert nur anhand von Stichproben ermittelt werden kann, ist ungewiss, ob sich auf sektoraler Ebene eine PLI-Reduktion um exakt 25 bzw. 50 % ergibt.
- Zwar ist davon auszugehen, dass die einzelbetriebliche PLI-Obergrenze zu keinen grundsätzlichen Veränderungen der Fruchtfolgen beiträgt, doch gibt es eine Vielzahl weiterer Faktoren, die die Anbauentscheidungen beeinflussen. Kommt es zu Veränderungen in den Anbauprogrammen und einem verstärkten Anbau PLI-intensiver Kulturen, sinkt der Gesamt-PLI auf nationaler Ebene weniger stark. Gleichzeitig kann der verstärkte Anbau PLI-extensiver Kulturen zu einem stärkeren PLI-Rückgang als die geforderten 25 bzw. 50 % führen.

In der Folge müssten die kulturindividuellen PLI-Referenzwerte schrittweise nachjustiert werden, um sich der gewünschten PLI-Reduktion auf sektoraler Ebene anzunähern. Wenn sich die Anbauverhältnisse grundsätzlich verändert haben, muss die Gesellschaft und Politik alternativ darüber aufgeklärt werden, dass die geforderte PLI-Reduktion auf Ebene der Einzelkulturen erfolgreich stattgefunden hat, was jedoch nicht unmittelbar zu einer entsprechend hohen PLI-Reduktion auf Ebene des Gesamtsektors führt.

Die Besonderheit der PLI-Obergrenze ist, dass die maximale Anzahl an PLI-Einheiten je Kultur und infolgedessen auch je Betrieb begrenzt ist und kein Handel ermöglicht wird. Deshalb gibt es bei dieser Politikmaßnahme die Herausforderung sicherzustellen, dass kein illegaler Handel von ungenutzten PLI-Einheiten zwischen landwirtschaftlichen Betrieben entsteht. Betriebe, die sich unterhalb der Obergrenze befinden, würden Anreize erhalten, Pflanzenschutzmittel bis zur maximal zulässigen Menge einzukaufen. Gleichzeitig hätten Betriebe in intensiven Ackerbaugebieten ein entsprechend großes Interesse daran, diese Pflanzenschutzmittel illegal aufzunehmen, um sie über ihr eigenes „Budget“ hinaus einsetzen zu können. Diese potenzielle Schwachstelle wird nach Diskussion mit der Fokusgruppe minimiert, indem die Verteilung von PLI-Einheiten in Abhängigkeit der jeweils angebauten Kultur erfolgt. Somit ist davon auszugehen, dass im Gegensatz zu einer flächenabhängigen PLI-Zuweisung keine wesentlichen Überschuss- und Unterschussregionen entstehen, sodass der Anreiz eines illegalen Handels reduziert wird.

5.1.2 Lizenzsystem mit handelbaren PLI-Nutzungsrechten

5.1.2.1 Maßnahmenkonzeption

Nebenziele: unternehmerischer Flexibilität fördern und sinkende Opportunitätskosten im Sektor ermöglichen

Bei einem Lizenzsystem werden jedem landwirtschaftlichen Betrieb in der europäischen Union handelbare PLI-Nutzungsrechte zu Beginn eines Wirtschaftsjahres kostenfrei zugeteilt. Die Anzahl zugeteilter PLI-Nutzungsrechte je Betrieb orientiert sich an der konventionell bewirtschafteten Ackerfläche⁹⁴. Als Bemessungsgrundlage für die bewirtschaftete Ackerfläche dient die InVeKoS-Datenbank des jeweiligen Anbaujahres. Die zuständige Behörde teilt den Landwirt*innen die Anzahl zur Verfügung stehender PLI-Nutzungsrechte schriftlich mit⁹⁵.

Jedem konventionell wirtschaftenden Betrieb in Deutschland werden zunächst vier PLI-Einheiten je Hektar Ackerfläche zugeteilt⁹⁶. Bei einer PLI-Reduktion um 25 % wird die Anzahl an Nutzungsrechten auf drei PLI-Einheiten je Hektar Ackerfläche gesenkt, während bei einer Halbierung des PLI nach dem Übergangszeitraum lediglich zwei PLI-Nutzungsrechte je ha Ackerfläche ausgegeben werden.

Die Betriebsleiter*innen haben die Option, bei Bedarf Nutzungsrechte von Berufskolleg*innen zu kaufen bzw. an Betriebsleiter*innen zu verkaufen, wenn sich die tatsächliche Nutzung unterhalb der zugeteilten Anzahl befindet. Innerhalb Deutschlands sind die PLI-Nutzungsrechte ohne regionale Einschränkungen frei handelbar.

Hierfür wird eine Online-Handelsplattform von der zuständigen Behörde bereitgestellt. Dabei geben kaufwillige Betriebe an, wie viele Nutzungsrechte sie zu welchem Maximalpreis erwerben möchten. Verkaufende Betriebe können daraufhin Angebote mit der höchsten Zahlungsbereitschaft auswählen und die Nutzungsrechte über die Handelsplattform an die aufnehmenden Betriebe übertragen. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass die Gebote mit der höchsten Zahlungsbereitschaft zum Zuge kommen. Auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 4.3 wird der Modellbetrieb bis zu einem Preis von 71 €/PLI-Einheit eine weitere Einheit am Markt zukaufen. Der Zukauf einer vierten PLI-Einheit ist bis zu einem Preis in Höhe von 11 € rentabel. Grundlage für den Handel

⁹⁴ Hierzu zählen auch Bracheflächen. Ökobetriebe erhalten bereits u.a. für den Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel eine Förderung im Rahmen der zweiten Säule der GAP. Deshalb werden ihnen keine PLI-Nutzungsrechte zugeteilt. Wollen sie Pflanzenschutzmittel (z.B. Kupferpräparate) ausbringen, müssen sie die erforderlichen PLI-Nutzungsrechte am Markt zukaufen.

⁹⁵ Da die Mitteilung der zugeteilten PLI-Nutzungsrechte aufgrund geltender Antragsfristen nicht vor Juni eines Jahres erfolgen kann, bis dahin aber wesentliche Anteile des Pflanzenschutzmitteleinsatzes erfolgen, sind die Landwirt*innen angehalten, die betrieblichen PLI-Nutzungsrechte zunächst eigenständig zu ermitteln.

⁹⁶ Dies entspricht dem durchschnittlichen PLI-Einsatz des Modellbetriebs im Status Quo.

und die Kontrolle von Nutzungsrechten ist die Online-Datenbank (vgl. Kapitel 5.2), in der relevante Informationen zum Erwerb und Einsatz der betrieblichen Pflanzenschutzmittel hinterlegt sind.

Neben der Verkaufsoption erhalten die landwirtschaftlichen Betriebe die Möglichkeit, ihre zugeordneten PLI-Nutzungsrechte zwischen den einzelnen Anbaujahren verschieben zu können. Technisch wird dies mithilfe einer Korrekturbuchungsfunktion in der Online-Datenbank umgesetzt. Nach drei Jahren verlieren ungenutzte und nicht-veräußerte Nutzungsrechte ihre Gültigkeit.

Die Kontrolle, ob in den landwirtschaftlichen Betrieben ausreichend viele Nutzungsrechte vorgehalten werden, erfolgt durch die zuständige Behörde. Bei einem Verstoß verhängt die Behörde ein Bußgeld. Die Höhe des Bußgelds ergibt sich aus dem durch den Verstoß nach Standardwerten zu erwartenden finanziellen Zugewinn des Bewirtschaftenden je Hektar Ackerfläche sowie zusätzlichen Verwaltungs- und Bearbeitungskosten. Am Beispiel des Modellbetriebs muss das Bußgeld in einer Größenordnung von mehr als 75 €/PLI-Einheit liegen, damit kein finanzieller Anreiz zum vorzeitlichen Überschreiten der PLI-Obergrenze besteht.

5.1.2.2 Begründung der Maßnahmenkonzeption

Im entwickelten Lizenzmodell mit handelbaren Nutzungsrechten wird jedem Betrieb zu Beginn eines Anbaujahres eine festgelegte Anzahl an PLI-Nutzungsrechten kostenlos zugewiesen. Neben einer kostenfreien Zuteilung kann auch ein Lizenzmodell entwickelt werden, in dem landwirtschaftliche Betriebe die Nutzungsrechte nicht kostenlos vom Staat erhalten, sondern sie vollständig am Markt zukaufen müssen. Sofern die Anzahl vom Staat insgesamt ausgegebener PLI-Einheiten nicht verändert wird, sind keine veränderten Anpassungsreaktionen zu erwarten. Stattdessen hätte der vollständige Zukauf eine höhere Einkommensbelastung der landwirtschaftlichen Betriebe zur Folge.

Die Festlegung der initial zu verteilenden PLI-Nutzungsrechte auf sektoraler Ebene orientiert sich an der im jeweiligen Wirtschaftsjahr konventionell bewirtschafteten Ackerfläche in Hektar sowie dem nationalen Gesamt-PLI. Dazu wird basierend auf den Mengen inländisch abgesetzter Wirkstoffe der fünf zurückliegenden Wirtschaftsjahre ein durchschnittlicher PLI je ha Ackerfläche errechnet. Abstrahiert werden muss dabei von Wirkstoffen, die ausschließlich im Grünland oder im Obst- und Gemüseanbau eingesetzt werden. Da Ökobetriebe bereits eine gesonderte Ökoförderung erhalten, die Nachteile u.a. durch den Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und mineralische Dünger kompensieren soll, werden ihnen grundsätzlich keine Nutzungsrechte kostenlos zugeteilt. Der Modellbetrieb erhält zunächst vier PLI-Nutzungsrechte je ha AF, da dies dem Einsatz in der Ausgangssituation entspricht.

Bei einer ordnungsrechtlichen Auflage wird die Obergrenze einzusetzender PLI-Einheiten anhand der jeweils angebauten Kulturen bestimmt, um dem betriebsindividuellen Bedarf bestmöglich zu entsprechen und eine Verlagerung der Produktion zu verhindern. Durch die Möglichkeit des Handelns von Nutzungsrechten innerhalb des Bundesgebiets ist dies im Lizenzmodell nicht notwendig,

sodass PLI-Einheiten je ha AF verteilt werden. Daraus ergeben sich aus staatlicher Sicht zwei Vorteile:

- (1) Zum einen ist keine Abfrage der jeweils im Wirtschaftsjahr angebauten Kulturen über die InVeKoS-Daten notwendig. Eine Festlegung kulturindividueller PLI-Referenzwerte (ggf. regionalisiert oder in Abhängigkeit der Vorfrucht) entfällt gleichermaßen.
- (2) Zum anderen ist die PLI-Reduktion auf sektoraler Ebene sehr zielgenau ansteuerbar, da die Anzahl ausgegebener PLI-Einheiten jährlich angepasst werden kann. Die Anbauentscheidungen der Landwirt*innen haben dementsprechend keinen Einfluss auf die Anzahl vom Staat freigegebener PLI-Nutzungsrechte.

Neben einer Handelbarkeit auf nationaler Ebene wäre auch ein EU-weiter Nutzungsrechtehandel möglich. Zwar könnten dadurch die Opportunitätskosten im Vergleich zu einer kleinräumigeren Umsetzung weiter gesenkt werden, doch könnte daraus eine überdurchschnittliche Reduktion in einigen Ländern hervorgehen, während in Staaten mit günstigen Standortvoraussetzungen und einer hohen Flächenproduktivität nur ein geringer oder gar kein Rückgang eingesetzter Risikoeinheiten zu verzeichnen wäre. Vor dem Hintergrund des Ziels, die Risiken durch Pflanzenschutzmittel in der EU flächendeckend, sprich in allen Mitgliedsstaaten zu senken, erscheint ein solches Vorgehen daher nur eingeschränkt zielführend.

5.1.2.3 Folgenabschätzung

Produktion

Wird ein Lizenzmodell mit handelbaren Nutzungsrechten etabliert, können die Betriebsleiter*innen selbst entscheiden, ob sie die PLI-Einheiten innerhalb ihres Betriebs einsetzen oder am Markt veräußern. Da davon auszugehen ist, dass die Zahlungsbereitschaft für PLI-Einheiten auf intensiv genutzten Ackerbaustandorten höher als auf Grenzstandorten ist, wird erwartet, dass PLI-Einheiten auf ackerbaulichen Grenzstandorten zum Kauf angeboten werden und vorrangig in ackerbaulich intensiv genutzten Regionen eingesetzt werden. Durch die Handelbarkeit der Nutzungsrechte wird demzufolge erreicht, dass die Risikoreduktion verstärkt an Standorten stattfindet, an denen die Opportunitätskosten einer entgangenen Produktion gemäß dem Nebenziel möglichst gering sind.

Während bei der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze grundsätzlich jeder Betrieb an die PLI-Obergrenze gebunden ist, können Betriebsleiter*innen im Lizenzmodell für ihren Betrieb entscheiden, wie viele PLI-Einheiten sie einsetzen möchten. Die Anpassungsreaktionen des Modellbetriebs hängen unmittelbar vom Marktpreis der PLI-Einheiten ab. Durch die zunehmende Verknappung ausgegebener Nutzungsrechte und die Möglichkeit des Handelns ist ein ansteigender Marktpreis zu erwarten. Am Beispiel des Modellbetriebes sind in der Situation, dass nur noch zwei PLI-Nutzungsrechte je ha AF ausgegeben werden (PLI-Reduktion um 50 %), drei unterschiedliche Szenarien denkbar, die jeweils zu verschiedenen Anpassungsreaktionen führen:

(1) **Der Marktpreis für Nutzungsrechte ist kleiner als 71 €:** Der Modellbetrieb würde PLI-Nutzungsrechte zukaufen, sodass er künftig 3 PLI-Einheiten je ha AF einsetzt. Die umgesetzten Anpassungsmaßnahmen entsprechen denen einer PLI-Reduktion um 25 %:

- (teil-)mechanische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben
- Wirkstoffsubstitution in Wintergerste
- PLI-intensive Kulturen wie Winterraps werden nicht mehr angebaut. Stattdessen wird der Anbau von Mais (in Form von Körnermais) ausgedehnt

Befindet sich der Marktpreis unter 11 €/ha würde er noch eine weitere (vierte) PLI-Einheit einsetzen. In diesem Fall wäre der PLI-Einsatz der Ausgangssituation erreicht, sodass keine Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden.

(2) **Der Marktpreis für Nutzungsrechte ist größer als 71 €, jedoch kleiner als der DAKfL-Verlust beim Verzicht auf eine weitere PLI-Einheit:** Der Zukauf einer weiteren PLI-Einheit ist für den Modellbetrieb nicht rentabel, da die zu erwartende DAKfL weniger stark ansteigt. Gleichzeitig reicht der Erlös durch den Verkauf von Nutzungsrechten nicht aus, um die daraus resultierenden DAKfL-Verluste zu kompensieren. Deshalb würde der Modellbetrieb nicht am Handel teilnehmen und fortan die Anpassungsmaßnahmen umsetzen, die zu einer Halbierung des betrieblichen PLI führen. Konkret sind bei einer Reduktion des PLI um 50 % folgende Anpassungsreaktionen zu erwarten:

- Substitution von Wirkstoffen mit einem überdurchschnittlichen PLI durch weniger toxische Wirkstoffe
- Zunahme mechanischer Unkrautbekämpfungsverfahren (ggf. in Kombination mit chemisch-synthetischen Verfahren) zunächst in Zuckerrüben
- Verzicht auf den Einsatz von Totalherbiziden zur Vorsaatsbehandlung auf nicht-erosionsgefährdeten Flächen
- Verringerung der Behandlungsintensität bei Fungiziden und Insektiziden
- PLI-intensive Kulturen wie Winterraps werden nicht mehr angebaut. Stattdessen wird der Anbau von Mais (in Form von Körnermais) ausgedehnt

(3) **Der Marktpreis für Nutzungsrechte ist größer als der DAKfL-Verlust bei einem Verzicht auf die zweite PLI-Einheit:** In dieser Situation würde der Modellbetrieb weitere Anpassungsmaßnahmen durchführen, um den betrieblichen PLI um 75 % im Vergleich zur Ausgangssituation zu senken. Da dieses Szenario für den Hohertragsstandort in Südhannover nicht realistisch erscheint, wurden an dieser Stelle keine Anpassungsreaktionen abgeleitet.

Im Gegensatz zur einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze sind mit Blick auf die Anpassungsreaktionen und Folgen für die Produktion zwei wesentliche Unterschiede zu erkennen:

- Es kommt zu veränderten Anbauumfängen der Kulturen innerhalb der Fruchtfolge. Nach Einschätzung der Landwirt*innen wird das Verhältnis aus zu erzielender DAKfL je eingesetzter PLI-

Einheit als Kriterium bei der Anbauentscheidung berücksichtigt und die innerbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit neu bewertet. Unter der Voraussetzung, dass grundsätzlich alternative Kulturen zur Verfügung stehen oder Anbauanteile bereits bestehender Kulturen ausgedehnt werden können, sind Anpassungen im Produktionsprogramm zu erwarten. Dabei werden Kulturen mit einer unterdurchschnittlichen DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit Anbauanteile verlieren, während Kulturen mit einem günstigen Verhältnis aus DAKfL je PLI-Einheit verstärkt angebaut werden.

- Da beim Lizenzmodell eine PLI-Minderung durch ein verändertes Anbauprogramm erreicht werden kann, ist der Anpassungsbedarf innerhalb der bestehenden Einzelkulturen im Vergleich zur PLI-Obergrenze geringer. Dementsprechend können beim Lizenzmodell die Anpassungskosten innerhalb der Kulturen verringert werden, sodass auch die Anpassungskosten im Durchschnitt des Gesamtbetriebs sinken.

Mit Blick auf eine potenzielle Verlagerung der Produktion⁹⁷ in Drittstaaten sind im Gegensatz zur einzelbetrieblichen Obergrenze veränderte Effekte zu erwarten:

- Wird der PLI „kostenminimal“ um 25 % gesenkt, kommt es durch die veränderte Rotation zu einem geringfügigen Anstieg erzeugter Getreideeinheiten (GE) in Höhe von rund 4 % im Vergleich zur Ausgangssituation. Werden die zugeteilten PLI-Nutzungsrechte je ha AF um 50 % gesenkt, bleibt die Höhe erzeugter GE im Vergleich zur Basis nahezu unverändert (vgl. Tabelle A 20 und A 21 im Anhang).
- Im Unterschied zur kulturindividuellen Bemessungsgrundlage der PLI-Einheiten führt eine flächenbezogene Zuteilung zu einem veränderten Anbauprogramm. Der Grund hierfür ist, dass Kulturen mit einer vergleichsweise geringen DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit wie Winterraps langfristig aus der Produktion verdrängt werden. Stattdessen wird der Anbau von Körnermais ausgedehnt. Demzufolge ist zu erwarten, dass die Produktion dieser Kulturen vermehrt in Drittstaaten erfolgt, in denen der Pflanzenschutzmitteleinsatz sowie die damit einhergehenden PLI-Einheiten nicht reguliert werden.

Einkommenswirkung

Wenn der Modellbetrieb nur noch drei PLI-Einheiten je ha AF (PLI-Reduktion um 25 %) vom Staat zugeteilt bekommt, beträgt der DAKfL-Verlust nach einer innerbetrieblichen Anpassung 11 €/ha (vgl. Tabelle 20). Folglich werden Betriebsleiter*innen des Modellbetriebs bis zu diesem Preis bereit sein, die fehlende PLI-Einheit an der Handelsplattform zu kaufen. Einen höheren Preis zu zahlen wäre aus betrieblicher Sicht nicht rentabel, da dann die Kosten höher als der Anstieg der DAKfL sind. Daher ergibt sich ein maximaler Einkommensrückgang von 11 €/ha.

Eine PLI-Reduktion von 50 % im Vergleich zur Ausgangssituation führt durch innerbetriebliche Anpassungen auf dem Modellbetrieb zu einem Rückgang der DAKfL in Höhe von insgesamt 82 €/ha

⁹⁷ Dabei wird angenommen, dass der Modellbetrieb weder PLI-Nutzungsrechte zukauf noch veräußert.

(vgl. Tabelle 20). Während die DAKfL durch den Verzicht der ersten PLI-Einheit um 11 €/ha sinkt, ist bei einer Reduktion um eine weitere PLI-Einheit mit einem zusätzlichen DAKfL-Rückgang in Höhe von 71 €/ha zu rechnen. Somit werden Betriebsleiter*innen nur PLI-Nutzungsrechte über die Handelsplattform zukaufen, wenn der Preis unter 71 € je PLI-Einheit liegt. Dementsprechend liegt der durch die Politikmaßnahme ausgelöste Einkommensrückgang bei maximal 82 €/ha.

Tabelle 19: Ermittlung der maximalen Einkommenswirksamkeit eines Lizenzmodells für den Modellbetrieb

	PLI -25 %	PLI -50 %
Anzahl PLI-Einheiten Ausgangssituation	4	4
Rückgang der DAKfL bei Verzicht einer PLI-Einheit	11 €/ha	11 €/ha
Zusätzlicher Rückgang der DAKfL bei Verzicht auf zwei PLI-Einheiten	-	71 €/ha
Max. Zahlungsbereitschaft für die vierte PLI-Einheit/ha	max. 11 €/ha	max. 11 €/ha
Max. Zahlungsbereitschaft für die dritte PLI-Einheit/ha		max. 71 €/ha
Max. Einkommensrückgang je Hektar	max. 11 €/ha	max. 82 €/ha

Quelle: eigene Darstellung

Administrations- und Kontrollaufwand

Grundsätzlich bietet das Lizenzmodell mit handelbaren Nutzungsrechten den Betriebsleiter*innen eine hohe Flexibilität in der Wahl der Anpassungsmaßnahmen, um die politischen Ziele zu erreichen. Dies wurde auch in der Fokusgruppendifkussion positiv bewertet. Gleichwohl gehen mit dem Handel von Nutzungsrechten Lern- und Suchkosten für die Landwirt*innen einher. Aufgrund dessen hat die Fokusgruppe die Akzeptanz im Berufsstand als vergleichsweise gering eingeschätzt. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Landwirt*innen stets die Möglichkeit haben, das Lizenzmodell in vergleichbarer Weise wie die einzelbetriebliche PLI-Obergrenze zu nutzen und auf den Handel mit Nutzungsrechten zu verzichten. Somit ist der Handel zwar mit weiterem Aufwand für die Betriebsleiter*innen verbunden, bietet jedoch die Möglichkeit, die betrieblichen Einkommensrückgänge im Vergleich zur Auflage zu reduzieren.

Der Staat muss im Vergleich zur PLI-Obergrenze eine Handelsplattform für PLI-Nutzungsrechte zur Verfügung zu stellen, auf der Landwirt*innen Nutzungsrechte austauschen können. Dieser zusätzliche Aufwand geht jedoch insgesamt mit dem Vorteil der Politikmaßnahme einher, das Reduktionsziel über die Anzahl freigegebener PLI-Nutzungsrechte punktgenau ansteuern zu können. Der Kontrollaufwand über die Online-Datenbank unterscheidet sich nicht von der Obergrenze oder dem Prämienansatz.

5.1.3 Staatliche Förderung niedriger PLI-Hektarwerte

In diesem Teilkapitel wird zunächst die Politikmaßnahme „staatliche Förderung niedriger PLI-Hektarwerte“ beschrieben und anschließend die Konzeption der Maßnahme begründet. Darauf aufbauend werden die Folgen auf Produktion und Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe

abgeschätzt. Weiterhin wird der staatliche und betriebliche Administrations- und Kontrollaufwand bewertet.

5.1.3.1 Maßnahmenkonzeption

Nebenziele: Staatlichen Kontrollaufwand verringern, eine möglichst flächendeckende PLI-Reduktion erzielen und zusätzliche Einkommenseinbußen für landwirtschaftliche Betriebe vermeiden

Bei einer staatlichen Förderung niedriger PLI-Hektarwerte wird ein geringer PLI-Einsatz finanziell honoriert. Dazu werden analog zur PLI-Obergrenze (Tabelle 35, Kapitel 5.1.1.1) bundeseinheitlich für jede Kultur um 25 bzw. 50 % reduzierte PLI-Referenzwerte je Hektar Anbaufläche festgelegt. Werden die reduzierten PLI-Referenzwerte im landwirtschaftlichen Betrieb bis zur Ernte der Hauptkultur nicht überschritten, erfolgt eine Prämienzahlung durch den Staat. Dazu teilt die zuständige Behörde den landwirtschaftlichen Betrieben für jedes Erntejahr mit, bis zu welchem gesamtbetrieblichen PLI-Einsatz eine Prämie gezahlt wird⁹⁸. Erwägen Betriebsleiter*innen, die Prämie in Anspruch zu nehmen, müssen sie ihren PLI-Einsatz in einer Online-Datenbank (vgl. Kapitel 5.2) speichern lassen. Um den förderfähigen Schwellenwert zu ermitteln, werden die Anbauumfänge der Einzelkulturen (gemäß InVeKoS) mit den kulturindividuellen PLI-Referenzwerten multipliziert. Am Ende des Erntejahres wird die Differenz des gesamtbetrieblichen PLI-Referenzwertes und der tatsächlich laut Online-Datenbank eingesetzten Anzahl an PLI-Einheiten ermittelt.

Auf Basis der Ergebnisse in Kapitel 4.3.2 wird nachfolgend eine exemplarische und zweistufige Prämienhöhe von 18 €/ha für eine PLI-Reduktion um 25 % bzw. eine Prämienhöhe von 94 €/ha für eine PLI-Reduktion um 50 % unterstellt. Die Betriebsleiter*innen können jedes Jahr neu entscheiden, ob sie die Prämienvoraussetzungen erfüllen möchten oder nicht. Erreichen sie die PLI-Reduktion um 50 % nicht, erhalten sie die Prämie der ersten Stufe (PLI-Reduktion um 25 %). Eine Anmeldung ist nicht notwendig. Ebenso ist es den Betrieben überlassen, mit welchen innerbetrieblichen Maßnahmen sie die PLI-Reduktion erreichen.

Sollte beispielsweise aufgrund von Auswinterungsschäden eine Kultur umgebrochen und durch eine andere ersetzt werden müssen, sind die bereits eingesetzten PLI-Einheiten nicht zu Lasten der zweiten Kultur zu werten. Die Betriebsleiter*innen melden den Umbruch sowie die bisher eingesetzten Pflanzenschutzmittel an die zuständige Behörde. Um Missbrauch vorzubeugen, kann diese mittels satellitengestützter Bildaufnahmen den Anbau der ursprünglich angebauten Kultur verifizieren.

⁹⁸ Da die Mitteilung der betrieblichen PLI-Referenzwerte aufgrund geltender Antragsfristen nicht vor Juni eines Jahres erfolgen kann, bis dahin aber wesentliche Anteile des Pflanzenschutzmitteleinsatzes erfolgen, sind die Landwirt*innen angehalten, die betrieblichen PLI-Referenzwerte zunächst eigenständig zu ermitteln.

5.1.3.2 Begründung der Maßnahmenkonzeption

Ähnlich wie bei einem Lizenzmodell mit handelbaren Nutzungsrechten könnte auch bei dieser Politikmaßnahme erwogen werden, die PLI-Referenzwerte je ha AF statt in Abhängigkeit der jeweils angebauten Kulturen zu bemessen. Dies hätte jedoch zur Folge, dass es bei einer bundeseinheitlichen Prämie auf Standorten mit geringerer Bodengüte zu hohen Mitnahmeeffekten käme, da sich dort der PLI-Einsatz bereits in der Ausgangssituation auf einem unterdurchschnittlichen Niveau befindet⁹⁹. Dementsprechend würde die Reduktion vorrangig an ackerbaulichen Grenzstandorten stattfinden. Mit dem Ziel, die vom Staat zu zahlende Prämienhöhe zu minimieren, wäre dieses Vorgehen vorteilhaft. Möchte die Politik hingegen Anreize für eine flächendeckende PLI-Reduktion geben, sollten PLI-Einheiten kulturindividuell bemessen werden. Auf diese Weise bliebe die PLI-Reduktion nicht nur auf einige wenige Regionen begrenzt.

Wird ein Prämiensystem ähnlich einer klassischen Agrarumweltmaßnahme etabliert, können die gesteigerten Produktionskosten und Erlösrückgänge je nach Prämienhöhe teilweise, vollständig oder überkompensiert werden. In der beschriebenen Politikmaßnahme wird die Prämie ausschließlich dann ausgezahlt, wenn der Schwellenwert einer Reduktion um 25 oder 50 % überschritten wird. Die Höhe der Prämie richtet sich dabei nach den durchschnittlichen Kosten aller Betriebe, sodass die Prämie für den Grenzanbieter einkommensneutral ist und für Betriebe mit Anpassungskosten unterhalb dieses Durchschnitts Anbieterrenten entstehen. Alternativ kann eine Prämie auch je Prozentpunkt PLI-Reduktion gezahlt werden. Vor dem Hintergrund, dass auch eine PLI-Reduktion von weniger als 25 % zum Gesamtziel beiträgt, hat dieses Vorgehen den Vorteil, dass mehr landwirtschaftliche Betriebe zu einer Teilnahme animiert werden. Jedoch ist die Prämienhöhe so zu wählen, dass sie den Grenzkosten der letzten Minderungseinheit zur Zielerreichung entspricht. In der Folge können die landwirtschaftlichen Betriebe bei den vorherigen Minderungseinheiten „Anbieterrenten“ erwirtschaften, da die Prämie höher als die tatsächlich entstandenen Kosten ist. Der Finanzbedarf für den Staat wäre deutlich höher, da für die zuerst reduzierten PLI-Einheiten hohe Mitnahmeeffekte finanziert würden. Um das zu verhindern, könnten neben dem 25 bzw. 50 %-Ziel noch weitere Zwischenpunkte identifiziert werden, für die eine individuelle Prämienhöhe ermittelt wird.

Anders als beim Lizenzmodell und der einzelbetrieblichen Obergrenze ist keine schrittweise Absenkung des PLI-Einsatzes vorgesehen. Eine schrittweise Absenkung der geforderten PLI-Reduktion würde eine ebenso schrittweise Prämienanpassung erfordern oder bei einer unangepassten Prämie zu hohen Mitnahmeeffekten führen.

⁹⁹ Grundsätzlich ist auch bei national einheitlichen PLI-Referenzwerten je Kultur davon auszugehen, dass sich Mitnahmeeffekte an Extensivstandorten ergeben. Dies wird jedoch dadurch begrenzt, dass bei extensiveren Kulturen, wie beispielsweise Roggen oder Mais, generell eine geringere Anzahl an PLI-Einheiten zur Verfügung steht.

5.1.3.3 Folgenabschätzung

Produktion

Wird Betriebsleiter*innen auf Grundlage des Modellbetriebs eine Prämie in Höhe von 18 bzw. 94 €/ha für eine entsprechende PLI-Reduktion um 25 bzw. 50 % angeboten, ist eine Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen rentabel. Zwar ist der psychologische Effekt einer Prämie nicht mit dem einer Auflage in Form der PLI-Obergrenze zu vergleichen, jedoch werden die Betriebsleiter*innen in beiden Fällen motiviert, die PLI-Reduktion zu günstigsten Kosten zu realisieren. Da die PLI-Einheiten wie bei der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze kulturindividuell bemessen werden, erfolgt die Auswahl der Anpassungsmaßnahmen unter den gleichen Rahmenbedingungen. Die Anpassungsreaktionen und mögliche Effekte der Produktionsverlagerung sind daher ähnlich mit denen in Kapitel 5.1.1.3 beschriebenen Maßnahmen.

Einkommenswirkung

Bei der staatlichen Förderung niedriger PLI-Hektarwerte erhalten landwirtschaftliche Betriebe eine Prämienzahlung für nicht genutzte PLI-Einheiten. Damit Betriebsleiter*innen die Prämie in Anspruch nehmen, muss diese den Einkommensrückgang eines reduzierten PLI-Einsatzes entschädigen. Da die Prämienhöhe anhand des Modellbetriebes abgeleitet wurde, entspricht der Modellbetrieb dem Grenzanbieter, sodass für ihn die Einkommenswirkung neutral ist. Da nur Betriebe mit geringeren Anpassungskosten an einem solchen Programm teilnehmen würden, entstehen für diese positive Einkommenseffekte. Im Unterschied zu den beiden vorherigen Politikmaßnahmen trägt bei dieser Politikmaßnahme die Gesellschaft die Kosten der PLI-Reduktion, sodass die landwirtschaftlichen Betriebe finanziell entlastet werden.

Die Anpassungskosten der einzelnen Kulturen durch einen verminderten PLI-Einsatz unterscheiden sich je nach Standort. Die anhand des Modellbetriebs ermittelte Prämienhöhe ist als exemplarische Näherung zu verstehen. In der Realität unterscheiden sich die Anpassungskosten von Betrieb zu Betrieb. Ob die angestrebte PLI-Reduktion mit der ermittelten Prämienhöhe erreicht werden kann, ist erst nach ihrer Einführung abschließend zu beurteilen. Ist die Prämie zu gering, werden nicht genug Landwirt*innen Anpassungsmaßnahmen durchführen und das Reduktionsziel wird verfehlt. Bei einer zu hoch angesetzten Prämie kann das Reduktionsziel erreicht werden. Allerdings entstehen hohe Mitnahmeeffekte bei Landwirt*innen mit unterdurchschnittlichem PLI-Einsatz, was zu stark steigenden Staatsausgaben führt. Aus diesem Grund scheint eine Nachjustierung der Prämienhöhe notwendig, um die Reduktionshöhe zielgenau anzusteuern.

Außerdem ergibt sich eine weitere Herausforderung, die besonders bei dem Ziel einer PLI-Reduktion um 50 % zum Tragen kommt: Die Kontrollkosten sinken nur, wenn nicht alle Betriebe eine Prämie beanspruchen und dementsprechend nicht kontrolliert werden müssen. Um die PLI-Sektorziele zu erreichen, müsste entweder flächendeckend eine PLI-Reduktion um 50 % erfolgen oder auf einem kleineren Flächenanteil eine deutlich höhere PLI-Reduktion durchgeführt werden. Wird die Prämie beispielsweise nur für jeden zweiten Hektar beantragt, müsste auf diesen Flächen ein

vollständiger Verzicht realisiert werden. Dafür müsste die Prämienhöhe allerdings bedeutend erhöht werden. Mit einer Prämie, die im Durchschnitt der Betriebe die Anpassungskosten einer PLI-Reduktion um 50 % deckt, wird folglich keine dementsprechend hohe PLI-Reduktion im Bundesgebiet zu erzielen sein. Hierfür müssten auch Prämien für eine PLI-Reduktion um 75 % oder für einen vollständigen Verzicht ausgewiesen werden.

Administrations- und Kontrollaufwand

Im Gegensatz zu den drei übrigen Politikmaßnahmen ist der grundsätzliche Vorteil einer „Staatlichen Förderung niedriger PLI-Hektarwerte“, dass nicht alle landwirtschaftlichen Betriebe am Programm teilnehmen¹⁰⁰. Auf diese Weise reduziert sich im Regelfall die Anzahl der zu kontrollierenden Betriebe, sodass die Administrations- und Kontrollkosten für den Staat sinken.

Wird das beschriebene Prämienmodell in der Praxis eingeführt, muss in Hinblick auf die Kontrolle zwischen solchen Betrieben unterschieden werden, die am Programm teilnehmen und denen, die das nicht tun. All jene Betriebe, die nicht die Absicht haben, eine Prämie für die PLI-Reduktion zu erzielen, müssen nicht gesondert kontrolliert werden und haben dementsprechend auch keine zusätzlichen Dokumentationspflichten. Für sie entstehen keine Kosten oder Einschränkungen bei der Bewirtschaftung der Ackerflächen.

Betriebe, die eine Prämienzahlung erhalten möchten, müssen eine Nachverfolgbarkeit aller im Betrieb eingesetzten Pflanzenschutzmittel gewährleisten. Dazu wird der PLI-Einsatz in der Online-Datenbank dokumentiert (vgl. Kapitel 5.2). Jedoch ergibt sich dadurch folgende Herausforderung: Um Prämienzahlungen bei unverändertem PLI-Einsatz zu erhalten, könnten Betriebe untereinander kooperieren. Hierfür könnte ein Betrieb künstlich geringe PLI-Werte erzeugen, während der Kooperationspartner überdurchschnittlich viele Pflanzenschutzmittel erwirbt und Teile davon beim Kooperationspartner ausbringt oder ihm zur Verfügung stellt. Um einen solchen Missbrauch zu verhindern, reicht die Online-Datenbank nicht aus. Aus diesem Grund müssen Betriebe, die am Reduktionsprogramm teilnehmen, intensiv durch die Pflanzenschutzdienste kontrolliert werden. Um überprüfen zu können, ob die tatsächlich applizierten Wirkstoffe mit den angegebenen Wirkstoffen übereinstimmen erscheint es naheliegend, mithilfe von Pflanzen- und Bodenproben stichprobenartig Wirkstoffrückstände zu bestimmen. Mit Blick auf die Frage, ob Wirkstoffe in der Anbauperiode eingesetzt wurden, erscheint dies je nach Abbaugeschwindigkeit grundsätzlich möglich. Jedoch ist es mit den derzeitigen Auswertungsmöglichkeiten nur bedingt möglich, Rückschlüsse auf die tatsächlichen Aufwandmengen zu ziehen. Dementsprechend bleibt trotz intensiver Vor-Ort-Kontrollen die Restunsicherheit, ob die Aufwandmengen korrekt in der Online-Datenbank verbucht wurden. Da aus Kapazitäts- und Kostengründen nicht alle Betriebe kontrolliert werden können, sollten hohe Bußgelder genutzt werden, um eine abschreckende Wirkung zu erzeugen.

¹⁰⁰ Es ist davon auszugehen, dass die Teilnahmebereitschaft maßgeblich durch die Höhe der Prämie beeinflusst werden kann. Teilnehmen würden nur landwirtschaftliche Betriebe, bei denen die Prämienzahlungen höher sind als die durch das sinkende PLI-Niveau entstehenden Kosten.

Unter der Annahme, dass zukünftig alle Pflanzenschutzspritzen per GPS ihre Position und die ausgebrachten Wirkstoffe speichern, könnte eine vergleichsweise einfache Kontrollierbarkeit sichergestellt werden. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass diese Technologie kurzfristig zur Verfügung steht. Außerdem zeigt sich, dass der Staat zwar insgesamt eine deutlich geringere Anzahl an Betrieben kontrollieren muss, gleichzeitig jedoch bei den vergleichsweise wenigen zu kontrollierenden Betrieben sehr hohe Kosten durch Vor-Ort-Kontrollen und Wirkstoffanalysen hat. Dadurch wird eines der Nebenziele der Politikmaßnahme, nämlich den Kontrollaufwand zu senken, nur bedingt erfüllt. Alternativ wäre zu prüfen, ob den Betriebsleiter*innen ausschließlich eine Prämie für einen Komplettverzicht bzw. einen Verzicht auf Herbizide, Fungizide, Insektizide oder Wachstumsregler angeboten wird. Für diesen Fall wäre eine Kontrollierbarkeit bedeutend einfacher zu realisieren.

5.1.4 Erhöhung der PSM-Preise nach Maßgabe des PLI

Als vierte Politikmaßnahme wird die „Erhöhung der PSM-Preise nach Maßgabe des PLI“ vorgestellt. Wie in den vorherigen Teilkapiteln wird dabei zunächst die Konzeption der Maßnahme beschrieben und im Anschluss daran begründet. Darauf aufbauend werden die Folgen auf Produktion und Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe sowie der staatliche und betriebliche Administrations- und Kontrollaufwand abgeschätzt.

5.1.4.1 Maßnahmenkonzeption

Nebenziel: Händler und Hersteller von Pflanzenschutzmitteln als „Flaschenhals“ nutzen

Mithilfe einer PLI-abhängigen Abgabe wird der Preis höher toxischer Pflanzenschutzmittel im Vergleich zu weniger toxischen Produkten relativ stärker verteuert. Dabei setzt die Abgabe an dem wirkstoffspezifischen PLI je Kilogramm bzw. Liter an. Über die Wirkstoffkonzentration und -zusammensetzung eines Pflanzenschutzmittels kann auf diesem Weg eine produktindividuelle Abgabe ermittelt werden. Die Abgabehöhe eines einzelnen Pflanzenschutzmittels ergibt sich aus dem wirkstoffspezifischen PLI multipliziert mit der in Verkehr gebrachten Wirkstoffmenge und der Abgabe je PLI-Einheit. Die Abgabenhöhe wird im Gesamtgebiet der Europäischen Union einheitlich festgelegt.

Adressaten der Abgabe sind zunächst die Händler und Hersteller von Pflanzenschutzmitteln. Sie sind verpflichtet, die Abgabe an den Staat abzuführen, die auf Basis der innerhalb eines Jahres verkauften und an das BVL gemeldeten Wirkstoffmengen ermittelt wird¹⁰¹. Die Inverkehrbringer

¹⁰¹ Gemäß §64 PflSchG und §9 Pflanzenschutzmittelverordnung haben Hersteller, Händler und Importeure die Pflicht, abgegebene Produkt- und Wirkstoffmengen differenziert nach beruflichen und nicht-beruflichen Anwendern, jährlich an das BVL zu übermitteln. Dementsprechend fallen für diesen Verwaltungsschritt keine weiteren Administrationskosten an. In anderen EU-Mitgliedsländern sind vergleichbare Institutionen auszuwählen.

von Pflanzenschutzmitteln tragen die Abgabe jedoch nicht selbst, sondern überwälzen sie auf die landwirtschaftlichen Betriebe, indem sie die Verkaufspreise dementsprechend anpassen. Um das Bewusstsein bei den landwirtschaftlichen Betrieben für die risikoabhängige Abgabe zu steigern, wird die Abgabehöhe explizit auf der Rechnung ausgewiesen. Eine behördliche Kontrolle eingekaufter bzw. eingesetzter PLI-Einheiten auf Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe entfällt.

Damit die vier Politikmaßnahmen verständlich und untereinander vergleichbar sind, ist es erforderlich, eine Festlegung über die Dosierung der Abgabehöhe zu treffen. Dazu wird die Abgabehöhe so festgesetzt, dass die PLI-Reduktionsziele um 25 bzw. 50 % erreicht werden. Da die Abgabehöhe je PLI-Einheit zunächst nur exemplarisch ermittelt werden kann, ist in der Realität ein Nachjustieren unter Berücksichtigung der gesammelten Erfahrungen zur tatsächlichen PLI-Reduktion notwendig. Soll der PLI um 25 % gesenkt werden, wird auf Basis des Modellbetriebs jede PLI-Einheit mit einer Abgabe in Höhe von 11 € belastet. Für das 50 %-Ziel ist hingegen bereits eine Abgabe von 71 € je PLI-Einheit erforderlich.

5.1.4.2 Begründung der Maßnahmenkonzeption

Werden die Preise für Pflanzenschutzmittel in Abhängigkeit ihres individuellen PLI-Wertes verteuert, erhalten alle potenziellen Risiken einen Preis, sodass für die landwirtschaftlichen Betriebe ein grundsätzlicher Anreiz zur Minimierung entsteht. Die Opportunitätskosten umweltpolitischer Maßnahmen sind in der Regel umso geringer, je näher die Maßnahmen an der Ursache des Problems ansetzen (Scheele et al., 1992). Dennoch ist nach Scheele et al. (1992) zu prüfen, ob die Administrations-, Kontroll- und Konsensfindungskosten durch die Wahl eines ursachenferneren Adressaten in vor- oder nachgelagerten Bereichen so stark zu reduzieren sind, dass es zu einer Kompensation der ansteigenden Opportunitätskosten kommt. Die Händler von Pflanzenschutzmitteln sind im Vergleich zu den Landwirt*innen ursachenfernere Adressaten. Sie haben wiederum die Möglichkeit, die durch die umweltpolitischen Maßnahmen ausgelösten Effekte auf die landwirtschaftlichen Betriebe zu überwälzen. Der Vorteil des sogenannten „Flaschenhalsprinzips“ ist, dass die Anzahl der Händler deutlich geringer ist als die der landwirtschaftlichen Betriebe. Während in Deutschland rund 266.600 landwirtschaftliche Betriebe zu kontrollieren wären, kann die Zahl durch den Adressatenwechsel auf etwa 10.500 Handelsbetriebe verringert werden (BVL, 2021b). Dies führt zu geringeren Administrations- und Kontrollkosten auf Seiten des Staates.

Im Vergleich zu einer europaweit einheitlichen PLI-Abgabe ist es alternativ naheliegend, national differenzierte PLI-Abgaben einzuführen, um Standortunterschiede berücksichtigen zu können. Damit könnte verhindert werden, dass eine Durchschnittsabgabe entweder zu gering ist, sodass Landwirt*innen keine Anpassungsmaßnahmen durchführen, oder zu hoch ist, und sich infolgedessen stark negativ auf das Betriebseinkommen auswirkt. Um standortangepasste Abgaben zu nutzen, wäre jedoch auch eine national einheitliche Regelung unzureichend. Stattdessen wären kleinräumig ausdifferenzierte Umsetzungen und betrieblich variierende Abgabesätze unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten erforderlich. Ausgehend von der Grundüberlegung, dass die praktische Umsetzung durch die Händler und Hersteller erfolgen soll, erscheint dies wenig praktikabel.

und wäre mit hohen Administrationskosten verbunden. Eine EU-weit einheitliche Abgabehöhe unter Nutzung der Händler und Hersteller von Pflanzenschutzmitteln als Flaschenhals hat hingegen den Vorteil, dass das System wenig betrugsanfällig ist. Für Landwirt*innen besteht kein Anreiz, Pflanzenschutzmittel mithilfe von Betriebskooperationen illegal aus Ländern mit geringeren Abgabebeträgen zu beziehen. Dies wäre dementsprechend nur noch durch den Handel mit Drittstaaten möglich.

Die Abgabehöhe je PLI-Einheit wird auf Basis der Kosten-/Nutzen-Verhältnisse im Modellbetrieb abgeleitet (vgl. Kapitel 4.3.2):

- Eine Reduktion des PLI um 25 % (von vier auf drei Einheiten je ha AF) führt auf dem Modellbetrieb im Mittel der Fruchtfolge zu einem Rückgang der DAKfL um 11 €/ha. Somit entspricht der Einsatz der vierten PLI-Einheit diesem Wert, sodass bei einer Abgabe in dieser Höhe der Einsatz unrentabel wird.
- Bei einer Halbierung des PLI (von vier auf zwei Einheiten je ha AF) sinkt die DAKfL um insgesamt 82 €/ha. Zusätzlich zu dem bereits genannten DAKfL-Rückgang in Höhe von 11 €/ha für eine 25%ige PLI Reduktion entstehen weitere Kosten von 71 €/ha, wenn ebenfalls die dritte PLI-Einheit eingespart werden soll. Somit werden Betriebsleiter*innen erst auf die dritte PLI-Einheit verzichten, wenn diese mit mindestens 71 € belastet wird. Daraus ergibt sich folgende Herausforderung: Obwohl der Grenznutzen eingesetzter PLI-Einheiten nicht konstant ist, müssen in der Realität alle PLI-Einheiten mit einer einheitlichen Abgabenhöhe belastet werden. Damit die landwirtschaftlichen Betriebe eine Minderung des PLI im geforderten Umfang durchführen, muss sich die Abgabenhöhe am Grenznutzen der letzten zu reduzierenden PLI-Einheit orientieren. Deshalb wird in der genannten Politikmaßnahme jede PLI-Einheit bei einer Reduktion um 50 % mit einer Abgabe in Höhe von 71 € belastet. Bei einer geringeren Abgabehöhe wäre der Nutzen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes (durch höhere Erlöse und/oder geringe Kosten) größer, sodass die PLI-Einheit trotz Abgabe eingesetzt würde.

5.1.4.3 Folgenabschätzung

Produktion

Wird eine Abgabe von 11 bzw. 71 €/PLI-Einheit erhoben, werden die im Modellbetrieb angebauten Kulturen aufgrund des unterschiedlich hohen PLI-Einsatzes verschieden stark belastet. Nach Einschätzung der Fokusgruppe führt dies zu einer Situation, in der die Praktiker*innen das Verhältnis aus zu erzielender DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit als Kriterium bei der Anbauentscheidung berücksichtigen und die innerbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit neu bewerten. Unter der Voraussetzung, dass grundsätzlich alternative Kulturen zur Verfügung stehen oder Anbauanteile bereits bestehender Kulturen ausgedehnt werden können, sind Anpassungen im Produktionsprogramm zu erwarten. Dabei werden Kulturen mit einer unterdurchschnittlichen DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit Anbauanteile verlieren, während Kulturen mit einem günstigen Verhältnis aus DAKfL je PLI-Einheit verstärkt angebaut werden. Die konkreten Anpassungsreaktionen der Landwirt*innen sind

vergleichbar mit denen des Lizenzmodells mit handelbaren Nutzungsrechten¹⁰² (vgl. Kapitel 5.1.2.3). In gleicher Weise wird auch eine mögliche Verlagerung der Produktion (ausgelöst durch Mindererträge oder das Ausbleiben des Anbaus bestimmter Kulturen) beeinflusst und an dieser Stelle nicht weiter erläutert.

Einkommen

Wie bereits in Kapitel 4.3.2 dargestellt wurde, sinkt die DAKfL des Modellbetriebs um 11 €/ha, wenn der PLI um 25 % (entspricht absolut etwa einer PLI-Einheit/ha) gesenkt wird. Dementsprechend würde der Modellbetrieb seinen PLI um 25 % nur senken, wenn die Abgabe für die Nutzung der vierten PLI-Einheit mindestens 11 € beträgt. Bei einer geringeren Bepreisung wäre der Zugeschossener Gewinn der DAKfL höher als die zu zahlende Abgabe. Werden die Händler und Hersteller von Pflanzenschutzmitteln als zentraler Flaschenhals genutzt, besteht in der Realität die Herausforderung darin, dass nicht ausschließlich die letzten und gleichzeitig zu reduzierenden PLI-Einheiten besteuert werden können, sondern nur ein einheitlicher Abgabensatz für alle im Betrieb eingesetzten PLI-Einheiten möglich ist. Der Modellbetrieb, der fortan 3 PLI-Einheiten/ha ausbringt, würde dementsprechend, wie in Tabelle 19 dargestellt, eine Abgabe in Höhe von jeweils 11 €/PLI-Einheit für die drei eingesetzten Einheiten zahlen und trägt zusätzlich den ebenso hohen Verlust der DAKfL. Der Einkommensverlust beträgt somit insgesamt 44 €/ha.

Bei einer Abgabe von 11 €/PLI-Einheit würde der Modellbetrieb jedoch keine weiteren PLI-Einheiten reduzieren, da der Grenznutzen der dritten PLI-Einheit größer als die zu zahlende Abgabe ist. Dementsprechend wäre eine Abgabe in mindestens gleicher Höhe notwendig, um eine Halbierung des PLI zu erreichen¹⁰³. Für den Modellbetrieb zieht diese Politikmaßnahme Kosten in Höhe von 224 €/ha nach sich (vgl. Tabelle 21). Sie ergeben sich aus der Abgabenzahlung für die zwei dennoch ausgebrachten PLI-Einheiten in Höhe von je 71 € und dem Rückgang der DAKfL um 82 €/ha¹⁰⁴. Der Rückgang entspricht einem relativen DAKfL-Verlust von mehr als 40 % im Vergleich zur Ausgangssituation. Die Gründe für den hohen Einkommenseffekt sind darin zu sehen, dass der Grenznutzen mit sinkendem PLI-Niveau überproportional ansteigt und gleichzeitig eine Abgabe auf alle eingesetzten PLI-Einheiten notwendig wird.

Tabelle 21: Ermittlung der Einkommenswirksamkeit bei einer Erhöhung der PSM-Preise in Abhängigkeit des PLI für den Modellbetrieb

¹⁰² Dabei wird angenommen, dass der Marktpreis für Nutzungsrechte zu keinem weiteren Kauf oder Verkauf von PLI-Einheiten führt.

¹⁰³ Die Anpassungsreaktionen des Modellbetriebs in Folge der Abgabe auf eingesetzte PLI-Einheiten sind in Tabelle 17 in Kapitel 4.3.1 zu finden.

¹⁰⁴ Die negative Einkommenswirkung kann mitunter reduziert werden, in dem die Steuereinnahmen (anteilig) für Maßnahmen genutzt werden, die zu verringerten Produktionskosten der landwirtschaftlichen Betriebe beitragen. Dieser Effekt wird an dieser Stelle nicht näher berücksichtigt.

	PLI -25 %	PLI -50 %
Anzahl PLI-Einheiten Ausgangssituation	4	4
Rückgang der DAKfL bei Verzicht einer PLI-Einheit	11 €/ha	11 €/ha
zusätzlicher Rückgang der DAKfL bei Verzicht auf zwei PLI-Einheiten	-	71 €/ha
Abgabenzahlung auf dennoch eingesetzte PLI-Einheiten	3 * 11 €/ha = 33 €/ha	2 * 71 €/ha = 142 €/ha
Summe aus gezahlten Abgaben und Verlust der DAKfL	44 €/ha	224 €/ha

Quelle: eigene Darstellung

Angesichts der hohen Einkommensrückgänge im Rahmen der Abgabe auf PLI-Einheiten ist von einer geringen Akzeptanz im landwirtschaftlichen Sektor und dementsprechend großen Herausforderungen einer Umsetzung auszugehen. Deshalb könnte die Politik erwägen, einen Teil der Abgaben in den landwirtschaftlichen Sektor zurückzuführen. Eine Modifikation der Politikmaßnahme, sodass anstelle jeder einzelnen PLI-Einheit nur solche Einheiten oberhalb eines Schwellenwertes (z.B. über zwei PLI-Einheiten/ha) mit einer Abgabe belastet werden, ist aus folgenden Gründen nicht zielführend:

- (1) Der Vorteil der Politikmaßnahme ist, dass der Kontrollaufwand durch die Nutzung des Flaschenhalses deutlich sinkt. Durch die Modifikation wäre das Nebenziel der Politikmaßnahme „Nutzung der Händler von PSM als Flaschenhals“ nicht mehr umzusetzen, da wie bei den übrigen Politikmaßnahmen eine Online-Datenbank notwendig wäre, in der der betriebliche PLI-Einsatz dokumentiert wird. Der Vorteil für den Staat, nicht alle landwirtschaftlichen Betriebe kontrollieren zu müssen, ist dann nicht mehr gegeben. Um dies zu gewährleisten, müsste der Inverkehrbringer zum Zeitpunkt des PSM-Verkaufs an die Landwirt*innen in der Online-Datenbank erkennen, ob sich deren PLI-Einsatz bereits über dem Schwellenwert befindet.
- (2) Die landwirtschaftlichen Betriebe sind mit Blick auf ihren individuellen PLI-Einsatz sehr heterogen. Infolgedessen wird sich ein Teil der Betriebe schon in der Ausgangssituation in dem abgabefreien Toleranzbereich befinden. Diese Betriebe müssen keine Abgaben auf die dennoch eingesetzten PLI-Einheiten zahlen, sodass keine Anreizwirkung zur weiteren Reduktion erzeugt wird.
- (3) Es besteht die Gefahr, dass Betriebe, die sich im Toleranzbereich befinden, gegen finanzielle Entlohnung mit solchen Betrieben kooperieren, die einen Reduktionsbedarf haben. In der Konsequenz könnten anschließend beide Unternehmen im Toleranzbereich liegen und müssten keine Abgaben zahlen oder Anpassungsmaßnahmen durchführen¹⁰⁵.

Administrations- und Kontrollaufwand

Bei einem Abgabemodell fallen für die landwirtschaftlichen Betriebe keine zusätzlichen Aufzeichnungs- oder Buchungspflichten an. Hinzu kommt aus Sicht der Praktiker*innen der Vorteil, die

¹⁰⁵ Auf das gleiche Problem weisen Isermeyer et al. (2019) im Kontext einer CO₂-Bepreisung hin.

Informationen zu den eingesetzten Pflanzenschutzmitteln im Betrieb nicht routinemäßig den Behörden bereitstellen zu müssen und dementsprechend „gläsern“ zu werden. Gleichwohl sieht die Fokusgruppe das Risiko, dass die Abgabehöhe je PLI-Einheit im Zeitverlauf schrittweise weiter steigen könnte, um über das ursprüngliche Reduktionsziel hinaus PLI-Einheiten einzusparen.

Durch die Nutzung des Flaschenhalses ist die Abgabe auf PLI-Einheiten im Vergleich der Politikoptionen weniger betrugsanfällig. Es muss jedoch behördenseitig kontrolliert werden, dass die Händler und Hersteller von Pflanzenschutzmitteln die tatsächlich abgesetzten Wirkstoffmengen ordnungsgemäß an das BVL melden. Hier besteht potenziell die Gefahr, dass weniger als die tatsächlich abgesetzten Mengen gemeldet werden, sodass die Abgaben nicht vollständig an den Staat abgeführt werden. Unter der Voraussetzung, dass die von den Inverkehrbringern zu zahlende Abgabehöhe über die BVL-Wirkstofffassung rechtssicher zu kontrollieren ist, werden die Hersteller und Händler die Abgabe aus eigenen wirtschaftlichen Interessen an die landwirtschaftlichen Betriebe weitergegeben. Die landwirtschaftlichen Betriebe können die Abgabenzahlung beim Kauf von Pflanzenschutzmitteln nahezu nicht umgehen.

Dennoch ist die Akzeptanz der Einführung eines Abgabemodells durch die Praktiker*innen grundsätzlich als gering eingeschätzt. Die Gründe dafür sind, dass a) eine Abgabe als langfristiges Instrument gesehen wird, um Einnahmen für den Staat zu generieren und dessen Haushalt zu entlasten, b) es zu einer schrittweisen Erhöhung der Abgabenzahlungen kommt, sofern das grundsätzliche Modell etabliert ist sowie c) die Abgabe zu dem im Vergleich höchsten Einkommensrückgang führt.

5.2 Funktionsweise einer Online-Datenbank und allgemeine Herausforderungen der Kontrollierbarkeit

Ein wesentlicher Aspekt, um eine Risikoreduktion in der Praxis umsetzen zu können, ist die rechtssichere Kontrollierbarkeit der diskutierten Politikoptionen. Unabhängig davon, ob der Einsatz von PLI-Einheiten mithilfe einer Obergrenze festgelegt, im Rahmen von handelbaren Nutzungsrechten reguliert oder durch Prämienzahlungen gesenkt werden soll, besteht die Herausforderung der Kontrollierbarkeit. Auch wenn bei der Maßnahmenkonzeption deutlich wurde, dass die Händler und Hersteller von Pflanzenschutzmitteln lediglich in Verbindung mit einer Abgabe als eigentlicher Adressat auftreten, wird es voraussichtlich notwendig sein, diese ebenfalls bei den anderen Politikmaßnahmen mit einzubinden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Reduktionsziele rechtssicher zu kontrollieren sind und das System nicht von einzelnen Betrieben unterlaufen wird. Der Hintergrund hierfür ist, dass die DAKfL im Zuge einer PLI-Reduktion sinkt und die PLI-Einheiten einen monetären Wert erhalten. Bei einer eigenständigen Aufzeichnung ausgebrachter Pflanzenschutzmittel und der damit einhergehenden PLI-Einheiten bestände für die landwirtschaftlichen Betriebe der Anreiz, Wirkstoffmengen nicht zu melden, um mehr PLI-Einheiten ausbringen zu können. Deshalb wird nachfolgend ein Konzept entwickelt, wie die Händler und Hersteller von Pflanzenschutzmitteln sowie eine Online-Datenbank in die Kontrolle von PLI-Einheiten einbezogen werden sollten.

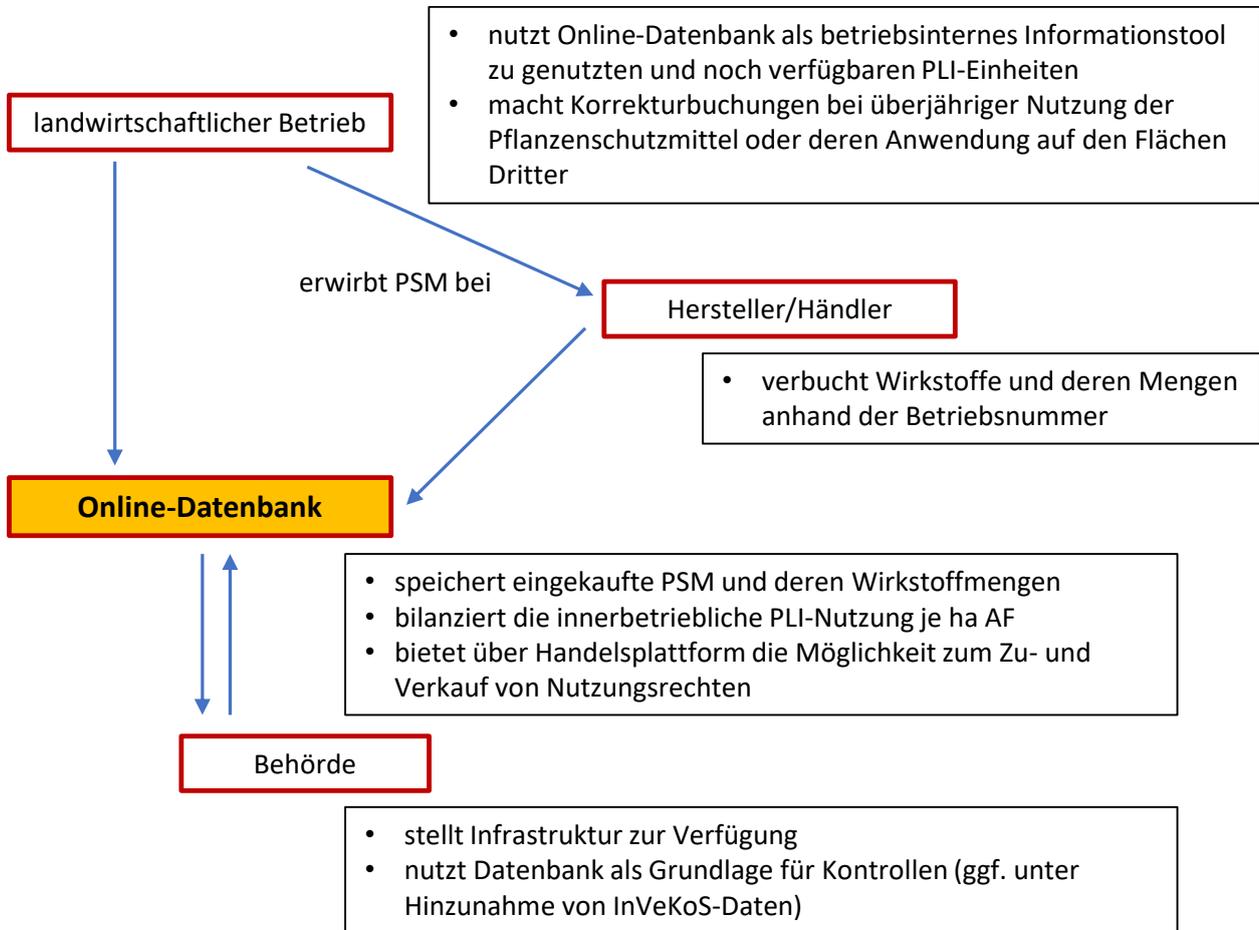
Das zentrale Element der nachfolgenden Überlegungen ist eine Online-Datenbank, in der die eingesetzten PLI-Einheiten betriebsindividuell erfasst und gespeichert werden. Nachfolgend werden die Akteure vorgestellt, die Zugriff auf die Datenbank haben. Ebenso werden ihre Funktionsweisen näher erläutert:

- Der Staat stellt eine Online-Datenbank zur Verfügung und gewährleistet deren Funktionsfähigkeit. Kaufen landwirtschaftliche Betriebe Pflanzenschutzmittel ein, speichern die Händler oder Hersteller relevante Produktinformationen wie die enthaltenen Wirkstoffmengen mithilfe der jeweiligen Betriebsnummer in der behördlich organisierten Online-Datenbank. Daraus lässt sich die Anzahl innerhalb eines Jahres eingekaufter PLI-Einheiten im Betrieb ermitteln.
- Während Händler und Hersteller lediglich eine Buchungsoption erhalten, können die landwirtschaftlichen Betriebe über einen individuellen Zugang ihren PLI-Erwerb im Wirtschaftsjahr sowie die Höhe noch verfügbarer PLI-Einheiten einsehen.
- In der Realität unterscheidet sich die Menge eingekaufter und tatsächlich auf den Ackerflächen applizierter Pflanzenschutzmittel häufig, da nicht benötigte Restmengen entstehen oder Vorkäufe getätigt werden. Die Politikmaßnahmen nur an den gekauften PLI-Einheiten auszurichten, ist dementsprechend nicht sachgerecht. Weicht die Anzahl erworbener und tatsächlich eingesetzter PLI-Einheiten ab, sind durch die Landwirt*innen Korrekturbuchungen vorzunehmen¹⁰⁶, sodass ein „Bestandskonto“ entsteht. Im Rahmen stichprobenartiger Kontrollen ist zu überprüfen, ob die in den Betrieben tatsächlich vorgehaltenen Bestände mit denen in der Online-Datenbank übereinstimmen. Anderenfalls würde der Anreiz entstehen, fiktive Korrekturbuchungen zur Bestandserhöhung durchzuführen, um die laut Online-Datenbank tatsächlich eingesetzte Anzahl an PLI-Einheiten künstlich zu senken.
- Kauft ein landwirtschaftlicher Betrieb oder ein Lohnunternehmen Pflanzenschutzmittel, die in anderen Betrieben eingesetzt werden, muss dieser die eingesetzten Mengen auf die relevanten Betriebskonten verbuchen und vom Bewirtschafter der Flächen bestätigen lassen.
- Anhand stichprobenartiger Kontrollen ist durch die Behörden sicherzustellen, dass bei den Händlern und Herstellern die tatsächlich verkaufte und an das BVL gemeldete Wirkstoffmenge mit den in der Online-Datenbank verbuchten PLI-Einheiten übereinstimmt. Im Fall fehlender Buchungen sind Bußgeldzahlungen zu verhängen.
- Um die je nach Politikoption gesamtbetrieblich nutzbare Höhe von PLI-Einheiten ermitteln zu können, greift die Online-Datenbank automatisiert auf die InVeKoS-Daten zurück und liest die Umfänge der sich in ackerbaulicher Produktion befindlichen Flächen sowie die Hauptkulturen aus. Die Datenbankinformationen dienen den Landwirt*innen als Übersicht sowie als Grundlage für behördliche Kontrollen. Dazu können Behörden über einen automatisierten Soll-/Ist-Vergleich die Betriebe identifizieren, die in der Online-Datenbank mehr PLI-Einheiten verbucht haben als ihnen rechnerisch zur Verfügung stehen. Gänzlich entfallen könnte dieser Kontrollmechanismus, wenn der abgebende Händler oder Hersteller die Pflanzenschutzmittel bei einer

¹⁰⁶ In Abbildung A 5 im Anhang ist eine schematische Ansicht von der Benutzeroberfläche der PLI-Online-Datenbank zu sehen.

negativen PLI-Bilanz erst gar nicht an den Landwirt/die Landwirtin aushändigt. Dazu wären hingegen weitreichende rechtliche und technische Erweiterungen notwendig.

Abbildung 31: Aufbau einer Online-Datenbank zur Kontrolle eingesetzter PLI-Einheiten



Quelle: eigene Darstellung

Trotz des Einsatzes einer Online-Datenbank existieren die nachfolgend genannten Herausforderungen, die nicht zu kontrollieren bzw. zu verhindern sind:

- Eine Herausforderung, mit der grundsätzlich alle vier Politikoptionen verstärkt umgehen müssen, ist der **illegale Import von Pflanzenschutzmitteln** aus Drittstaaten¹⁰⁷. Um entweder Pflanzenschutzmittel über die eigene Verfügbarkeit von PLI-Einheiten hinaus einsetzen zu können, Nutzungsrechte am Markt zu veräußern oder gegen eine Prämie abzugeben sowie Abgaben zu reduzieren, könnten Landwirt*innen erwägen, Pflanzenschutzmittel aus Ländern außerhalb des gesetzlichen Geltungsbereichs einzuführen. Eine Verbuchung der anfallenden PLI-Einheiten in der Online-Datenbank erfolgt in dem Fall nicht. Dabei ist besonders an Regionen mit Nähe zu Nicht-EU-Staaten zu denken. Da dieser Anreiz bei allen vorgestellten Politikoptionen

¹⁰⁷ Diese Herausforderung ist nicht allein auf den illegalen Import von Pflanzenschutzmitteln begrenzt, sondern auch in anderen Wirtschaftsbereichen von hoher Relevanz.

relevant ist, muss gewährleistet werden, dass auch Importeure und ausländische Händler auf die Online-Datenbank zugreifen können und eine dementsprechende Kontrolle erfolgen muss. Dennoch steigt aus Sicht der Landwirt*innen die Gefahr des illegalen Parallelhandels mit Pflanzenschutzmitteln¹⁰⁸. Die Zunahme derartiger illegaler Handelspraktiken kann aus Sicht der Landwirt*innen nur durch eine verstärkte Kontrollintensität begrenzt werden.

- Eine weitere Herausforderung, die zunächst jedoch keine verbotene Handlung darstellt, ist der **Aufbau eines Vorrates** unmittelbar vor der Einführung der zuvor genannten Politikmaßnahmen zur Minderung der Risiken durch Pflanzenschutzmittel (Ankündigungseffekt) Wie bereits die Erfahrungen anderer europäischer Länder mit einer Pflanzenschutzmittelsteuer zeigen, ist mit einem stark ansteigenden Absatz an Pflanzenschutzmitteln unmittelbar vor der Steuereinführung zu rechnen. Hintergrund dieser Entwicklung ist, dass sowohl Händler als auch landwirtschaftliche Betriebe einen Vorrat aufbauen möchten, um Steuerzahlungen in den Jahren nach der Einführung zu umgehen (Finger und Böcker, 2016). Diese Reaktion der Betriebsleiter*innen ist unabhängig von der Politikmaßnahme zu erwarten. Allerdings sehen die Teilnehmenden der Fokusgruppe hier keine Unterschiede zwischen den beschriebenen Politikoptionen, da der Vorratsaufbau aus ihrer Sicht auch genutzt werden würde, um das Ordnungsrecht zu umgehen, vermeintlich nicht benötigte Nutzungsrechte zu veräußern oder Prämien eines scheinbar reduzierten PLI-Einsatzes zu erhalten.

Ein solches Verhalten führt dazu, dass der Absatz an Pflanzenschutzmitteln unmittelbar nach Einführung der Politikmaßnahme zunächst zurückgeht. Infolgedessen kommt es zu einer vermeintlichen Reduktion der ausgebrachten PLI-Einheiten. In der Realität wird jedoch der bisherige Pflanzenschutzmitteleinsatz größtenteils aufrechterhalten. Abhängig davon, in welchem Ausmaß die landwirtschaftlichen Betrieben Vorratskäufe tätigen, ist im Laufe der Zeit jedoch mit einem erneuten Anstieg des Pflanzenschutzmittelabsatzes zu rechnen. Die tatsächlichen Auswirkungen der Politikmaßnahme können folglich erst nach Aufbrauchen von Vorratsbeständen im Laufe der Jahre beurteilt werden. Dementsprechend kann dann auch erst eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Abgabehöhe zu einer Über- oder Unterregulierung führt, wie hoch eine mögliche Subvention sein sollte oder welcher Preis sich am Markt für Nutzungsrechte einstellt. Dieser mehrjährige Prozess hin zu einem nachhaltigen und aussagekräftigen Absatz von Pflanzenschutzmitteln führt dazu, dass Nachjustierungen bei der Abgabe- oder Prämienhöhe ebenfalls eine lange Anpassungszeit benötigen.

¹⁰⁸ Dabei werden bestehende Genehmigungen für Pflanzenschutzmittel missbraucht, um andere oder zum Teil nicht zugelassene Produkte zu handeln BVL (2017).

5.3 Ergebnisdiskussion der Folgenabschätzung

Die Folgenabschätzungen der jeweiligen Politikmaßnahmen in den vorherigen Teilkapiteln haben die Effekte auf die Bereiche Produktion, Einkommen sowie den Administrations- und Kontrollaufwand identifiziert. Im nachfolgenden Abschnitt werden die dort gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen und diskutiert.

Produktion

Alle vier beschriebenen Politikmaßnahmen beeinflussen die Produktion des exemplarisch dargestellten Modellbetriebs. Damit die Landwirt*innen Anpassungsmaßnahmen durchführen, müssen sie entweder zwingend vorgeschrieben oder betriebswirtschaftlich rentabel sein.

Werden die durch die Politikmaßnahmen ausgelösten Anpassungen im Produktionssystem verglichen, zeigt sich, dass durch eine „einzelbetriebliche PLI-Obergrenze“ und „eine staatliche Förderung niedriger PLI-Hektarwerte“ ähnliche Anpassungsreaktionen der Landwirt*innen zu erwarten sind. Dabei ist einschränkend zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse an einem typischen Betrieb abgeleitet wurden. Durch die Heterogenität von Betrieben ist in der Realität eine breitere Streuung von Anpassungsreaktionen zu erwarten. Zudem werden durch die Politikoptionen unterschiedliche Adressaten angesprochen und erzeugen unterschiedliche psychologische Wirkungen. Während die PLI-Obergrenze zunächst auf Betriebsleiter*innen abzielt, deren PLI-Einsatz über der Obergrenze liegt und ein dementsprechender Anpassungsbedarf herrscht, werden im Prämienansatz zunächst diejenigen angesprochen, die die Anforderungen bereits in der Ausgangssituation erfüllen und Mitnahmeeffekte erzielen sowie Landwirt*innen, die sich vergleichsweise günstig anpassen können. Dennoch sorgen beide Politikmaßnahmen dafür, dass Betriebsleiter*innen nach den günstigsten Anpassungsmaßnahmen in der Produktion suchen. Sie sind ähnlich, da in beiden Fällen PLI-Einheiten anhand der jeweils angebauten Kulturen bemessen werden.

Durch ein „Lizenzmodell mit handelbaren Nutzungsrechten“ und die „Erhöhung der PSM-Preise in Abhängigkeit des PLI“ sind Betriebsleiter*innen außerdem mit der Frage konfrontiert, bei welchen Kulturen der Einsatz einer PLI-Einheit zum höchstmöglichen Anstieg der DAKfL führt. Dementsprechend wird auf diesem Weg die innerbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit beeinflusst. Da sich das grundsätzliche Entscheidungskalkül der Betriebsleiter*innen nicht zwischen den Maßnahmen unterscheidet, sind ähnliche produktionstechnische Anpassungen zu erwarten.

Bei einer PLI-Reduktion um 25 % können die größten Einsparungen maßnahmenübergreifend durch die Wirkstoffsubstitution erreicht werden. Im Falle einer PLI-Reduktion um 50 % passen sich die Landwirt*innen unabhängig der Politikmaßnahme an, indem sie höher toxische Wirkstoffe durch solche mit einer geringeren Toxizität substituieren, zunehmend mechanische Unkrautbekämpfungsverfahren nutzen und die Intensität im Bereich der Fungizide sowie der Insektizide senken. Besonders in niederschlagsreichen Jahren sind hohe Ertragsrisiken vorhanden (vgl. Kapitel 4.2). Eine Veränderung der Fruchtfolge ist nur dann zu erwarten, wenn die einzelnen Kulturen

innerbetrieblich um PLI-Einheiten konkurrieren. Dies trifft beim beschriebenen Lizenzmodell mit handelbaren PLI-Nutzungsrechten und bei der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze zu.

Bei der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze muss anders als bei den übrigen diskutierten Politikoptionen grundsätzlich jeder Betrieb seinen PLI-Einsatz senken. Dagegen können sich Betriebsleiter*innen bei den übrigen Politikmaßnahmen durch eine erhöhte Zahlungsbereitschaft (für Nutzungsrechte und Abgaben sowie für den Verzicht auf Prämien) dafür entscheiden, ihren PLI-Einsatz unvermindert fortzuführen. Dementsprechend ist lediglich im Rahmen der PLI-Obergrenze eine flächendeckende Risikoreduktion zu erwarten. Bei den übrigen Politikmaßnahmen kann es hingegen zu räumlichen Disparitäten kommen.

Werden einzelne Kulturen aus dem Anbau verdrängt bzw. die Anbauumfänge innerhalb der EU stark reduziert, jedoch unverändert stark nachgefragt¹⁰⁹, ist eine Verlagerung der Produktion in Drittstaaten zu erwarten. Diese ist nicht per se mit Nachteilen verbunden. Insbesondere dann nicht, wenn die Anzahl benötigter PLI-Einheiten in anderen Teilen der Welt aufgrund veränderter Standortbedingungen oder Wirkstoffverfügbarkeiten geringer als in der Europäischen Union ist. Bleibt die Höhe der Risiken hingegen gleich oder steigt sogar noch weiter an, würde die Europäische Union ihren Verbrauch an PLI-Einheiten auf Kosten von Drittstaaten mindern. Im Rahmen einer einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze und dem Prämienmodell wird die Verlagerung der Produktion von einzelnen Kulturen in Drittstaaten ohne Regulierung des PLI-Einsatzes weitgehend verhindert. Jedoch ist der Rückgang erzeugter GE durch Ertragsverluste mit rund 7 % höher als bei den übrigen Politikmaßnahmen (keine Veränderung erzeugter GE). Bei unverändertem Konsum müssten diese GE an anderen Standorten der Welt zusätzlich erzeugt werden. Im Rahmen eines Lizenz- oder Abgabemodells ist zu erwarten, dass die Anbaufläche von Kulturen mit einem geringen Verhältnis aus der generierten DAKfL je PLI-Einheit in der EU abnimmt. Mithilfe einer einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze kann das Nebenziel erfüllt werden, eine Verlagerung der Produktion einzelner Kulturen zu verhindern. Dennoch sind durch das allgemein reduzierte Ertragsniveau Produktionsverlagerungen nicht auszuschließen.

Gleichzeitig entstehen dadurch im Vergleich zum Lizenz- oder Abgabemodell erhöhte Opportunitätskosten. Sowohl bei der einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze als auch beim Prämienansatz bleibt der Raps am Beispiel des Modellbetriebs weiterhin Bestandteil der Fruchtfolge, obwohl der Rapsanbau mit einem überdurchschnittlich hohen PLI-Einsatz einhergeht. Bei den übrigen Politikmaßnahmen wird der Raps durch Körnermais aus der Fruchtfolge verdrängt. Im Falle der PLI-Obergrenze und dem Prämienansatz muss der PLI bei Kulturen wie Weizen stärker reduziert werden, was zu höheren Anpassungskosten führt.

Eine wesentliche Ansatzstelle, um Ertragsrückgänge und folglich die Verlagerung der Produktion zu verhindern, stellt die Züchtung gesunder Sorten sowie die in Kapitel 2.4.1 beschriebene

¹⁰⁹ Die Annahme einer unveränderten Konsumentennachfrage ist an dieser Stelle als Vereinfachung zu sehen. In der Realität steigt der Marktpreis bei einem kleineren Angebot an, sodass auch von einem Rückgang der Nachfrage auszugehen ist.

Entwicklung innovativer Technologien dar. Gelingt es, die Wirkstoffmengen durch technischen Fortschritt so stark zu mindern, dass die PLI-Reduktionsziele ohne Ertragsverluste erfüllt werden, kann eine Verlagerung der Produktion PLI-intensiver Produktionsverfahren verhindert werden. Da die Entwicklung und Verbreitung solcher Technologien hohen Einfluss auf die Anpassungskosten haben kann, müssen Abgaben- und Prämienhöhe im Zeitverlauf ggf. angepasst werden.

Einkommen

Bei den Folgen der Politikmaßnahmen auf die Einkommenssituation der landwirtschaftlichen Betriebe ist der Träger der Anpassungskosten ein grundsätzliches Unterscheidungsmerkmal: Sofern bei der beschriebenen „Förderung niedriger PLI-Hektarwerte“ zusätzliche Finanzmittel vom Staat bereitgestellt werden, wird die PLI-Reduktion von der Gesellschaft gezahlt. Bei den drei übrigen Politikmaßnahmen tragen die Landwirt*innen die Kosten der Anpassungsmaßnahmen im Rahmen einer PLI-Reduktion zunächst unmittelbar selbst.

Durch die steigenden Stückkosten könnte weiterhin argumentiert werden, dass die vorgeschlagenen Politikoptionen die internationale Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Ackerbaus insgesamt verringern. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die bisher hohen Grundrenten als Puffer für mögliche Kosteneffekte fungieren. Nachteile hinsichtlich der Produktionskosten führen ceteris paribus langfristig über den Umweg sinkender Grundrenten zu (anteilig) verringerten Pachtpreisen, wodurch mögliche Kostennachteile auf den Weltmärkten wieder ausgeglichen werden können. Erst wenn dieser Puffer vollständig ausgeschöpft ist, würde sich eine fehlende internationale Wettbewerbsfähigkeit negativ auf die hiesige Produktion auswirken.

Unter den getroffenen Annahmen zur Maßnahmendosierung sind für den Modellbetrieb bei einer PLI-Reduktion um 25 % Einkommensrückgänge in einer Größenordnung von 0 bis maximal 44 €/ha zu erwarten. Im Falle einer Halbierung des PLI steigt der Einkommensrückgang auf bis zu 224 €/ha an. Ausgehend von einer DAKfL in Höhe von durchschnittlich 630 €/ha würde die ungeminderte Abgabenzahlung von mehr als 220 €/ha zu einem DAKfL-Rückgang um mehr als 35 % führen. Der Einkommensrückgang kann jedoch durch eine flächengebundene Abgabenrückerstattung begrenzt werden. In der Realität ist je nach Politikmaßnahme ein differenzierteres Bild zu erwarten: Im Falle einer bundeseinheitlichen Prämienhöhe könnten Betriebe mit äußerst geringen Anpassungskosten Mitnahmeeffekte generieren und dementsprechend eine positive Einkommenswirkung erzielen. Werden PSM-Preise in Abhängigkeit des PLI verteuert, kann auf Hohertragsstandorten oder in Betrieben mit Spezialkulturen der Fall eintreten, dass die zu zahlende Abgabehöhe das hier genannte Niveau übersteigt.

Dabei zeigt die Analyse, dass eine „Erhöhung der PSM-Preise in Abhängigkeit des PLI“ jeweils zu den höchsten Einkommensrückgängen im Vergleich der vier Politikmaßnahmen führt. Somit sind durch eine PLI-Abgabe unter Nutzung des Flaschenhalses zwar geringe Kontroll- und Administrationskosten für Staat und Betriebe zu erwarten, führen jedoch auf Seiten der landwirtschaftlichen Betriebe zu hohen Einkommenseinbußen. Eine einzelbetriebliche PLI-Obergrenze erzeugt Einkommensrückgänge in Höhe der Anpassungskosten. Im Gegensatz dazu ist im Falle eines Lizenzmodells

mit handelbaren Nutzungsrechten der Einkommensrückgang auf die Höhe der Anpassungskosten begrenzt, kann jedoch ggf. je nach Marktpreis für Nutzungsrechte verringert werden.

Administrations- und Kontrollaufwand

Der Vergleich der Politikmaßnahmen hinsichtlich der **Administrierbarkeit** hat gezeigt, dass es unterschiedliche Vor- und Nachteile gibt:

- Während die Reduktionsziele bei einem Lizenzmodell mit handelbaren PLI-Nutzungsrechten und einer einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze aus Sicht des Staates zielgenau angesteuert werden können, kann im Rahmen der übrigen Politikmaßnahmen die initial festgelegte Maßnahmendosis aufgrund der Heterogenität der Betriebe zu hoch oder zu niedrig sein. In der Folge sind Nachjustierungen zu erwarten, um das Reduktionsziel auf sektoraler Ebene zu erreichen.
- Ein Lizenzmodell bietet aus staatlicher Sicht den Vorteil, dass nicht eine Vielzahl von Betrieben analysiert werden muss, um eine angemessene Maßnahmendosierung zu ermitteln. Stattdessen ist eine Handelsplattform bereitzustellen, auf der Betriebsleiter*innen PLI-Nutzungsrechte gegen Geld austauschen können. Diese Funktionsweise der Plattform wird erfolgskritisch für die Politikmaßnahme sein.
- Aus betrieblicher Sicht ist der entscheidende Vorteil einer Abgabenslösung unter Nutzung des Flaschenhalses „Inverkehrbringer von Pflanzenschutzmitteln“, dass keine Dokumentations- und Offenlegungspflichten entstehen. Gleichwohl führt dies jedoch zu hohen Einkommensrückgängen der Betriebe.
- Eine einzelbetriebliche PLI-Obergrenze unter Nutzung kulturindividueller PLI-Referenzwerte hat den Vorteil, bestmöglich dem tatsächlichen PLI-Bedarf zu entsprechen. Gleichzeitig gehen damit die Herausforderungen einher, a) kulturindividuelle PLI-Referenzwerte festlegen zu müssen und b) Informationen zu den tatsächlich angebauten Kulturen zu benötigen, um die einzelbetriebliche PLI-Obergrenze ermitteln zu können.

Für die **rechtssichere Kontrolle** eingesetzter PLI-Einheiten erfordern alle Politikmaßnahmen mit Ausnahme der „Erhöhung der PSM-Preise in Abhängigkeit des PLI“ eine Online-Datenbank. Hierfür müssen die Inverkehrbringer beim Verkauf von Pflanzenschutzmitteln die anfallenden PLI-Einheiten einer jeweiligen Betriebsnummer zuordnen. Betriebsleiter*innen korrigieren die Buchungen im Betrieb, falls die Anzahl eingekaufter und tatsächlich eingesetzter PLI-Einheiten nicht übereinstimmt. Die Funktionsfähigkeit und die leichte Bedienbarkeit ist von besonderer Bedeutung für den Erfolg der Politikmaßnahmen. Betriebsleiter*innen sowie Händler und Hersteller sind besonders in der Lernphase zu unterstützen. Da dieser Schritt bei einer „Erhöhung der PSM-Preise in Abhängigkeit des PLI“ entfällt, ist die Politikmaßnahme aus Sicht der Landwirt*innen mit dem geringsten betrieblichen Aufwand verbunden. Der Staat muss anstelle der einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe „nur“ die Inverkehrbringer von Pflanzenschutzmitteln kontrollieren. Dementsprechend sind auch hier die geringsten Kontrollkosten zu erwarten.

Das Ziel, durch eine „Förderung niedriger PLI-Hektarwerte“ die Kontrollkosten des Staates zu senken, indem nicht alle Betriebe teilnehmen, weist folgende Herausforderung auf: Betriebe, die eine Prämie erhalten möchten, müssen ihren PLI-Einsatz ebenfalls in der Online-Datenbank dokumentieren. Da die Gefahr besteht, dass Betriebe über Kooperationen auf unzulässige Weise versuchen würden, die Prämienzahlungen zu optimieren, reicht die einfache Dokumentation jedoch nicht aus. Mithilfe von stichprobenartigen Vor-Ort-Kontrollen durch die Pflanzenschutzämter kann anhand von Boden- und Pflanzenproben kontrolliert werden, ob tatsächlich nur die angegebenen Wirkstoffe eingesetzt wurden. Auf eingesetzte Aufwandmengen kann kein eindeutiger Rückschluss gezogen werden. Hinzu kommt, dass die Wirkstoffanalysen ebenfalls hohe Kosten verursachen. Der ursprüngliche Vorteil geringer Kontrollkosten durch eine vergleichsweise geringe Zahl teilnehmender Betriebe wird dementsprechend durch stark erhöhte Kontrollkosten je zu kontrollierendem Betrieb aufgezehrt.

6 Schlussfolgerungen

Im nachfolgenden Kapitel werden die Schlussfolgerungen auf die in Kapitel 1 beschriebene Zielstellung gezogen. Dazu zählt die Frage, durch welche betrieblichen Anpassungsoptionen die mit dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verbundenen Risiken für Mensch und Umwelt reduziert werden können und welche Kosten daraus für die landwirtschaftlichen Betriebe resultieren. Ebenso werden Schlussfolgerungen mit Blick auf die potenziellen Folgen unterschiedlicher Politikmaßnahmen dargelegt. Aus Gründen einer verbesserten Übersichtlichkeit werden zunächst inhaltliche Schlussfolgerungen gezogen und anschließend die methodischen Schlussfolgerungen abgeleitet.

6.1 Inhaltliche Schlussfolgerungen

Die gesellschaftliche und politische Forderung, die Risiken durch den Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel zu senken, wird auf europäischer Ebene u.a. im „Green Deal“ und der „Farm-to-Fork“-Strategie thematisiert. Die Frage, welcher Indikator zur Bewertung der künftigen Reduktionsziele herangezogen werden soll, spielt in der öffentlichen Diskussion bisher eine untergeordnete Rolle, hat aber erheblichen Einfluss auf den Anpassungsdruck und die -kosten für landwirtschaftliche Betriebe. Die bisherigen Verordnungsentwürfe auf europäischer Ebene zur Umsetzung der „Farm-to-Fork“-Strategie sehen den HRI als Bewertungsmaßstab vor. Würde der mengenmäßig am meisten eingesetzte Wirkstoff Glyphosat auf europäischer Ebene die Zulassung verlieren, wird dieser im Rahmen des HRI mit dem höchsten Gewichtungsfaktor (64) bewertet. Durch ein europäisches Glyphosatverbot könnte der HRI somit schon in der Größenordnung von 40 %¹¹⁰ reduziert werden (Isermeyer et al., 2020). Dadurch zeichnet sich ab, dass eine Halbierung des HRI vor allem Anpassungsreaktionen zum Verzicht auf Glyphosat zur Folge hat. Die Risikobewertung von Glyphosat anhand des PLI weist hingegen nur eine moderate Toxizität auf. Es stellt sich dahingehend die Frage, ob die Gesellschaft langfristig einen Indikator akzeptieren wird, der die tatsächlichen Risiken nur sehr begrenzt widerspiegelt bzw. ob der Berufsstand diese Bewertung „fair“ empfindet. Sollte dies nicht der Fall sein und einzelne gesellschaftliche Gruppen sowie Landwirt*innen langfristig den Einsatz anderer Indikatoren fordern, sind bei gleichbleibenden Zielen auf Basis des im Rahmen dieser Arbeit analysierten Modellbetriebs im BKR „Südhannover“ unter Verwendung des PLI Anpassungskosten von 10 €/ha bis 20 €/ha für eine 25%ige Risikoreduktion bzw. 80 €/ha bis 125 €/ha für eine 50 %ige Risikoreduktion zu erwarten.

Sollen ausgehend von den relativen Reduktionszielen auf nationaler Ebene Vorgaben für den Einzelbetrieb definiert werden, ist dies nicht ohne Weiteres möglich: Zunächst ist der **Referenzzeitraum** festzulegen. Ein aktueller Referenzzeitraum benachteiligt Betriebe, die bereits in zurückliegenden Jahren eine umfangreiche Risikoreduktion erreichen konnten. Im Rahmen dieser Arbeit

¹¹⁰ Isermeyer et al. (2020) berücksichtigen dabei keine möglichen Substitutionen durch andere Wirkstoffe und alternative Produkte. Deshalb dürfte die tatsächliche HRI-Minderung durch ein Glyphosatverbot geringer ausfallen.

wurden die derzeitigen Produktionssysteme der Untersuchungsregion dargestellt, sodass vom Status Quo als Referenzzeitraum ausgegangen wird. Dies gilt es zu berücksichtigen, um die Höhe der Anpassungskosten einordnen zu können. Ebenso sind stark **unterschiedliche PLI-Ausgangsniveaus** in den landwirtschaftlichen Betrieben zu finden. Vor diesem Hintergrund sollte zunächst der Pflanzenschutzmittel- bzw. der PLI-Einsatz im Status Quo erfasst werden. Bisher erfolgt ersteres auf einer Stichprobenerhebung (PAPA-Netzwerk des JKI). Mithilfe einer breiteren Datenbasis könnten Unterschiede zwischen den Betrieben identifiziert werden, die aufgrund von Standortvoraussetzungen, Managementfähigkeiten oder dem Beratungseinsatz entstehen. Eine relative Minderung des PLI auf einzelbetrieblicher Ebene erscheint ebenfalls nicht zielführend, da diese ebenfalls Betriebe benachteiligt, die bereits in der Vergangenheit eine Risikominderung erreicht haben. Für diese Betriebe würden sich deutlich höhere Anpassungskosten ergeben. Daher sollten Politikmaßnahmen, die den PLI als Ansatzstelle für eine Risikoreduktion nutzen, stattdessen Obergrenzen in Form eines maximalen PLI je ha Ackerfläche oder Kultur beinhalten.

Im Rahmen der Arbeit hat sich gezeigt, dass grundsätzlich zwischen verschiedenen **Arten von Reduktionsmaßnahmen** zu unterscheiden ist. Folgende Maßnahmen haben sich herauskristallisiert:

- a) Substitution toxischer Wirkstoffe durch weniger toxische Wirkstoffe
- b) ackerbauliche Anpassungen im Produktionssystem
- c) eine Kombination aus den beiden erstgenannten

Durch eine Wirkstoffsubstitution kann eine Risikoreduktion in der Größenordnung von 20 % erreicht werden. Die Anpassungskosten inklusive Wirkstoffsubstitution sind im Mittel über alle Reduktionsziele um 35 % geringer, als wenn die gleiche PLI-Reduktion über ackerbauliche Maßnahmen erreicht werden soll. Somit ist davon auszugehen, dass Landwirt*innen zunächst primär eine Wirkstoffsubstitution zur Anpassung wählen. Vor dem Hintergrund sich zunehmend entwickelnder **Wirkstoffresistenzen** ist jedoch fraglich, ob dies eine langfristig tragfähige Strategie ist. Wenn dies nicht der Fall ist, wäre langfristig mit höheren Anpassungskosten zu rechnen. Um die Folgen eines weiter eingeeengten Wirkstoffspektrums besser abschätzen zu können, müssten in Folgearbeiten weitere Untersuchungen gemacht werden.

Insgesamt wurde in der Analyse deutlich, dass ein Ansatz auf Ebene des Betriebes mithilfe des PLI geeignet ist, um Reduktionspotentiale zu realisieren. Allerdings hat sich gezeigt, dass je nach Umsetzung und Reduktionsziel erheblicher Anpassungsbedarf und folglich auch Kosten resultieren. Mit Blick auf die **Anpassungsmaßnahmen und -kosten** ist zwischen einer kulturindividuellen und einer gesamtbetrieblichen Perspektive zu unterscheiden. Folgende Schlussfolgerungen lassen sich aus den Ergebnissen ableiten:

- Die Auswertung der **Anpassungskosten auf Ebene der Einzelkultur** hat deutlich gemacht, dass deren Höhe kulturindividuell variiert. Während eine PLI-Reduktion um 25 % bei einzelnen Kulturen wie Zuckerrüben keine Kosten verursacht, sind bei Stoppelweizen mit mehr als 60 €/ha die höchsten Anpassungskosten zu erwarten. Kommt es zu einer kulturindividuellen PLI-Halbierung, steigt die Spannweite der Anpassungskosten zwischen den Kulturen weiter an. Während

der PLI bei Raps mit rund 50 €/ha halbiert werden kann, sinkt die DAKfL bei Stoppelweizen oder Winterweizen nach Silomais um rund 150 €/ha. Insgesamt lässt sich daraus ableiten, dass der Staat für einzelne Kulturen bereits mithilfe geringer Anreize, wie der Förderung von Hacktechnik in Zuckerrüben, eine Anpassung unterstützen könnte. Jedoch würden derartige Maßnahmen nicht ausreichen, um die politisch anvisierten Ziele (insbesondere PLI-Reduktion um 50 %) zu erreichen.

- Hinsichtlich der betriebswirtschaftlichen **Anpassungskosten auf gesamtbetrieblicher Ebene** ist zunächst die Frage zu beantworten, ob eine PLI-Reduktion für jede Kultur individuell oder im Durchschnitt der gesamten Fruchtfolge zu erfolgen hat. Diese Entscheidung beeinflusst in hohem Maße die unternehmerische Flexibilität der Betriebsleiter*innen, sich an die veränderten Rahmenbedingungen anzupassen. Die Anpassungskosten fallen umso geringer aus, je vielfältiger die Optionen für mögliche Anpassungsmaßnahmen sind und je mehr unternehmerische Flexibilität den landwirtschaftlichen Betrieben gewährt wird. Wenn die Reduktion nicht auf Ebene der einzelnen Kulturen erfolgen muss, sondern lediglich im Mittel der bisherigen Fruchtfolge einzuhalten ist, sinken die Anpassungskosten um rund 25 %. Somit sollten aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Anpassungsmöglichkeiten möglichst flexibel gehalten werden. Hinzu kommt, dass eine justiziable Kontrolle auf Ebene der Einzelkultur nur schwer möglich ist.

Eine **PLI-Reduktion um 25 %** ist je nach gewährter Anpassungsflexibilität für den analysierten Modellbetrieb zu Kosten zwischen 10 und 20 €/ha zu realisieren. Als günstigste Anpassungsoption würden die Landwirt*innen eine Wirkstoffsubstitution durchführen. Ebenso werden mechanische Unkrautregulierungsverfahren in Reihenkulturen wie Zuckerrüben angewendet sowie Totalherbizide vor Sommerungen wie Silomais durch mechanische Bodenbearbeitung ersetzt. Sofern keine kulturindividuelle Umsetzung gefordert ist, gehen Betriebsleiter*innen anschließend dazu über, Kulturen geringer Wertschöpfung (DAKfL) je eingesetzter PLI-Einheit durch Kulturen mit hoher Wertschöpfung je PLI-Einheit zu ersetzen. Im Fall des analysierten Modellbetriebs würde dies durch eine Substitution von Raps durch Körnermais erfolgen.

Um eine **PLI-Reduktion um 50 %** zu erreichen, sind weitere pflanzenbauliche Anpassungsmaßnahmen notwendig. Dazu zählen unter anderem ein kulturübergreifend reduzierter Fungizid- und Insektizideinsatz, aber auch spätere Saattermine im Getreide, um die Herbizidmaßnahmen einsparen zu können. Für eine PLI-Reduktion um 50 % steigen die Anpassungskosten überproportional stark an, sodass je nach Gestaltungsfreiraum mit betrieblichen Kosten zwischen 82 bis 125 €/ha zu rechnen ist. Dies entspricht einem Rückgang der DAKfL von 13 bis 20 %. In den Worst-Case-Szenarien mit ungünstigen Witterungsbedingungen oder hohem Schädlingsdruck steigen die Kosten auf 100 bis 250 €/ha an. Daraus lässt sich ableiten, dass Risikoreduktionsziele eine gewissen Flexibilität enthalten sollten, um extreme Kosten in Ausnahmejahren zu vermeiden.

Da aufgrund der Anpassungskosten stärkere Anreize für technischen Fortschritt entstehen, fördern sie Innovationen im Bereich der Applikationstechnik oder in der Züchtung gesünderer Sorten. Dadurch ist zu erwarten, dass die Kosten in der Realität geringer ausfallen. Ebenso ist davon auszugehen, dass die Anpassungskosten an ertragsschwächeren Standorten geringer sind, da die

relativen Ertragsverluste zu einem geringeren absoluten Erlösrückgang führen. Außerdem hat sich im Rahmen der Arbeit gezeigt, dass produktionsintegrierte Reduktionsmaßnahmen günstiger sind, als einzelne Flächen aus der Produktion zu nehmen. Im Vergleich zu einer stillgelegten Fläche kann durch den Anbau von Silomais ohne Pflanzenschutzmitteleinsatz eine um 350 €/ha höhere DAKfL erzielt werden. Somit sollte künftig erwogen werden, den Fokus zur PLI-Reduktion stärker auf produktionsintegrierte Maßnahmen zu legen. Einschränkend ist hier anzumerken, dass die Kalkulation auf Basis des durchschnittlichen Ertrages durchgeführt wurden. In der Realität dürften in jeder Region jedoch Flächen mit unterdurchschnittlichem Ertragsniveau vorhanden sein. Sofern auf Grenzstandorten nur die Hälfte des durchschnittlichen Ertragsniveaus erreicht wird, erzielt die Branche eine 35 €/ha höhere DAKfL als der pflanzenschutzmittelfreie Silomaisanbau. Allerdings müssen die Betriebsleiter*innen künftig 4 % ihrer Flächen aus der Produktion nehmen, um die Konditionalität der GAP einzuhalten. Diese Stilllegungen würden zunächst an ertragschwachen oder schwer zu bewirtschaftenden Flächen erfolgen und stünden deshalb nicht mehr für die Produktion zur Verfügung.

Mit einer zunehmenden PLI-Reduktion steigen die Ertragsschwankungen kulturübergreifend an, sodass daraus finanzielle Risiken für die landwirtschaftlichen Betriebe resultieren. Vor dem Hintergrund ist zu überlegen, inwiefern zusätzliche Initiativen ergriffen werden könnten, um die finanziellen Risiken zu verringern. Ebenso entstehen für die Betriebe **weitere Herausforderungen**, die im Rahmen dieser Arbeit nicht monetarisiert (bewertet) wurden. Hierzu gehört eine steigende Witterungsabhängigkeit aufgrund der zunehmenden mechanischen Unkrautbekämpfung, finanzielle Risiken aufgrund der Investition in neue Produktionstechnik sowie ein steigender Organisations- und Managementaufwand. Vor diesem Hintergrund ist für die Umsetzung von Reduktionszielen zu untersuchen, mit welchen Maßnahmen diese zusätzlichen Herausforderungen flankiert werden können. Beispielhaft sind hier Investitionsbeihilfen oder finanzielle Risikomanagementsysteme wie Ertragsausfallversicherungen zu nennen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der PLI verwendet, um produktionsintegrierte Maßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln zu bewerten und den Landwirt*innen in Fokusgruppendifkussionen unmittelbar Rückmeldungen zu den Wirkungen der entwickelten Reduktionsstrategien geben zu können. Für die Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass der PLI die potenziellen Risiken widerspiegelt. Für die realen Umweltwirkungen ist jedoch das tatsächlich eintretende Risiko relevant. Hierauf können nicht-produktionsintegrierte Maßnahmen wie Puffer- oder Gewässerrandstreifen ebenfalls einen erheblichen Einfluss haben, da sie Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer und Saumstrukturen verhindern. In der landwirtschaftlichen Praxis werden aufgrund des Ordnungsrechts¹¹¹ und teilweise freiwillig bereits eine Vielzahl von Maßnahmen zur Risikominderung umgesetzt. Da diese Maßnahmen nicht im PLI berücksichtigt werden, ist künftig zu prüfen, inwiefern das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Vorgehen auf andere Risikoindikatoren übertragen werden kann bzw. inwiefern der PLI mit anderen Risikoindikatoren gekoppelt

¹¹¹ Zu nennen sind hier beispielsweise Mindestabstände zu Gewässern.

werden kann, die a) nicht-produktionsintegrierte Maßnahmen berücksichtigen und b) die tatsächlichen Risiken abbilden.

Zur umweltpolitischen Umsetzung der Reduktionsziele stehen eine Vielzahl an **Politikmaßnahmen** zur Verfügung, mit denen jeweils unterschiedliche Nebenziele verfolgt werden können. Für die Politik besteht die Herausforderung darin, unterschiedliche Nebenziele gegeneinander abzuwägen und zu priorisieren. Aus den exemplarisch konzipierten Politikmaßnahmen und Folgenabschätzungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Mit Ausnahme des Abgabemodells ist es für alle untersuchten Politikmaßnahmen erforderlich, auf Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe den Einsatz von PLI-Einheiten kontrollieren zu können. Für eine justiziable und wenig betrugsanfällige Kontrolle ist es notwendig, eine **Online-Datenbank** einzuführen. Die Inverkehrbringer von Pflanzenschutzmitteln müssten verpflichtet werden, abgegebene Pflanzenschutzmittel beim Verkauf anhand der jeweiligen Betriebsnummer in die Online-Datenbank einzupflegen. Auch der Handel von Pflanzenschutzmitteln zwischen Betrieben müsste in die Datenbank eingetragen werden. Hier ist mit erheblichem Widerstand aus dem Berufsstand zu rechnen, sodass die technische Umsetzung und Nutzerfreundlichkeit erfolgskritisch hinsichtlich der Akzeptanz sein werden. Dabei könnte auf Erfahrungen aus anderen Ländern wie Dänemark zurückgegriffen werden. Neben der Nutzung als Kontrollinstrument kann die Online-Datenbank ebenfalls dazu dienen, den Status Quo des Pflanzenschutzmitteleinsatzes zu erfassen.
- Anhand der betriebswirtschaftlichen Analysen wurde deutlich, dass die Substitution von Kulturen eine wichtige Anpassungsmaßnahme ist. Dies kann zu Verlagerungen der Produktion von einzelnen Anbaufrüchten ins Ausland führen. Wird von der Politik das Nebenziel verfolgt, die **Verlagerung der Produktion** einzelner Kulturen in Drittstaaten zu verhindern, sollten PLI-Einheiten kulturindividuell bemessen werden. Stehen Kulturen in innerbetrieblicher Konkurrenz um PLI-Einheiten, werden solche mit einer geringen Wertschöpfung (DAKfL) je eingesetzter PLI-Einheit zunehmend weniger angebaut bzw. durch Kulturen mit einer überdurchschnittlichen DAKfL je PLI-Einheit ersetzt.

Gleichwohl kann eine PLI-Reduktion kulturindividuell mit Ertragsrückgängen verbunden sein. Wird der PLI um 25 % gesenkt, ist unter der Voraussetzung einer Wirkstoffsubstitution eine Veränderung erzeugter GE zwischen +4 bis maximal -2 % zu erwarten. Eine Halbierung des PLI sorgt für eine Veränderung erzeugter GE zwischen 0 bis maximal -7 %. Um diese Lücke zu schließen, kann a) der Verbrauch an GE innerhalb der Europäischen Union dementsprechend gesenkt, b) verstärkt an innovativen Techniken gearbeitet werden, die eine PLI-Reduktion ohne Ertragseinbußen ermöglichen oder c) die in der EU fehlenden GE durch eine intensiviertere Produktion in Drittstaaten erzeugt werden.

- Eine „**einzelbetriebliche PLI-Obergrenze**“ sorgt zunächst dafür, dass sich alle Betriebe anpassen müssen, deren PLI-Einsatz sich über dem Grenzwert befindet. Bis auf die Ausnahme von Extremjahren sind keine Überschreitungen der Obergrenze möglich. Entgegen einer prozesssteuernden Auflage sollte den Betriebsleiter*innen weiterhin die Möglichkeit gewährt bleiben,

für ihren Betrieb individuell entscheiden zu können, welche Anpassungsmaßnahmen sie umsetzen möchten. Der prognostizierte Einkommensrückgang entspricht den Anpassungskosten.

- Ein **„Lizenzmodell mit handelbaren Nutzungsrechten“** führt zu einer hohen unternehmerischen Flexibilität. Wenn die Betriebsleiter*innen auf den Handel mit PLI-Nutzungsrechten verzichten, wirken die Rechte wie eine einzelbetriebliche PLI-Obergrenze. Der Handel mit Nutzungsrechten ermöglicht es, Einkommensrückgänge zu minimieren. Dabei reduziert ein nationaler Handelsraum die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten, da die Reduktion vorrangig in Regionen mit geringen Anpassungskosten (ackerbauliche Grenzstandorte und Regionen mit einer unterdurchschnittlichen Bodengüte) durchgeführt wird. In Regionen mit hohen Anpassungskosten werden stattdessen Nutzungsrechte zugekauft, sofern der Marktpreis für Nutzungsrechte geringer ist als der zusätzlich zu erzielende DAKFL-Anstieg.
- Eine **„Abgabe in Abhängigkeit des PLI“** hat den Vorteil, dass die Politik die „Inverkehrbringer von Pflanzenschutzmitteln“ als Flaschenhals nutzen kann. Dies führt zu geringen Administrations- und Kontrollkosten für den Staat, da die einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe nicht mehr kontrolliert werden müssen. Weiterhin ist der Administrationsaufwand für die Betriebsleiter*innen gering, da keine Dokumentation eingesetzter PLI-Einheiten notwendig ist. Allerdings führt diese Option zu vergleichsweise hohen Einkommensrückgängen der landwirtschaftlichen Betriebe. Die Einkommen der Betriebe sinken um rund 45 €/ha (7 %) für eine PLI-Reduktion um 25 % bzw. um mehr als 220 €/ha (35 %) für eine 50%ige PLI-Reduktion. Die Ursache ist, dass eine einheitliche Abgabe für alle eingesetzten PLI-Einheiten zu erheben ist, die Anpassungskosten je PLI-Einheit jedoch nicht linear verlaufen. Da eine Abgabe jedoch nur wirkt, wenn sie höher als der Grenznutzen der letzten zu reduzierenden PLI-Einheit ist, muss sich die Abgabenhöhe an diesem orientieren. Geringere Abgaben würden lediglich die Produktion verteuern. Somit werden alle PLI-Einheiten mit dem Grenznutzen der einzusparenden PLI-Einheit belastet. Die Einkommenseffekte könnten verringert werden, indem der Staat die erzielten Einnahmen (anteilig) flächengebunden zurückerstattet.
- Eine **„staatliche Förderung niedriger PLI-Hektarwerte“** hat hingegen mit Ausnahme des Grenzanbieters in der Regel eine positive Einkommenswirkung, da zu erwarten ist, dass nur Betriebe an der Förderung teilnehmen, wenn ihre Anpassungskosten geringer als die Prämie sind. Weiterhin führt diese Politikmaßnahme zu einem vergleichsweise geringen Administrations- und Kontrollaufwand für den Staat, da nur die an der Förderung teilnehmenden Betriebe zu kontrollieren sind. Allerdings ist diese Option besonders betrugsanfällig, da ein Anreiz entsteht, mit anderen Betrieben zu kooperieren, um mehr als die gemeldeten Pflanzenschutzmittel einzusetzen. Wirkstoffanalysen von Boden- und Pflanzenproben können zwar i.d.R. einen Wirkstoffeinsatz nachweisen, allerdings sind nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die Dosierung möglich. Hinzu kommt, dass derartige Analysen mit Kosten von mehr als 200 € sehr teuer sind. Folgende Erweiterungen der Politikmaßnahme sind denkbar, um die Betrugsanfälligkeit zu verringern:
 - Es könnten alle Betriebe verpflichtet werden, ihren Pflanzenschutzmitteleinsatz in eine Online-Datenbank zu melden. Dies erhöht jedoch die Kontrollkosten des

Staates. Der Vorteil eines geringen Einkommenseffekts auf landwirtschaftlicher Ebene bleibt hingegen bestehen.

- Es könnte lediglich ein vollständiger Verzicht auf Pflanzenschutzmittel auf den Maßnahmenflächen gefördert werden. Auch hier besteht noch eine gewisse Betrugsanfälligkeit. Allerdings ist der Nachweis des generellen Wirkstoffeinsatzes einfacher möglich als der Nachweis der Dosierung. Weiterhin müsste die Prämie angepasst werden, da steigende Anpassungskosten zu erwarten sind.
- Durch das verpflichtende Nachrüsten technischer Lösungen an Pflanzenschutzspritzen (Standort- und Wirkstoffaufzeichnungen) wäre nachzuverfolgen, welche Pflanzenschutzspritze auf den Flächen wann und welche Wirkstoffe ausgebracht hat. Diese Technik ist jedoch bislang nicht verfügbar.

Um durch die Politikmaßnahme eine PLI-Reduktion um 50 % auf sektoraler Ebene zu realisieren, müssten alle Betriebe die Prämie für eine 50%ige PLI-Reduktion in Anspruch nehmen. Da dies nicht zu erwarten ist, sollten ebenso Prämien für eine PLI-Reduktion um 75 % oder für einen vollständigen Verzicht angeboten werden.

Unabhängig der analysierten Politikmaßnahmen lassen sich folgende grundsätzliche Schlussfolgerungen ableiten:

- Eine flächenbezogene Bemessung von PLI-Einheiten führt vornehmlich zu einer Risikoreduktion in Regionen mit geringen Anpassungskosten. Dies sind vor allem ackerbauliche Grenzstandorte. Sofern national eine gleichmäßige PLI-Reduktion angestrebt wird, ist es daher erforderlich, kulturartenindividuelle Referenzwerte für PLI-Einheiten einzuführen. Inwiefern eine großflächig einheitliche oder eine räumlich konzentrierte PLI-Reduktion vorteilhafter hinsichtlich des Umweltnutzens ist, sollte in weiteren Arbeiten überprüft werden, um die Politikmaßnahmen besser am Umweltnutzen ausrichten zu können.
- Die Zielgenauigkeit der Politikmaßnahmen unterscheidet sich. Politikmaßnahmen, in denen monetäre Anreizmechanismen als Instrument genutzt werden (Prämien oder Abgaben), steuern das Reduktionsziel über die Höhe des Anreizes an. Die erforderliche Höhe des Anreizes ist jedoch aufgrund der Heterogenität der Betriebe vorab schwer einzuschätzen. Sollten die Anreize nicht ausreichen und die Reduktionsziele auf nationaler Ebene nicht erreicht werden, ist davon auszugehen, dass die Politik nachjustieren muss. Hierfür sollte eine klare Kommunikationsstrategie erarbeitet sowie eine Begleitforschung etabliert werden, die ein Monitoring durchführt, sodass die Politik kurzfristig nachjustieren kann.
- Neben den diskutierten Politikmaßnahmen gibt es in der Realität ein weiteres Bündel an Maßnahmen, mit denen zu einer Risikoreduktion beigetragen werden soll. Dazu zählt u.a. die Investitionsförderung innovativer Technik, der geplante Ausbau des Ökolandbaus, diverse Agrarumweltmaßnahmen zur Fruchtfolgegestaltung oder zur Förderung von Gewässerrandstreifen sowie der Erhalt von Schutzgebieten mit besonderem Wert für die Umwelt. Es ist wichtig, vorab einzuschätzen, welche Risikoreduktion sich daraus auf nationaler Ebene ergibt und die Reduktionsziele auf einzelbetrieblicher Ebene entsprechend anzupassen.

6.2 Methodische Schlussfolgerungen

Neben den inhaltlichen Schlussfolgerungen sollen mit Blick auf das Vorgehen und die Konzeption der Arbeit ebenfalls methodische Schlussfolgerungen zu Chancen und Herausforderungen mit dem Forschungsansatz abgeleitet werden.

Insgesamt hat sich der in Kapitel 3 entwickelte Forschungsansatz als gut geeignet erwiesen, um Anpassungsmaßnahmen sowie -kosten durch eine Reduktion der Risiken durch Pflanzenschutzmittel zu identifizieren und darauf aufbauend eine Politikmaßnahme zur praktischen Umsetzung abzuleiten. Dabei war das Zusammenspiel von Modellbetrieb, Fokusgruppe und Versuchsergebnissen von essenzieller Bedeutung für das Gelingen der Arbeit.

Bei der Beschreibung der Produktionssysteme und Anpassungsoptionen anhand eines **Modellbetriebs** ist allgemein zu berücksichtigen, dass es eine Vielzahl an Möglichkeiten gibt, wie das Produktionssystem im Einzelfall ausgestaltet sein kann. Um die Fragestellung handhaben zu können, war es jedoch erforderlich, ein typisches Produktionssystem festzulegen. Das gilt sowohl für die Verfahrensschritte an sich als auch für die eingesetzte Produktionstechnik. Dies hat sich als besondere Herausforderung erwiesen, da die Pflanzenschutzstrategien der Landwirt*innen aufgrund der großen Anzahl an Pflanzenschutzmittelwirkstoffen sowie Produkten sehr unterschiedlich sind und je nach Befallssituation zwischen den Jahren stark schwanken können. Dementsprechend groß ist die Variabilität zwischen den Betrieben. Aus diesem Grund können die Ertragseffekte ebenso wie die daraus resultierenden Kosten in ihrer Höhe sehr unterschiedlich ausfallen. Um insbesondere die Vielzahl möglicher Pflanzenschutzmittel nicht auf eine Variante begrenzen zu müssen, könnten in einer Weiterentwicklung des hier entwickelten Ansatzes alternative Produkte und Wirkstoffe mit in die Berechnung einfließen. Dadurch könnte die Repräsentativität und Aussagekraft gesteigert werden.

Die **Ermittlung der Anpassungsreaktionen** landwirtschaftlicher Betriebe an einen reduzierten PLI hat sich als komplex herausgestellt und einen großen Arbeitsaufwand erfordert. Aufgrund der spezifischen Standortverhältnisse besteht Unsicherheit, ob und inwiefern die Ergebnisse auf andere Standorte übertragbar sind. Bevor eine der beschriebenen Umsetzungsoptionen in der Praxis ausgerollt werden kann, sollten weitere Analysen an unterschiedlichen Standorten in Deutschland durchgeführt werden. Da die Anzahl der zu untersuchenden Standorte begrenzt sein wird, wäre es zielführend, Standorte zu berücksichtigen, die a) die Spanne der Intensitätsniveaus und b) die Spanne der Witterungs- und Standortbedingungen berücksichtigen. Anschließend wäre abzuleiten, wie stark die Anpassungskosten zwischen den Standorten variieren und ob ggf. weitere Modellbetriebe in anderen Regionen erhoben werden müssten. Werden die Anpassungskosten mehrerer Standorte berücksichtigt, erscheinen zwei Wege zum weiteren Vorgehen plausibel: Entweder es kommt zu einer Regionalisierung von Abgabehöhe, Subvention etc. oder es wird ein Durchschnittswert für das gesamte Bundesgebiet abgeleitet. Während der erstgenannte Pfad zu einem gesteigerten Verwaltungsaufwand führt, droht bei einem einfachen Durchschnittswert die Gefahr, dass die Risikoreduktion nicht wie gewünscht umgesetzt wird. In der Folge sind Nachjustierungen zu

erwarten. Das ist dadurch zu erklären, dass standortübergreifende Abgabe- oder Subventionssätze häufig nicht den tatsächlichen Anpassungskosten entsprechen.

Wie bereits bei der Konzeption des Ansatzes zu erwarten war, stellt die Ertragsschätzung bei einem reduzierten PLI-Einsatz eine Herausforderung für die **Teilnehmenden der Fokusgruppe** dar. Als Grund sind vorrangig fehlende Referenz- und Erfahrungswerte zu nennen. Vor diesem Hintergrund ist mit Blick auf weitere Standorte darauf zu achten, dass auch dort möglichst regionalisierte Versuche herangezogen werden, in denen der Ertragseffekt unterschiedlicher pflanzenbaulicher Anpassungsmaßnahmen untersucht wird. Mithilfe des Kalkulationstools konnten innerhalb der Fokusgruppendifkussionen produktionstechnische Anpassungen vorgenommen werden, sodass eine unmittelbare Ergebnisvisualisierung vor Ort möglich war. Dadurch wurde die Transparenz des Verfahrens gefördert und letztlich die Akzeptanz und Bereitschaft der Landwirt*innen zur Teilnahme gestärkt. Im Rahmen der Arbeit hat sich herausgestellt, dass grundsätzlich zahlreiche Versuche existieren, die Versuchsergebnisse jedoch schwer zugänglich sind. Mit Blick auf die Weiterentwicklung der Ackerbausysteme wäre es daher zielführend, eine zentrale Datenbank einzurichten, in der zumindest die Verfügbarkeit von Versuchen und mögliche Ansprechpartner*innen genannt sind.

Die Konfrontation der Betriebsleiter*innen mit unterschiedlichen Politikmaßnahmen sowie den Folgenabschätzungen war insofern herausfordernd, als dass zunächst bei vielen Teilnehmer*innen eine grundsätzliche Abwehrhaltung gegenüber den Maßnahmen bestand. Hintergrund dieses Reaktion ist die Annahme, dass die Maßnahmen ihren Handlungsspielraum unverhältnismäßig einengen oder zu stark verminderten Einkommen beitragen könnten. Im Diskussionsverlauf haben sich dahingehend viele Vorurteile und Ängste der Landwirt*innen unbegründet herausgestellt. Um künftig vorschnelle negative Bewertungen zu verhindern, sollte ggf. mehr Zeit für eine umfassendere Einführung eingeplant werden. Die Bereitschaft zur individuellen Vorbereitung könnte ggf. durch eine Aufwandsentschädigung erhöht werden.

Im Hinblick auf die **Vorbereitung der Fokusgruppendifkussionen** hat es sich rückblickend als sehr hilfreich herausgestellt, den Teilnehmenden vorab Informationen bereitzustellen und in die zu erwartenden Diskussionsfragen einzuführen. Somit hatten die Landwirt*innen bereits vorab die Möglichkeit, sich inhaltlich vorzubereiten und über Lösungsvorschläge nachzudenken. Dadurch konnte in den eigentlichen Diskussionsrunden Zeit eingespart werden. Außerdem hat es sich als vorteilhaft erwiesen, direkt Lösungsvorschläge zu unterbreiten und diese nach Einschätzungen der Praktiker*innen anzupassen. In der begrenzten Zeit eine Fülle an Informationen an die Betriebsleiter*innen heranzutragen, hat sich als herausfordernd erwiesen. Um dies zu verbessern, wäre eine intensivere Vor- und Nachbereitung der Betriebsleiter*innen notwendig gewesen. Soll das Konzept auf mehrere Standorte unter einer breiten Beteiligung landwirtschaftlicher Betriebsleiter*innen ausgerollt werden, sollte über eine finanzielle Entschädigung der beanspruchten Arbeitszeit der Praktiker*innen nachgedacht werden. Dadurch könnte die Teilnahmebereitschaft allgemein, aber auch die Bereitschaft zur Vor- und Nachbereitung erhöht werden.

Der Fokus der Arbeit lag zunächst darauf, produktionstechnische Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren. Hierfür war es notwendig, die unterschiedlichen Handlungsalternativen für die Landwirt*innen nachvollziehbar ökonomisch zu bewerten und Anpassungen vorzunehmen. Dieses Vorgehen hat sich grundsätzlich als zielführend erwiesen. Dennoch führte die Vielzahl unterschiedlicher Anpassungsoptionen und deren Kombinationsmöglichkeiten zu der Herausforderung, die kostenminimale Strategiekombination zu identifizieren. Hier könnte es künftig hilfreich sein, wenn das entwickelte Kalkulationstool um eine Optimierung ergänzt wird, mit der automatisiert die kostenminimalen Kombinationen der zuvor herausgearbeiteten Anpassungsmaßnahmen identifiziert werden können.

7 Zusammenfassung

Chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel sind ein bedeutender Bestandteil des konventionellen Ackerbaus in Deutschland. Sie haben dazu beigetragen, die Flächenproduktivität zu erhöhen, die Ertragsverluste zu mindern und dadurch einen wesentlichen Beitrag zur Ernährungssicherung geleistet. Jedoch haben Pflanzenschutzmittel negative Auswirkungen auf die Biodiversität, ihre Abbauprodukte sind in Grund- und Oberflächengewässern zu finden, und sie werden damit in Verbindung gebracht, die menschliche Gesundheit negativ zu beeinflussen. Deshalb wird von der Gesellschaft eine Reduktion ihres Einsatzes gefordert.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der Politik, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die damit verbundenen Risiken zu senken. Maßnahmen wie eine Verschärfung der Zulassungsverfahren, strikte Anwendungsaufgaben oder die gezielte Förderung innovativer Produktionsverfahren führten bereits in der Vergangenheit zu einem sinkenden Einsatz und verringerten Risiken. Zusätzlich sind sowohl auf europäischer Ebene im Rahmen des „Green Deals“ und der „Farm-to-Fork-Strategie“ als auch auf nationaler Ebene im Koalitionsvertrag des Jahres 2021 sowie in der „Ackerbaustrategie 2035“ Maßnahmen formuliert, die auf eine weitere Reduktion der Pflanzenschutzmittel und ihrer Risiken hinwirken sollen.

Jedoch bleiben die Fragen, ob und wie landwirtschaftliche Betriebe ihre Produktionssysteme anpassen können und welche Kosten daraus resultieren, weitgehend unbeantwortet. Zwar werden die Vor- und Nachteile verschiedener politischer Umsetzungsstrategien zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene diskutiert, jedoch zielen die wissenschaftlichen Publikationen vorrangig auf die Einführung eines Steuermodells ab. Ein konkreter Vergleich unterschiedlicher Politikmaßnahmen und eine Abschätzung der Anpassungsreaktionen sowie der damit einhergehenden Folgen unter Berücksichtigung landwirtschaftlicher Expertise erfolgt meist nicht.

Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Dissertation anhand eines typischen Modellbetriebs im Boden-Klima-Raum „Südhanover“ untersucht, mit welchen betrieblichen Anpassungsmaßnahmen die mit dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verbundenen Risiken für Mensch und Umwelt um 25 bzw. um 50 % reduziert werden können und welche Anpassungskosten daraus resultieren. Im Anschluss daran wurden vier konkrete Politikmaßnahmen beschrieben, die unterschiedliche Nebenziele verfolgen. Welche Effekte dadurch auf die Produktion, die Einkommen landwirtschaftlicher Betriebe sowie den Administrations- und Kontrollaufwand für Landwirt*innen und Staat zu erwarten sind, wurde im Rahmen einer Folgenabschätzung herausgearbeitet.

Soll eine Reduktion erfolgen, muss zwischen dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und ihren Risiken unterschieden werden. Da Mengenindikatoren keine Aussage über die Toxizität von Wirkstoffen zulassen und nationale sowie europäische Konzepte auf eine Risikoreduktion abzielen, wurden zunächst die Grundlagen des Pesticide Load Indicators (PLI), des SYNOPSIS-Indikators sowie des Harmonised Risk Indicators (HRI) näher beschrieben. Letztgenannter wird aus wissenschaftlicher

Perspektive als nicht ausreichend fundiert eingeschätzt, um eine ausreichend differenzierte Risikobewertung vornehmen zu können. Deshalb wurden die Chancen und Herausforderungen des PLI und SYNOPSIS-Ansatzes gegenübergestellt. Sie unterscheiden sich insofern, als dass beim PLI mit überschaubarem Datenbedarf eine Schätzung der potenziellen Risiken vorgenommen wird. Diese Einschränkung macht den PLI zu einem gut einsetzbaren und vergleichsweise einfach kalkulierbaren Indikator. Neben der einfachen Administrierbarkeit hat der PLI darüber hinaus den Vorteil, dass er bereits seit dem Jahr 2013 als offizieller Bewertungsmaßstab in Dänemark seine Praxistauglichkeit bewiesen hat. Beim SYNOPSIS-Ansatz werden demgegenüber auf einzelbetrieblicher Ebene die tatsächlichen Risiken unter Berücksichtigung der Standort- und Umwelteigenschaften bewertet. Mögliche Risiken für die Anwender*innen werden nicht untersucht. Es ist außerdem fraglich, ob die hohen Datenanforderungen für eine flächendeckend wirksame Politik, die alle Betriebe in Deutschland und der EU erreichen und eine nationale Berichterstattung ermöglichen soll, in wenigen Jahren erreicht werden können. Deshalb erscheint der PLI für die einzelbetriebliche Analyse besser geeignet zu sein, weshalb er im weiteren Verlauf der Arbeit angewendet wurde.

Um herauszufinden, wie sich Landwirt*innen an eine PLI-Reduktion um 25 bzw. um 50 % anpassen, werden Informationen zu den üblichen Produktionssystemen benötigt. Da diese Daten nicht vorliegen, wurde die Lücke mithilfe eines typischen Modellbetriebs geschlossen. Mithilfe dieses Ansatzes wurden regionstypische Produktions- und Anbausysteme inklusive eingesetzter Pflanzenschutzmittel und Aufwandmengen in Zusammenarbeit mit Landwirt*innen und Berater*innen erfasst und validiert. Auf Basis von Versuchsergebnissen wurden im Rahmen von Fokusgruppendifkussionen Anpassungsmaßnahmen der Landwirt*innen identifiziert, die zu einer PLI-Reduktion beitragen. Sie lassen sich wie folgt unterscheiden:

- (1) Substitution von höher toxischen Wirkstoffen durch solche mit einer geringeren Toxizität
- (2) pflanzenbauliche Anpassungen im Rahmen des Produktionssystems

Die Einsparpotenziale künftiger technischer Verbesserungen der Produktionstechnik wurden dabei nicht explizit berücksichtigt, weil derzeit unklar ist, wann diese Technologien verfügbar sein werden. Hinzu kommt, dass sie sich anschließend erst noch in der Praxis verbreiten müssen.

Mithilfe eines Kalkulations- und Auswertungstools wurden die insgesamt rund 100 Anpassungsmaßnahmen erfasst. Innerhalb der Fokusgruppendifkussionen konnte das Tool dazu genutzt werden, den Landwirt*innen eine unmittelbare Rückkopplung über die Höhe der PLI-Reduktion und die Veränderung der Rentabilität aufgrund der Anpassungsmaßnahmen zu geben. Es hat sich gezeigt, dass eine wesentliche Herausforderung darin besteht, Ertragseffekte in Folge eines verringerten PLI zu quantifizieren. Da die Landwirt*innen auf ihren Flächen in der Regel keine unterschiedlichen Pflanzenschutzstrategien in Form von Steigerungsversuchen und systematischen Wirkstoffvergleichen durchführen oder den Ertrag nicht differenziert erfassen können, sind ihre Erfahrungen dahingehend begrenzt. Um dieses Problem zu lösen, wurden regionale und nationale Versuchsauswertungen hinzugezogen, bei denen der Ertragseffekt in Folge eines reduzierten

Pflanzenschutzmitteleinsatzes oder einer veränderten Wirkstoffauswahl unter Versuchs- oder Feldbedingungen gemessen wird.

Da es in Jahren mit überdurchschnittlicher Verunkrautung oder starkem Schädlingsbefall zu hohen Ertrageinbußen kommen kann, hat sich im Diskussionsprozess herausgestellt, dass ein einfacher Durchschnittsertrag dem finanziellen Risiko nicht ausreichend Rechnung tragen kann. Deshalb wurden zu erwartende Erträge im Best- und Worst-Case sowie in einem „Normaljahr“ erfasst und deren Wahrscheinlichkeiten mithilfe einer Dreiecksverteilung geschätzt. Durch die Erträge im Best- und Worst-Case können Spannweiten der Anpassungskosten abgebildet werden.

Im Hinblick auf die Anpassungsmaßnahmen und -kosten bei einer Reduktion des PLI um 25 bzw. um 50 % lassen sich folgende Kernergebnisse zusammenfassend festhalten:

- Um den PLI um 25 % zu senken, werden die Landwirt*innen zunächst eine Wirkstoffsubstitution realisieren. Ebenso werden (teil-)mechanische Unkrautregulierungsverfahren in Reinkulturen verstärkt angewendet sowie Totalherbizide vor Sommerungen wie Silomais durch mechanische Bodenbearbeitung ersetzt. Wenn keine kulturindividuelle PLI-Reduktion gefordert wird und Alternativkulturen zur Verfügung stehen, werden die Landwirt*innen Kulturen mit einer geringen DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit ersetzen. Im Modellbetrieb sind dadurch sinkende Anbauanteile von Raps zugunsten von Körnermais zu erwarten. Zwar ist die PLI-Reduktion bei Raps vergleichsweise günstig zu realisieren, aufgrund des hohen PLI-Bedarfs ist die DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit jedoch gering, sodass der Anbau an Attraktivität verliert. Bei einer Halbierung des PLI sind neben den genannten Maßnahmen weitreichendere pflanzenbauliche Anpassungsreaktionen notwendig. Dazu zählen ein kulturübergreifend reduzierter Fungizid- und Insektizideinsatz, aber auch spätere Saattermine im Getreide, um den Unkrautdruck zu senken und dadurch Herbizide einzusparen. Mit Ausnahme von ackerbaulichen Grenzstandorten oder schwer zu bewirtschaftenden Teilflächen sind keine Flächenstilllegungen in relevantem Umfang zu erwarten.
- Die Höhe der Anpassungskosten auf Ebene der Einzelkulturen variiert deutlich: Während eine PLI-Reduktion um 25 % bei Zuckerrüben mit einem Anstieg der DAKfL um rund 25 €/ha verbunden sein kann, sind bei Stoppelweizen mit mehr als 60 €/ha die höchsten Anpassungskosten zu erwarten. Muss der PLI kulturindividuell um 50 % gesenkt werden, steigt die Spannweite der Anpassungskosten zwischen den Kulturen weiter an. Während der PLI bei Raps mit Kosten von rund 50 €/ha halbiert werden kann, sinkt die DAKfL bei Stoppelweizen oder Winterweizen nach Silomais um rund 150 €/ha.
- Hinsichtlich der Anpassungskosten auf gesamtbetrieblicher Ebene muss differenziert werden, ob die PLI-Reduktion für jede Kultur individuell oder im Durchschnitt der gesamten Fruchtfolge zu erfolgen hat. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anpassungskosten umso geringer sind, je mehr unternehmerische Flexibilität den Betriebsleiter*innen gewährt wird. Beim Wechsel von einer kulturindividuellen Reduktion zu einer Umsetzung auf Ebene der Fruchtfolge können die Anpassungskosten um rund 25 % gesenkt werden. Hinzu kommt, dass eine Kontrolle auf Ebene der Einzelkultur ohnehin nur schwer möglich ist. Wird der alternative Anbau PLI-extensiver

Kulturen als Minderungsmaßnahme berücksichtigt, sinken die Anpassungskosten dadurch sogar um mehr als ein Drittel im Vergleich zur kulturindividuellen Umsetzung.

- Bei einer Reduktion des PLI um 25 % sind unter Berücksichtigung der Wirkstoffsubstitution je nach gewährter Anpassungsflexibilität überschaubare Anpassungskosten zwischen etwa 10 und 20 €/ha zu erwarten. Die Veränderung erzeugter Getreideeinheiten (GE) schwankt dabei zwischen +4 bis maximal -5 %. Hingegen steigen die Anpassungskosten bei einer PLI-Reduktion um 50 % überproportional stark an, sodass je nach zulässigen Anpassungsmaßnahmen mit einem betrieblichen DAKfL-Rückgang zwischen etwa 80 bis maximal 125 €/ha zu rechnen ist. Dieser entspricht einem Verlust in Höhe von 13 bis nahezu 20 %. Bei einer PLI-Reduktion um 50 % beträgt die Veränderung erzeugter GE zwischen 0 bis maximal -7 %.

Angesichts der im nationalen Vergleich hohen Standortgüte des Boden-Klima-Raums „Südhanover“ ist zu berücksichtigen, dass die Anpassungskosten gegenüber extensiveren Standorten vermutlich überschätzt werden.

Da Landwirt*innen auf Boden- und Pachtmärkten in Konkurrenz mit ihren Berufskolleg*innen stehen, können sie es sich im Regelfall nicht leisten, freiwillig auf Produktionssysteme umzuschwenken, die Mindererträge oder Kostensteigerungen verursachen und somit einen Wettbewerbsnachteil gegenüber Nachbarbetrieben bringen. Die Politik muss deshalb die Rahmenbedingungen für alle Betriebe so verändern, dass die Anpassung der Produktionssysteme entweder zwingend vorgeschrieben oder betriebswirtschaftlich rentabel wird. Hierfür stehen der Politik vielfältige Politikmaßnahmen zur Verfügung. Das Spektrum ist deshalb so groß, weil bei jeder Spezifikation einer Politikmaßnahme implizit eine Festlegung von vier „Aktionsparametern“ erfolgt. Dabei handelt es sich um die technologische Ansatzstelle, der/die Adressat*in der umweltpolitischen Maßnahme, die Größe des Regelungsraumes sowie das umweltpolitische Instrument.

Auch für das Ziel, die Risiken durch Pflanzenschutzmittel um 25 bzw. 50 % zu senken, existiert eine Vielzahl plausibler Kombinationsmöglichkeiten. Allerdings geht es in der vorliegenden Dissertation nicht darum, alle denkbaren Politikoptionen zu identifizieren und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile zu bewerten. Vielmehr soll anknüpfend an die Ergebnisse der Anpassungskosten untersucht werden, wie die Politik die technologische Ansatzstelle „PLI“ nutzen kann, um ihr Minderungsziel zu erreichen.

Um im weiteren Verlauf der Untersuchung die ausgewählten Politikmaßnahmen und Folgenabschätzungen dem kritischen Urteil der Fokusgruppe aussetzen zu können, wurden vier Politikmaßnahmen spezifiziert, in denen jeweils der PLI als technologische Ansatzstelle genutzt und das Ziel einer PLI-Reduktion um 25 bzw. 50 % im Vergleich zur Ausgangssituation verfolgt wurde. Die übrigen drei Aktionsparameter wurden so gewählt, dass möglichst schlüssige Politikmaßnahmen entstehen, die unterschiedliche Nebenziele verfolgen. Es wurde unterstellt, dass die Politikmaßnahmen im Gesamttraum der Europäischen Union eingeführt werden. Die vier ausgewählten Politikmaßnahmen sind:

- **die einzelbetriebliche PLI-Obergrenze:** Dabei wird mithilfe eines kulturindividuellen und bundeseinheitlichen PLI-Referenzwertes eine betriebliche PLI-Obergrenze ermittelt, die die maximal einzusetzende Anzahl an PLI-Einheiten je Kultur und je Betrieb festlegt. Eine

Überschreitung ist nur zulässig, wenn die Obergrenze im 3-Jahres-Durchschnitt dennoch eingehalten wird. Die Kontrolle erfolgt über eine Online-Datenbank, in der der betriebliche PLI-Einsatz dokumentiert wird. Kernziel dieser Politikmaßnahme ist es, die angestrebte PLI-Reduktion sicher zu erreichen, zugleich aber eine Verlagerung der Produktion einzelner Kulturen in Drittstaaten zu verhindern.

- **ein Lizenzsystem mit handelbaren Nutzungsrechten:** Landwirt*innen erhalten entsprechend dem Reduktionsziel PLI-Nutzungsrechte in Abhängigkeit der von ihnen bewirtschafteten Ackerfläche. Die Kontrolle erfolgt mithilfe einer Online-Datenbank. Über eine Handelsplattform können Betriebe je nach Marktpreis überschüssige PLI-Nutzungsrechte zum Kauf anbieten oder weitere Einheiten zukaufen. Auch bei dieser Politikmaßnahme soll das Reduktionsziel sicher erreicht werden, wobei das Nebenziel verfolgt wird, den landwirtschaftlichen Betrieben maximale unternehmerische Flexibilität zu gewähren (einschließlich der Veränderung des Fruchtartenspektrums) und somit das Einsparungsziel mit möglichst geringen volkswirtschaftlichen Kosten zu erreichen.
- **eine staatliche Förderung geringer PLI-Hektarwerte:** Reduziert ein Betrieb ausgehend von national einheitlichen PLI-Werten im Status Quo den PLI-Einsatz kulturindividuell um 25 bzw. 50 %, erhält er eine Prämie vom Staat. Teilnehmende Betriebe sind verpflichtet, ihren PLI-Einsatz in einer Online-Datenbank zu dokumentieren und werden darüber hinaus im Rahmen von Vor-Ort-Beprobungen kontrolliert. Durch die Politikmaßnahme sollen die Nebenziele erreicht werden, zusätzliche Einkommenseinbußen landwirtschaftlicher Betriebe zu vermeiden, eine möglichst flächendeckende PLI-Reduktion zu erzielen und gleichzeitig den staatlichen Kontrollaufwand zu mindern, indem nicht alle Betriebe am Programm teilnehmen.
- **eine Erhöhung der PSM-Preise in Abhängigkeit des PLI:** Hersteller oder Importeure von Pflanzenschutzmitteln müssen für jede PLI-Einheit, die sie in der EU in Verkehr bringen, eine EU-weit einheitliche Abgabe an den Staat zahlen. Es ist zu erwarten, dass diese Unternehmen die Verkaufspreise für Pflanzenschutzmittel entsprechend anpassen, sodass die von den Landwirt*innen zu zahlenden PSM-Preise steigen. Die Abgabenhöhe wird vom Staat so justiert, dass die angestrebte Mengenreduktion (25 bzw. 50 %) im Agrarsektor erreicht wird. Mit dieser Politikmaßnahme wird das Nebenziel verfolgt, durch die Nutzung des „Flaschenhalses“ die angestrebte Reduktion des PSM-Einsatzes mit minimalem Administrationsaufwand zu erreichen.

Die ausgewählten Politikoptionen wurden jeweils hinsichtlich ihrer potenziellen Wirkung bewertet, wobei insbesondere die Folgen auf die Agrarproduktion, die Einkommen landwirtschaftlicher Betriebe sowie der Administrations- und Kontrollaufwand abgeschätzt wurden. Zusätzlich wurde bei der Bewertung der vier ausgewählten Politikoptionen die Sicht der Fokusgruppe berücksichtigt. Die Folgenabschätzungen der einzelnen Politikmaßnahmen anhand des Modellbetriebs lieferten folgende Ergebnisse:

- Bei der **einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze** muss grundsätzlich jeder landwirtschaftliche Betrieb seinen PLI-Einsatz reduzieren, sofern er die Zielvorgaben noch nicht in der Ausgangssituation erfüllt. Dadurch kommt es zu einer flächendeckenden Risikominderung. Die Verlagerung der Produktion einzelner Kulturen in Drittstaaten kann weitgehend verhindert werden, da PLI-

Einheiten in Abhängigkeit der angebauten Kulturen bemessen werden und deshalb keine innerbetriebliche Konkurrenz um PLI-Einheiten entsteht. Dementsprechend bleiben die Anbauverhältnisse konstant, jedoch führen Ertragsrückgänge bei einer PLI-Reduktion um 25 bzw. 50 % zu einem Rückgang erzeugter Getreideeinheiten (GE) um 2 bzw. 7 %. Der Einkommensrückgang entspricht den Anpassungskosten und beträgt bei einer PLI-Reduktion um 25 % rund 18 €/ha bzw. 96 €/ha für eine PLI-Reduktion in Höhe von 50 %.

Eine einzelbetriebliche PLI-Obergrenze ist nur rechtssicher zu kontrollieren, wenn die Landwirt*innen ihre Pflanzenschutzanwendungen in einer Online-Datenbank dokumentieren müssen. Werden die Eintragungen von den Landwirt*innen individuell durchgeführt, ist nach Einschätzung der Fokusgruppe eine hohe Fehler- und Betrugsanfälligkeit gegeben. Deshalb werden die Inverkehrbringer von Pflanzenschutzmitteln dazu verpflichtet, die Buchung der PLI-Einheiten bei der Abgabe der Pflanzenschutzmittel an die Landwirt*innen auf individuellen PLI-Betriebskonten vorzunehmen. Eventuelle unrechtmäßige Überschreitungen der PLI-Obergrenze können durch die zuständige Behörde aus der Datenbank ausgelesen werden. Da die Obergrenze keine konkreten Prozesse oder Anpassungsmaßnahmen vorschreibt, können sich die Landwirt*innen flexibel an die veränderten Anforderungen anpassen. Die Flexibilität ist jedoch im Vergleich zum Lizenzsystem eingeschränkt, da keine PLI-Einheiten erworben oder verkauft werden können.

- Da die PLI-Nutzungsrechte bei dem beschriebenen **Lizenzsystem** in Abhängigkeit der Ackerfläche verteilt werden, ist zu erwarten, dass Kulturen mit einer hohen DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit bevorzugt angebaut werden. Hingegen werden Kulturen mit einer geringen DAKfL je eingesetzter PLI-Einheit wie beispielsweise Winterraps zunehmend aus dem Anbau verdrängt. Unter den getroffenen Annahmen kann es durch die veränderten Anbauverhältnisse bei einer PLI-Reduktion um 25 % zu einem Anstieg erzeugter GE um 4 % kommen. Bei einer Halbierung des PLI bleibt die Anzahl erzeugter GE konstant.

Außerdem können Betriebsleiter*innen bei einem Lizenzmodell anhand des Marktpreises für die handelbaren PLI-Nutzungsrechte entscheiden, ob sie die PLI-Einheiten selbst im Betrieb einsetzen oder am Markt veräußern: Liegt der Marktpreis über dem Grenznutzen der zuletzt eingesetzten PLI-Einheit, ist der Verkauf vorteilhaft. Im umgekehrten Fall ist auch ein Zukauf möglich. Somit ist zu erwarten, dass PLI-Einheiten insbesondere auf ackerbaulichen Grenzstandorten eingespart werden, an denen diese Einsparung nur geringe Kosten verursacht. Die dort freiwerdenden PLI-Einheiten wandern vornehmlich in Regionen, in denen eine überdurchschnittliche DAKfL je PLI-Einheit erzeugt werden kann. Dies sind klassischerweise ackerbauliche Gunstandorte.

Da Betriebsleiter*innen nicht am Handel teilnehmen müssen und die Politikmaßnahme grundsätzlich auch wie eine einzelbetriebliche Obergrenze „leben“ können, wird der Einkommensrückgang in der Regel nicht höher liegen als der DAKfL-Verlust, der im Rahmen einer einzelbetrieblichen PLI-Obergrenze entsteht. Dieser beträgt für eine Reduktion des PLI um 25 % im Falle des Modellbetriebs 11 €/ha; wird der PLI um 50 % gesenkt, reduziert sich das Einkommen um 82 €/ha. Es ist jedoch zu erwarten, dass dieser Einkommensrückgang durch die Handlungsoption

reduziert werden kann. Um das Ausmaß dieser Reduktion abzuschätzen, müssten weitere typische Betriebe an anderen Standorten erhoben und durchgerechnet werden.

Die Kontrolle der PLI-Einheiten muss auch bei dieser Politikmaßnahme über die zuvor beschriebene Online-Datenbank erfolgen. Darüber hinaus hat der Staat die Aufgabe, die Möglichkeit des Handelns der Nutzungsrechte zu gewährleisten. Dieser zusätzliche Aufwand geht für ihn mit dem Vorteil einher, dass das Reduktionsziel zielgenau angesteuert werden kann.

- Entscheidet sich der Staat dafür, **niedrige PLI-Hektarwerte mit einer Prämie zu fördern**, sind für den Modellbetrieb ähnliche Folgen auf die Produktion wie bei einer PLI-Obergrenze zu erwarten. Durch das kulturindividuelle Bemessen von PLI-Einheiten wird erreicht, dass die PLI-Reduktion nicht nur auf ackerbaulichen Grenzstandorten stattfindet. Die Zahl erzeugter GE sinkt je nach PLI-Reduktion um 2 bis 7 %. In dem Fall, dass die Prämie den Anpassungskosten entspricht, bleibt das Einkommen des Modellbetriebs unverändert, ansonsten steigt das Einkommen. Die Akzeptanz der Politikmaßnahme durch die Landwirt*innen ist daher hoch. Da der exakte finanzielle Ausgleich bei einem bundeseinheitlichen Wert nur für wenige Betriebe tatsächlich zutrifft, wird es einerseits Betriebe geben, deren tatsächliche Kosten unterhalb der gezahlten Prämie liegen, sodass Mitnahmeeffekte entstehen. Auf der anderen Seite kann die Prämie in vielen Betrieben den DAKfL-Rückgang nicht bzw. nur zum Teil kompensieren. Sofern sich nicht andere Vorteile durch die Teilnahme ergeben, werden diese Betriebe das Förderprogramm nicht in Anspruch nehmen. Ein weiteres Nebenziel der Politikmaßnahme ist es, den Kontrollaufwand für den Staat zu senken, indem nicht alle Betriebe teilnehmen und deshalb auch nicht kontrolliert werden müssen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass eine einfache Online-Datenbank-Kontrolle für teilnehmende Betriebe nicht ausreichend ist, um eine rechtssichere Einhaltung zu gewährleisten. Betriebskooperationen könnten ihren PLI-Einsatz so optimieren, dass trotz unverändertem Einsatz eine Prämienzahlung erfolgt. Deshalb erscheinen Vor-Ort-Kontrollen notwendig, bei denen ggf. Boden- oder Pflanzenproben zur Wirkstoffanalyse gezogen werden.
- Eine **Erhöhung der Pflanzenschutzmittelpreise in Abhängigkeit des PLI** verfolgt das Nebenziel, den staatlichen Kontrollaufwand durch die Nutzung des „Flaschenhalses“ auf die Inverkehrbringer von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren, da ihre Anzahl deutlich geringer ist als die der einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe. Dieser unmittelbare Vorteil geht jedoch für die landwirtschaftlichen Betriebe mit einem wesentlich höheren Einkommensrückgang einher, was am Beispiel des Modellbetriebs illustriert wird: Da die Abgabehöhe für alle PLI-Einheiten identisch ist, muss die Abgabe 71 €/PLI-Einheit betragen, damit die gewünschte Reduktion erzielt wird. Jedoch wird diese Abgabe auch für PLI-Einheiten fällig, deren Einsatz dennoch rentabel bleibt, sodass der Einkommensrückgang in diesem Fall auf insgesamt 224 €/ha steigt. Die Akzeptanz durch die Landwirt*innen ist dementsprechend gering einzuschätzen. Eine Möglichkeit, den Einkommensrückgang zu mindern, sind flächenbezogene Rückerstattungen. Die Anpassungsreaktionen der Produktion sowie die Entwicklung im Betrieb erzeugter GE sind vergleichbar mit denen des Lizenzmodells.

Für die landwirtschaftlichen Betriebe geht mit einer „PLI-Abgabe“ der Vorteil einher, keinen Dokumentations- und Kontrollaufwand zu haben. Der Staat steht neben dem Vorteil des

geringen Kontrollaufwandes vor der Herausforderung, dass die optimale Abgabehöhe von Betrieb zu Betrieb variiert. Dementsprechend ist zu erwarten, dass sich mit Nachjustierungen der EU-weit einheitlichen Abgabehöhe an das Reduktionsziel herangetastet werden muss.

Insgesamt hat sich das iterative Vorgehen aus Fokusgruppendifkussion, Berücksichtigung von Versuchsauswertungen und betriebswirtschaftlichen Kalkulationen als geeignet erwiesen, um Anpassungsreaktionen der Praktiker*innen an eine PLI-Reduktion zu identifizieren und in einem Modellbetrieb abzubilden. Zusätzlich waren die Fokusgruppendifkussionen ein probates Mittel, um die Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen auf spezifische Standortbedingungen sowie deren Umsetzbarkeit unter realen Bedingungen zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Da die Standortverhältnisse in den verschiedenen Regionen Deutschlands und Europas erheblich variieren, können die Ergebnisse eines einzigen Modellbetriebes nicht ohne weiteres auf andere Regionen übertragen werden. Bevor eine der beschriebenen Politikmaßnahmen in der Praxis ausgerollt wird, sollten deshalb weitere Analysen an unterschiedlichen Standorten in Deutschland und der EU durchgeführt werden. Bei der Auswahl der Standorte sollte angestrebt werden, der Vielfalt der Intensitätsniveaus und der Witterungs- und Standortbedingungen möglichst gut gerecht zu werden.

8 Summary

Plant protection products are an important component of conventional agriculture in Germany. They have helped increase land productivity and reduce yield losses, thereby providing a significant contribution to food security. However, plant protection products have negative impacts on biodiversity, their degradation products are found in ground and surface waters and they are associated with negative effects on human health. Therefore, society is calling for a reduction in their use.

Consequently, policymakers aim to reduce the use of plant protection products and the associated risks. Measures such as tightening the authorisation procedures, strict application requirements, or targeted promotion of innovative production methods already have led to a reduction in use and reduced risks in the past. In addition, measures have been formulated at the European level within the framework of the "Green Deal" and the "Farm-to-Fork Strategy". At the national level, pesticide reduction is part of the coalition agreement of the government of 2021 and the "Arable Farming Strategy 2035", which are intended to work toward a further reduction in the use of plant protection products and their risks.

However, the questions of whether and how farms can adapt their production systems and what costs result from this remain largely unanswered. Although the advantages and disadvantages of different political implementation strategies for the reduction of plant protection products are discussed at both the European and national level, scientific publications are aimed primarily at the introduction of a tax model. A concrete comparison of different policy measures and an assessment of the adaptation responses as well as the associated consequences, taking into account agricultural expertise, usually is not conducted.

Against this background, based on a typical farm in the soil-climate region "Südhanover," the present dissertation investigated which operational adaptation measures regarding plant protection products can reduce the risks to humans and the environment by 25 % or 50 %, and what adaptation costs result from such measures. Four concrete policy measures were described, which pursue different secondary objectives. The effects that can be expected on production, farm incomes, and the administrative and control costs for farmers and the state were worked out in an impact assessment.

If a reduction is to take place, a distinction must be made between the use of plant protection products and their risks. Since quantity indicators do not allow any statement on the toxicity of active substances and national and European concepts aim at risk reduction, the basics of the Pesticide Load Indicator (PLI), the SYNOPS indicator, and the Harmonised Risk Indicator (HRI) were first described in more detail. From a scientific perspective, the latter is not considered to be sufficiently well-founded to be able to carry out a sufficiently differentiated risk assessment. Therefore, the opportunities and challenges of the PLI and SYNOPS approaches were compared. They differ in that in the PLI an estimate of the potential risks is made with manageable data requirements. This limitation makes the PLI a readily applicable and comparatively easy-to-calculate indicator. In

In addition to its ease of administration, the PLI also has the advantage that it has already proven its practicality as an official assessment standard in Denmark since 2013. The SYNOPSIS-approach, on the other hand, assesses the actual risks at the individual farm level, taking into account the site and environmental properties. Possible risks for the users are not examined. Furthermore, it is questionable whether the high data requirements for a comprehensive policy, which should reach all farms in Germany and the EU and enable national reporting, can be achieved in a few years. Therefore, the PLI seems to be better suited for the single-farm analysis, which is why it was used in the further course of the work.

In order to find out how farmers adapt to a PLI reduction of 25 % or 50 %, information on the usual production systems is needed. As this data is not available, a typical model farm was used to fill the gap. With the help of this approach, typical regional production and cultivation systems, including plant protection products used and application rates, were recorded and validated in cooperation with farmers and consultants. Based on the results of trials, adaptation measures by farmers that contribute to PLI reduction were identified in focus group discussions. They can be differentiated as follows:

- (1) Substitute less toxic active ingredients for more toxic products in current use
- (2) Make crop management adjustments within the production system

The savings potential of future technical improvements in production technology was not explicitly taken into account because it is unclear when these technologies will become available or when they will be widely adopted.

With the help of a calculation and evaluation tool, a total of about 100 adaptation measures were recorded. Within the focus group discussions, the tool could be used to give the farmers direct feedback on the amount of PLI reduction and the change in profitability due to the adaptation measures. It has been shown that a major challenge is quantifying yield effects as a result of a reduced PLI. As farmers usually are not able to carry out different crop protection strategies on their fields in the form of systematic comparisons of active substances or to record yields in a differentiated manner, their experience in this respect is limited. In order to solve this problem, regional and national trial evaluations were used, in which the yield effect was measured under trial or field conditions as a result of reduced pesticide use or a modified active ingredient selection.

As high yield losses can occur in years with above-average weed infestation or heavy pest infestation, it became apparent during the discussion process that a simple average yield cannot sufficiently take into account the financial risk. Therefore, expected yields in the best and worst case as well as in a "normal year" were determined and their probabilities estimated with the help of a triangular distribution. The yields in the best and worst case can be used to represent ranges of adaptation costs.

With regard to the adaptation measures and costs for a reduction of the PLI by 25 % and 50 %, the following key results can be summarised:

- To reduce PLI by 25 %, farmers will first implement an active ingredient substitution. Likewise, (partial) mechanical weed control methods are increasingly used in row crops and total herbicides are replaced by mechanical tillage before summer crops such as silage maize. If no crop-specific PLI reduction is required and alternative crops are available, farmers will replace crops with a low net margin (including labour costs) per PLI unit used. For the model farm, decreased shares of rapeseed in favour of grain maize are expected. Although the PLI reduction for rapeseed is comparatively cheap to realise, the net margin per PLI unit used is low due to the high PLI requirement, making it less attractive. If the PLI is halved, more far-reaching crop adaptation reactions are necessary in addition to the measures mentioned. These include reduced fungicide and insecticide use across all crops, but also later sowing dates in cereals to reduce weed pressure and thus save on herbicides. Except for marginal arable land or sub-areas that are difficult to cultivate, it is expected that no land would be set-aside on a relevant scale.
- Adaptation costs at the level of individual crops vary considerably: While a PLI reduction of 25 % for sugar beet can be associated with an increase in net margin of around 25 €/ha, the highest adaptation costs of more than 60 €/ha are to be expected for stubble wheat. If the PLI has to be reduced by 50 % for each individual crop, the range of adaptation costs among the crops increases further. While the PLI for rapeseed can be halved with costs of about 50 €/ha, net margin for stubble wheat or winter wheat after silage maize decreases by approximately 150 €/ha.
- With regard to the adaptation costs at the whole-farm level, a differentiation must be made as to whether the PLI reduction has to be made for each crop individually or on average for the entire crop rotation. The results show that the more entrepreneurial flexibility is granted to farm managers, the lower the adjustment costs. Control at the level of the individual crop is more difficult. When switching from a crop-specific reduction to an implementation at the crop rotation level, the adaptation costs can be reduced by up to 25 %. If the alternative cultivation of PLI-extensive crops is taken into account as a mitigation measure, the adaptation costs are reduced by about one-third compared to crop-specific implementation.
- With a 25 % reduction in PLI, taking into account active ingredient substitution, manageable adaptation costs of between about 10 and 20 €/ha can be expected, depending on the adaptation flexibility granted. The change in grain units (GU) produced varies between +4 % and -5 %. On the other hand, the adaptation costs increase disproportionately strongly with a PLI reduction of 50 %, so that, depending on the permissible adaptation measures, an operational net margin decrease of between about 80 €/ha and a maximum of 125 €/ha is to be expected. This corresponds to a loss of 13 % to almost 20 %. With a PLI reduction of 50 %, the change in GU produced is between 0 and -7 %.

In view of the high site quality of the "Südhannover" soil-climate area, in a national comparison, it must be taken into account that the adaptation costs are probably overestimated compared to more extensive sites.

As farmers compete with their colleagues on the land markets, they usually cannot afford to voluntarily switch to production systems that cause lower yields or cost increases and thus put them at a competitive disadvantage vis-à-vis neighbouring farms. Policymakers therefore must change the framework conditions for all farms in such a way that the adaptation of production systems is either mandatory or economically viable. A wide range of policy measures are available for this purpose. The spectrum is broad because each policy measure implicitly specifies four “action parameters”. These are “the technological starting point, the addressee of the environmental policy measure, the size of the regulatory area and the environmental policy instrument”

There are a large number of plausible combinations for the goal of reducing the risks posed by plant protection products by 25 % or 50 %. However, the aim of this paper is not to identify all conceivable policy options and evaluate them in terms of their advantages and disadvantages. Rather, following on from the results of the adjustment costs, the aim is to examine how policymakers can use the technological starting point "PLI" to achieve their reduction target.

To be able to subject the selected policy measures and impact assessments to the critical judgement of the focus group in the further course of the study, four policy measures were specified, in each of which PLI was used as the technological starting point and the goal of a PLI reduction of 25 % or 50 % compared to the baseline situation was pursued. The remaining three action parameters were selected in such a way that the most coherent policy measures possible were created, which pursue different secondary objectives. It was assumed that the policy measures would be introduced throughout the EU. The four selected policy measures are:

- **The individual farm PLI ceiling:** Here, a farm PLI ceiling is determined with the help of a crop-specific and nationally uniform PLI reference value, which sets the maximum number of PLI units to be used on the farm. Exceeding this limit is permissible only if the upper limit is nevertheless complied with on a 3-year average. The control is carried out via an online database in which the use of PLIs on the farm is documented. The main objective of this policy measure is to reliably achieve the targeted PLI reduction, but at the same time prevent the relocation of production of individual crops to third countries.
- **A licensing system with marketable use rights:** Farmers receive PLI use rights in accordance with the reduction target, depending on the arable land they cultivate. The control is carried out with the help of an online database. Via a trading platform, farms can offer surplus PLI use rights for sale or buy additional units, depending on the market price. This policy measure also aims to safely achieve the reduction target, with the secondary objective of granting farms maximum entrepreneurial flexibility (including changes in the range of crop varieties) and thus achieving the savings target at the lowest possible economic cost.
- **A state subsidy for low PLI hectare values:** If a farm reduces its PLI input by 25 % or 50 % on a crop-by-crop basis, based on uniform national PLI values in the status quo, it receives a premium from the state. Participating farms are obliged to document their PLI use in an online database and are also monitored by on-site sampling. The policy measure is intended to achieve the secondary goals of avoiding additional income losses for farms, achieving a PLI

reduction that is as comprehensive as possible and, at the same time, reducing the state's control burden by ensuring that not all farms participate in the program.

- **An increase in pesticide prices depending on the PLI:** Manufacturers or importers of plant protection products have to pay a uniform EU-wide levy to the state for each PLI unit they place on the market in the EU. It is to be expected that these companies will adjust the sales prices for plant protection products accordingly, so that the pesticide prices to be paid by farmers will increase. The levy amount is adjusted by the state in such a way that the targeted quantity reduction (25 % or 50 %) is achieved in the agricultural sector. This policy measure pursues the secondary objective of achieving the targeted reduction in pesticide use with minimal administrative burden by using a "bottleneck".

The selected policy options were each assessed with regard to its potential impact, whereby in particular the consequences for agricultural production, the incomes of farms and the administrative and control effort were estimated. In addition, the expertise of the focus group was taken into account in the evaluation of the four selected policy options. The impact assessments of the individual policy measures based on the model farm yielded the following results:

- In the case of the individual farm PLI ceiling, every farm must, in principle, reduce its PLI input if it does not yet meet the targets in the baseline situation. This leads to an area-wide risk reduction. The relocation of production of individual crops to third countries largely can be prevented, as PLI units are measured in relation to the crops grown and there is no on-farm competition for PLI units. Accordingly, the cultivation ratios remain constant, but yield reductions with a PLI reduction of 25 % or 50 % lead to a decline in grain units (GU) produced of 2 % or 7 %, respectively. The drop in income corresponds to the adjustment costs and amounts to about 18 €/ha for a PLI reduction of 25 % and 96 €/ha for a PLI reduction of 50 %.

An individual farm PLI cap can be controlled in a legally secure way only if the farmers have to document their plant protection applications in an online database. If the entries are made individually by the farmers, the focus group believes that there is a high risk of error and fraud. For this reason, the distributors of plant protection products are obliged to enter the PLI units in individual PLI farm accounts when supplying the plant protection products to the farmers. Any unlawful exceeding of the PLI ceiling can be detected in the database by the authority. As the ceiling does not prescribe any specific processes or adjustment measures, farmers can flexibly adapt to the changing requirements. However, flexibility is limited compared with the licensing system, as no PLI units can be bought or sold.

- Since PLI use rights are distributed according to acreage in the licensing system described earlier, it is to be expected that crops with a high net margin per PLI unit used will be cultivated preferentially. On the other hand, crops with a low net margin per PLI unit used, such as winter rape, will increasingly be pushed out of cultivation. Under the assumptions made, the changed cultivation conditions can lead to a 4 % increase in GU produced with a PLI reduction of 25 %. If the PLI is halved, the number of GU produced remains constant.

Furthermore, in a licensing model, farm managers can decide whether to use the PLI units themselves on the farm or sell them on the market, based on the market price for the marketable PLI use rights: If the market price is higher than the marginal utility of the last PLI unit used, it is advantageous to sell it. In the opposite case, buying in is also possible. It is thus to be expected that PLI units will be saved especially on marginal arable sites where this saving causes only low costs. The PLI units freed up there move primarily to regions where an above-average net margin per PLI unit can be produced. These are classically favourable locations for arable farming.

Since farm managers do not have to participate in trading and, in principle, can "live" the policy measure like a single farm ceiling, the reduction in income generally will not be higher than the net margin loss that occurs under a single farm PLI ceiling. This amounts to 11 €/ha for a 25 % reduction in PLI in the case of the model farm; if PLI is reduced by 50 %, income is reduced by 82 €/ha. However, it is expected that this reduction in income can be diminished by the trading option. In order to estimate the extent of this reduction, further typical farms at other locations would have to be surveyed and calculated.

The control of PLI units in this policy measure also must be carried out via the online database described earlier. In addition, the state has the task of guaranteeing the possibility of trading the use rights. This additional effort is accompanied by the advantage that the reduction goal can be targeted precisely.

- If the state decides to promote low PLI hectare values with a premium, production impacts can be expected similar to a PLI ceiling. The crop-specific assessment of PLI units ensures that PLI reduction does not only take place on marginal arable sites. If the PLI is halved, the GU level remains constant. In the case that the premium corresponds to the adjustment costs, the income of the model farm remains unchanged; otherwise, the income increases. The acceptance of the policy measure by farmers therefore is high. Since the exact financial compensation for a uniform national value applies only to a few farms, there will be farms whose actual costs are lower than the premium paid, so that windfall effects arise. On the other hand, in many farms, the premium cannot or can only partially compensate for the decline in net margin. Unless other advantages result from participation, these farms will not make use of the support program. Another secondary objective of the policy measure is to reduce the control burden for the state by not having all farms participate and therefore not having to be controlled. However, it has been shown that a simple online database check for participating farms is not sufficient to ensure legal compliance. Farm cooperatives could optimise their PLI use in such a way that a premium payment is made despite unchanged use. Therefore, on-site inspections appear necessary, during which soil or plant samples may be taken for analysis of the active ingredient.
- An increase in plant protection product prices based on the PLI pursues the secondary objective of reducing the state control effort by using the "bottleneck" on the distributors of plant protection products, since their number is significantly smaller than that of the individual farms. This immediate advantage, however, is accompanied by a much higher drop in income for the farms, which is illustrated by the example of the model farm: Since the levy amount is identical for all PLI units, the levy must be 71 €/PLI unit to achieve the desired reduction. However, this

levy is also due for PLI units whose use nevertheless remains profitable, so that the income reduction in this case rises to a total of 224 €/ha. The acceptance by the farmers can therefore be estimated as low. One possibility to reduce the drop in income is area-based refunds. The adjustment reactions of production are comparable to those of the licence model.

For the farms, a "PLI levy" has the advantage of not requiring any documentation and control. In addition to the advantage of low control costs, the state faces the challenge that the optimal levy amount varies from farm to farm. Accordingly, it is to be expected that the reduction target will have to be approached by readjusting the EU-wide uniform levy level.

Overall, the iterative procedure of focus group discussion, consideration of trial evaluations, and business calculations proved to be suitable for identifying practitioners' adjustment responses to a PLI reduction and mapping them in a model farm. In addition, the focus group discussions were an effective means to check the transferability of experimental results to specific site conditions as well as their feasibility under real conditions and to adapt them if necessary.

Since site conditions vary considerably in the different regions of Germany and Europe, the results of a single model farm cannot be easily transferred to other regions. Therefore, before any of the described policy measures are rolled out in practice, further analyses should be carried out at different locations in Germany and the EU. When selecting the sites, the aim should be to cope as well as possible with the diversity of intensity levels, weather, and site conditions.

9 Literaturverzeichnis

- Albrecht R (2015) Ein Ansatz zur Abschätzung der interregionalen Wettbewerbsfähigkeit der Zuckerrübenproduktion: Am Beispiel ausgewählter europäischer Regionen. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2014. Braunschweig: Johann-Heinrich-von-Thünen-Inst, 15 p. Thünen-Report 24
- AMI [Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH] (2019) Preise für Marktfrüchte. online
- Balgheim R (2006) Herbizidresistenz vermeiden, Wirkstoffe erhalten – eine Gemeinschaftsaufgabe von Beratung, Forschung und Praxis am Beispiel des Ackerfuchsschwanz. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz(Sonderheft XX):49-56
- Bartels G, Rodemann B (2003) Strategien zur Vermeidung von Mykotoxinen im Getreide. Gesunde Pflanzen 55(5):125-135
- Beketov MA, Kefford BJ, Schäfer RB, Liess M (2013) Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. Proc Natl Acad Sci U S A 110(27):11039-11043. doi: 10.1073/pnas.1305618110
- BfR [Bundesinstitut für Risikobewertung] (2015) Gesetzliche Verfahren im Bereich Pflanzenschutz - Hintergrundinformation Nr. 029/2015 des BfR vom 14. September 2015
- BfR [Bundesinstitut für Risikobewertung] (2021) Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln, zu finden in <https://www.bfr.bund.de/de/risikobewertung_von_pflanzenschutzmitteln-70187.html> [zitiert am 28.6.2021]
- Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (2001) BBCH Monografie: Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen, 2. Aufl., 166 p
- Blue River Technology (2021) Our Products, zu finden in <<https://bluerivertechnology.com/our-products/>> [zitiert am 6.6.2021]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2016) Die wichtigsten rechtlichen Regelungen im Pflanzenschutz, zu finden in <https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Pflanzenschutz/_Texte/Pflanzenschutzbestimmungen.html> [zitiert am 10.10.2018]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2017) Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2019a) Ackerbaustrategie 2035: Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau, 68 p
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2019b) Pflanzenschutz, zu finden in <<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/pflanzenschutz/zulassung.html;jsessionid=1BFF73EC3B3BE44E7F214C5C5CA40A25.live852#doc12708bodyText1>> [zitiert am 4.10.2018]

- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2020a) Deutscher Pflanzenschutzindex (PIX), zu finden in <<https://www.nap-pflanzenschutz.de/indikatorenforschung/indikatoren-und-deutscher-pflanzenschutzindex/deutscher-pflanzenschutzindex/>>
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2020b) High Nature Value Farmland-Indikator, zu finden in <<https://www.nap-pflanzenschutz.de/indikatorenforschung/indikatoren-und-deutscher-pflanzenschutzindex/deutscher-pflanzenschutzindex/high-nature-value-farmland-indikator/?L=0>>
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2020c) SYNOPSIS – Risikoindex für terrestrische Nichtzielorganismen, zu finden in <<https://www.nap-pflanzenschutz.de/indikatorenforschung/indikatoren-und-deutscher-pflanzenschutzindex/deutscher-pflanzenschutzindex/synops-risikoindex-fuer-terrestrische-nichtzielorganismen>> [zitiert am 6.1.2022]
- BMU [Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2019) Aktionsprogramm Insektenschutz: Gemeinsam wirksam gegen das Insektensterben, 66 p
- BMUV [Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz] (2021) Insektenschutzpaket beschlossen: Weniger Pestizide und mehr Lebensraum für Insekten, zu finden in <<https://www.bmu.de/pressemitteilung/insektenschutzpaket-beschlossen-weniger-pestizide-und-mehr-lebensraum-fuer-insekten>> [zitiert am 6.1.2022]
- Böcker T, Britz W, Möhring N, Finger R (2019) An economic and environmental assessment of a glyphosate ban for the example of maize production. *European Review of Agricultural Economics* 45(5):317. doi: 10.1093/erae/jby050
- Bockstaller C, Guichard L, Keichinger O, Girardin P, Galan M-B, Gaillard G (2009) Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29(1):223-235. doi: 10.1051/agro:2008058
- Bosch Global (2021) Smart Spraying – Punktgenauer Einsatz von Herbiziden, zu finden in <<https://www.bosch.com/de/forschung/know-how/erfolgsgeschichten/smart-spraying-punktgenauer-einsatz-von-herbiziden/>> [zitiert am 5.6.2021]
- Böse S (2018) Mission Wachstum: Mehr Ertrag mit weniger Chemie. *praxisnah*(2):2-5
- bpb [Bundeszentrale für politische Bildung] (2016) Grenznutzen, zu finden in <<https://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/lexikon-der-wirtschaft/19552/grenznutzen>>
- Brauer-Siebrecht W, Jacobs A, Koch H-J, Strassemeyer J, Märländer B (2018) Intensität und Risiko des chemischen Pflanzenschutzes beim Anbau von Zuckerrüben, Silomais und Winterweizen in Fruchtfolgen. *Journal für Kulturpflanzen* 70(8):255-266
- Bröring J, Hörsten D von (2019) Düsenkombinationen und -anordnungen für den Einsatz mit einer Fahrgassenabschaltung bei Feldspritzgeräten. *Gesunde Pflanzen* 71(S1):45-49. doi: 10.1007/s10343-019-00449-7
- Brüggemann DH (2011) Anpassungsmöglichkeiten der deutschen Rindermast an die Liberalisierung der Agrarmärkte. Braunschweig: vTI, 6326 p. *Landbauforschung Sonderheft* 345, zu finden in <<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-201105-dn048508-5>>

- BSA [Bundessortenamt] (2020) Erteilung von Sortenzulassung, zu finden in <<https://www.bundessortenamt.de/bsa/sorten/sortenzulassung>>
- Bückmann H, Verschwele A (2019) Einsparpotenzial für Herbizide. *Landwirtschaft ohne Pflug (LOP)*(3):26-29
- Burth U, Gutsche V, Freier B, Roßberg D (2002) Das notwendige Maß bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst* 54:297-303
- Busche S (2008) Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes – Konsequenzen für das Schaderregerauftreten und die Wirtschaftlichkeit in Getreide-Zuckerrübe-Fruchtfolgen. Dissertation. Göttingen, 224 p
- BVL [Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit] (2017) Task Force „Illegaler Handel von Pflanzenschutzmitteln“: Jahresbericht 2015/2016, zu finden in <https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/061_Task_Force_PSM_illegal/Task_Force_PSM_illegal_JB_2015_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=3> [zitiert am 11.3.2022]
- BVL [Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit] (2020a) Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2018, 19 p
- BVL [Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit] (2020b) Notfallzulassungen nach Art. 53 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 in Verbindung mit § 29 Pflanzenschutzgesetz: Bericht für das Jahr 2018, 27 p
- BVL [Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit] (2022) Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland: Ergebnisse der Meldungen nach § 64 PflSchG für das Jahr 2021, zu finden in <https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/01_meldungen_par_64/meld_par_64_2021.pdf;jsessionid=4CBC5ED6C2F0B17AB97AA90EC8669571.2_cid298?__blob=publicationFile&v=2> [zitiert am 21.8.2022]
- Chibanda C, Agethen K, Deblitz C, Zimmer Y, Almadani MI, Garming H, Rohlmann C, Schütte J, Thobe P, Verhaagh M, Behrendt L, Staub D, Lasner T (2020) The Typical Farm Approach and Its Application by the Agri Benchmark Network. *Agriculture* 10(12):646. doi: 10.3390/agriculture10120646
- Coll M, Wajnberg E (eds) (2017) *Environmental Pest Management: Challenges for agronomists, ecologists, economists and policymakers*. John Wiley
- Dachbrodt-Saaydeh S (2018) Ergebnisse aus 10 Jahren Untersuchungen zum notwendigen Maß im Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz. *Gesunde Pflanzen* 70(3):147-153. doi: 10.1007/s10343-018-0423-2
- Dachbrodt-Saaydeh S, Sellmann J, Strassemeyer J, Schwarz J, Klocke B, Krenzel S, Kehlenbeck H (2018) Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016 - Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. 129 S. Seiten / Berichte aus dem Julius Kühn-Institut,

- Nr. 194 (2018): Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016 Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. doi: 10.5073/BERJKI.2018.194.000
- Dehler M (2020) Zurück zu Hacke und Bandspritzung? DLG Mitteilungen 4:76-77
- Deutscher Bundestag (2016) Zonales Pflanzenschutzmittelzulassungsverfahren: Gründe der Einführung(WD 8-3000-063/16), zu finden in <<https://www.bundestag.de/resource/blob/480034/c860629a0d898bff4d2135d95b4e20c1/WD-8-063-16-pdf-data.pdf>> [zitiert am 18.7.2022]
- Dierauer H (2000) Abflammen. FiBL Merkblatt:1-4
- Don A (2022) Einfluss von mechanischer Bodenbearbeitung auf Humusgehalt im Boden vom 20.07.2022
- Dressel K, Böschen S, Hopp M, Schneider M, Viehöver W, Wastian M (2010) Pflanzenschutzmittel-Rückstände in Lebensmitteln: Die Wahrnehmung der deutschen Bevölkerung, ein Ergebnisbericht. Berlin, 106 p. BfR Wissenschaft 2010,7
- Dürrenberger G, Behringer J (1999) Die Fokusgruppe in Theorie und Anwendung. Stuttgart, 33 p
- DWD [Deutscher Wetterdienst] (2021a) Niederschlag: vieljährige Mittelwerte 1991-2020, zu finden in <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_9120_akt_html.html?view=nasPublication&nn=16102> [zitiert am 7.3.2021]
- DWD [Deutscher Wetterdienst] (2021b) Temperatur: vieljährige Mittelwerte 1991-2020, zu finden in <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_9120_akt_html.html?view=nasPublication&nn=16102> [zitiert am 7.3.2021]
- Ebmeyer CD (2008) Crop portfolio composition under shifting output price relations: Analyzed for selected locations in Canada and Germany. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2008. Braunschweig: Johann-Heinrich-von-Thünen-Inst, 69 p. Landbauforschung Sonderheft 323
- Ecorobotix (2021) The autonomous robot weeder from Ecorobotix, zu finden in <<https://www.ecorobotix.com/de/avo-autonomen-roboter/>> [zitiert am 6.6.2021]
- Europäische Kommission (2009a) Richtlinie 2009/127/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Änderung der Richtlinie 2006/42/EG betreffend Maschinen zur Ausbringung von Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union
- Europäische Kommission (2009b) Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union
- Europäische Kommission (2009c) 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. Amtsblatt der Europäischen Union

- Europäische Kommission (2009d) Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über Statistiken zu Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union
- Europäische Kommission (2015) Pesticides: Experts endorse new EU list of candidates for substitution, zu finden in <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_15_3743>
- Europäische Kommission (2020) „Vom Hof auf den Tisch“ – eine Strategie für ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem. Brüssel, 25 p
- Eurostat (2008) A common methodology for the collection of pesticide usage statistics within agriculture and horticulture, 68 p
- Eurostat (2019) Methodology for calculating harmonised risk indicators for pesticides under Directive 2009/128/EC. Luxemburg, 42 p
- Eurostat (2020) Agri-environmental indicator - consumption of pesticides, zu finden in <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_consumption_of_pesticides#Data_used_and_methodology> [zitiert am 11.7.2020]
- Falconer K (1998) Managing diffuse environmental contamination from agricultural pesticides: An economic perspective on issues and policy options, with particular reference to Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 69(1):37-54. doi: 10.1016/S0167-8809(98)00095-4
- 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. doi: 10.1016/S0921-8009(00)00236-6
- 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. doi: 10.1016/j.ecolecon.2016.02.007
- FG [Fokusgruppe] (2020 & 2021). Fokusgruppendifkussion 2020 & 2021
- Finger R, Böcker T (2016) European Pesticide Tax Schemes in Comparison: An Analysis of Experiences and Developments. *Sustainability*(8(4)). doi: 10.3929/ETHZ-A-010680272
- Finger R, El Benni N (2013) Farmers' adoption of extensive wheat production – Determinants and implications. *Land Use Policy* 30(1):206-213. doi: 10.1016/j.landusepol.2012.03.014
- Finger R, Möhring N, Böcker T, Dalhaus T (2016) Ökonomische Analyse des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln: Risikoaspekte und Lenkungsabgaben: Risikoaspekte und Lenkungsabgaben, 226 p
- Freier B, Pallutt B (2010) Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der Insektizidanwendungen im Winterraps im Dauerfeldversuch Dahnsdorf. *Journal für Kulturpflanzen* 62(9):326-330
- Freier B, Pallutt B, Günther A (2006) Untersuchungen zur Intensität der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Ackerbaubetrieben - Grundlage für den Aufbau eines Netzes von Beispielbetrieben. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst* 58(4):98-103

- Geiger F (2011) Agricultural intensification and farmland birds. Wageningen, 186 p [zitiert am 23.2.2021]
- Gerowitt B, Wildenhayn M (1997) Ökologische und ökonomische Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau: Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes 1990-94. Göttingen: Goltze-Druck
- Götz R (2012) Einfluss der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Pflanzenschutz, 7 p. Thüringer Ackerbauforum „Bodenschonender Ackerbau“ [zitiert am 28.5.2021]
- Götze P, Koch H-J (2020) Vorfrucht- und Fruchtfolgeeffekte auf die Verunkrautung in Zuckerrüben und Winterweizen im Systemversuch Fruchtfolge Harste. 90 Seiten / Julius-Kühn-Archiv, Nr. 464 (2020): Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und - bekämpfung, 3. - 5. März 2020, Braunschweig. doi: 10.5073/JKA.2020.464.012
- Gutsche V (2006) Pflanzenschutz im Diskurs der Gesellschaft. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 58(8):211-213
- Gutsche V (2012) Managementstrategien des Pflanzenschutzes der Zukunft im Focus von Umweltverträglichkeit und Effizienz. Journal für Kulturpflanzen 64(9):325-341
- Hampe M (2021) Unkrautpflanzen gezielter treffen. Sonderausgabe. DLG Mitteilungen(11):12-15
- Haß M, Banse M, Deblitz C, Freund F, Geibel I, Gocht A, Kreins P, Laquai V, Offermann F, Osterburg B, Pelikan J, Rieger J, Rösemann C, Salamon P, Zinnbauer M, Zirngibl M (2020) Thünen-Baseline 2020 - 2030: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland, 1146 p. Thünen Report
- Hellerstein D, Vilorio D, Ribaud M (2019) Agricultural Resources and Environmental Indicators, 2019, 142 p
- Henne U, Landschreiber M, Schleich-Saidfar C (2018) Entwicklung nachhaltig wirkender Methoden zur Bekämpfung von Acker- Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.). Julius-Kühn-Archiv 458:121-131. doi: 10.5073/JKA.2018.458.018
- Hoevenagel R, van Noort E (1999) Study on a European Union wide regulatory framework for levies on pesticides, hg. v. European Commission, 102 p
- Hörsten D von, Osterloh H-J, Wegener J-K (2016) Möglichkeiten der Pflanzenschutzmitteleinsparung durch Nichtbehandlung der Fahrgassen. Halle (Saale), 13 p. 60. Deutsche Pflanzenschutztagung
- Hossard L, Guichard L, Pelosi C, Makowski D (2017) Lack of evidence for a decrease in synthetic pesticide use on the main arable crops in France. Sci Total Environ 575:152-161. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.008
- IFZ [Institut für Zuckerrübenforschung] (2018) Jahresbericht 2016/2017, 78 p
- IFZ [Institut für Zuckerrübenforschung] (2020) Jahresbericht 2018/2019, 82 p
- Isermeyer F, Heidecke C, Osterburg B (2019) Einbeziehung des Agrarsektors in die CO₂-Bepreisung, hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 89 p. Thünen Working Paper

- Isermeyer F, Nieberg H, Banse M, Bolte A, Christoph I, Dauber J, Witte T de, Dehler M, Döring R, Elsasser P, Fock H, Focken U, Freund F, Goti L, Heidecke C, Kempf A, Koch G, Kraus G, Krause A, Kroiher F, Lasner T, Lüdke J, Olbrich A, Osterburg B, Pelikan J, Probst W, Rahmann G, Reiser S, Rock J, Röder N, Rüter S, Sanders J, Stelzenmüller V, Zimmermann C (2020) Auswirkungen aktueller Politikstrategien (Green Deal, Farm-to-Fork, Biodiversitätsstrategie 2030; Aktionsprogramm Insektenschutz) auf Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei, hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 102 p. Thünen Working Paper
- Iyer P, Bozzola M, Hirsch S, Meraner M, Finger R (2020) Measuring Farmer Risk Preferences in Europe: A Systematic Review. *J Agric Econ* 71(1):3-26. doi: 10.1111/1477-9552.12325
- Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Hopfstock R, Jaconi A, Kolata H, Lorbeer M, Schröder J, Laggner A, Weiser C, Freibauer A (2018) Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung 64. doi: 10.3220/REP1542818391000
- JKI [Julius Kühn-Institut] (2020a) Behandlungsindex, zu finden in <<https://papa.juliuskuehn.de/index.php?menuid=43>> [zitiert am 17.9.2018]
- JKI [Julius Kühn-Institut] (2020b) Wirkstofffranking Winterraps 2019
- Kehlenbeck H, Rajmis S (2018) Was bleibt unterm Strich? *DLG Mitteilungen*(2):56-57
- Keulemans W, Bylemans D, Coninck B de (2019) Farming without plant protection products: Can we grow without using herbicides, fungicides and insecticides? *European Parliamentary Research Service*, 44 p
- Klocke B, Sommerfeld N (2018) Hingucken lohnt sich. *DLG Mitteilungen*(2):52-55
- Klocke B, Sommerfeld N, Baumecker M, Ellmer F, Jacobi A, Schwarz J, Wehling P (2018) Möglichkeiten und Grenzen resistenter Winterweizensorten zur Minimierung von Fungizidanwendungen. *Julius-Kühn-Archiv* 461:130-131
- Koch M, Tholen T, Drießen P, Ergas B (2020) The Electroherb™ Technology - A new technique supporting modern weed management. 261 Seiten / *Julius-Kühn-Archiv*, Nr. 464 (2020), Braunschweig / *Julius-Kühn-Archiv*, Nr. 464 (2020): Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und - bekämpfung, 3. - 5. März 2020, Braunschweig. doi: 10.5073/JKA.2020.464.039
- Köller K, Vinzent B, Demmel M, [DLG Ausschuss für Ökolandbau], [DLG Ausschuss für Technik in der Pflanzenproduktion] (2019) Mechanische Unkrautregulierung - Technik für die Praxis, hg. v. DLG, 1. Aufl., 28 p [zitiert am 6.6.2021]
- Kömives T (2016) Report on the feasibility and benefits of spot spraying. 162 Seiten / *Julius-Kühn-Archiv*, Nr. 455 (2016): HALT Ambrosia-final project report and general publication of project findings / *Julius-Kühn-Archiv*, Nr. 455 (2016): HALT Ambrosia - final project report and general publication of project findings. doi: 10.5073/JKA.2016.455.35

- Kraatz M (2018) Prognosemodelle für den Pflanzenschutz - Validierung und Nutzen in Sachsen. Nossen. Digitaler Pflanzenschutz
- Kragten S, Snoo G de (2007) Nest success of Lapwings *Vanellus vanellus* on organic and conventional arable farms in the Netherlands. *Ibis*(149):742-749
- Kreye H (2020) Der Raps ist noch nicht am Ende! DLG Mitteilungen (3):50-53
- Krueger R, Casey M (2009) Focus Groups - a practical guide for applied research: 4th edition. USA: SAGE Publications
- Krug J (2013) Perspektiven ackerbaulicher Grenzstandorte in Nordostdeutschland: Übertragbarkeit extensiver Produktionssysteme überseeischer Trockenstandorte. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 14805 p. Thünen Report 6, zu finden in <http://dx.doi.org/10.3220/REP_6_2013>
- KTBL [Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.] (2021) Maschinenkosten und Reparaturkosten, zu finden in <<https://daten.ktbl.de/makost/#notLoggedInInfo?language=de-DE>> [zitiert am 9.3.2021]
- KTBL [Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.] (2016) Betriebsplanung Landwirtschaft 2016/2017, 25. Auflage
- Kudsk P, Jørgensen LN, Ørum JE (2018) Pesticide Load—A new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy* 70:384-393. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.11.010
- Kupfer S, Schröder G (2015) Untersuchungen zum gezielten Einsatz von Insektiziden gegen den Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) in der landwirtschaftlichen Praxis des Landes Brandenburg im Zeitraum von 2006 bis 2014. *Gesunde Pflanzen* 67(2):59-73. doi: 10.1007/s10343-015-0342-4
- Ladewig E, Buhre C, Kenter C, Stockfisch N, Varrelmann M, Mahlein A (2018) Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau in Deutschland – Situationsanalyse 2018. *Sugar Industry* 143(12):708-722
- Landesamt für Statistik Niedersachsen (2018) Agrarstrukturerhebung (ASE) 2016: Heft 1 Teil A - Gemeindeergebnisse, 215 p [zitiert am 7.3.2021]
- Landesamt für Statistik Niedersachsen (2020) Agrarstrukturerhebung (ASE) 2016: Eigentums- und Pachtverhältnisse, Pachtflächen und Pachtentgelte. 10
- Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (2018) Regionale Feldversuche Sortenprüfung: Versuchsfeldführer Ernte 2018
- Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, Adeyi O, Arnold R, Basu N, Baldé AB, Bertollini R, Bose-O'Reilly S, Boufford JI, Breyse PN, Chiles T, Mahidol C, Coll-Seck AM, Cropper ML, Fobil J, Fuster V, Greenstone M, Haines A, Hanrahan D, Hunter D, Khare M, Krupnick A, Lanphear B, Lohani B, Martin K, Mathiasen KV, McTeer MA, Murray CJL, Ndahimananjara JD, Perera F, Potočnik J, Preker AS, Ramesh J, Rockström J, Salinas C, Samson LD, Sandilya K, Sly PD, Smith KR, Steiner A, Stewart RB, Suk WA, van Schayck OCP, Yadama GN, Yumkella K, Zhong M (2018) The

- Lancet Commission on pollution and health. The Lancet 391(10119):462-512. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0
- Landschreiber M (2014) Untersuchungen zum Auflaufverhalten von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Abhängigkeit des Aussaattermins und der Winterweizensorte in Norddeutschland. Julius-Kühn-Archiv 443:324-333. doi: 10.5073/JKA.2014.443.042
- Lechenet M, Dessaint F, Py G, Makowski D, Munier-Jolain N (2017) Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. Nature Plants 3:17008 EP -. doi: 10.1038/nplants.2017.8, zu finden in <<http://dx.doi.org/10.1038/nplants.2017.8>>
- Lee R, Uyl R den, Runhaar H (2019) Assessment of policy instruments for pesticide use reduction in Europe; Learning from a systematic literature review. Crop Protection 126:104929. doi: 10.1016/j.cropro.2019.104929
- Lehrke U, Werner B (2014) Ährenfusarien in Winterweizen: Vorbeugende Maßnahmen und gezielte Bekämpfung 2014, 2, zu finden in <<https://www.praxisnah.de/index.cfm/article/8366.html>> [zitiert am 28.2.2021]
- Lewis KA, Tzilivakis J, Warner DJ, Green A (2016) An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 22(4):1050-1064. doi: 10.1080/10807039.2015.1133242
- LfL [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft] (2005) Weizenkrankheiten: Diagnose- und Entscheidungshilfen zum Weizenmodell Bayern, 4. Aufl.
- LfL [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft] (2007 - 2019) Versuchsergebnisse aus Bayern (versch. Jahrgänge): Unkrautbekämpfung in Ackerbau und Grünland Versuchsergebnisse in Zusammenarbeit mit den Ämtern für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten und den Staatlichen Versuchsgütern, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
- Lütke Entrup N, Bodner G, Hötte S, Kivelitz H, [Laser, H. Dipl.-Ing. Günter Stemann] (2018) Zwischen- und Zweitfrüchte im Pflanzenbau, hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2. Auflage, 140 p [zitiert am 3.3.2021]
- LWK Niedersachsen [Landwirtschaftskammer Niedersachsen] (2017) Versuchsergebnisse: Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Northeim und Arbeitsgemeinschaft für integrierte Pflanzenproduktion Südhannover e.V.
- LWK Niedersachsen [Landwirtschaftskammer Niedersachsen] (2018) Versuchsergebnisse: Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Northeim und Arbeitsgemeinschaft für integrierte Pflanzenproduktion Südhannover e.V.
- LWK Niedersachsen [Landwirtschaftskammer Niedersachsen] (2019a) Pflanzenbau und Pflanzenschutz der Bezirksstelle Hannover: Versuchsbericht 2019. Hannover
- LWK Niedersachsen [Landwirtschaftskammer Niedersachsen] (2019b) Versuchsergebnisse: Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Northeim und Arbeitsgemeinschaft für integrierte Pflanzenproduktion Südhannover e.V.

- LWK Niedersachsen [Landwirtschaftskammer Niedersachsen] (2020a) Pflanzenbau und Pflanzenschutz: Empfehlungen 2020
- LWK Niedersachsen [Landwirtschaftskammer Niedersachsen] (2020b) Pflanzenbau und Pflanzenschutz der Bezirksstelle Hannover: Versuchsbericht 2020. Hannover
- LWK Niedersachsen [Landwirtschaftskammer Niedersachsen] (2020c) Richtwert-Deckungsbeiträge 2019
- LWK S-H [Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein] (2019) Versuchsbericht 2019: Pflanzenschutz im Ackerbau
- Melander B, Munier-Jolain N, Charles R, Wirth J, Schwarz J, van der Weide R, Bonin L, Jensen PK, Kudsk P (2013) European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed technol.* 27(1):231-240. doi: 10.1614/WT-D-12-00066.1
- Menskes D (2019) Ertragsentwicklung in wichtigen Ackerbauregionen Deutschlands: Masterarbeit im wissenschaftlichen Studiengang Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, 140 p
- Meyer-Aurich A, Gandorfer M, Hoffmann C, Weltzien C, Bellingrath-Kimura S, Floto H (eds) (2021) Informations- und Kommunikationstechnologie in kritischen Zeiten: Erprobung und Bewertung eines autonomen Feldroboters, 41. Aufl., 6 p
- Miljøstyrelsen (2012) The Agricultural Pesticide Load in Denmark 2007-2010: Environmental review no. 2, 2012, 51 p
- Möckel S, Gawel E, Kästner M, Knillmann S, Liess M, Bretschneider W (2015) Einführung einer Abgabe auf Pflanzenschutzmittel in Deutschland. Berlin: Duncker & Humblot GmbH
- Möckel S, Gawel E, Liess M, Neumeister L (2021) Wirkung verschiedener Abgabekonzepte zur Reduktion des Pestizideinsatzes in Deutschland - eine Simulationsanalyse, 136 p [zitiert am 26.3.2021]
- Möhring N, Gaba S, Finger R (2019) Quantity based indicators fail to identify extreme pesticide risks. *Sci Total Environ* 646:503-523. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.287
- Münke-Svendsen C (2021) Nordzucker Smart Beet Initiative. online. agri benchmark Workshop
- Mußhoff O (2017) Bewertung einer Steuer auf Pflanzenschutzmittel aus betriebs- und volkswirtschaftlicher Perspektive, hg. v. HFFA Research GmbH, 127 p
- Mußhoff O, Hirschauer N (2011) Modernes Agrarmanagement: Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren, 2. Auflage. Vahlen
- Nehring K (2011) Farm level implications of high commodity prices: An assessment of adaption strategies and potentials in selected regions in Australia and Germany. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss. 2011. Braunschweig: vTI, 93 p. Landbauforschung Sonderheft 349
- Neumann H, Koop B (2004) Einfluss der Ackerbewirtschaftung auf die Feldlerche (*Alauda arvensis*) im ökologischen Landbau. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 35(5):145-154

- Neumann H, Loges R, Taube F (2007) Fördert der ökologische Landbau die Vielfalt und Häufigkeit von Brutvögeln auf Ackerflächen?: Untersuchungsergebnisse aus der Hecken-Landschaft Schleswig-Holsteins. *Berichte über Landwirtschaft*(2):272-299
- Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, NABU Landesverband Niedersachsen e.V., BUND Landesverband Niedersachsen e.V., Landvolk Niedersachsen-Landesbauernverband e.V., LWK Niedersachsen [Landwirtschaftskammer Niedersachsen] (2020) *Der Niedersächsische Weg: Maßnahmenpaket für den Natur-, Arten- und Gewässerschutz*, 14 p
- Niggli U, [Gerowitt, B. Brühl, C.], Liess M, Schulz R, Altenburger R, Bokelmann W, Büttner C, Hartenbach M, Heß J, Märländer B, Miedander T, Nödler K, Petercord R, Reineke A, Kröcher K von, [Wissenschaftlicher Beirat des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz beim BMEL] (2019) *Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen: Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft*
- Noleppa S, Witzke H von (2011) *Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland*, hg. v. agripol - networkk for policy advice GbR
- Noleppa S, Witzke H von, Carlsburg M (2012) *Einkommenseffekte des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland*, hg. v. agripol - networkk for policy advice GbR, 43 p
- Orke E-C (2006) Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 144(01):31. doi: 10.1017/S0021859605005708
- Oskam AJ, Vijftigschild R, Graveland C (1997) *Additional EU Policy instruments for plant protection products*. Wageningen, 257 p 1997
- Pallutt B (2010) 30 Jahre Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz. *Journal für Kulturpflanzen* 62(7):230-237
- Pallutt B (2017) *Zum Nutzen von Pflanzenschutzmitteln*, 53 p
- Pallutt B, Jahn M, Freier B, Moll E (2010) Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung. *Journal für Kulturpflanzen* 62(7):238-247
- Rajmis S, Kehlenbeck H (2018) *Ökonomische Bewertung unterschiedlicher Weizenanbausysteme unter besonderer Berücksichtigung der Krankheitsresistenz (AWECOS)*. *Julius-Kühn-Archiv* 461:245-246
- Reichenberger S, Bach M, Skitschak A, Frede H-G (2007) *Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review*. *Sci Total Environ* 384(1-3):1-35. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.04.046
- Reus J, Leendertse P, Bockstaller C, Fomsgaard I, Gutsche V, Lewis KA, Nilsson C, Pussemier L, Trevisan M, Werf H von der, Alfarroba F, Blümel S, Isart J, McGrath D, Seppälä T (2002)

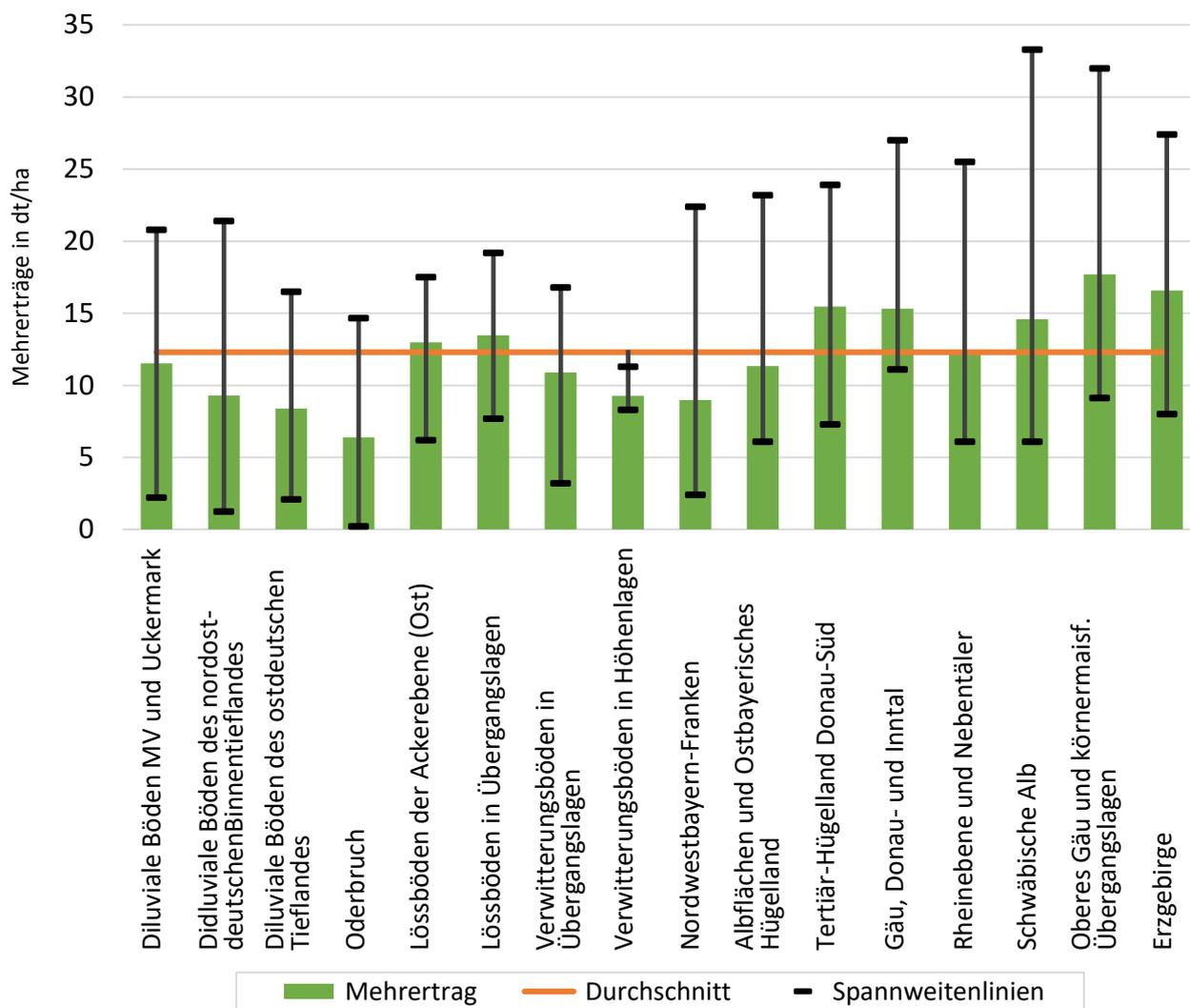
- Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Ecosystems and Environment* 90:177-187
- Reus J, Weckselor HJ, Pak GA (1994) Towards a Future EC Pesticide Policy: an Inventory of Risks of Pesticide Use, Possible Solutions and Policy Instruments. Utrecht. CLM paper 149
- Röder N, Dehler M, Laggner B, Offermann F, Reiter K, Witte T de, Wüstemann F (2021) Ausgestaltung der Ökoregelungen in Deutschland - Stellungnahmen an das BMEL: Band 2 – Schätzung der Inanspruchnahme der Regelungen auf Basis des Kabinettsentwurfes des GAPDZG. Thünen Working Paper(180), zu finden in <https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_180_Band_2.pdf> [zitiert am 20.3.2022]
- 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, Michel V, Graf R, Neukampf R (2007) Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst*(59):155-161
- Ryll J, Wagner P (2018) Ökonomische Bewertung von Low-Input-Genotypen unter der Berücksichtigung von Kosteneinsparungseffekten für Fungizide. *GEWISOLA-Tagungsband*
- Saltzman J, Kehlenbeck H (2018) Wirtschaftlichkeitsbewertung von Pflanzenschutzstrategien in E- und A-Weizen anhand eines Feldversuches in Brandenburg mit sechsgliedriger Fruchtfolge in den Jahren 2004 bis 2016. *Gesunde Pflanzen* 70(3):129-138. doi: 10.1007/s10343-018-0425-0
- Sánchez-Bayo F, Wyckhuys K (2019) Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*(232):8-27
- Sanders J, Heß J (eds) (2019) Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft, 2. überarbeitete und ergänzte Auflage. Braunschweig, Germany: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 398 p. Thünen Report 65
- Sassenrath GF, Farney J, Lollato R (2019) Impact of Fungicide and Insecticide Use on Wheat Production in a High-Rainfall Environment. *Crop, Forage & Turfgrass Management* 5(1). doi: 10.2134/cftm2019.01.0008
- Schäfer R, van den Brink P, Liess M (2011) Impacts of Pesticides on Freshwater Ecosystems, 27 p
- Schäffer A, Filser J, Frische T, Gessner M, Köck W, Kratz W, Liess M, Nuppenau E-A, Roß-Nickoll M, Schäfer R, Scheringer M (2018) Der stumme Frühling: Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes. Halle (Saale): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. - Nationale Akademie der Wissenschaften, 65 p. Diskussion / Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 16
- Scheele M (1997) Institutionelle und ökonomische Grundlagen des Natur- und Ressourcenschutzes. Berlin: Duncker & Humblot GmbH 475

- Scheele M, Isermeyer F, Schmitt G (1992) *Umweltpolitische Strategien zur Lösung der Stickstoffproblematik in der Landwirtschaft*. Braunschweig, 48 p
- Schlüter K (2002) *Vergleich von Fruchtfolge und Bodenbearbeitungssystemen im schleswig-holsteinischen Ackerbau auf dem Versuchsstandort Ostenfeld der FH Kiel*
- Schulte M, Theuvsen L, Wiese A, Steinmann H-H (2016) *Die ökonomische Bewertung von Glyphosat im deutschen Ackerbau*. GEWISOLA-Tagungsband
- Schwabe K (2018) *Saatzeitenversuch: Wie wirken sich unterschiedliche Aussaattermine auf den Virusbefall aus?*, hg. v. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2 p
- Schwarz J, Klocke B, Wagner C, Kregel S (2018) *Untersuchungen zum notwendigen Maß bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen in den Jahren 2004 bis 2016*. *Gesunde Pflanzen* 04/2018(7):40. doi: 10.1007/s10343-018-0422-3
- Schwarz J, Moll E (2010) *Entwicklung der Verunkrautung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Herbizidintensität*. *Journal für Kulturpflanzen* 62(9):317-325
- Schwarz J, Pallutt B (2016) *Auswirkung reduzierter Herbizidaufwandmengen bei pflugloser Bodenbearbeitung auf den Unkrautaufbau*. 204 KB / *Julius-Kühn-Archiv* 452. doi: 10.5073/JKA.2016.452.026
- Skevas T, Stefanou SE, Lansink AO (2012) *Can economic incentives encourage actual reductions in pesticide use and environmental spillovers?* *Agricultural Economics* 43(3):267-276. doi: 10.1111/j.1574-0862.2012.00581.x
- SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021) *Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit: Koalitionsvertrag 2021 - 2025*, zu finden in https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf [zitiert am 19.8.2022]
- SRU [Sachverständigenrat für Umweltfragen] (2016) *Kapitel 6: Verbessertes Schutz der Biodiversität vor Pestiziden*, 70 p
- Strassemeyer J, Daehmlow D, Dominic AR, Lorenz S, Golla B (2017) *SYNOPS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level*. *Crop Protection* 97:28-44. doi: 10.1016/j.cropro.2016.11.036
- Strassemeyer J, Golla B (2018) *Berechnung des Umweltrisikos der Pflanzenschutzmittelanwendungen in den Vergleichsbetrieben mittels SYNOPS*. *Gesunde Pflanzen* 70(3):155-166. doi: 10.1007/s10343-018-0426-z
- Tiedemann A von (2018) *Pflanzenschutz - Herausforderungen für die Zukunft*. Wien. 120 Jahre Pflanzenschutz an der BOKU
- Voßhenrich H-H, Landschreiber M, Henne U, Schleich-Saidfar C, Epperlein J, Olderog-Enge K, Matthiesen H (2018) *Entwicklung nachhaltig wirkender Methoden zur Ackerfuchsschwanzbekämpfung*. Thünen Working Paper 99. Braunschweig, 163 p

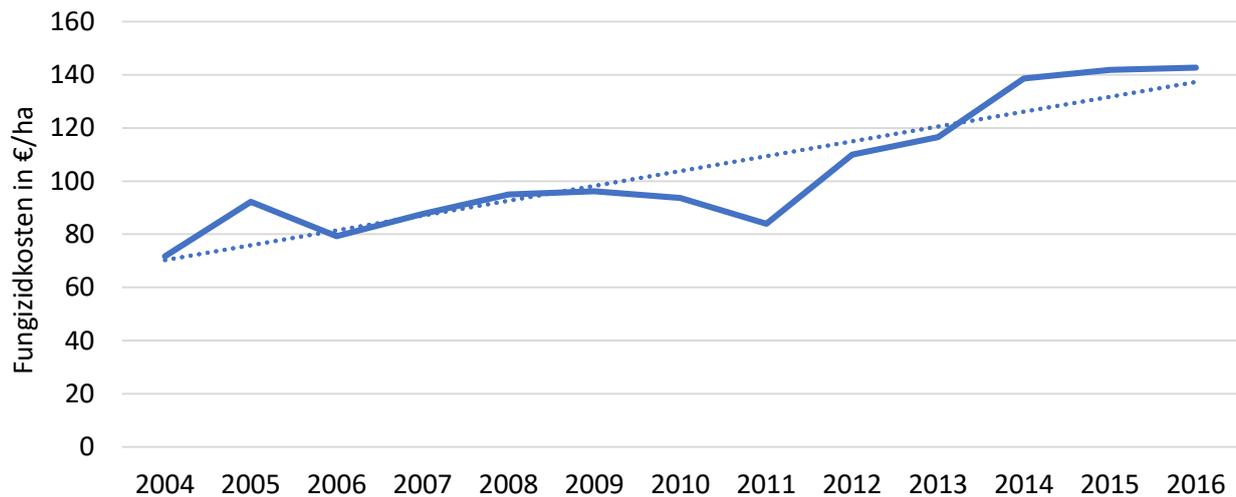
- Wahmhoff W (2000) Integrierter Rapsanbau: Untersuchungen zur Entwicklung integrierter Produktionsverfahren am Beispiel des Winterrapses (*Brassica napus* L.). Erich Schmidt Verlag. Initiativen zum Umweltschutz 16
- Weiger H, Willer H (eds) (1997) Naturschutz durch ökologischen Landbau: Situation der Vogelwelt in der Agrarlandschaft und der Einfluss des ökologischen Landbaus auf ihre Bestände. Deukalion, 19 p
- Wildenhayn M, Hesse W, Kopf D, Steinhoff H, Immel T (1991) Ökologische Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung integrierter Anbausysteme am Beispiel einer Rapsfruchtfolge: Bericht für das Jahr 1991
- Wolff C, Thate A, Weiske E (2018) Aussattermine und Sortenresistenz als vorbeugende Maßnahmen im Hinblick auf das Auftreten und den Ertragseinfluss von Pilzkrankheiten im Winterweizen, 1 p [zitiert am 22.10.2019]
- Wossink GA, Feitshans TA (2000) Pesticide Policies in the European Union. *Drake Journal of Agricultural Law*(223):223-249
- Zellner M, Wagner S, Gund N, Weigand S (2013) Versuch zum Einfluss einer Insektizidbehandlung auf den Befall des Gelbverzwergungsvirus der Gerste (BYDV) und Weizenverzwergungsvirus (WDV) in Wintergerste, hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenschutz, 9 p [zitiert am 1.3.2021]
- Zimmer Y, Deblitz C (2005) agri benchmark Cash Crop: Standard operating procedure 2005
- Zwenger P (2016) Pflanzenschutzmittel-Resistenz – Anforderungen an den Landwirt. Erfurt, 20 p

Anhang

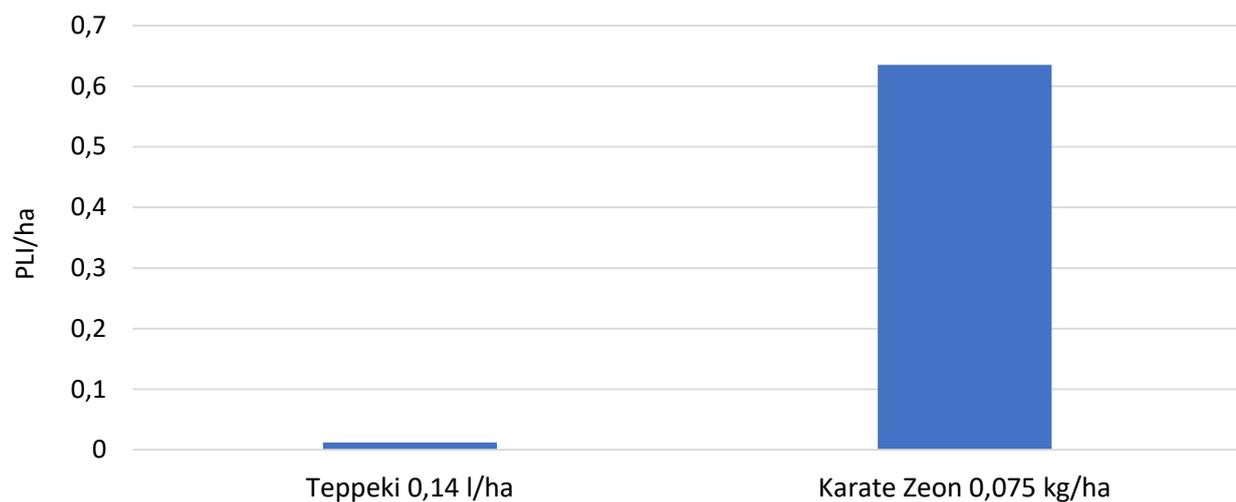
Abbildung A 1: Mehrerträge (in dt/ha) und deren Spannweiten durch den Einsatz von Fungiziden im Mittel der Jahre 2004 bis 2016



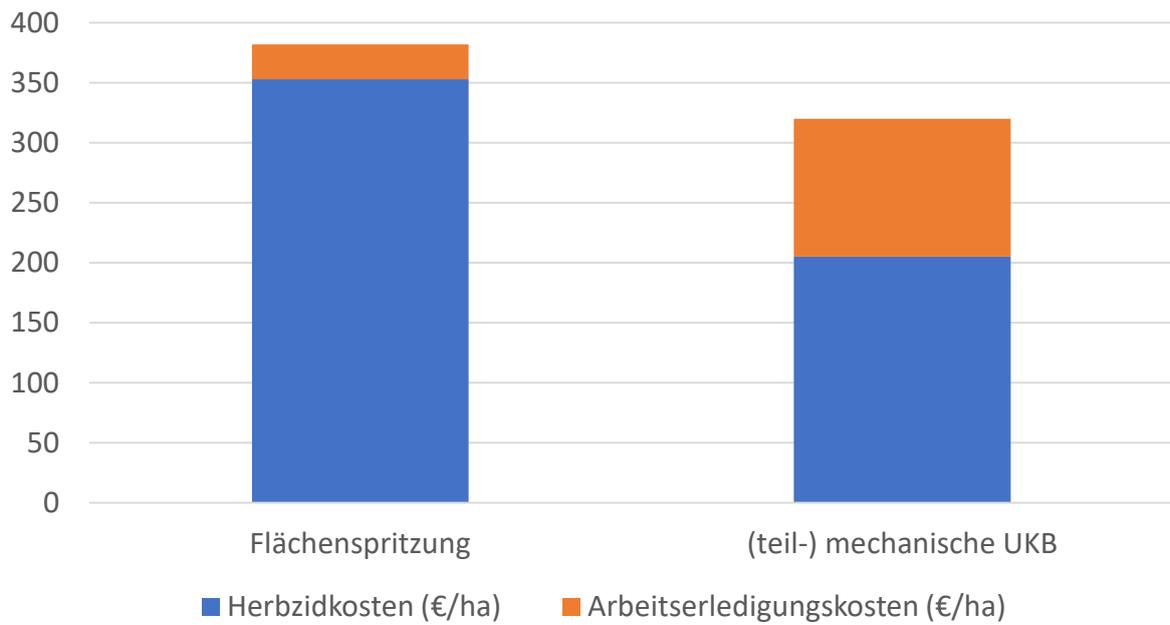
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung A 2: Entwicklung der Fungizidkosten (€/ha) im Zeitablauf

Quelle: eigene Darstellung nach Preislisten der Beiselen GmbH 2010 - 2016

Abbildung A 3: Exemplarischer PLI-Vergleich zweier substituierbarer Insektizide

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung A 4: Gesamtkosten der Unkrautbekämpfung (€/ha) im Vergleich

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung A 5: schematische Ansicht der Online-Datenbank

PLI Online-Datenbank				
Paul und Paul Meier GbR				
Am Hofgut 1				
12345 Braunschweig				
InVeKoS-Nummer: 254 658 432 011				
Wirtschaftsjahr 20/21				
1. Pesticide Load-Zuteilung:		PLI-Einheiten je ha AF:	4	
		Ackerfläche in ha:	34,8	
		Anzahl zugeteilter PLI-Einheiten:	139,2	
2. Pesticide Load-Nutzung:				
Wirkstoffübersicht im laufenden Wirtschaftsjahr:				
Wirkstoff	Wirkstoff-ID	Menge (l; kg)	PLI je l/kg	PLI gesamt
Flufenacet	2586254413			13,5
Glyphosat	2121321354			26,8
Tebuconazol	4131212114			12,9
....				
Summe genutzter PLI-Einheiten:				53,2
durchschnittlicher PLI je ha AF:				1,5
im Wirtschaftsjahr verbleibende PLI-Einheiten:				86
>> Korrekturbuchung		>> Handelsplattform		

Quelle: eigene Darstellung

Formel A 1: Aggregation von Fate- und Toxicity Load auf Produktebene

$$Fate\ Load\ Product = \sum_{i=1}^n Fate\ Load\ AS_i * \frac{kg\ AS_i}{kg\ Product}$$

$$Toxicity\ Load\ Product = \sum_{i=1}^n Toxicity\ Load\ AS_i * \frac{kg\ AS_i}{kg\ Product}$$

Quelle: Böcker et al. (2019)

Tabelle A 1: Stellvertreterorganismen des SYNOPS-Indikators

Organismus	Stellvertretend für
Algen	aquatische Organismen
Daphnien	
Fische	
Wasserlinsen	
Sedimentorganismen	
Regenwurm	Bodenorganismen
Springschwänze	
Bienen	Bewohner von Saumbiotopen
Brackwespen	
Raubmilben	

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 2: Annahmen zu Applikationskosten je Überfahrt zur Ausbringung der Fungizide und Wachstumsregler

		Kosten
Pflanzenschutzspritze (angehängt, ohne Spritzgestänge, 4.000 l)	€/ha	1,23
Spritzgestänge (24 m)	€/ha	2,90
Standardtraktor (Allradantrieb, 138 kW, stufenloses Getriebe)	€/ha	4,86
Lohnansatz	€/ha	2,50
Gesamtkosten	€/ha	11,49

Quelle: eigene Darstellung nach KTBL (2021)

Tabelle A 3: Übersicht zu verwendeten Boden-Klima-Räumen

BKR-Nummer	Vollständiger Name
101	Mittlere, diluviale Böden MV und Uckermark
102	Sandige didluviale Böden des nordostdeutschen Binnentieflandes
104	Trocken-warme diluviale Böden des ostdeutschen Tieflandes
106	Oderbruch
107	Lössböden der Ackerebene (Ost)
108	Lössböden in Übergangslagen (Ost)
111	Verwitterungsböden in den Übergangslagen (Ost)
112	Verwitterungsböden in den Höhenlagen (östliches Bayern)
113	Nordwestbayern-Franken
114	Albflächen und Ostbayerisches Hügelland
115	Tertiär-Hügelland Donau-Süd
116	Gäu, Danau- und Inntal
121	Rheinebene und Nebentäler
122	Schwäbische Alb
123	Oberes Gäu und körnermaisfähige Übergangslagen
196	Erzgebirge

Quelle: eigene Darstellung nach Roßberg et al. (2007)

Tabelle A 4: Fungizidkosten und fungizidkostenfreier Mehrerlös (in €/ha) nach BKR

BKR-Nummer	Fungizidkosten inkl. Wachstumsregler €/ha	Fungizidkostenbereinigter Mehrerlös €/ha
101	107	23
102	87	14
104	99	10
106	89	-11
107	110	70
108	112	65
111	97	43
112	70	60
113	83	28
114	92	69
115	108	107
116	106	108
121	108	59
122	114	94
123	110	144
195	97	135

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 5: verfügbare Feldarbeitsstunden nach KTBL (2016) und Fokusgruppe (2020)

Monat	Getreide- ernte	Tiefe Bodenbe- arbeitung, min. und org. Düngung, Saatbettbereitung, Aussaat	Chemischer Pflanzenschutz	Stoppelbearbei- tung, sonstige Pflegearbeiten	Mechanische Unkraut- bekämpfung
	h	h	h	h	h
Feb 01	0	0	0	0	0
Feb 02	0	0	0	0	0
Mrz 01	0	14	10	28	7
Mrz 02	0	28	20	56	13
Apr 01	0	56	40	112	26
Apr 02	0	84	60	154	40
Mai 01	0	98	70	154	46
Mai 02	0	112	80	168	53
Jun 01	0	112	80	154	53
Jun 02	0	112	80	154	53
Jul 01	0	126	90	168	59
Jul 02	40	126	90	168	59
Aug 01	50	126	90	168	59
Aug 02	40	126	90	168	59
Sep 01	0	126	90	168	59
Sep 02	0	126	90	168	59
Okt 01	0	84	60	154	40
Okt 02	0	56	40	154	26
Nov 01	0	14	10	126	7
Nov 02	0	0	0	56	0

Quelle: eigene Darstellung nach KTBL (2016)

Tabelle A 6: variable und fixe Maschinenkosten (ohne Diesel)

		Fixe Kosten								Variable	
		AW ¹	N	Potenzial nach Leistung	RW	Abschreibung ²		Zinskosten ³	Fixkosten	Reparatur-	
		€	Jahre	ha/h/t	€	€	€/Einheit	€	€/Einheit	€/Einheit	kosten
Standardtraktor, Lastschaltgetriebe, 120 kW	h	117.900	20	10.000	29.475	88.425	8,84	29.475	2,95	11,79	8,20
Standardtraktor, stufenloses Getriebe, 176 kW	h	197.100	12	8.000	65.043	132.057	16,51	31.457	3,93	20,44	9,60
Standardtraktor, stufenloses Getriebe, 233 kW	h	229.500	12	8.000	75.735	153.765	19,22	36.628	4,58	23,80	10,80
Drehverstellpflug, angebaut, 6 Schare, 1,80-3,00 m	ha	27.000	14	3.000	5.400	21.600	7,20	4.536	1,51	8,71	12,00
Feingrubber (Federzinkenegge), angebaut, 6,0 m	ha	14.400	14	6.000	2.880	11.520	1,92	2.419	0,40	2,32	3,50
Grubber, aufgesattelt, 5,0 m	ha	36.450	14	6.000	7.290	29.160	4,86	6.124	1,02	5,88	6,00
Kurzscheibenegge, aufgesattelt, 5,0 m	ha	37.800	14	5.000	7.560	30.240	6,05	6.350	1,27	7,32	5,00
Schlegelmulcher, Front/Heck 4,0 m	ha	18.000	10	3.000	3.600	14.400	4,80	2.160	0,72	5,52	1,74
Mulchsämaschine, 4,0 m, 2.200 l	ha	45.900	12	4.000	9.180	36.720	9,18	6.610	1,65	10,83	4,55
Zuckerrüben-Einzelkornsämaschine, 18-reihig	ha	27.900	8	1.500	5.580	22.320	14,88	2.678	1,79	16,67	9,00
Pflanzenschutzspritze, angehängt, 5.000 l	ha	38.700	10	50.000	7.740	30.960	0,62	4.644	0,09	0,71	0,25
Spritzgestänge, 24 m	ha	20.790	10	9.600	4.158	16.632	1,73	2.495	0,26	1,99	0,50
Schleuderstreuer, angebaut, 3.000 l	ha	13.500	10	36.000	2.700	10.800	0,30	1.620	0,05	0,35	0,15
2x Dreiseitenkippanhänger, zweiachsig, 18 t	t	21.600	15	50.000	4.320	17.280	0,35	3.888	0,08	0,42	0,20
Heckkippanhänger, Tandemachse, 23 t	t	35.550	15	60.000	7.110	28.440	0,47	6.399	0,11	0,58	0,20
Mähdrescher, Rotor, 40 km/h, 325 kW, 10.500 l	ha	315.000	10	2.000	103.950	211.050	105,53	41.895	20,95	126,47	18,70
Schneidwerk für Mähdrescher, 9,0 m	ha	45.900	10	5.000	15.147	30.753	6,15	6.105	1,22	7,37	5,00
Zusätzliche Maschinen bei der Realisierung von Anpassungsoptionen											
Bandspritzgestänge, Frontanbau	ha	4.050	10	3.000	810	3.240	1,08	486	0,16	1,24	2,00
Verschieberahmen für Präzisionshackgeräte bis 6 m	ha	16.200	12	4.500	3.240	12.960	2,88	2.333	0,52	3,40	0,20
Hackmaschine, angebaut, 9,0 m, 18-reihig	ha	28.800	12	4.200	5.760	23.040	5,49	4.147	0,99	6,47	2,14
Hackstriegel, angebaut, 12,0 m	ha	18.000	12	6.000	3.600	14.400	2,40	2.592	0,43	2,83	2,00

AW: Anschaffungswert, RW: Restwert, N: Nutzungsdauer, Afa: Abschreibung

¹ Anschaffungspreis nach KTBL abzüglich 10 %

² Afa/Einheit: (Anschaffungspreis - Restwert)/Potenzial nach Leistung

³ Zinssatz: (Anschaffungswert - Restwert) * 0,5 + Restwert * Zinssatz * Nutzungsjahre

Quelle: eigene Darstellung nach KTBL (2021) und FG (2020 & 2021)

Tabelle A 7: Variable und fixe Maschinenkosten für einzelne Verfahrensschritte (in €/ha)

	Anbaugerät			Zugmaschine							Anbaugerät und Zugmaschine						
	Flächenleistung	Fixkosten	Reparaturkosten	Fixkosten		Reparaturkosten		Diesel		Lohnkosten	fix	variabel	gesamt				
				€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	Verbrauch	Kosten ³								
														l/ha	€/ha	€/ha	
ha/h	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha						
Schleuderstreuer, angebaut, 3.000 l	h	15,0	0,4	0,2		0,8		0,5		1,2	1,0	1,3	1,1	3,0	4,1		
Bandspritzgestänge, Frontanbau	h	3,5 ¹	1,2	2,0													
Verschieberahmen für Hacke	h	3,5 ¹	3,4	0,2		3,4		2,3		9,0	7,2	5,7	14,5	19,6	34,1		
Hackmaschine, 9,0 m, 18-reihig	ha	3,5 ¹	6,5	2,1	Standardtraktor, 120 kW	11,8	8,2	1,0	5,0	4,0	2,5	4,3	9,5	13,8			
Hackstriegel, angebaut, 12,0 m	ha	8,0	2,8	2,0											1,5	1,0	5,0
ZR-Einzelkorndrille, 18-reihig	ha	3,3	16,7	9,0						5,0	4,0	6,1	20,2	21,5	41,8		
Schlegelmulcher, Front/Heck 4,0 m	ha	3,0	5,5	1,7						9,5	7,6	6,7	9,5	18,7	28,2		
Heckkippanhänger, 23 t	ha	2,8 ²	4,6	1,6						12,0	9,6	7,1	8,9	21,3	30,1		
Mulchsämaschine, 4,0 m, 2.200 l	ha	3,0	10,8	4,6						10,0	8,0	6,7	17,6	22,4	40,1		
Pflanzenschutzspritze, 5.000 l	ha	12,5	0,7	0,3	Standardtraktor, 176 kW	20,4	1,6	9,6	0,8	1,3	1,0	1,6	4,3	4,2	8,5		
Spritzgestänge, 24 m	ha	12,5	2,0	0,5												7,3	3,4
2x Dreiseitenkippanhänger, 18 t	ha	2,8 ²	3,4	1,6													
Drehverstellpflug, angebaut, 6 Schare	ha	1,2	8,7	12,0						19,8	9,0	38,0	30,4	16,7	28,5	68,1	96,6
Feingrubber, angebaut, 6,0 m	t	4,0	2,3	3,5	Standardtraktor, 233 kW	23,8	5,9	10,8	2,7	12,5	10,0	5,0	8,3	21,2	29,5		
Grubber, aufgesattelt, 5,0 m	t	3,0	5,9	6,0												7,9	3,6
Kurzscheibenegge, aufgesattelt, 5,0 m	ha	3,5	7,3	5,0						6,8	3,1	9,5	7,6	5,7	14,1	21,4	35,5
Schneidwerk für Mähdrescher, 9,0 m	ha	3,5	7,4	5,0	Mähdrescher, 325 kW	126,5	36,1	19	5,3	89,6	71,7	5,7	43,5	87,7	131,2		

AW: Anschaffungswert, RW: Restwert, N: Nutzungsdauer, Afa: Abschreibung

¹ Flächenleistung variiert je nach Höhe des Bestands

² bei durchschnittlich 8 t/ha

³ angenommener Dieselpreis: 0,8 €/l

⁴ bei Lohnkosten von 20 €/h

Quelle: eigene Darstellung nach KTBL (2021) und FG (2020 & 2021)

Tabelle A 8: Kosten für Lohndienstleistungen (in €/ha)

Lohndienstleistungen	Variable Kosten €/ha	Dieselskosten €/ha	Gesamtkosten €/ha
Zuckerrüben roden	230	36	266
Mais legen	45	8	53
Kalk steuern	30	4	34

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 9: Produktionssystem Zuckerrübe in der Ausgangssituation

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
Sep	Anf	Düngung org.	LU	6 t/ha Carbokalk			
Sep	Anf	Düngung org.	LU	10 m ³ Gärrest (60 kg N, 25 kg P ₂ O ₅ , 40 kg K ₂ O)			
Sep	Anf	Bodenbearbeitung tief	Grubber	Tiefe ca. 20 cm zur Lockerung			
Sep	Anf	Aussaat	Drillmaschine	Senf-Phazelia-Mischung			
Mär	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Totalherbizid zum Abtöten des ZF-Bestandes	H: Taifun Forte	4,00	0,74
Mär	End	Bodenbearbeitung tief	Grubber	ca. 20 cm zur Lockerung und Einmischung			
Mär	End	Saatbettbereitung	Kurzscheibenegge	Tiefe ca. 5 cm			
Mär	End	Aussaat	Rübindrille	10 Pflanzen/m ²			
Mär	End	Düngung	Düngerstreuer	3 dt/ha DAP (54 kg N, 134 kg P ₂ O ₅)			
Apr	End	Pflanzenschutz	Spritze	NAK 1: Herbizide	H: Belvedere Duo H: Goltix Titan H: Debut	1,00 1,40 0,03	0,21 0,44 0,01
Apr	End	Pflanzenschutz	Spritze	1. Insektizidanwendung: Moosknopfkäfer	I: Karate Zeon	0,075	0,64
Mai	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	NAK 2: Herbizide	H: Belvedere Duo H: Goltix Titan H: Debut H: Agil-S	1,30 1,40 0,02 1,00	0,27 0,44 0,02 0,09
Mai	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	6 dt/ha KornKali (240 kg K ₂ O; 36 kg MgO)			
Mai	End	Pflanzenschutz	Spritze	NAK 3: Herbizide	H: Belvedere Duo H: Goltix Titan H: Debut	1,30 1,40 0,03	0,27 0,44 0,02
Mai	End	Pflanzenschutz	Spritze	2. Insektizidanwendung: Blattläuse	I: Teppeki	0,14	0,01
Aug	End	Pflanzenschutz	Spritze	Fungizidanwendung: Cercospora und Ramularia	F: Sphere 535 SC	0,35	0,38
Okt	Anf	Roden	LU				

Quelle: eigene Darstellung nach FG (2020 & 2021)

Tabelle A 10: Produktionssystem Winterweizen nach Zuckerrübe in der Ausgangssituation

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
Okt	Anf	Bodenbearbeitung tief	Grubber	ca. 20 cm tief zur Lockerung			
Okt	Anf	Aussaat	Drillmaschine	Aussaatstärke: ca. 180 kg/ha			
Nov	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	1. Herbizidanwendung	H: Herold H: Traxos	0,30 1,20	0,36 0,04
Mär	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha ASS (65 kg N, 33 kg S)			
Apr	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	2. Herbizidanwendung Gräser	H: Atlantis Flex	0,33	0,15
Apr	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Apr	End	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler-, Fungizid- und Herbizidanwendung gegen Unkräuter (EC 31)	W: CCC 720 F: Calma F: Helocur H: Biathlon 4D	0,50 0,30 0,80 0,07	0,32 0,01 0,74 0,11
Mai	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler-, Fungizid- und Insektizidanwendung (EC 39)	W: Medax Top F: Elatus Era F: Sympara I: Shock Down	0,30 0,60 0,25 0,10	0,03 0,47 0,13 0,42
Mai	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	1,1 dt/ha Harnstoff (50 kg N)			
Jun	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Fungizid- und Insektizidanwendung (EC 49)	F: Folicur I: Karate Zeon	0,70 0,075	0,65 0,64
Aug	Anf	Mähdrusch/Ernte	Mähdrescher	Ertrag: 8,5 t/ha			
Aug	Anf	Getreidetransport	Anhängerzug (2x18 t)				
Aug	Anf	Getreidetransport	Muldenkipper				
Aug	Anf	Stoppelbearbeitung flach	Kurzscheibenegge	ca. 5 cm tief zum Auflaufen von Ausfallgetreide			

Quelle: eigene Darstellung nach FG (2020 & 2021)

Tabelle A 11: Produktionssystem Winterweizen nach Winterraps in der Ausgangssituation

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
Sep	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Totalherbizid zur Bekämpfung von Ausfallraps	H: Taifun Forte	3,00	0,56
Okt	End	Bodenbearbeitung tief	Grubber	ca. 20 cm zum Einmischen der Ernterückstände			
Okt	End	Aussaat	Drillmaschine	Aussaatstärke: ca. 150 kg/ha			
Nov	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	1. Herbizidanwendung und Insektizidmaßnahme gegen Blattläuse	H: Herold H: Traxos I: Shock Down	0,60 1,20 0,10	0,71 0,04 0,42
Mär	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha ASS (65 kg N, 33 kg S)			
Apr	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	2. Herbizidanwendung Gräser	H: Atlantis Flex	0,33	0,15
Apr	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Apr	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler- und Herbizidmaßnahme gegen breitblättrige Unkräuter (EC 25)	W: CCC 720 W: Moddus H: Biathlon 4D	0,70 0,15 0,07	0,44 0,00 0,11
Apr	End	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler und Fungizidanwendung (EC 31)	W: Medax Top W: CCC 720 F: Helocur	0,50 0,70 0,80	0,05 0,44 0,74
Mai	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Mai	End			Wachstumsregler-, Fungizid- und Insektizidanwendung (EC 39/49)	F: Ascara Xpro W: Medax Top I: Karate Zeon	0,80 0,30 0,075	0,62 0,03 0,64
Jun	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Fungizidanwendung (EC 59/61)	F: Folicur	0,70	0,65
Aug	Anf	Mähdrusch/Ernte	Mähdrescher	Ertrag: 10,0 t/ha			
Aug	Anf	Getreidetransport	Anhängerzug (2x18 t)				
Aug	Anf	Getreidetransport	Muldenkipper				
Aug	End	Stoppelbearbeitung flach	Kurzscheibenegge	ca. 5 cm zum Auflaufen von Ausfallgetreide			

Quelle: eigene Darstellung nach FG (2020 & 2021)

Tabelle A 12: Produktionssystem Winterweizen nach Getreide in der Ausgangssituation

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
Sep	Anf	Bodenbearbeitung tief	Grubber	ca. 12 cm zum Einmischen der Ernterückstände			
Sep	End	Pflügen	Pflug	ca. 25 cm zur Minderung von Fusarium			
Sep	End	Aussaat	Drillmaschine	Aussaatstärke: ca. 150 kg/ha			
Nov	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	1. Herbizidanwendung und Insektizidmaßnahme gegen Blattläuse	H: Herold H: Traxos I: Shock Down	0,30 1,20 0,10	0,39 0,04 0,31
Mär	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha ASS (65 kg N, 33 kg S)			
Apr	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	2. Herbizidanwendung Gräser	H: Atlantis Flex	0,33	0,15
Apr	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Apr	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler- und Herbizidmaßnahme gegen breitblättrige Unkräuter (EC 25)	W: CCC 720 W: Moddus H: Biathlon 4D	0,70 0,15 0,07	0,44 0,00 0,13
Apr	End	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler und Fungizidanwendung (EC 31)	W: Medax Top W: CCC 720 F: Rubric	0,50 0,70 0,80	0,07 0,44 0,32
Mai	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Mai	End			Wachstumsregler-, Fungizid- und Insektizidanwendung (EC 39/49)	F: Adexar W: Medax Top I: Karate Zeon	1,00 0,30 0,075	0,33 0,04 0,47
Jun	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Fungizidanwendung (EC 59/61)	F: Folicur	0,70	0,21
Aug	Anf	Mähdusch/Ernte	Mähdrescher	Ertrag: 9,0 t/ha			
Aug	Anf	Getreidetransport	Anhängerzug (2x18 t)				
Aug	Anf	Getreidetransport	Muldenkipper				
Aug	End	Stoppelbearbeitung flach	Kurzscheibenegge	ca. 5 cm zum Auflaufen von Ausfallgetreide			

Quelle: eigene Darstellung nach FG (2020 & 2021)

Tabelle A 13: Produktionssystem Winterweizen nach Silomais in der Ausgangssituation

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
Sep	End	Bodenbearbeitung tief	Grubber	ca. 20 cm zum Einmischen der Ernterückstände			
Okt	Anf	Aussaat	Drillmaschine	Aussaatstärke: ca. 170 kg/ha			
Nov	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	1. Herbizidanwendung	H: Herold H: Traxos	0,30 1,20	0,36 0,03
Mär	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha ASS (65 kg N, 33 kg S)			
Apr	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	2. Herbizidanwendung Gräser	H: Atlantis Flex	0,33	0,15
Apr	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Apr	End	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler- und Herbizidmaßnahme gegen breitblättrige Unkräuter (EC 31)	W: CCC 720 W: Calma F: Helocur	0,50 0,30 0,80	0,31 0,01 0,74
Mai	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler-, Insektizid- und Fungizidanwendung (EC 39/49)	W: Medax Top F: Elatus Era F: Sympara I: Karate Zeon	0,30 0,60 0,25 0,075	0,05 0,47 0,13 0,64
Mai	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Jun	Anf			Wachstumsregler-, Fungizid- und Insektizidanwendung (EC 59/61)	F: Prosaro I: Shock Down	0,60 0,10	0,32 0,42
Aug	Anf	Mähdusch/Ernte	Mähdrescher	Ertrag: 9,5 t/ha			
Aug	Anf	Getreidetransport	Anhängerzug (2x18 t)				
Aug	Anf	Getreidetransport	Muldenkipper				
Aug	End	Stoppelbearbeitung flach	Kurzscheibenegge	ca. 5 cm zum Auflaufen von Ausfallgetreide			

Quelle: eigene Darstellung nach FG (2020 & 2021)

Tabelle A 14: Produktionssystem Winterraps in der Ausgangssituation

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
		Düngung org.		10 m ³ Gärrest durch LU inkl. Einarbeitung (60 kg N; 25 kg P ₂ O ₅ ; 40 kg K ₂ O)			
Aug	End	Düngung min.	Düngerstreuer	1,5 dt/ha TSP (70 kg P ₂ O ₅)			
Aug	End	Bodenbearbeitung tief	Grubber	Lockerung und Saatbettbereitung auf ca. 20 cm Tiefe			
Aug	End	Aussaart	Drillmaschine	Bestandesdichte: 45 Pflanzen/m ²			
Sep	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Nachauflaufbehandlung gegen Ungräser und -kräuter und Insektizidmaßnahme gegen Rapserdfloh	H: Belkar H: Synero H: Panarex I: Bulldock	0,25 0,25 0,80 0,30	0,28 0,08 0,01 1,31
Sep	End	Pflanzenschutz	Spritze	Nachbehandlung Unkräuter	H: Fox	0,80	1,52
Sep	End	Düngung min.	Düngerstreuer	2 dt/ha 60er Kali (40 kg K ₂ O)			
Okt	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Fungizideinsatz zur Längeneinkürzung und Phoma- Vermeidung; Insektizideinsatz gegen Rapserdfloh	I: Karate Zeon F: Carax	0,075 0,50	0,64 0,06
Feb	End	Pflanzenschutz	Spritze	Insektizideinsatz gegen Rapsstängelrüssler	I: Karate Zeon		0,64
Mär	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (70 kg N)			
Mär	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2 dt/ha SSA (42 kg N, 48 kg S)			
Mär	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Längeneinkürzung und Insektizidbehandlung gegen Rapsglanzkäfer	I: Avaunt F: Carax	0,17 0,60	0,23 0,08
Apr	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (67 kg N) in EC 30-32			
Apr	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Insektizideinsatz gegen Rapsglanzkäfer	I: Mospilan SG	0,20	0,07
Mai	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Blütenbehandlung (EC 65) gegen Weißstängeligkeit und Insektizideinsatz gegen Kohlschotenrüssler und	I: Mavrik Vita F: Cantus Gold	0,20 0,50	0,72 1,17
Jul	End	Mähdrusch/Ernte	----	Ertrag: 4 t/ha			
Jul	End	Transport	Anhängerzug (2x18 t)				
Jul	End	Stoppelbearbeitung flach	Kurzscheibenegge	< 3 cm zum Auflaufen von Ausfallraps			

Quelle: eigene Darstellung nach FG (2020 & 2021)

Tabelle A 15: Produktionssystem Silomais in der Ausgangssituation

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
Sep	Anf	Düngung org.	LU	10 m ³ Gärrest (60 kg N, 25 kg P ₂ O ₅ , 40 kg K ₂ O)			
Sep	Anf	Bodenbearbeitung tief	Grubber	ca. 20 cm zur Lockerung			
Sep	Anf	Aussaart	Drillmaschine	Senf-Phazelia-Mischung			
Mär	End	Pflanzenschutz	Spritze	Totalherbizid	H: Taifun Forte	3,00	0,56
Mär	End	Bodenbearbeitung flach	Kurzscheibenegge	ca. 5 cm			
Apr	End	Düngung min.		3 dt/ha 40er Kali (120 kg K ₂ O)			
Apr	End	Düngung org.		20 m ³ Gärrest (120 kg N, 50 kg P ₂ O ₅ , 80 kg K ₂ O)			
Apr	End	Bodenbearbeitung tief	Grubber	ca. 20 cm zur Lockerung und Einmischung			
Apr	End	Aussaart	LU	9 Pflanzen/m ² inkl. 2 dt/ha DAP unterfuß			
Apr	End	Pflanzenschutz	Spritze	Herbizidmaßnahme im 3-Blattstadium	H: MaisTER Power H: Aspect	1,25 1,25	0,11 1,12
Okt	Anf	Ernte	LU	Ernte und Transport durch Biogasanlage			
Okt	Anf	Mulchen	Schlegelmulcher	Mulchen der Stoppel zur Verhinderung der Maiszünslerausbreitung und Reduzierung der Fusariumgefahr im nachfolgenden Winterweizen			

Quelle: eigene Darstellung nach FG (2020 & 2021)

Tabelle A 16: Produktionssystem Wintergerste in der Ausgangssituation

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
Sep	Anf	Bodenbearbeitung flach	Grubber	ca. 10 cm zum Einmischen der Ernterückstände			
Sep	End	Pflügen	Pflug	wendende Bodenbearbeitung auf 25 cm Tiefe			
Sep	End	Aussaat	Drillmaschine	Aussaatstärke: 260 Körner/m ²			
Okt	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	1. Herbizidanwendung	H: Herold H: Axial 50 H: Diflanil 500 SC	0,30 0,90 0,15	0,36 0,01 0,14
Okt	End	Pflanzenschutz	Spritze	Insektizidmaßnahme gegen Blattläuse als Virusvektoren	I: Karate Zeon	0,075	0,64
Mär	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha ASS (65 kg N, 33 kg S)			
Apr	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Apr	End	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler- und Herbizidmaßnahme gegen breitblättrige Unkräuter (EC 31), sowie erste	W: Prodax W: Moddus Start H: Tomigan 200 F: Input Classic	0,50 0,30 0,50 0,60	0,01 0,01 0,03 0,21
Mai	Anf	Düngung min.	Düngerstreuer	2,5 dt/ha KAS (68 kg N)			
Mai	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	Wachstumsregler-, Insektizid- und Fungizidanwendung (EC 39/49)	W: Cerone 660 F: Aviator Xpro	0,20 1,00	0,10 0,39
Jul	End	Mähdrusch/Ernte	Mähdrescher	Ertrag: 9,0 t/ha			
Jul	End	Getreidetransport	Anhängerzug (2x18 t)				
Jul	End	Getreidetransport	Muldenkipper				
Jul	End	Stoppelbearbeitung flach	Kurzscheibenegge	ca. 5 cm zum Auflaufen von Ausfallgetreide			

Quelle: eigene Darstellung nach FG (2020 & 2021)

Tabelle A 17: Produktionssystem Ackerbohne als potenzielle Alternativkultur

Monat	Periode	Produktionsverfahren	Gerät	Beschreibung	Pflanzenschutzmittel	AWM l/ha, kg/ha	PLI/ha
Sep	Anf	Bodenbearbeitung tief	Grubber	ca. 20 cm zur Lockerung			
Sep	Anf	Aussaat	Drillmaschine	Senf-Phazelia-Mischung			
Mär	Anf	Mulchen	Schlegelmulcher				
Mär	Anf	Bodenbearbeitung flach	Kurzscheibenegge	ca. 5 cm			
Mär	Anf	Düngung min.		2 dt/ha 40er Kali (80 kg K ₂ O)			
Mär	End	Aussaat	Drillmaschine	35 Pflanzen/m ²			
Mär	End	Pflanzenschutz	Spritze	Voraufdauerherbizid gegen Ungräser und -kräuter	H: Bandur H: Stomp Aqua	2 2	2,625 3,799
Mai	Anf	Pflanzenschutz	Spritze	kombinierte Fungizid- und Insektizidanwendung	F: Folicur I: Karate Zeon	1 0,075	0,924 0,318
Aug	End	Mähdrusch/Ernte		Ertrag: 50 dt/ha			
Aug	End	Transport	Anhängerzug (2x18 t)				

Quelle: eigene Darstellung nach Fokusgruppe (2020)

Tabelle A 18: DAKfL (in €/ha) von Alternativkulturen und Brache im Modellbetrieb

		Ackerbohne	Ackerbohne ohne chem.-syn. Herbizide	Körnermais	Winterweizen nach Körnermais	Brache
Ertrag (dt/ha)		50	48	113	85	0
* Preis (€/dt)		19,9	19,9	17,3	17,3	0
= Marktleistung (€/ha)		994	960	1957	1467	0
Saatgut Zwischenfrucht (€/ha)		70	70	70	0	0
Saat- und Pflanzgut* (€/ha)		215	247	171	83	0
Pflanzenschutz (€/ha)		189	31	75	191	0
<i>Herbizid</i> (€/ha)		158	0	75	76	0
<i>Fungizid</i> (€/ha)		26	26	0	80	0
<i>Insektizid</i> (€/ha)		4	4	0	12	0
<i>Wachstumsregler</i> (€/ha)		0	0	0	23	0
Düngemittel (€/ha)		44	44	135	207	0
sonstige Direktkosten (€/ha)		23	23	336	51	0
<i>Trocknungskosten**</i> (€/ha)		13	13	300	22	0
<i>Versicherung ***</i> (€/ha)		10	10	20	15	0
<i>Zinskosten (2%)</i> (€/ha)		0	0	16	14	0
- Summe Direktkosten (€/ha)		541	415	786	532	0
variable Maschinenkosten (€/ha)		211	287	416	214	67
fixe Maschinenkosten (€/ha)		150	184	113	146	41
- Summe Arbeitserledigungskosten (€/ha)		361	471	529	360	107
= DAKfL (€/ha)		91	74	641	575	-107

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 19.1: gewählte Anpassungsszenarien in den Szenarien (Werte in % Fruchtfolgeanteil)

	Zuckerrüben								Winterweizen nach Zuckerrüben									
	Basis	W 1	A 2	A 3	A 4	WA 6	WA 7	WA 8	Basis	W 1	A 2	A 3	A 4	A 5	WA 6	WA 7	WA 8	WA 9
DAKfL-Verlust / % PLI-Reduktion	0	2,03	3,24	-1,18	1,50	3,15	0,46	2,01	1,17	4,07	2,85	3,19	3,27	3,44	2,05	2,99	3,12	
A	20								20									
1				20								20						
2					20								20					
3				20						20								
4								20								20		
5				20								20						
6					20									20				
7				20						20								
8								20								20		
9				20					20									
10					20							20						
11				20					20									
12								20								20		

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 19.2: gewählte Anpassungsszenarien in den Szenarien (Werte in % Fruchtfolgeanteil)

	Raps																	
	Basis	W 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	WA 10	WA 11	WA 12	WA 13	WA 14	WA 15	WA 16	WA 17
DAKfL-Verlust / % PLI-Reduktion	0,01	1,63	11,28	2,35	1,29	5,86	3,69	4,36	3,13	0,69	0,89	1,04	0,79	4,39	3,06	3,62	2,73	
A	10																	
1					10													
2							10											
3		10																
4															10			
5						10												
6						10												
7		10																
8													10					
9	0																	
10	0																	
11																		
12																		

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 19.3: gewählte Anpassungsszenarien in den Szenarien (Werte in % Fruchtfolgeanteil)

	Winterweizen nach Raps															
	Basis	W 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	WA 9	WA 10	WA 11	WA 12	WA 13	WA 14	WA 15
DAKfL-Verlust / % PLI-Reduktion	1,61	5,58	0,89	3,13	2,61	3,82	2,91	5,09	2,72	1,41	2,32	2,05	2,85	2,42	3,96	
A	10															
1					10											
2								10								
3		10														
4											10					
5				10												
6								10								
7				10												
8											10					
9	0															
10	0															
11																
12																

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 19.4: gewählte Anpassungsszenarien in den Szenarien (Werte in % Fruchtfolgeanteil)

	Winterweizen nach Silo- und Körnermais															
	Basis	W 1	A 2	A 3	A 4	WA 5	WA 6	WA 7	Basis	W 8	A 9	A 10	A 11	WA 12	WA 13	WA 14
DAKfL-Verlust / % PLI-Reduktion		1,05	1,43	6,89	3,95	1,50	3,58	3,51	11,67	4,25	5,28	8,32	5,46	4,43	5,00	4,88
A	10															
1					10											
2					10											
3		10														
4								10								
5			10													
6					10											
7		10														
8		10														
9			10						10							
10		10									10					
11		10							10							
12						10				10						

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 19.5: gewählte Anpassungsszenarien in den Szenarien (Werte in % Fruchtfolgeanteil)

	Stoppelweizen									
	Basis	W 1	A 2	A 3	A 4	A 5	WA 6	WA 7	WA 8	WA 9
DAKfL-Verlust / % PLI-Reduktion		2,04	4,72	2,64	2,78	4,34	2,58	2,43	2,54	3,67
A	10									
1				10						
2						10				
3		10								
4								10		
5			10							
6					10					
7		10								
8								10		
9	10									
10				10						
11	10									
12		10								

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 19.6: gewählte Anpassungsszenarien in den Szenarien (Werte in % Fruchtfolgeanteil)

	Mais								Wintergerste							
	Basis	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	Basis	W 1	A 2	A 3	A 4	A 5	WA 6
DAKfL-Verlust / % PLI-Reduktion		1,77	2,63	2,13	3,80		2,17	2,89	2,56		0,12	1,79	3,84	2,49	2,91	0,70
A	15									5						
1		15											5			
2				15											5	
3		15									5					
4				15												
5		15										5				
6				15											5	
7		15									5					
8				15												
9		15				10				5						
10				15			10								5	
11	15					10					5					
12		15					10				5					

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 20: Veränderung erzeugter Getreideeinheiten (1)

ohne Wirstoffsub.				Fruchtfolge und -anteile fix				Fruchtfolge und -anteile variabel		
Basis				Reduktion für jede Kultur individuell		Reduktion im Durchschnitt über alle Kulturen		Reduktion im Durchschnitt über alle Kulturen		
PLI-Reduktion (%)				25	50	25	50	25	50	
	GE-Koeffizient	Anbau-umfang (ha)	Ertrag (dt/ha)	Ertrag (dt/ha)				Anbau-umfang (ha)	Ertrag (dt/ha)	
Zuckerrüben	0,23	120	850	836	815	836	815	120	836	815
Weizen n. ZR.	1,04	120	85	79	74	79	60	120	85	70
Raps	1,3	60	40	36	36	36	36	0	0	0
Weizen n. WR.	1,04	60	100	93	93	95	88	0	0	0
Stoppelweizen	1,04	60	90	81	68	88	79	60	90	81
Silomais	0,3	90	550	532	515	532	515	90	532	515
Körnermais	1,08	0	0	0	0	0	0	60	113	110
Weizen nach SM	1,04	60	95	87	87	93	87	60	93	95
Weizen nach KM	1,04	0	0	0	0	0	0	60	85	83
Gerste	1	30	90	83	71	88	71	30	90	71
Summe erzeugter GE			72522	68868	66063	69930	64668		74766	70567
Anteil im Vergleich zur Basis				95%	91%	96%	89%		103%	97%

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle A 21: Veränderung erzeugter Getreideeinheiten (2)

mit Wirstoffsub.			Fruchtfolge und -anteile fix				Fruchtfolge und -anteile variabel		
			Reduktion für jede Kultur individuell		Reduktion im Durchschnitt über alle Kulturen		Reduktion im Durchschnitt über alle Kulturen		
PLI-Reduktion (%)			25	50	25	50	25	50	
	GE-Koeffizient	Anbau-umfang (ha)	Ertrag (dt/ha)				Anbau-umfang (ha)	Ertrag (dt/ha)	
Zuckerrüben	0,23	120	836	781	836	781	120	836	781
Weizen n. ZR.	1,04	120	85	79	85	79	120	85	79
Raps	1,3	60	40	36	40	36	0	0	0
Weizen n. WR.	1,04	60	100	93	95	95	0	0	0
Stoppelweizen	1,04	60	90	81	90	81	60	90	90
Silomais	0,3	90	532	515	532	515	90	550	532
Körnermais	1,08	0	0	0	0	0	60	115	111
Weizen nach SM	1,04	60	95	87	95	95	60	95	93
Weizen nach KM	1,04	0	0	0	0	0	60	85	85
Gerste	1	30	88	82	88	82	30	88	88
Summe erzeugter GE			71584	66894	71263	67499	75457 72300		
Anteil im Vergleich zur Basis			99%	92%	98%	93%	104% 100%		

Quelle: eigene Darstellung