

Masterarbeit

**„Bewertung einer Möglichkeit der praktischen Umsetzung
des EU Pflanzenschutz-Reduktionszieles und der dabei
auftretenden Schwierigkeiten.“**

Vorgelegt von: Raatz, Linart

Matrikel:

Geboren am:

Studiengang: Food- and Agribusiness (M. Sc.)

1. Gutachter: Prof. Dr. Annette Deubel

2. Gutachter: Dipl.-Ing. (FH) Christian Wolff

Bernburg (Saale), den 24.08.2023

Verwendung und Verarbeitung nur mit schriftlicher Zustimmung des Autors.

I Inhaltsverzeichnis

I Inhaltsverzeichnis.....	III
II Tabellenverzeichnis.....	VI
III Abbildungsverzeichnis.....	VI
IV Abkürzungsverzeichnis	VIII
1. Einleitung.....	1
2. Zielstellung.....	3
3. Literatur.....	4
3.1 Bedeutung des Pflanzenschutz für die Produktion	4
3.2 EU-Richtlinien und Verordnungen.....	6
3.2.1 VO (EG) 1107/2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln.....	6
3.2.2 RL 2009/128/EG über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden.....	6
3.2.3 DVO (EU) 540/2011 zur Erstellung einer Liste zugelassener Wirkstoffe nach VO (EG) 1107/2009.....	6
3.2.4 DVO (EU) 2015/408 zur Erstellung einer Liste mit Substitutionskandidaten.....	7
3.3 Die Farm-to-Fork-Strategie und ihr Reduktionsziel	7
3.4 Ackerland nach Fruchtarten (Destatis).....	9
4. Methodik	9
4.1 Datengrundlage	9
4.1.1 PAPA-Erhebungen des JKI	9
4.1.2 Dauerversuche der Hochschule Anhalt	9
4.2 Darstellung der einzelnen Größen	10
4.2.1 Harmonisierter Risikoindikator.....	10
4.2.2 Wirkstoffmenge 1	10
4.2.3 Wirkstoffmenge 2	11
4.2.4 Behandlungsindex.....	11
4.2.5 Kosten.....	11
4.2.6 Resistenzindikatoren	11
4.3 Analyse der PAPA Daten.....	15
4.3.1 Berechnung der Wirkstoffmenge 1 und 2	15
4.3.2 Ableitung des HR Faktors.....	16
4.3.3 Berechnung des HR-Produkts.....	16

4.3.4 Berechnung des kulturartspezifischen Reduktionszieles	16
4.4 Auswertung der Behandlungen der HSA an einem Beispiel.....	16
4.5 Entwurf neuer Behandlungen.....	19
4.5.1 Reduktionszielkonforme Behandlung	19
4.5.2 Behandlung zur nachhaltigen Nutzung der vorhandenen Wirkstoffe.....	19
4.6 Behandlungen für Kleinkulturen	20
4.7 Verrechnung der Werte.....	20
4.7.1 Berechnung des Reduktionszieles des Durchschnittshektars	20
4.7.2 Hochrechnung der Groß- und Kleinkulturen auf ein Hektar	20
4.7.3 Berechnung der Kennzahlen für die Restkulturen	21
5. Auswertung und Ergebnisse.....	21
5.1 Vergleich der einzelnen Kennzahlen der unterschiedlichen Behandlungen	21
5.1.1 Wirkstoffmenge 1	22
5.1.2 Wirkstoffmenge 2	23
5.1.3 HR-Produkt je Hektar	25
5.1.4 Behandlungsindex.....	26
5.1.5 Kosten.....	27
5.1.6 Resistenzindikatoren	29
5.2 Auswertung der Kennzahlen für die Rest- und Kleinkulturen	31
6. Alternative Ansätze	33
6.1 Ausweichen auf Wirkstoffe mit geringem Risiko und Grundstoffe	33
6.2 Bandspritzung und Spot-Spraying.....	33
6.3 Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz	34
6.4 Ausweitung des Ökolandbaus.....	34
6.5 Einhaltung von Schadschwellen	35
6.6 Erweiterung von Fruchtfolgen	35
7. Diskussion.....	36
7.1 Datengrundlage	36
7.2 Behandlungsfolgen	37
7.2.1 Behandlungsfolge der Hochschule Anhalt	38
7.2.2 Behandlungsfolge unter Beachtung des Reduktionszieles	39
7.2.3 Behandlungsfolge „Optimal-Variante“	40
7.3 Methodik.....	41
7.4 Erreichbarkeit des Reduktionszieles	42

7.4.1 Wirkstoffmenge 1	42
7.4.2 Wirkstoffmenge 2	43
7.4.3 HR-Produkt	45
7.4.4 Behandlungsindex.....	46
7.4.5 Kosten	47
7.4.6 Resistenzindikatoren	49
7.4.7 Kennzahlen der Kleinkulturen.....	49
7.5 Alternative Ansätze	51
7.5.1 Ausweichen auf Wirkstoffe mit geringem Risiko und Grundstoffe	51
7.5.2 Bandspritzung und Spot-Spraying	51
7.5.3 Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz	52
7.5.4 Ausweitung des Ökolandbau	53
7.5.5 Einhaltung von Schadschwellen	53
7.5.6 Erweiterung von Fruchtfolgen.....	54
7.6 Veränderung des Reduktionszieles durch Änderung der Einstufung.....	55
8. Zusammenfassung und Ausblick.....	56
Rechtsquellenverzeichnis.....	57
Quellenverzeichnis.....	58
Selbstständigkeitserklärung.....	71
Anhang.....	72

II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirtschaftliche Mehrerträge durch chemischen Pflanzenschutz (Goltermann, 2019)	4
Tabelle 2: kostenbereinigte Erlöse im LfL-Dauerversuch 2011-2019.....	5
Tabelle 3: Substitutionskandidaten nach DVO (EU) 2015/408 ab dem 07.10.2020	8
Tabelle 4: Wirkstoffe in Teil E des Anhangs der DVO (EU) 540/2011 ab 01.11.2019	8
Tabelle 5: Gruppen und Faktoren zum harmonisierten Risikoindikator	10
Tabelle 6: Einteilung der WSSA Gruppen in RIH-Gruppen	12
Tabelle 7: Regeln zur Berechnung des RIH	13
Tabelle 8: Bewertungsmatrix des RIH	13
Tabelle 9: Einteilung der FRAC-Gruppen in RIF-Gruppen	14
Tabelle 10: Regeln zur Berechnung des RIF	14
Tabelle 11: Bewertungsmatrix des RIF	14
Tabelle 12: Absolute Flächen und Flächenanteile der Kulturen	21
Tabelle 13: RIH der Kulturen und Strategien von bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategie	29
Tabelle 14: RIF von Winterweizen und Wintergerste sowie das gewichtete Mittel in von bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategie	30
Tabelle 15: Bewertung der Resistenzgefahr unabhängig von der Aufwandmenge	30
Tabelle 16: Kennzahlen für Kleinkulturen	32
Tabelle 17: Nötige Flächenstilllegung 2020 zur Zielerfüllung	34
Tabelle 18: Flächenanteil des Ökolandbaus bei Zieleinhaltung	35
Tabelle 19: Beispiele PAPA-Daten	37
Tabelle 20: Änderung der Reduktionsziele bei rückwirkender Umgruppierung	56

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auswertung der HSA Behandlungen am Beispiel Winterweizen 2011 ..	18
Abbildung 2: Absolute Zusammensetzung der Wirkstoffmenge 1 nach Wirkungsbereich in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	22
Abbildung 3: Relative Zusammensetzung der Wirkstoffmenge 1 nach Wirkungsbereich in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	22
Abbildung 4: Anteil der Kulturen an der Wirkstoffmasse 1 in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche	23
Abbildung 5: Absolute Zusammensetzung der Wirkstoffmenge 2 in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	23
Abbildung 6: Relative Zusammensetzung der Wirkstoffmenge 2 in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	24
Abbildung 7: Anteile der Kulturen an der Wirkstoffmasse 2 in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche	24

Abbildung 8: Absolute Zusammensetzung des HR-Produkts in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	25
Abbildung 9: Relative Zusammensetzung des HR-Produkts in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	25
Abbildung 10: Anteil der Kulturen am HR-Produkt in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche	26
Abbildung 11: Absolute Zusammensetzung des BI in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	26
Abbildung 12: Relative Zusammensetzung des BI in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	27
Abbildung 13: Anteile der Kulturen am BI in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche	27
Abbildung 14: Absolute Zusammensetzung der Kosten in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	28
Abbildung 15:Relative Zusammensetzung der Kosten in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien.....	28
Abbildung 16: Anteile der Kulturen an den Kosten in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche	29

IV Abkürzungsverzeichnis

AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahme
AWM	Aufwandmenge
AWMmax	In dieser Indikation Maximal zugelassene Aufwandmenge
BI	Behandlungsindex
FRAC	Fungizid Resistance Action Committee
g/ha	Gramm pro Hektar
g/kg	Gramm pro Kilogramm
g/l	Gramm pro Liter
HR	Harmonisierter Risikoindikator
HRAC	Herbizid Resistance Action Committee
IRAC	Insektizid Resistance Action Committee
JKI	Julius Kühn Institut
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
l/ha	Liter pro Hektar
PAPA	Panel Pflanzenschutzanwendungen
PSM	Pflanzenschutzmittel
RIF	Resistenzindikator Fungizid
RIH	Resistenzindikator Herbizid
vgl.	vergleiche
WG	Wintergerste
WW	Winterweizen
z. B.	zum Beispiel
ZR	Zuckerrübe

1. Einleitung

Seitdem der Mensch sesshaft wurde und seinen Bedarf an Nahrungs- und Futtermittel über den gezielten Anbau von Pflanzen deckt, wird das Ernteergebnis von vielerlei Faktoren beeinflusst. Neben den Standortgegebenheiten und der Nährstoffversorgung spielen vor allem die biotischen Schadfaktoren eine große Rolle:

Unkräuter und Ungräser konkurrieren mit der Kulturpflanze um Standraum, Licht, Wasser und Nährstoffe. Daneben können manche Unkräuter das Erntegut mit Giftstoffen belasten (ZECHMANN und KAPP, 2016).

Eine Vielzahl pilzlicher Schaderreger besiedeln die Kulturpflanze und hindern sie dadurch ihr volles Ertragspotential zu nutzen. Neben dem Ertragsschaden können einige Pilze das Erntegut mit gefährlichen Stoffwechselprodukten belasten oder auch die Lagerfähigkeit herabsetzen (ISIP, 2022 und LfL, 2022).

Tierische Schädlinge fressen und saugen an der Kulturpflanze. Sie vernichten damit teilweise die ganze (Jung-) Pflanze, in vielen Fällen aber Blattfläche, übertragen Krankheiten und können das Erntegut schädigen (ISIP, 2022).

Seit der Einführung der Bordeaux-Brühe 1885 von Millardet zum Schutz des Weins vor echtem und falschem Mehltau wurden immer mehr Wirkstoffe erfunden und eingesetzt um die Kulturpflanzen vor den oben genannten Gefahren zu schützen, um Ertrag und Qualität zu sichern. Vor rund 80 Jahren setzte im darauf spezialisierten Zweig der chemischen Industrie eine rasante Entwicklung ein. Es kam eine breite Palette synthetischer Verbindungen auf den Markt, welche schnell erweitert wurde. Zusätzlich wurde mit den Wachstumsreglern eine Produktgruppe eingeführt, welche keinen direkten Schadorganismus bekämpft, sondern durch die Beeinflussung des Hormonsystems der Pflanze für eine bessere Ernte sorgt.

In der Anfangszeit lag der Fokus der Entwicklung vor allem auf der Wirkung der Pflanzenschutzmittel. Dem Schutz von Anwender, Verbraucher und Umwelt wurde nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt, vielfach waren die Gefahren der Wirkstoffe nicht bekannt. Ab 1968 forderte das Pflanzenschutzgesetz eine Überprüfung der Auswirkung auf die Gesundheit des Menschen. Diese Prüfungen und deren Kriterien wurden im Laufe der Zeit immer weiterentwickelt und verschärft, sodass nach und nach viele Wirkstoffe ihre Zulassung verloren, da objektive wissenschaftliche Erkenntnisse gegen die weitere Verwendung sprachen. So stellte man z.B. bei Isoproturon eine karzinogene und reproduktionsschädigende Wirkung fest, ebenso wurde das Risiko von Einträgen in das Grundwasser als zu hoch erachtet (DVO (EU) 2016/872). Bei Triasulfuron reichten die eingereichten Unterlagen nicht aus, um toxikologische Referenzwerte festsetzen zu können, wodurch keine Risikobeurteilung für Verbraucher und Umwelt möglich war. Zudem stand auch hier die Möglichkeit

einer Grundwasserbelastung unter bestimmten geoklimatischen Situationen im Raum (DVO (EU) 2016/864).

Seit etwa 20 Jahren regt sich Widerstand gegen den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Vielfach wird die Schutzwirkung der Prüfverfahren im Rahmen der Zulassung und die Wirkung der Anwendungsaufgaben angezweifelt. Ebenso werden die Gefahren, die sich aus der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln für Verbraucher und Umwelt ergeben, besonders betont. Diese Zweifel und die daraus resultierende Forderung nach einer stärkeren Begrenzung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln fand auf der Ebene der Europäischen Union (EU) Gehör und hielt im Rahmen des Green-Deal Einzug in die Farm-to-Fork-Strategie: „Bis 2030 soll der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln um 50 % gesenkt werden“.

2. Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Weg aufzuzeigen, mit dem das Reduktionsziel erreicht werden könnte und die Bewertung der dabei möglicherweise entstehenden Probleme.

Dazu werden die Regularien rund um das Reduktionsziel sowie die Datengrundlage vorgestellt. Im Folgenden wird die Pflanzenschutzstrategie aus Dauerversuchen der Hochschule Anhalt (HSA-Variante) analysiert und auf das Reduktionsziel hin optimiert (Reduktions-Variante). Ziel ist eine vergleichbare biologische Wirkung bei gleichzeitiger Einhaltung des 50 % Zieles nach dem Green-Deal, also die Reduktion der Wirkstoffmenge und das von ihr ausgehende Risiko sowie die Menge an gefährlichen Wirkstoffen. Zum Vergleich wird eine dritte Strategie erstellt, welche zum Ziel hat, die möglichen Probleme der Zweiten, allen voran die Resistenzgefahr, zu minimieren um die Wirkstoffe auch noch in Zukunft sinnvoll nutzen zu können (Optimal-Variante).

Abschließend sollen allgemein alternative Ansätze zum Erreichen des Reduktionszieles erwähnt und eine Handlungsempfehlung formuliert werden.

3. Literatur

3.1 Bedeutung des Pflanzenschutz für die Produktion

Ziel der Pflanzenproduktion ist es, stabile Erträge mit den von der abnehmenden Hand geforderten Qualitäten zu erzielen. Große Ertragsschwankungen und Einbrüche der Qualitätsparameter lassen sich durch den gezielten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln deutlich vermindern.

Als Produktionsmittel richtet sich der Einsatz von Pflanzenschutzmittel im Rahmen ihrer Indikationszulassung danach, ob mit dem Einsatz ein wirtschaftlicher Mehrertrag erzielt werden kann. Die Folgen einer Nicht-Behandlung müssen teurer sein als die Kosten für das Pflanzenschutzmittel selbst und seine Ausbringung. Die Kosten der Nicht-Behandlung sind zum Beispiel mengenmäßige Ertragseinbußen oder Abschläge auf den Verkaufspreis durch nicht Erreichen der Qualitätsvorgaben.

Ertragsverluste und Pflanzenschutzkosten sind von Betrieb zu Betrieb und selbst innerbetrieblich schwankend. Zur besseren wirtschaftlichen Betrachtung wurden vom Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei des Landes Mecklenburg-Vorpommern mehrjährige Exaktversuche durchgeführt, die Ergebnisse dieser sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Wirtschaftliche Mehrerträge durch chemischen Pflanzenschutz (Goltermann, 2019)

Kultur	wirtschaftlicher Mehrertrag durch Einsatz von				Summe
	Insektizid	Fungizid	Wachstumsregler	Herbizid	
Wintergerste	2 €/ha	303 €/ha	-107 €/ha	70 €/ha	268 €/ha
Winterweizen	-14 €/ha	14 €/ha	-46 €/ha	335 €/ha	289 €/ha
Winterraps	111 €/ha	-109 €/ha		27 €/ha	29 €/ha

Mit dem Ziel, die wirtschaftlichen Auswirkungen der Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes zu untersuchen, legte auch die Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern einen Langzeitversuch an. In diesem Versuch wurde der Pflanzenschutzmitteleinsatz in drei Stufen gesenkt: Neben einer Aufwendung nach guter fachlicher Praxis wurden die Aufwandmengen um 25 %, 50 % und 100 % (unbehandelte Kontrolle) gekürzt. In der im Schnitt um 25 % gekürzten Variante wurde die Reduktion durch höhere Schadschwellen, eine situationsbezogene Dosierung, aber nicht durch eine Kürzung pauschal jeder Behandlung erreicht. Die 50 % Variante entstand durch eine Halbierung der Aufwandmenge der guten fachlichen Praxis. Die Versuche wurden in den Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Mais in den Jahren 2006 bis 2019 durchgeführt. Als weiterer Faktor wurde in diesem Versuch die Intensität der Bodenbearbeitung behandelt, da es neben einer gepflügten Variante auch eine Variante mit nicht-wendender Grundbodenbearbeitung gab. Als Bewertungsmaßstab wurde der kostenbereinigte Erlös gewählt, um die geringeren Kosten durch Einsparung von PSM und Überfahrten bei den Reduktionsvarianten aber auch z. B. Dieserverbrauch und Maschinenstunden der

gegrubberten Variante gegenüber der Pflug-Variante einbeziehen zu können. In Tabelle 2 sind die kostenbereinigten Erlöse im Mittel der Jahre 2011 bis 2019 für die nicht-wendende Variante des LfL-Langzeitversuches dargestellt.

Tabelle 2: kostenbereinigte Erlöse im LfL-Dauerversuch 2011-2019

Pflanzenschutz	Wintergerste	Winterweizen	Mais	Mittelwert
0%	323 €/ha	649 €/ha	808 €/ha	593 €/ha
50%	867 €/ha	1351 €/ha	1135 €/ha	1118 €/ha
75%	922 €/ha	1380 €/ha	1079 €/ha	1127 €/ha
100%	939 €/ha	1408 €/ha	1136 €/ha	1161 €/ha
Fehlender Erlös durch 50 % Reduktion	73 €/ha	57 €/ha	1 €/ha	43 €/ha

Die im Vergleich zur Praxis sehr niedrig ausfallenden Verluste begründen sich in einer schwachen und zudem einfach zu bekämpfenden, dikotylen Mischverunkrautung (Zentralbericht LfL, 2011-2019). Der Versuchsansteller bestätigte zudem, dass die im Mittel 11 % schlechtere Unkrautwirkung in einer 22 % schlechteren Ertragsabsicherung mündete. Die dadurch schlechtere Marktleistung wurde teilweise durch die geringeren PSM-Kosten kompensiert. Beim Mais wies der Versuchsansteller darauf hin, dass dieser bei guter Wasserversorgung die Beeinträchtigung durch die Restverunkrautung gut kompensieren konnte. Der Versuch wurde auch über das Jahr 2019 hinweg fortgeführt. Im Laufe der Fortführung wurde die Etablierung von schwer bekämpfbaren Unkräutern und Ungräsern beobachtet, welche sich aktuell immer stärker durch Ertragseinbußen bemerkbar machen. Der Versuchsansteller erwartet deshalb, dass die wirtschaftlichen Ergebnisse der einzelnen Varianten in Zukunft stärker auseinandergehen. Auch merkt der Versuchsansteller an, dass die Reduktion der Aufwandmengen gegenläufig zur guten fachlichen Praxis ist, da sie im Konflikt zum Resistenzmanagement steht (K. Gehring, persönliche Kommunikation, 19.07.2023). Der Anwender ist bei der Anwendung von PSM an die gute fachliche Praxis nach § 3 Pflanzenschutzgesetz gebunden. Die gute fachliche Praxis fordert die Einhaltung der Regeln des integrierten Pflanzenschutzes, dessen allgemeine Grundsätze in Anhang III RL 2009/128/EG festgehalten sind. In Nummer 5 dieser Grundsätze ist die Pflicht zum Resistenzmanagement beschrieben: „Wenn ein Risiko der Resistenz gegen Pflanzenschutzmaßnahmen bekannt ist und der Umfang des Befalls mit Schadorganismen wiederholte Pestizidanwendungen auf die Pflanzen erforderlich macht, sind verfügbare Resistenzvermeidungsstrategien anzuwenden, um die Wirksamkeit der Produkte zu erhalten. Dazu kann die Verwendung verschiedener Pestizide mit unterschiedlichen Wirkungsweisen gehören.“ Eine derart starke Reduktion der Aufwandmengen stellt damit einen klaren Verstoß gegen die gute fachliche Praxis dar.

3.2 EU-Richtlinien und Verordnungen

Der Green Deal und die Farm-to-Fork-Strategie sind Vorhaben der EU. Ebenso gibt die EU bei der Zulassung von Pflanzenschutzmittel in Europa einen engen Rahmen vor, in dem sich die Mitgliedsstaaten bewegen können. Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten Verordnungen (VO), Durchführungsverordnungen (DVO) sowie Richtlinien (RL) kurz vorgestellt.

3.2.1 VO (EG) 1107/2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln

Artikel 1 der Verordnung regelt die Zulassung und das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. Ferner enthält sie die Regularien zur Kontrolle und Bestimmungen zur Zulassung von Wirkstoffen, Synergisten und Safenern. Auf der einen Seite hat die Verordnung zum Ziel die landwirtschaftliche Produktion zu verbessern, während sie auf der anderen Seite zur Sicherstellung des Gesundheitsschutzes von Mensch, Tier und Umwelt dient.

3.2.2 RL 2009/128/EG über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden

Diese Richtlinie hat zum Ziel, das Risiko und die Auswirkungen, die mit der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln verbunden sind, zu verringern. Zugleich soll sie den integrierten Pflanzenschutz und nicht-chemische Alternativen fördern.

Für diese Arbeit ist besonders Artikel 15 in Verbindung mit Anhang IV relevant: In diesem Teil der Richtlinie ist der Harmonisierte Risikoindikator (HR) ausgeführt.

3.2.3 DVO (EU) 540/2011 zur Erstellung einer Liste zugelassener Wirkstoffe nach VO (EG) 1107/2009

Diese Durchführungsverordnung listet alle in der EU zugelassenen Wirkstoffe und ihre zugelassene Verwendung sowie Spezifikationen auf. Der Anhang gliedert die Liste in fünf Teile:

Teil A: Alle nach VO (EG) 1107/2009 als genehmigt geltenden Wirkstoffe

Teil B: Alle nach VO (EG) 1107/2009 genehmigten Wirkstoffe

Teil C: Alle nach VO (EG) 1107/2009 genehmigten Grundstoffe

Teil D: Alle nach VO (EG) 1107/2009 genehmigten Wirkstoffe mit geringerem Risiko

Teil E: Alle nach VO (EG) 1107/2009 genehmigten Substitutionskandidaten

Diese Einteilung ist die Grundlage zur Berechnung des HR und der Wirkstoffmassen und damit Grundlage der Formulierung des Reduktionsziels.

3.2.4 DVO (EU) 2015/408 zur Erstellung einer Liste mit Substitutionskandidaten

Diese Durchführungsverordnung (DVO) listet die nach VO (EG) 1107/2009 als Substitutionskandidaten genehmigten Wirkstoffe auf. Zusammen mit den Wirkstoffen aus Teil E des Anhangs der DVO (EU) 540/2011 bilden sie die Gruppe der besonders gefährlichen Wirkstoffe.

3.3 Die Farm-to-Fork-Strategie und ihr Reduktionsziel

Am 11. Dezember 2019 informierte die EU-Kommission über den sogenannten Green Deal: Der Green Deal soll die Europäische Union strategisch neu ausrichten und für „eine neue Wachstumsstrategie, mit der die EU zu einer fairen und wohlhabenden Gesellschaft mit einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft werden soll, in der im Jahr 2050 keine Netto-Treibhausgasemissionen mehr freigesetzt werden und das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung abgekoppelt ist“ (EU-Kommission, 2019) sorgen. Zusätzlich soll das Naturkapital geschützt werden, der Ausstoß von Treibhausgasen bis hin zur Klimaneutralität drastisch gesenkt und die Belastung der Bevölkerung vermindert werden.

Für die landwirtschaftliche Produktion wurde im Rahmen des Green Deals die Farm-to-Fork-Strategie ausgearbeitet. Sie beschreibt die beabsichtigte Wandlung in der Produktion mit Zielvorgaben. So soll zum Beispiel die ausgebrachte Menge an Stickstoff und Phosphor als Düngemittel bis 2030 um 20 % gesenkt werden. Der Anteil an Fläche, die nach Vorgaben der EG-Öko-Verordnung bewirtschaftet wird, soll bis 2030 auf 25 % ansteigen.

Im Bereich des Pflanzenschutzes gibt die Farm-to-Fork-Strategie unter anderem folgendes vor: Bis zum Jahr 2030 soll die verwendete Wirkstoffmasse und das von ihr ausgehende Risiko um 50 % gesenkt werden. Ebenso soll die Masse an „besonders kritischen“ Wirkstoffen um 50 % gesenkt werden. Als Bezugsgröße für die Umsetzung auf nationaler Ebene soll der Absatz in den Jahren 2011 bis 2013 und 2015 bis 2017 herangezogen werden (EU-Kommission, 2023). Die Festlegung, welche Wirkstoffe als besonders gefährlich gelten, regelt die Farm-to-Fork-Strategie mit Hilfe der Verordnung DVO (EU) 2015/408. Alle hier als sogenannte Substitutionskandidaten gelisteten Wirkstoffe (vgl. Tabelle 3) gelten ebenso wie die in Teil E des Anhangs der Verordnung DVO (EU) 540/2011 aufgezählten Wirkstoffe (vgl. Tabelle 4) als besonders gefährlich. Dieselbe Gruppe an Wirkstoffen erhält man nach der Einteilung der Tabelle 1 des Anhangs IV der RL 2009/128/EG, dort als Gruppe 3 bezeichnet.

Tabelle 3: Substitutionskandidaten nach DVO (EU) 2015/408 ab dem 07.10.2020

8-Hydroxychinolin	Dimoxystrobin	Fluquinconazol	Metam	Propiconazol
Aclonifen	Diquat	Flurochloridion	Metconazol	Propoxycarbazon
Amitrol	Emamectin	Gamma-Cyhalotrin	Methomyl	Prosulfuron
Bifenthrin	Epoxiconazol	Glufosinat	Metribuzin	Quinoxyfen
Bromadiolon	Esfenvalerat	Halosulfuron-methyl	Metsulfuron-Methyl	Quizalafop-P-tefuryl
Bromuconazol	Ethoprophos	Haloxypop-P	Molinat	Sulcotrion
Carbendiazim	Etofenprox	Imazamox	Myclobutanil	Tebuconazol
Carbetamid	Etoxazol	Imzasulfuron	Nicosulfuron	Tebufenpyrad
Chlortoluron	Famoxadon	Ipconazol	Oxadiargyl	Tembotrion
Kupferverbindungen	Fenamiphos	Isoproturon	Oxadiazon	Tepraloxydim
Cyproconazol	Fenbutatinoxid	Isopyrazam	Oxamyl	Thiaclopid
Cyprodinil	Fipronil	Lambda-Cyhalothrin	Oxyfluorfen	Tri-allat
Diclofop	Fludioxonil	Lenacil	Paclobutrazol	Triasulfuron
Difenaconum	Flufenacet	Linuron	Pendimethalin	Triazoxid
Difenoconazol	Flumioxazin	Lufenuron	Pirimicarb	Warfarin
Diflufenican	Fluometuron	Mecoprop	Prochloraz	Ziram
Dimethoat	Fluopicolid	Metalaxyl	Profoxydim	

In Tabelle 4 sind die nach Ansicht der EU besonders risikobehafteten Wirkstoffe aufgelistet, die sich im Anhang E der DVO (EU) 540/2011 befinden. Teilweise wurden Wirkstoffe wie z.B. Pendimethalin und Imazamox aus der Auflistung der Substitutionskandidaten gestrichen, im Gegenzug aber als besonders risikobehafteter Wirkstoff gelistet.

Tabelle 4: Wirkstoffe in Teil E des Anhangs der DVO (EU) 540/2011 ab 01.11.2019

Alpha-Cypermethrin	Lambda-Cyhalothrin
Benzovindiflupyr	Methoxyfenozid
Esfenvalerat	Metsulfuron-methyl
Etoxazol	Pendimethalin
Flumetralin	Propyzamid
Imazamox	Prosulfuron
Kupferverbindungen	

3.4 Ackerland nach Fruchtarten (Destatis)

Das Statistische Bundesamt wertet jedes Jahr einen Datensatz zum Anbauumfang der Kulturen von 80.000 Betrieben aus und rechnet diese Daten auf die gesamte Ackerfläche Deutschlands hoch. Kulturen mit nur sehr kleinem Umfang werden zu Gruppen zusammengefasst. Die Tabelle des Statistischen Bundesamtes hat von 2010 bis 2016 einen größeren zeitlichen Sprung. Dieser wurde durch Interpolation geschlossen.

4. Methodik

4.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage dieser Arbeit dienten einerseits die Panel Pflanzenschutz Anwendung-Daten (PAPA-Daten) des Julius-Kühn-Institut (JKI) aus den Jahren 2011 bis 2020 sowie Daten aus Dauerversuchen der Hochschule Anhalt, die im Folgenden näher erläutert werden. Alle Berechnungen finden sich in einem Excel-Anhang dieser Arbeit mit 27 Tabellenblättern, welche mit einer zweistelligen Buchstaben-Zahlen-Kombination eindeutig benannt sind.

4.1.1 PAPA-Erhebungen des JKI

Das JKI erhebt seit 2011 im Rahmen seiner Aufgaben nach § 21 Pflanzenschutzgesetz nach den Richtlinien und Verordnungen des EU-Pflanzenschutzpaketes (RL 2009/128/EG, VO (EG) 1107/2009 und VO (EG) 1185/2009) in einem kulturspezifischen Netz von Erhebungsbetrieben die Anwendungsdaten von Pflanzenschutzmitteln und wertet diese aus. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die PAPA-Daten der Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Zuckerrüben und Mais aus den Jahren 2011 bis 2020 verwendet.

4.1.2 Dauerversuche der Hochschule Anhalt

Als Grundlage für Handlungsfolgen aus der Praxis dienen zwei Dauerversuche der Hochschule Anhalt (HSA). Im Rahmen dieser wurde die Dokumentation der Anwendung der Pflanzenschutzmittel über die gesamte Versuchsdauer archiviert und stehen damit für einen deutlich längeren Zeitraum zur Verfügung als Anwendungsdaten aus Praxisbetrieben, deren Aufbewahrungspflicht nach drei Jahren abläuft.

Der Dauerversuch auf dem Versuchsfeld „Westerfeld“ der HSA ist ein seit Anfang der 1990er Jahre laufendes Langzeitproduktionsexperiment zur Auswirkung verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten und Produktionsintensitäten. Aus den Kulturen der dortigen Fruchtfolge Winterraps - Winterweizen II - Körnermais - Winterweizen I - Wintergerste wurden die Daten zu den Pflanzenschutz-Anwendungen aus der Intensivvariante der Kulturen Winterraps, Winterweizen, Wintergerste und Mais gewonnen. Bei der Kultur Winterweizen wurde der Winterweizen II herangezogen, da dieser im Vergleich zum Winterweizen I intensiver geführt wurde.

Der Dauerversuch Kali ist ein Langzeitproduktionsexperiment der HSA in Zusammenarbeit mit der K+S AG, in dem die Auswirkung abgestufter Kali-Düngung auf Ertrag und Qualität verschiedener Kulturen und die Auswirkung auf den Boden erforscht wird. Aus der dortigen Fruchtfolge Winterweizen - Wintergerste - Zuckerrüben - Sommergerste - Silomais wurden die Daten zu den Pflanzenschutzanwendungen in Zuckerrüben gewonnen.

4.2 Darstellung der einzelnen Größen

4.2.1 Harmonisierter Risikoindikator

Um das Risiko der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe zu bewerten wurde seitens der EU der Harmonisierte Risiko Indikator (HR) entworfen. Nach Abschnitt 2 des Anhang IV der RL 2009/128/EG gliedert er die Wirkstoffe in vier Gruppen und weist jeder Gruppe einen Faktor zu, mit dem die Menge des Wirkstoffes zu multiplizieren ist (Tabelle 5). Die Summe der Produkte wird, nach obiger Richtlinie, dann auf das Ergebnis der Rechnung des Zeitraumes 2011 bis 2013 bezogen.

Tabelle 5: Gruppen und Faktoren zum harmonisierten Risikoindikator

	Gruppe			
	1	2	3	4
Inhalt	Wirkstoffe mit geringem Risiko, die gemäß Artikel 22 der Verordnung (EG) Nr. 1107/ 2009 genehmigt sind oder als genehmigt gelten und die in Teil D des Anhangs der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 aufgeführt sind	Wirkstoffe, die gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 genehmigt sind oder als genehmigt gelten, nicht in andere Kategorien fallen und die in den Teilen A und B des Anhangs der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 aufgeführt sind	Wirkstoffe, die gemäß Artikel 24 der Verordnung (EG) Nr. 1107/ 2009 genehmigt sind oder als genehmigt gelten, Substitutionskandidaten sind und in Teil E des Anhangs der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 aufgeführt sind	Wirkstoffe, die nicht gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1107/ 2009 genehmigt sind und deshalb nicht im Anhang der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/ 2011 aufgeführt sind
Faktor	1	8	16	64

Da im Dauerversuch weder Wirkstoffe der Gruppe 1 oder Gruppe 4 nach Tabelle 5 zur Anwendung kamen, wurde auf deren Auflistung verzichtet.

4.2.2 Wirkstoffmenge 1

Die Wirkstoffmenge 1 umfasst die Masse aller ausgebrachten Wirkstoffe. Sie kann nach Bedarf als absolute Größe in Kilogramm oder als relative Größe in Kilogramm bzw. Gramm pro Hektar angegeben werden.

4.2.3 Wirkstoffmenge 2

Die Wirkstoffmenge 2 umfasst die Masse aller ausgebrachten Wirkstoffe, welche in Kategorie 3 der Tabelle 1 des Anhangs IV der RL 2009/128/EG fallen ("besonders gefährliche Wirkstoffe"). Sie kann nach Bedarf als absolute Größe in Kilogramm oder als relative Größe in Kilogramm bzw. Gramm pro Hektar angegeben werden.

4.2.4 Behandlungsindex

Seit dem Jahr 2000 werden in Deutschland regelmäßig Daten zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln erhoben und ausgewertet. Ab 2011 wird diese Erhebung und Auswertung und dem Kürzel PAPA durchgeführt und ist Teil des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz (NAP).

Im Rahmen des PAPA wird neben verschiedenen anderen Indikatoren der Behandlungsindex (BI) angegeben. Für den BI wird der Anteil der behandelten Fläche an der Gesamtfläche und die Aufwandmenge im Verhältnis zur maximalen Aufwandmenge der Indikation verrechnet:

$$BI = \frac{\text{Behandelte Fläche}}{\text{Gesamtfläche}} * \frac{\text{tatsächliche Aufwandmenge}}{\text{max. Aufwandmenge}}$$

Der BI kann für jede Gruppe (Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler) einzeln errechnet werden. Für den BI der Kultur werden die Werte der Gruppen addiert. Der BI gibt die Intensität der Pflanzenschutzbehandlung an.

4.2.5 Kosten

Die Kosten für die Pflanzenschutzmittel wurden aus der für das jeweilige Jahr geltende Broschüre „Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland“ (ISIP 2012 bis 2020) entnommen und an die jeweilige Aufwandmenge angepasst. Kosten für die Ausbringung sind nicht enthalten. Die Preise für das Jahr 2011 wurden aus der Ausgabe von 2012 entnommen, da die Ausgabe von 2011 noch keine Angaben zu den Kosten machte.

4.2.6 Resistenzindikatoren

Die Wirkstoffe der Pflanzenschutzmittel ermöglichen den Schaderreger abzutöten und ihn damit unschädlich zu machen. Je nach Wirkstoff wird dabei der Schaderreger an ganz unterschiedlichen Stellen gestört. Wirkstoffe die an der gleichen Stelle bzw. auf dieselbe Art und Weise stören, wurden zu Wirkstoffgruppen zusammengefasst. Diese Gruppierung wurde für jede PSM-Gruppe von dem jeweiligen Resistance Action Committee (RAC) vorgenommen. Die Gruppen erhalten einheitliche Numerische Codes. Je nach Wirkweise sind die Gruppen unterschiedlich stark von einer Resistenzbildung betroffen. Durch zufällige Mutation kann ein Schadorganismus der Wirkung des PSM ausweichen und sich vermehren. Eine häufige Anwendung der gleichen Gruppe erhöht das Risiko der Bildung einer resistenten Population, da der Selektionsdruck steigt. Ebenso ist das Risiko höher je

spezifischer ein Wirkstoff in den Stoffwechsel des Schadorganismus eingreift und je leichter dieser Eingriff vom Schadorganismus abgemildert werden kann. So ergibt sich für jede Gruppe eine unterschiedliche Resistenzgefahr und daraus abgeleitet allgemeine Hinweise zum sog. Resistenzmanagement. Bisher wurde die Resistenzgefahr eher allgemein und wenig genau beziffert. Ebenso waren die Hinweise und ihre Auswirkung nicht in Zahlenwerten ausdrückbar. Da bei der Umsetzung des Reduktionszieles die Bildung bzw. weitere Förderung von Resistenzen eine entscheidende Rolle spielt, wurden für Herbizide und Fungizide je ein rechnerisches Bewertungssystem entworfen (Vgl. Tabellenblatt B1).

Der Resistenzindikator (RI) gibt die Gefahr der Resistenzbildung bei einem Modellorganismus im Rahmen einer Spritzfolge an und berechnet sich allgemein wie folgt:

$$RI = \frac{\left(\left(\frac{AWM_{Mittel1}}{Max\ AWM_{Mittel1}} \right) * Faktor_{Mittel1} \right) + \left(\left(\frac{AWM_{Mittel2}}{Max\ AWM_{Mittel2}} \right) * Faktor_{Mittel2} \right)}{Mittelanzahl}$$

Der RI bezieht die RAC Klasse des Wirkstoffs, die Aufwandmenge des PSM und seine Mischungspartner bzw. ggf. Behandlungsfolgen und Tankmischungen ein. Der RI gibt bei voller Aufwandmenge des PSM Werte von 1 bis 6 aus.

Resistenzindikator-Herbizid

Ackerfuchsschwanz ist neben Windhalm das bedeutendste Schadgras im Ackerbau und bereitet schon in vielen Teilen Deutschlands erhebliche Probleme bei der Bekämpfung, da sich vielfach resistente Biotypen etablieren konnten (WARNECKE-BUSCH, 2018). Ab einem Wert von 3,15 ist die Gefahr der Resistenzbildung bei Ackerfuchsschwanz zu hoch und die Spritzfolge sollte abgelehnt werden.

Die Zuweisung der Faktoren zu den Mitteln erfolgt über die WSSA Klassen, welche nach (WARNECKE BUSCH et ali., 2018) in 5 Gruppen eingeteilt wurden. Je größer die Gefahr der Resistenzbildung ist, desto größer ist der Faktor (Tabelle 6).

Tabelle 6: Einteilung der WSSA Gruppen in RIH-Gruppen

Gruppe	1	2	3	4	5
Risiko	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
Faktor	6	5	3	2	1
WSSA	1; 2	5; 6	3;23;15	4;9	14;12;27;13;9;32

Um die Gefahr der Resistenzbildung besonders bei Tankmischungen und Spritzfolgen realitätsnah abbilden zu können, bedarf es Nebenbedingungen. Sie wurden in den Regeln 1 bis 8 (vgl. Tabellenblatt B1) formuliert (Tabelle 7).

Tabelle 7: Regeln zur Berechnung des RIH

Regel 1	Werden mind. zwei Mittel mit ausschließlich Wirkstoffen aus den Gruppen 2-5 und keiner aus der Gruppe 1 eingesetzt: Mittelanzahl +0,5
Regel 2	Werden mind. zwei Mittel mit ausschließlich Wirkstoffen aus den Gruppen 3-5 und keiner aus der Gruppe 1 & 2 eingesetzt: Mittelanzahl +1
Regel 3	Glyphosat wird ohne Einbezug der Aufwandmenge (AWM) als 2 eingerechnet, wenn mind. 900 g/ha Wirkstoff ausgebracht werden. Bleibt bei Regel 1 und 2 unberücksichtigt.
Regel 4	Prosulfocarb wird bei mind. 1600 g/ha Wirkstoff als Faktor 2 AWM unabhängig angerechnet, wenn gleichzeitig mind. 240 g/ha Flufenacet ausgebracht werden. Bleibt dann aber bei Regel 1 und 2 unberücksichtigt
Regel 5	Glyphosat als alleiniges, gräserwirksames Herbizid, führt zu keiner Einstufung
Regel 6	Propyzamid mind. 600 g/ha um Faktor 2 AWM-unabhängig anrechnen zu können, Mittelzahl +1
Regel 7	Werden in einem Jahr ausschließlich Wirkstoffe der Gruppe 1 (gezählt ohne Glyphosat) eingesetzt, Mittelzahl -0,25
Regel 8	Produkte mit 2 und mehr Wirkstoffen aus unterschiedlichen Gruppen: Faktoren der Einzelwirkstoffe addieren, Summe durch die Wirkstoffanzahl dividiert ergibt den Faktor des Produkts

Die errechneten Werte sind wie in Tabelle 8 dargestellt zu bewerten:

Tabelle 8: Bewertungsmatrix des RIH

RIH	Bewertung	Begründung
< 2,75	Sehr gut	Fast ausschließlicher Einsatz von Wirkstoffen mit geringem bis sehr geringem Risiko und Tankmischungen mit synergistischer Wirkung
2,75-3,15	gut	Überwiegender Einsatz von Wirkstoffen mit geringem bis mittlerem Risiko, nur geringe AWM Reduktion
3,16-4	schlecht	Zu häufiger Einsatz von Mittel mit mittlerem Risiko in Verbindung mit AWM Reduktion, Bildung von Resistenzen wahrscheinlich
> 4	inakzeptabel	starke AWM Reduktion und zu häufiger Einsatz von Mitteln mit höherem Risiko, Bildung von Resistenzen sehr wahrscheinlich
>5	Alarmstufe	überhöhter Einsatz von Wirkstoffen mit sehr hohem Risiko, mit vollständigem Wirkungsverlust innerhalb weniger Jahre ist zu rechnen.

Resistenzindikator Fungizid

Der Resistenzindikator-Fungizid (RIF) gibt die Gefahr der Resistenzbildung im Weizen für Septoria trit. und in Gerste für Ramularia im Rahmen einer Spritzfolge an. Die beiden Krankheiten sind neben Rosten die bedeutendsten Pilzkrankheiten im Getreideanbau und bereiten schon in vielen Teilen Deutschlands erhebliche Probleme bei der Bekämpfung, da sich vielfach resistente Biotypen etablieren konnten (Thate, 2019). Ab einem Wert von 3,3 ist die Gefahr der Resistenzbildung zu hoch und die Spritzfolge sollte abgelehnt werden.

Die Zuweisung der Faktoren zu den Mitteln erfolgt über die FRAC-Klassen, welche nach eigenem Ermessen in 3 Gruppen eingeteilt wurden. Je größer die Gefahr der Resistenzbildung ist, desto größer ist der Faktor (Tabelle 9).

Tabelle 9: Einteilung der FRAC-Gruppen in RIF-Gruppen

Gruppe	1	2	3
Risiko	sehr hoch	mittel	niedrig
Faktor	6	3	1
FRAC	7 11	3 5	99

Um die Gefahr der Resistenzbildung besonders bei Tankmischungen und Spritzfolgen realitätsnah abbilden zu können, bedarf es Nebenbedingungen. Sie wurden in den Regeln 1 bis 3 formuliert, diese sind in Tabelle 10 aufgelistet:

Tabelle 10: Regeln zur Berechnung des RIF

Regel 1	Produkte mit 2 und mehr Wirkstoffen aus unterschiedlichen Gruppen: Faktoren der Einzelwirkstoffe addieren, Summe durch Wirkstoffanzahl +0,5 dividiert ergibt den Faktor des Produkts
Regel 2	Wird in der Spritzfolge eines Jahres min. 1x die Gruppe 3 angewandt: Mittelzahl +0,5
Regel 3	Liegt der Anteil der Wirkstoffe aus Gruppe 1 bei 50 % und mehr der gesamten Wirkstoffzahl: Mittelzahl -0,25

Die errechneten Werte sind wie in Tabelle 11 dargestellt zu bewerten:

Tabelle 11: Bewertungsmatrix des RIF

RIF	Bewertung	Begründung
< 2,8	sehr gut	überwiegender Einsatz von Azolen und MSI Wirkstoffen in robusten Aufwandmengen
2,8-3,29	gut	Einsatz von Azolfungiziden in leicht reduzierter AWM, Mischung von Gruppe 1 mit Azol und MSI
3,3-4	schlecht	starke Reduktion der AWM bei Azolen, zu wenig Anteil der MSI Wirkstoffe, zu hoher Anteil Gruppe 1
>4	inakzeptabel	Konzentration auf Gruppe 1, auch bei Mischung mit Azolen zu starke AWM Reduktion

Berechnung innerhalb einer Fruchtfolge

Innerhalb einer Fruchtfolge können die Schadorganismen auf unterschiedliche Weise bekämpft werden, auch sind in unterschiedlichen Kulturen unterschiedliche Wirkmechanismen zugelassen. Da sich die Resistenzbildung und damit auch das Resistenzmanagement über einen Zeitraum von mehreren Jahren erstreckt, wird zur rückblickenden Betrachtung aus allen Jahren der Mittelwert gebildet. Um den Resistenzindikator der gesamten Fruchtfolge zu errechnen, werden die Zahlen der einzelnen Kulturen mit ihrem Anbauumfang gewichtet („RIH/RIF-Beitrag“) und addiert (vgl. Tabellenblatt F4). Kulturen in denen keine explizit gräserwirksamen Wirkstoffe bzw. septoria-/ramulariawirksamen Fungizide eingesetzt wurden, fließen nicht in die Berechnung ein, da dies den Indikator verzerren würde (Vgl. Tabellenblatt F4).

Bewertung der Resistenzgefahr unabhängig von der Aufwandmenge

Die Wirkstoffe wurden anhand ihrer RAC-Klassen gezählt, um eine Beeinflussung der Ergebnisse der zuvor beschriebenen Berechnungen durch Einbezug der Aufwandmengen und der Berechnungsregeln zu vermeiden. Eine Aufstellung dazu findet sich in Tabellenblatt F5. Die Anzahl der jeweiligen RAC-Klasse wurde dann nach Kulturen getrennt der RI-Gruppe nach Tabellenblatt B1 zugeordnet. Die Anzahl der Wirkstoffe in der jeweiligen RI-Gruppe wurde mit dem Anteil der Kultur gewichtet, die Produkte addiert und mit dem Faktor der jeweiligen Gruppe multipliziert und alle daraus entstehenden Produkte addiert. Die Summe der Anzahl der gewichteten RI-Gruppen ergibt die Anzahl an Wirkstoffen in dem betrachteten Zeitraum (10 Jahre) je Hektar. Im Anschluss wurde die Summe aller Produkte durch die gewichtete Anzahl der Wirkstoffe dividiert um den durchschnittlichen RI-Faktor zu erhalten.

4.3 Analyse der PAPA Daten

Das JKI erfasst in einem repräsentativen Testbetriebsnetz mit über 170 Betrieben die Anwendungsdaten des Pflanzenschutzes. Aus diesen Daten wird dann die in Deutschland ausgebrachte Menge der Wirkstoffe geschätzt. Aus diesen Daten werden die Parameter Wirkstoffmenge 1, Wirkstoffmenge 2 und der Harmonisierte Risikoindikator berechnet (Vgl. Tabellenblätter A2 bis A6)

4.3.1 Berechnung der Wirkstoffmenge 1 und 2

Für die Berechnung der Wirkstoffmenge 1 der PAPA-Daten wird getrennt nach den Pflanzenschutzmittel-Gruppen Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsreglern die jeweilige Wirkstoffmasse für die jeweilige Kultur und Jahr aufsummiert.

Für die Wirkstoffmenge 2 wird getrennt nach den Pflanzenschutzmittel-Gruppen Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsreglern erfasst. Die jeweilige Wirkstoffmasse für die jeweilige Kultur und Jahr aufsummiert, wenn der Wirkstoff in Kategorie 3 der Tabelle 1 des Anhangs IV der RL 2009/128/EG ("besonders gefährliche Wirkstoffe") fällt. Für die Berechnung in dieser Arbeit wird die Einstufung zum Zeitpunkt der Anwendung herangezogen.

4.3.2 Ableitung des HR Faktors

Der Faktor für den HR geht aus Tabelle 1 des Anhangs IV der RL 2009/128/EG hervor. In der Tabelle werden die Wirkstoffe in vier Gruppen eingeteilt (siehe Tabelle 5). Für die Berechnung in dieser Arbeit wird die Einstufung zum Zeitpunkt der Anwendung herangezogen.

4.3.3 Berechnung des HR-Produkts

Das HR-Produkt ist eine dimensionslose Zahl. Für sie wird die Wirkstoffmasse 1 mit dem HR-Faktor des Wirkstoffes multipliziert. Anschließend werden in jeder Kultur, in jedem Jahr und für jede PSM-Gruppe Summen gebildet.

4.3.4 Berechnung des kulturartspezifischen Reduktionszieles

Im Zuge des Reduktionszieles sollen die Wirkstoffmengen 1 und 2 sowie das HR-Produkt halbiert werden. Als Bezugszeitraum für die Wirkstoffmengen 1 und 2 sind seitens der EU die Jahre 2011 bis 2013 vorgegeben. Der Bezugszeitraum für das HR-Produkt sind die Jahre 2015 bis 2017. Um im Folgenden eine Richtgröße zu haben, wurde für jede Kultur ein kulturartspezifisches Reduktionsziel errechnet. Dazu wurden die Mengen 1 und 2 sowie das HR-Produkt der jeweiligen Jahre und PSM-Gruppen durch die Anbaufläche dividiert, um einen Wert pro Hektar zu erhalten, da die Berechnung der Arbeit auf der Bezugsgröße „ein Hektar“ fußen. Im Anschluss wurde für jede Kennzahl das Mittel der Werte gebildet, dies ergibt den Ausgangswert. Der Ausgangswert dividiert durch zwei ergibt das Reduktionsziel. Da innerhalb der Kultur Verschiebungen zwischen der PSM-Gruppen möglich sind, wurde als kulturartspezifisches Reduktionsziel die Summe aus den Reduktionszielen der jeweiligen PSM Gruppen und Kennzahlen gebildet (Vgl. Tabellenblatt A7)

4.4 Auswertung der Behandlungen der HSA an einem Beispiel

Aus den Aufzeichnungen der Dauerversuche der HSA wurden die Pflanzenschutzdaten getrennt nach Jahr und Kulturen übernommen. Neben der tatsächlich verwendeten Aufwandmenge wurden folgende Werte aus dem für das jeweilige Jahr geltende Buch „Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland“ der amtlichen Beratung der Länder Sachsen-Anhalt, Berlin, Sachsen, Brandenburg und Thüringen (ISIP 2011 bis 2020) übernommen:

- maximal zugelassene AWM in der Indikation
- Wirkstoffgehalt in g/l bzw. g/kg
- WSSA/FRAC/IRAC Gruppe des jeweiligen Wirkstoffs
- Preis je Hektar
- HR-Faktor jedes Wirkstoffs (gemäß Tabelle 1 des Anhang IV der RL 2009/128/EG zum Zeitpunkt der Anwendung aus dem Wirkstoff abgeleitet)

Ebenso wurde der RIH- bzw. RIF-Faktor aus der Zusammensetzung des PSM errechnet und eingetragen.

Daraus wurden nach den oben beschriebenen Verfahren die Kennzahlen für die jeweilige PSM-Gruppe im jeweiligen Jahr berechnet:

- Behandlungsindex
- Wirkstoffmenge 1
- Wirkstoffmenge 2
- HR-Produkt
- RIH bzw. RIF

Im Anschluss wurde für jede Variante in jeder Kultur der Mittelwert der Kennzahlen errechnet und die Anzahl der verwendeten Wirkstoffe getrennt nach ihren WSSA/FRAC/IRAC-Gruppen gezählt (vgl. Tabellenblätter C1 bis C5).

2011	Herbizid	Aufwandmenge	HRAC W1	HRAC W2	HRAC W3	Max AWM	Wirkstoff 1	Wirkstoff 2	Wirkstoff 3	HR Faktor W1	HR Faktor W2	HR Faktor W3	RIH Faktor	Kosten	Fußnoten
	RoundUp	3,000 l/ha	9			5,00 l/ha	360 g/l			8			2	9 €/ha	
	Zoom	0,150 l/ha	4	2		0,15 l/ha	600 g/l	30 g/l		8	16		0	18 €/ha	
	Oratio	0,038 l/ha	14			0,04 l/ha	372 g/l			8			0		
	Pointer SX	0,030 l/ha	2			0,05 l/ha	500 g/l			8				10 €/ha	
	BI	3,20													
	RIH														
	Wirkstoffmenge 1	1203 g													
	Wirkstoffmenge 2	5 g													
	HR1	9,6636													
	Fungizid	Aufwandmenge	FRAC W1	FRAC W1	FRAC W1	Max AWM	Wirkstoff 1	Wirkstoff 2	Wirkstoff 3	HR Faktor W1	HR Faktor W2	HR Faktor W3	RIF Faktor	Kosten	Fußnoten
	Juwel Top	1,000 l/ha	11	3	5	1,00 l/ha	125 g/l	125 g/l	150 g/l	8	16	8	3,6	57 €/ha	
	Input	1,250 l/ha	3	5		1,25 l/ha	160 g/l	300 g/l		8	8		3	61 €/ha	
	BI	2,00													
	RIF	3,30													
	Wirkstoffmenge 1	975 g													
	Wirkstoffmenge 2	125 g													
	HR1	8,8													
	Wachstumsregler	Aufwandmenge	Max. AWM	Wirkstoff 1	Wirkstoff 2	HR Faktor W1	HR Faktor W2	Kosten	Fußnoten						
	CCC720	1,000 l/ha	2,10 l/ha	720 g/l		8		5 €/ha							
	Wachstumsregler 2														
	Wachstumsregler 3														
	Wachstumsregler 4														
	BI	0,48													
	Wirkstoffmenge 1	720 g													
	Wirkstoffmenge 2	0 g													
	HR1	5,76													
	Insektizid	Aufwandmenge	Max. AWM	IRAC	Wirkstoff 1	HR Faktor	Kosten	Fußnoten							
	Karate	0,075 l/ha	0,075 l/ha	3A	100 g/l	16	9 €/ha								
	Insektizid 2														
	Insektizid 3														
	BI	1,00													
	Wirkstoffmenge 1	8 g													
	Wirkstoffmenge 2	8 g													
	HR1	0,12													

Abbildung 1: Auswertung der HSA Behandlungen am Beispiel Winterweizen 2011

4.5 Entwurf neuer Behandlungen

Die Behandlungen der Hochschule haben das Reduktionsziel meist nicht erreicht. Um das Reduktionsziel einzuhalten, kann bei Beibehaltung der Mittelauswahl deren AWM reduziert werden oder es können ganze Behandlungen gestrichen werden. Beide Methoden haben den Nachteil, dass die biologische Wirkung im Vergleich zu den ursprünglichen Behandlungen nicht mehr ausreichend ist und damit die in der Literatur beschriebenen Verluste eintreten würden. Um diese Verluste zu vermeiden, wurden neue Behandlungen mit gleicher biologischer Wirksamkeit entworfen. Hierfür wurde vorher aus dem Mittel, seiner Aufwandmenge und dem Anwendungsdatum ein Bekämpfungsschwerpunkt oder eine Indikation bestimmt (vgl. Tabellenblatt C1 bis C5).

4.5.1 Reduktionszielkonforme Behandlung

Um diese wirtschaftlichen Verluste zu vermeiden und gleichzeitig das Reduktionsziel einzuhalten, wurden neue Behandlungen mit geänderter Mittelauswahl getroffen. Die neue Mittelauswahl muss dabei nach den Einstufungen in der Broschüre „Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland“ (ISIP, 2011 bis 2020) eine gleichwertige Wirkung haben. So kann z.B. die ursprüngliche Anwendung von 75 ml/ha Karate mit der Indikation „Blattläuse in Winterweizen“ durch 50 ml/ha Decis Forte ersetzt werden. Hierdurch wird bei gleicher Wirksamkeit die Wirkstoffmenge 1 um 33 %, die Wirkstoffmenge 2 um 100 % und das HR-Produkt um 66 % reduziert bei gleichzeitiger Senkung der Kosten um 3 €/ha. Anhand der in Punkt 4.5 festgestellten Indikation bzw. dem Behandlungsschwerpunkt wurde für jedes Jahr, in jeder Kultur und PSM-Gruppe eine neue Behandlung erarbeitet. Die Berechnung der Kennzahlen erfolgte analog zur Auswertung der Behandlungen der HSA (vgl. Punkt 4.5 und Tabellenblatt C1 bis C5).

4.5.2 Behandlung zur nachhaltigen Nutzung der vorhandenen Wirkstoffe

Die Gefahr der Resistenzbildung ist, wie im Punkt 4.2.6 dargestellt, für die verschiedenen Wirkklassen unterschiedlich. Da vermutet wurde, dass es bei der Einhaltung des Reduktionszieles zu einer Konzentration von besonders gefährdeten Wirkklassen kommt, wurde eine Behandlungsvariante erstellt, bei der explizit auf eine geringe Resistenzgefahr geachtet wurde. Beachtet wurde zusätzlich, möglichst wenig besonders gefährliche Wirkstoffe zu nutzen und insbesondere bei den Insektiziden möglichst nützlingsschonend zu arbeiten. So kann z.B. die ursprüngliche Anwendung von 75 ml/ha Karate mit der Indikation „Blattläuse in Winterweizen“ durch 140 g/ha Teppeki ersetzt werden. Dadurch wird zwar 62,5 g/ha mehr an Wirkstoffmasse ausgebracht, auch das HR Produkt steigt um 0,44 Punkte und die Kosten um 17 € je Hektar an, aber es wurden keine besonders gefährlichen Wirkstoffe verwendet (vgl. Tabellenblatt C1 bis C5). Zusätzlich können mit dieser Behandlung auch pyrethroidresistente Läuse erfasst werden bei gleichzeitig maximaler Nützlingsschonung im Vergleich zu den eher unspezifisch wirkenden Pyrethroiden.

4.6 Behandlungen für Kleinkulturen

Die Zahl der Kleinkulturen ist mit 11 verschiedenen Kulturen zu groß, der Flächenanteil je Kultur zu gering, weshalb nur beispielhafte Behandlungen erarbeitet wurden, statt Pläne für alle zehn Jahre. Diese Behandlungen wurden nach guter fachlicher Praxis aufgestellt bzw. orientieren sich an den Maßstäben nach Punkt 4.5.2. Die Pläne umfassen für jede Kultur alle nötigen Behandlungen in allen PSM-Gruppen. Die Berechnung der Kennzahlen erfolgt analog nach der in Punkt 4.3 dargestellten Art und Weise (vgl. Tabellenblatt C6).

4.7 Verrechnung der Werte

Alle in den Punkten 4.3.4, 4.4, 4.5 und 4.6 erfassten Kennzahlen beziehen sich auf je ein Hektar der jeweiligen Kultur. Die Hochrechnung der Zahlen auf die gesamte deutsche Anbaufläche der jeweiligen Kultur ergäbe sehr große, unhandliche Zahlen, welche Zusammenhänge nur schwer erkennen lassen. Deshalb werden die Kennzahlen mit dem Anteil der Anbaufläche der jeweiligen Kultur an der gesamten Fläche im jeweiligen Zeitraum gewichtet. Dadurch ergibt sich die Bezugsgröße ein Hektar (das Durchschnittshektar) mit gut überblickbaren Dimensionen.

4.7.1 Berechnung des Reduktionszieles des Durchschnittshektars

Aus den in den Tabellenblättern A2 bis A6 erfassten Daten der PAPA-Erhebungen des JKI wurden im Tabellenblatt A7 nach der in Punkt 4.3.4 beschriebenen Art und Weise ein kulturartsspezifisches Reduktionsziel errechnet. Um ein für die ganze Anbaufläche, das Durchschnittshektar, geltendes Reduktionsziel zu errechnen, wurde in einem ersten Schritt das kulturartsspezifische Reduktionsziel mit dem Anteil der Kultur an der betrachteten Fläche gewichtet und aufsummiert. Die betrachtete Fläche umfasst in diesem Fall die Summe der Anbaufläche der Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Mais und Zuckerrüben. Die betrachtete Fläche beträgt im Bezugszeitraum für die Wirkstoffmengen 1 und 2 75 % der gesamten Anbaufläche und im Bezugszeitraum für das HR-Produkt 72 % der gesamten Anbaufläche. Um das Reduktionsziel für die gesamte Anbaufläche zu berechnen, wurde das Reduktionsziel der betrachteten Fläche durch ihren Anteil an der gesamten Fläche dividiert (vgl. Tabellenblatt F1).

4.7.2 Hochrechnung der Groß- und Kleinkulturen auf ein Hektar

Die Gewichtung der Kennzahlen der Großkulturen erfolgt analog zu der in Punkt 4.7.1 beschriebenen Art und Weise: In Tabellenblatt F2 werden die Kennzahlen der einzelnen Kulturen mit dem Anteil der Kultur an der Anbaufläche im Mittel der Jahre 2010 bis 2020 gewichtet und aufsummiert. Die weiteren Berechnungen erfolgen nur mit den Kennzahlen der Reduktionsziel-Variante. Im Anschluss wurde vom Reduktionsziel für die gesamte Fläche der „Bedarf“ der Großkulturen abgezogen. Die so erhaltene Restmenge konnte für die Rest- und Kleinkulturen verbraucht werden. Die Kennzahlen der Kleinkulturen wurden im Tabellenblatt F3 mit ihrem Anteil an der Anbaufläche im Mittel der Jahre 2010 und 2016 bis 2022 gewichtet und aufsummiert.

Nach Abzug der Menge der Kleinkulturen vom Rest der Großkulturen verbleibt die Menge für die Restkulturen.

4.7.3 Berechnung der Kennzahlen für die Restkulturen

Die Fläche der Restkulturen wurde aufsummiert. Durch Division der Kennzahlen aus Absatz vier des Punktes 4.7.2 durch den Anteil der Fläche der Restkulturen an der Gesamtfläche wurde die Wirkstoffmenge 1 und 2 sowie die HR-Produkt Punkte je Hektar Restkultur erhalten (vgl. Tabellenblatt F3).

5. Auswertung und Ergebnisse

5.1 Vergleich der einzelnen Kennzahlen der unterschiedlichen Behandlungen

Die errechneten Kennzahlen wurden aus den Tabellenblättern C1 bis C5 des Excel-Anhangs nach Kennzahlen sortiert in die Tabellenblätter D1 bis D5 des Excel-Anhangs übernommen und dort um die Werte der PAPA-Erhebungen ergänzt. Eine grafische Darstellung aller Kennzahlen zu jeder Kultur und allen Jahren findet sich in den Tabellenblättern D1 bis D5 Excel-Anhangs. Im Folgenden wurden nur die Mittelwerte der einzelnen Kennzahlen verwendet. Das gewichtete Mittel errechnet sich durch Gewichtung der einzelnen Kulturen mit ihrem Anbauumfang nach 3.4 im Zeitraum 2011 bis 2019 (Tabelle 12).

Tabelle 12: Absolute Flächen und Flächenanteile der Kulturen

Ackerland	11766755 ha	Anteil am Ackerland	Anteil an betrachteter Fläche
Weizen	3088840 ha	26%	36%
Gerste	1647173 ha	14%	19%
Winterraps	1135496 ha	10%	13%
Mais	2416436 ha	21%	28%
Zuckerrübe	369611 ha	3%	4%
Betrachtete Fläche	8657556 ha	74%	

Die in diesem Abschnitt als betrachtete Fläche bezeichnete Fläche ist die Summe der Anbaufläche der Kulturen Winterweizen, Wintergerste Winterraps, Mais und Zuckerrüben. „PAPA“ zeigt dabei den Durchschnitt der Erhebungen des JKI in Referenzbetrieben von 2011-2020, „Hochschule“ den durchschnittlichen Pflanzenschutzmitteleinsatz in langjährigen Versuchen der Hochschule Anhalt im gleichen Zeitraum, „Reduktion“ ein auf Basis der Hochschul-Variante berechnetes Szenario mit bestmöglicher Erfüllung des Reduktionsziels und „Optimal“ ein berechnetes Szenario mit bestmöglicher Vermeidung der Entstehung von Wirkstoff-Resistenzen.

5.1.1 Wirkstoffmenge 1

Die Wirkstoffmenge 1 ist die Menge aller Wirkstoffe die auf ein Hektar der Kultur ausgebracht wurde. Das Reduktionsziel für die Wirkstoffmenge 1 liegt bei 1071 g/ha der betrachteten Fläche. Wachstumsregler spielen bei der Wirkstoffmenge 1 insgesamt nur eine untergeordnete Rolle, Insektizide praktisch keine. Im Schnitt aller Kulturen zeigt sich in der Reduktionsvariante, dass die große Mengeneinsparung bei den Getreideherbiziden vor allem durch Wintereraps und Zuckerrüben, trotz deren relativ geringen Anbauumfangs, wieder aufgezehrt werden (Abb. 2).

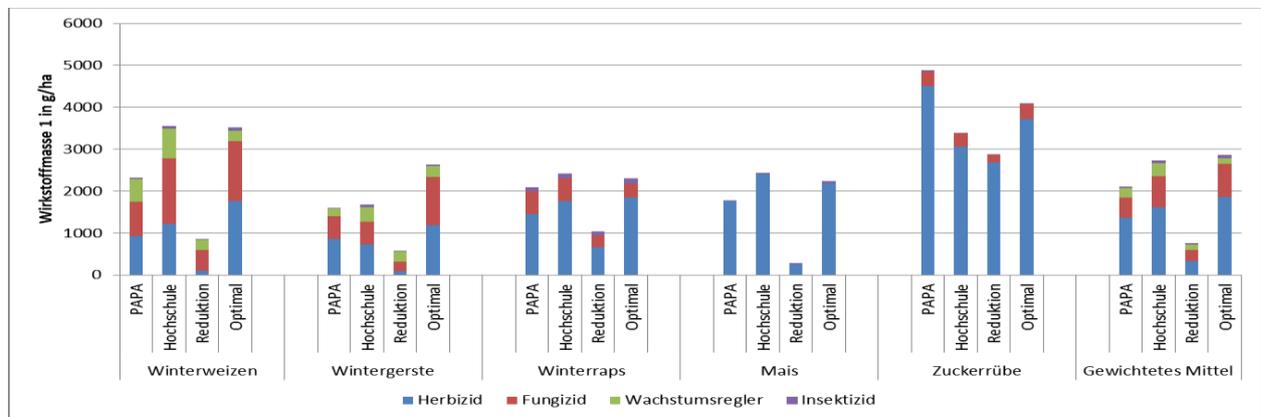


Abbildung 2: Absolute Zusammensetzung der Wirkstoffmenge 1 nach Wirkungsbereich in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

Die Wirkstoffmenge 1 wird in den meisten Kulturen von der Masse der herbiziden Wirkstoffe dominiert (Abb. 3). Eine Ausnahme bildet hier der Winterweizen, bei dem in der Hochschul- und der Reduktionsvariante ein Großteil der Wirkstoffmenge 1 aus Fungiziden stammt sowie die Wintergerste der Reduktionsvariante, bei der die größte Menge aus Wachstumsreglern kommt (Abb. 3). Trotz des gleich hohen Insektizideinsatzes in allen drei Strategien im Mais, ist der Anteil der Insektizide an der Wirkstoffmenge 1 in der Reduktionsvariante mit fast 10 % deutlich größer als in der Optimal-Variante mit etwa 2 % und der HSA mit etwa 1 %.

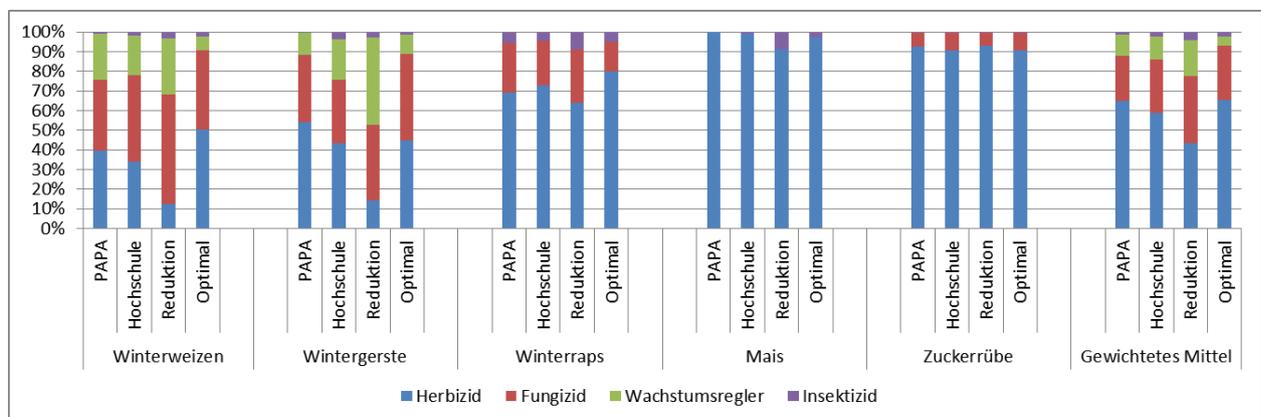


Abbildung 3: Relative Zusammensetzung der Wirkstoffmenge 1 nach Wirkungsbereich in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

In Abb. 4 ist erkennbar, dass Weizen in allen vier Fällen überdurchschnittlich viel Wirkstoffmasse, gemessen am Anteil seiner Fläche, beiträgt. In der Reduktionsvariante ist auffällig, dass die Zuckerrüben bei nur rund 4 % Flächenanteil

über 15 % der Wirkstoffmasse 1 beitragen. Das Gegenteil hierzu stellt der Mais dar, mit 28 % der Fläche trägt er nur zu etwa 10 % der Wirkstoffmenge 1 bei. Raps trägt in der Optimal-Variante unterdurchschnittlich viel bei, bei allen anderen Varianten überdurchschnittlich viel (Abb. 4).

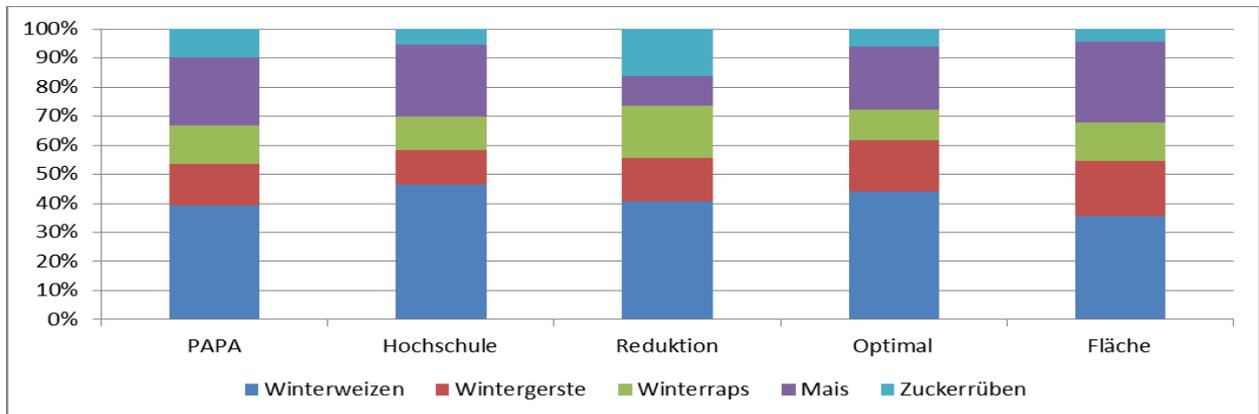


Abbildung 4: Anteil der Kulturen an der Wirkstoffmasse 1 in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche

5.1.2 Wirkstoffmenge 2

Die Wirkstoffmenge 2 ist die Masse aller gefährlicher Wirkstoffe (vgl. 3.3) die auf ein Hektar der Kultur ausgebracht wurden. Das Reduktionsziel für die Wirkstoffmenge 2 auf der betrachteten Fläche liegt bei 333 g/ha. Im Mais ist die Menge an gefährlichen Wirkstoffen an der Hochschule Anhalt unbedeutend und in den entworfenen Varianten gleich null, während der Winterweizen der HSA mit rund 850 g/ha an der Spitze liegt (Abb. 5). In Zuckerrüben kommen in allen Varianten, im Vergleich zu den Winterkulturen, nur geringe Mengen von rund 100 g/ha zum Einsatz. Im Raps liegt die Hochschule mit rund 550 g/ha noch vor den PAPA-Daten mit etwa 480 g/ha, die Optimal-Variante bringt mit 300 g/ha etwa dreimal so viel aus wie die Reduktions-Variante (Abb. 5).

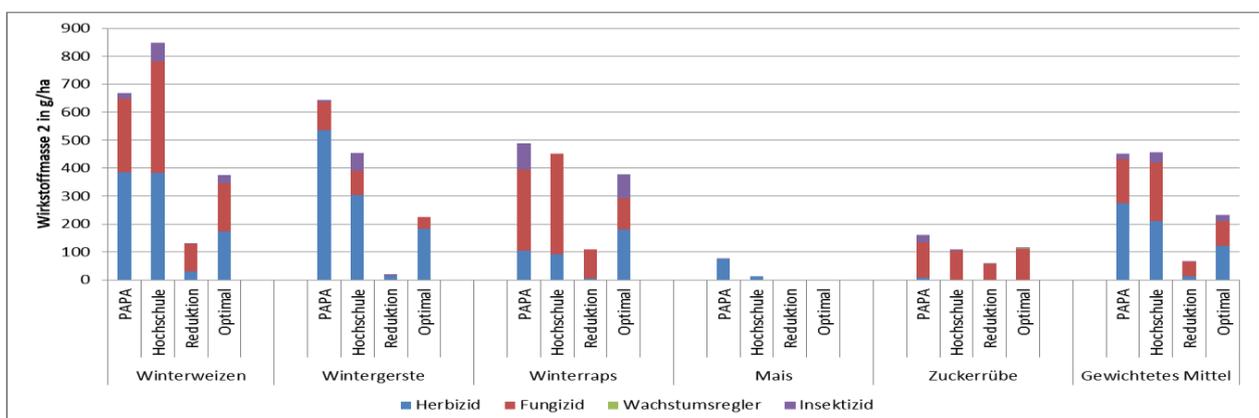


Abbildung 5: Absolute Zusammensetzung der Wirkstoffmenge 2 in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

Die Wirkstoffmenge 2 wird in Weizen, Raps und Rüben überwiegend von fungiziden Wirkstoffen dominiert (Abb. 6). In der Wintergerste kamen als gefährliche Wirkstoffe

vor allem Herbizide zum Einsatz (Abb. 6). Insektizide spielen nur in der Reduktions-Variante der Gerste mit 40 % eine nennenswerte Rolle. Wachstumsregler tragen in allen Kulturen nicht zur Wirkstoffmenge 2 bei. Im Schnitt aller Kulturen tragen in der Reduktions-Variante Fungizide zu rund 75 % der Wirkstoffmenge 2 bei, während in der Optimal-Variante und den PAPA-Daten Herbizide zu 55 % bzw. rund 60 % den größten Anteil stellen.

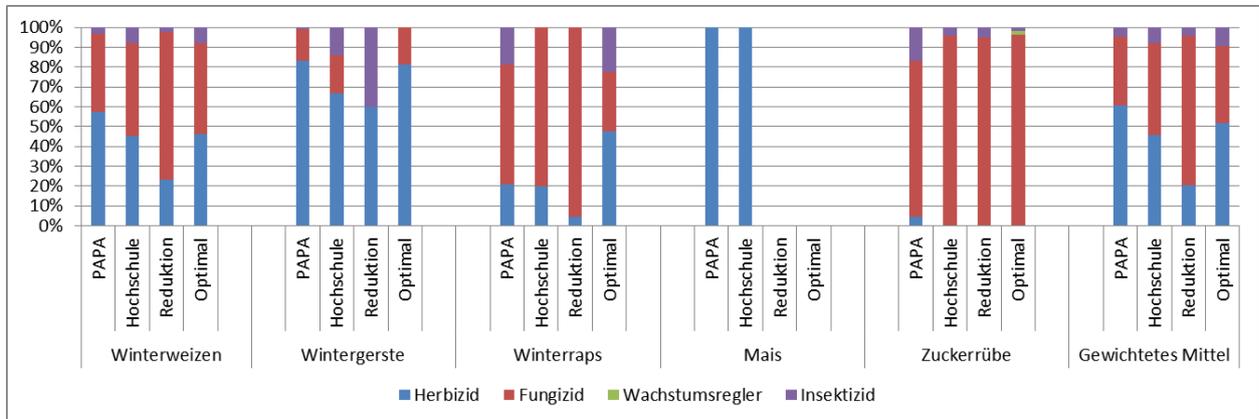


Abbildung 6: Relative Zusammensetzung der Wirkstoffmenge 2 in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

In allen vier Fällen dominiert der Weizen die Wirkstoffmenge 2 (Abb. 7). Die Wintergerste hat in der Reduktions-Variante nur einen sehr kleinen Anteil. In der Optimal-Variante fallen die Zuckerrüben aufgrund der im Verhältnis großen Mengen von Weizen und Gerste weniger stark ins Gewicht als bei der Reduktions-Variante. Der Winterraps trägt in allen Varianten, gemessen an seinem Flächenanteil, überdurchschnittlich viel zur Wirkstoffmasse 2 bei. In der HSA-Variante hat der Mais nur einen verschwindend geringen Anteil, in der Optimal- und in der Reduktions-Variante ist sein Anteil gleich null. In den PAPA-Daten trägt der Mais etwa 4 % zur Wirkstoffmasse 2 bei, hingegen liegt sein Flächenanteil bei 28 % (Abb. 7).

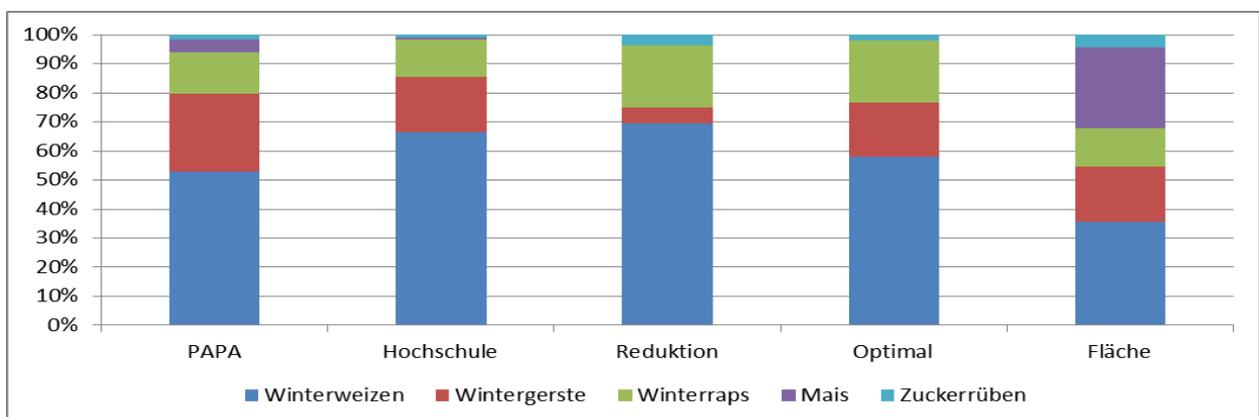


Abbildung 7: Anteile der Kulturen an der Wirkstoffmasse 2 in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche

5.1.3 HR-Produkt je Hektar

Das HR-Produkt ist das Produkt aus der Masse des Wirkstoffs multipliziert mit dem HR-Faktor (8 für „normale“ Wirkstoffe, 16 für besonders gefährliche Wirkstoffe). Das HR-Produkt soll das Risiko das aus der Anwendung eines PSM hervorgeht darstellen. Das Reduktionsziel liegt bei 9,57 Punkten je Hektar.

Auffällig ist das sehr hohe HR-Produkt der Zuckerrüben der Reduktionsvariante im Vergleich zu den anderen Kulturen dieser Variante (Abb. 8). Im Durchschnitt ist das HR-Produkt der HSA und der Optimal-Variante mit 25 etwa gleich hoch, der Schnitt der PAPA-Daten mit rund 19 Punkten deutlich kleiner.

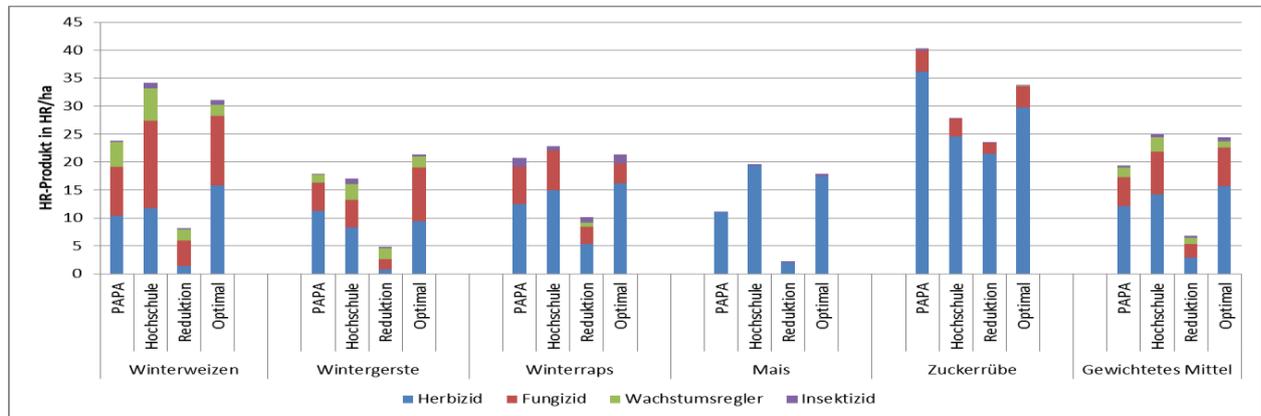


Abbildung 8: Absolute Zusammensetzung des HR-Produkts in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

Das HR-Produkt wird außer im Weizen und in der Reduktionsvariante der Gerste von den Herbiziden dominiert (Abb. 9). In der Reduktions-Variante der Wintergerste haben Wachstumsregler einen auffällig hohen Anteil mit etwa 45 % im Vergleich zur Optimal-Variante mit nur etwa 10 % (Abb. 9). Insektizide spielen im Schnitt der Kulturen in keiner Variante eine nennenswerte Rolle.

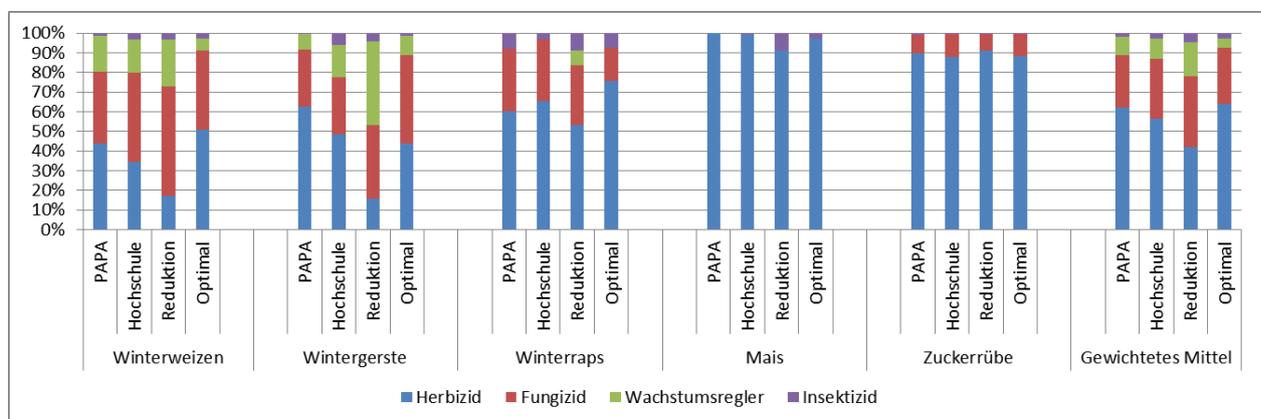


Abbildung 9: Relative Zusammensetzung des HR-Produkts in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

Auf Grund dessen, dass das HR-Produkt direkt von den Wirkstoffmengen 1 und 2 abhängig ist, ist seine Verteilung unter den Kulturen ähnlich wie die der Wirkstoffmengen 1 und 2 (Abb. 4, 7, 10). Zuckerrüben haben in der Reduktions-Variante mit 15 % einen im Vergleich zur Anbaufläche sehr großen Beitrag, hingegen

hat der Mais mit nur 10 % in der selben Variante deutlich weniger als sein Flächenanteil (Abb. 10).

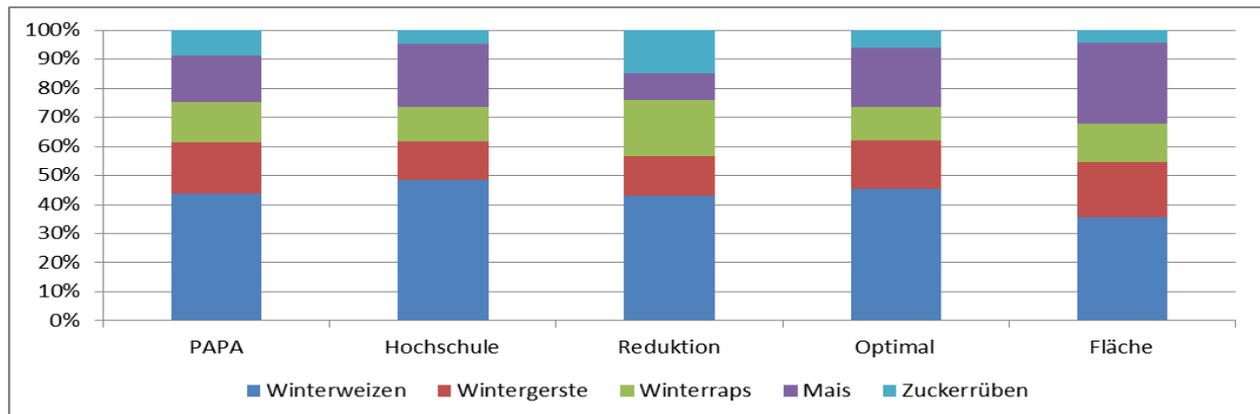


Abbildung 10: Anteil der Kulturen am HR-Produkt in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche

5.1.4 Behandlungsindex

Der Behandlungsindex ist der Quotient aus der angewendeten Aufwandmenge und der in der Indikation maximal zugelassenen Aufwandmenge multipliziert mit dem Quotienten aus der behandelten Fläche und der gesamten Fläche. Er soll die Intensität des PSM-Einsatzes abbilden. Den größten Behandlungsindex weist die HSA mit einem Wert von im Schnitt etwa 6 auf. Reduktions- und Optimal-Variante unterscheiden sich mit einem Wert von rund 5 nicht, während die PAPA-Daten für Deutschland einen Wert von etwa 4,2 angeben (Abb. 11). Die Kultur mit dem höchsten BI ist in allen Varianten der Winterraps mit einem Wert von bis zu 9,5 bei der HSA. Den kleinsten BI hat der Mais mit knapp 2 bei den PAPA-Daten. Im Vergleich zum Weizen ist der BI der Wintergerste in allen Varianten niedriger, wobei die Differenzen bei der HSA mit 3 am größten ausfällt. Die Reduktions-Variante weist einen geringfügig höheren BI als die Optimal-Variante auf (Abb.11).

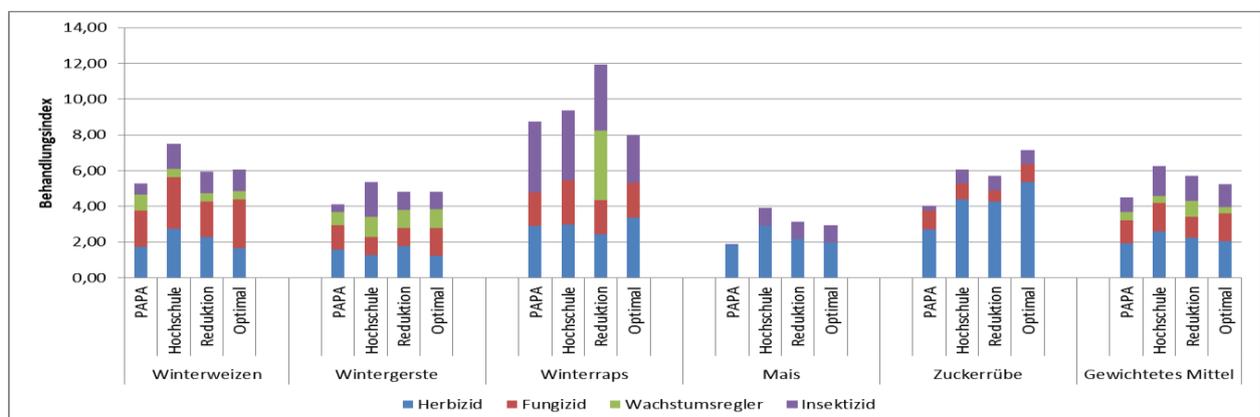


Abbildung 11: Absolute Zusammensetzung des BI in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

Der BI wird bei den Kulturen von unterschiedlichen PSM-Gruppen dominiert (Abb. 12). In der Gerste überwiegen die Anwendungen von Herbiziden, auch nehmen Wachstumsregler einen größeren Anteil ein, während im Raps die Anwendung von Insektiziden überwiegt. Im Mais ist auffällig, dass in allen drei Behandlungsfolgen ein

Insektizid eingesetzt wurde, während hingegen die PAPA-Daten für Mais nur einen verschwindend geringen Insektizideinsatz ausweisen. In den Zuckerrüben ist zu sehen, dass sich trotz Reduktion der BI nicht deutlich gesenkt hat. In der Optimal-Variante im Weizen ist der Anteil der Insektizide im Vergleich zu den PAPA-Daten doppelt so groß, dafür ist aber der Anteil an Wachstumsreglern nur etwa halb so groß (Abb. 12).

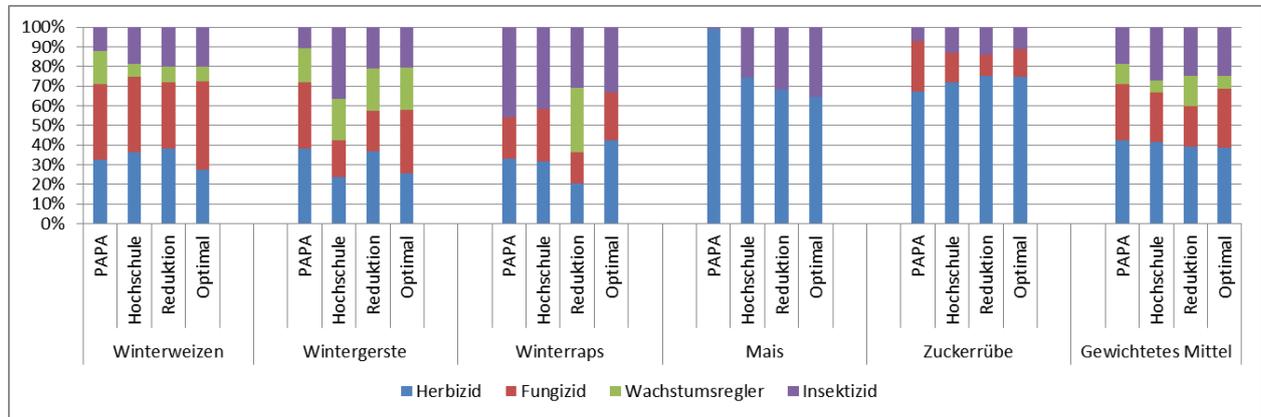


Abbildung 12: Relative Zusammensetzung des BI in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

Die Beiträge der Kulturen zum BI der Varianten ist im Verhältnis weitgehend gleich (Abb. 13). Die Kultur Weizen trägt, gemessen an ihrem Flächenanteil, überdurchschnittlich viel bei, während hingegen der Mais relativ deutlich weniger beiträgt. In der Optimal-Variante steigt der Anteil der Zuckerrüben, v. a. im Vergleich zu den Kosten der Gerste, leicht an.

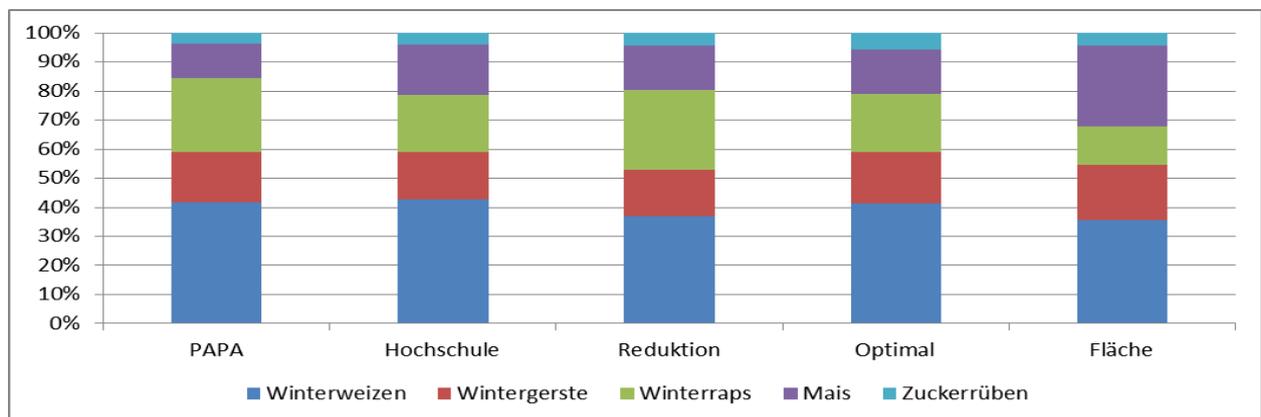


Abbildung 13: Anteile der Kulturen am BI in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche

5.1.5 Kosten

Die hier aufgeführten Kosten umfassen ausschließlich die Kosten des PSM. Sie sind den Richtpreisen der amtlichen Pflanzenschutzempfehlungen entnommen und an die AWM angepasst. Die PAPA-Erhebungen erfassen keine Kosten, weshalb sie hier

nicht ausgewiesen sind. Außer in Raps und Zuckerrüben waren die Kosten der Reduktionsvariante immer größer als die der HSA und die der Optimal-Variante. Dies spiegelt sich auch in den durchschnittlichen Kosten wieder (Abb. 14). Die teuerste Kultur der HSA ist der Winterraps mit etwa 290 €/ha, in der Reduktions-Variante wurden im Weizen mit 260 €/ha die höchsten Kosten verursacht. Dagegen waren die Zuckerrüben mit etwa 320 €/ha die teuerste Kultur der Optimal-Variante. Am günstigsten war in allen Varianten der Mais. In der Optimal-Variante wurden insgesamt 130 €/ha ausgegeben, allein 40 €/ha für Insektizide (Abb. 14).

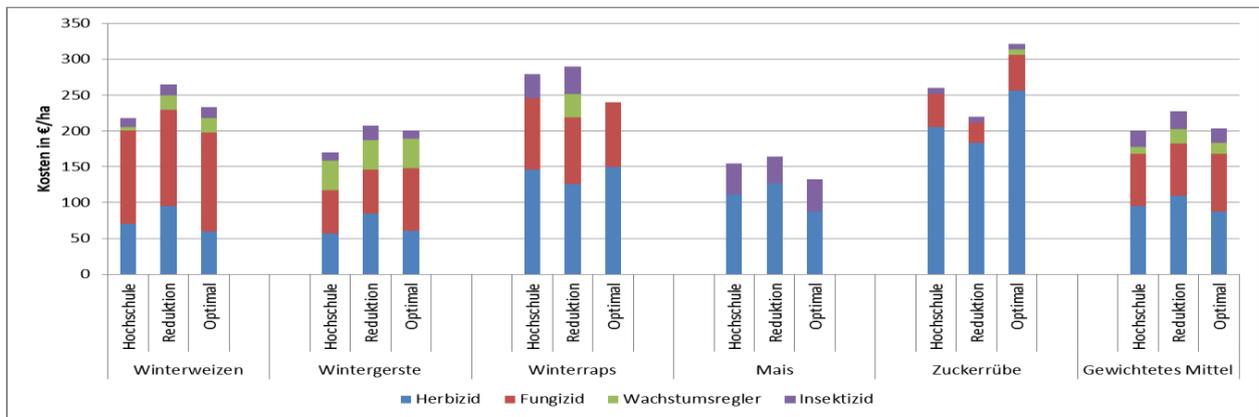


Abbildung 14: Absolute Zusammensetzung der Kosten in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

Im Weizen dominieren in allen Varianten die Kosten für die Fungizide, während in der Gerste die Kosten zu etwa gleichen Teilen auf Herbizide, Fungizide und Wachstumsregler + Insektizide verteilt sind (Abb. 15). Im Winterraps verursachen die Herbizide rund 50 % der Kosten, die Fungizide etwa 35 %. In Mais und Zuckerrüben haben die Herbizide mit im Schnitt rund 75 % den gleichen Anteil an den Kosten (Abb. 15).

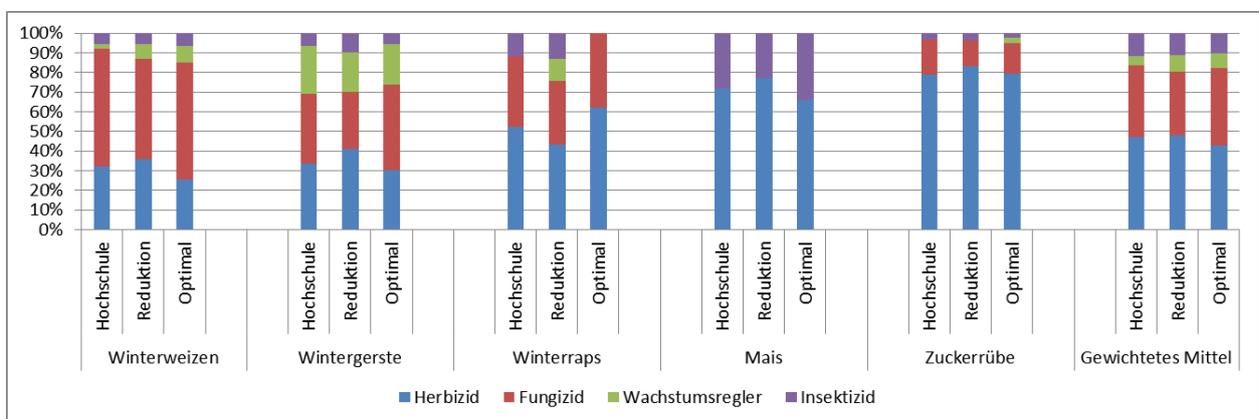


Abbildung 15: Relative Zusammensetzung der Kosten in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien

Die Anteile der Kulturen an den Kosten entsprechen im Groben ihrem Flächenanteil. In der Optimal-Variante ist die Zuckerrübe zu Lasten des Mais etwas teurer. Dahingegen ist in der Reduktionsvariante der Mais zu Lasten des Rapses teurer (Abb. 16).

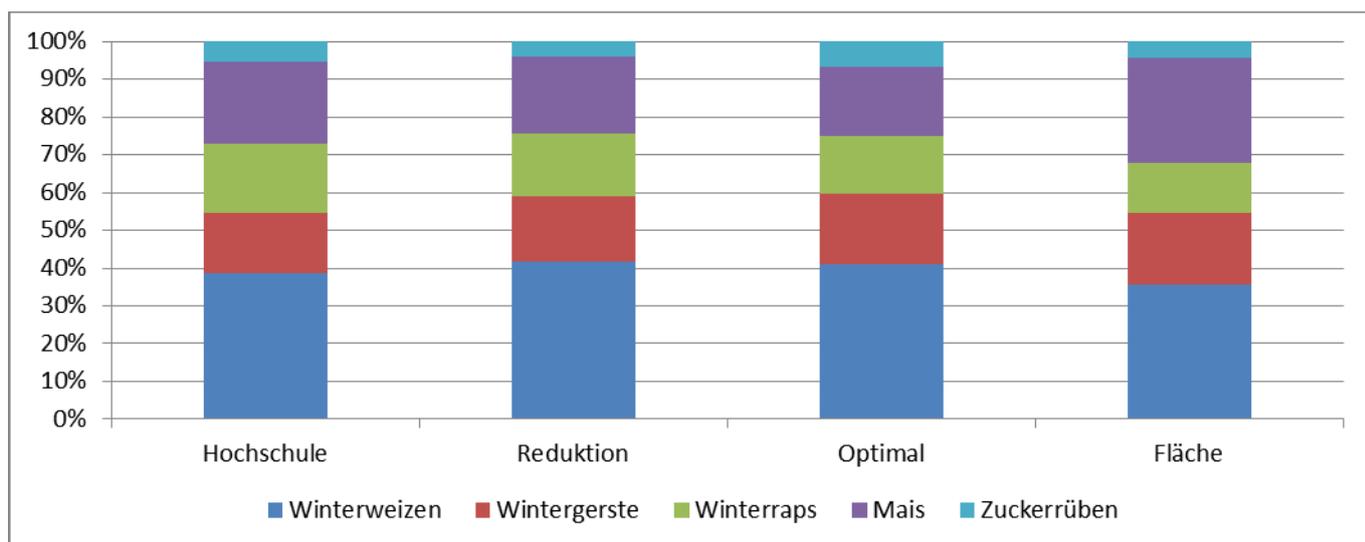


Abbildung 16: Anteile der Kulturen an den Kosten in bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategien und der Anbaufläche

5.1.6 Resistenzindikatoren

Der Resistenzindikator RIH berechnet das Risiko der Resistenzbildung gegen Herbizide bei Ackerfuchsschwanz. Als Grundlage dient eine Einstufung nach der HRAC Klasse des Wirkstoffs, die Aufwandmenge und eingesetzte Mischungspartner bzw. Behandlungsfolgen. Die Mittelwerte der einzelnen Kulturen über 10 Jahre werden gewichtet mit ihrem Flächenanteil aufsummiert (vgl. 4.2.6). In Tabelle 13 sind die einzelnen Kulturen und Varianten mit ihrem jeweiligen Flächenanteil und RIH dargestellt. Die Behandlungsfolgen der HSA ergeben ein RIH von 3,87. Die Reduktionsvariante ist mit einem Wert von 8,47 weit über dem Wert der Optimal-Variante von 2,55.

Tabelle 13: RIH der Kulturen und Strategien von bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategie

		RIH		
		Hochschule	Reduktion	Optimal
Weizen	RIH	3,44	8,80	2,45
	Flächenanteil	37%		
	RIH Beitrag	1,28	3,28	0,91
Gerste	RIH	3,90	9,91	2,23
	Flächenanteil	20%		
	RIH Beitrag	0,78	1,97	0,44
Raps	RIH	4,39	6,16	2,61
	Flächenanteil	14%		
	RIH Beitrag	0,60	0,84	0,36
Mais	RIH	4,15	8,16	2,87
	Flächenanteil	29%		
	RIH Beitrag	1,21	2,38	0,84
Summe		3,87	8,47	2,55

In Tabelle 14 sind die beiden Kulturen Winterweizen und Wintergerste mit ihrem RIF der jeweiligen Variante und ihrem Flächenanteil dargestellt. In der Reduktionsvariante ist ein Wert von 4,06 erzielt worden, die Optimalvariante erreichte einen Wert von 2,51. Die Behandlungen der HSA ergaben einen Wert von 3,29.

Tabelle 14: RIF von Winterweizen und Wintergerste sowie das gewichtete Mittel in von bisherigen und kalkulierten Pflanzenschutz-Strategie

		RIF		
		Hochschule	Reduktion	Optimal
Weizen	RIF	3,18	3,67	2,33
	Flächenanteil	65%		
	RIH Beitrag	2,08	2,39	1,52
Gerste	RIF	3,5	4,8	2,859048
	Flächenanteil	35%		
	RIH Beitrag	1,22	1,67	0,99
Summe		3,29	4,06	2,51

Neben dem BI kann die Intensität des Pflanzenschutzes auch in der Anzahl der ausgebrachten Wirkstoffe gemessen werden (Tab. 15). Hier zeigte sich vor allem bei den Herbiziden, dass ein besseres Resistenzmanagement nicht mit einem deutlichen Mehr an Wirkstoffen einher geht, da die Optimal-Variante nur 4,3 % mehr Wirkstoffe einsetzt als die Reduktions-Variante. Bei den Fungiziden zeigt sich, dass in der Variante der Hochschule Anhalt im Vergleich zur Optimalvariante rund 42 % mehr Wirkstoffe eingesetzt werden, ohne dabei ein besseres Ergebnis bei der Resistenzvorsorge zu erzielen.

Tabelle 15: Bewertung der Resistenzgefahr unabhängig von der Aufwandmenge

		Hochschule	Reduktionsziel	Optimal
Herbizid	gewichtete Anzahl eingesetzter Wirkstoffe in 10 Jahren je Hektar	50,44	42,11	43,91
	durchschnittlicher Resistenzfaktor	3,55	4,25	2,81
Fungizid	gewichtete Anzahl eingesetzter Wirkstoffe in 10 Jahren je Hektar	55,18	29,25	38,90
	durchschnittlicher Resistenzfaktor	3,81	4,27	3,38

5.2 Auswertung der Kennzahlen für die Rest- und Kleinkulturen

Auffällig in Tabelle 16 sind vor allem Kartoffeln, welche nur etwa 13 % der Fläche der Kleinkulturen ausmachen, aber rund 68 % der Wirkstoffmenge 1 verursachen. Ebenso negativ beeinflusst wird die Bilanz durch Erbsen und Ackerbohnen, während sich Hafer und Sonnenblumen besonders positiv auswirken.

Für die Restkulturen (alle Kulturen unter 0,2 % Flächenanteil und die Gartenbauerzeugnisse) wurde angenommen, dass hier alle restlichen Wirkstoffmengen 1 und 2 sowie die HR-Punkte bis zum Erreichen des Reduktionszieles für die Gesamtfläche nach Punkt 4.7.1 aufgebraucht werden. In Tabellenblatt F3 ist zu sehen, dass für jedes Hektar Restkultur 5713 g/ha Wirkstoffmenge 1, 10586 g/ha Wirkstoffmenge 2 und 87,64 HR Punkte zur Verfügung stehen. In den Großkulturen besteht die Wirkstoffmasse 1 zu etwa 25 % aus gefährlichen Wirkstoffen. Die als erstes erreichte Grenze ist demnach die Wirkstoffmenge 1. Würden ausschließlich gefährliche Wirkstoffe ausgebracht, wären die HR-Punkte bei 5477 g/ha gefährliche Wirkstoffe ausgeschöpft und damit limitierend.

Tabelle 16: Kennzahlen für Kleinkulturen

Kleinkulturen	Wirkstoffmenge 1	Wirkstoffmenge 2	HR1	Flächenanteil	Beitrag Wirkstoffmenge 1	Beitrag Wirkstoffmenge 2	Beitrag HR
Roggen und Wintermenggetreide	1084 g/ha	410 g/ha	11,95 HR/ha	5,06%	55 g	21 g	0,61 HR
Hafer	165 g/ha	12 g/ha	1,41 HR/ha	1,22%	2 g	0 g	0,02 HR
Triticale	968 g/ha	308 g/ha	10,20 HR/ha	3,08%	30 g	9 g	0,31 HR
Erbsen (ohne Frischerbsen)	4055 g/ha	1783 g/ha	46,70 HR/ha	0,71%	29 g	13 g	0,33 HR
Ackerbohnen	4055 g/ha	1783 g/ha	46,70 HR/ha	0,42%	17 g	7 g	0,20 HR
Süßlupinen	1976 g/ha	1008 g/ha	23,86 HR/ha	0,22%	4 g	2 g	0,05 HR
Sojabohnen	1489 g/ha	838 g/ha	18,61 HR/ha	0,25%	4 g	2 g	0,05 HR
Kartoffeln	13733 g/ha	1864 g/ha	124,78 HR/ha	2,21%	303 g	41 g	2,75 HR
Sonnenblumen	198 g/ha	0 g/ha	0,83 HR/ha	0,27%	1 g	0 g	0,00 HR
Getreide zur Ganzpflanzenernte vor BBCH 85	19 g/ha	8 g/ha	0,21 HR/ha	0,83%	0 g	0 g	0,00 HR
Feldgras / Grasanbau auf dem Ackerland	120 g/ha	0 g/ha	0,96 HR/ha	2,65%	3 g	0 g	0,03 HR
Anteil Kleinkulturen an Ackerfläche				16,93%	447 g	96 g	4,35 HR
				Je Hektar KleinK.	2643 g/ha	567 g/ha	25,67 HR/ha
Anteil Restkulturen an der Ackerfläche				2,65%			
Anteil Großkulturen an der Ackerfläche				75,01%			
Anteil Kulturen ohne PSM an der Ackerfläche				5,41%			

6. Alternative Ansätze

Das Einhalten des Reduktionszieles kann auch auf anderem Wege erreicht werden. Im bundesweiten Durchschnitt muss lediglich das Reduktionsziel von 1357 g/ha Wirkstoffmasse 1, 444 g/ha gefährliche Wirkstoffe und 13,34 Risikopunkte je Hektar erreicht werden. Hierbei wird die Fläche der jeweiligen Bezugsräume herangezogen.

6.1 Ausweichen auf Wirkstoffe mit geringem Risiko und Grundstoffe

Grundstoffe und Wirkstoffe mit geringem Risiko können unter Umständen in geringem Umfang die bisherigen Wirkstoffe ersetzen. Allerdings ist die Wirksamkeit der gelisteten Wirkstoffe im Anwendungsfeld in der Regel nur sehr eingeschränkt und kaum mit den herkömmlichen Wirkstoffen vergleichbar. Ein wirtschaftlich sinnvoller Einsatz in der konventionellen Pflanzenproduktion dürfte nur in Ausnahmefällen sinnvoll sein (ISIP, 2022). Ungeachtet dessen ließe sich dadurch die Wirkstoffmasse 2 und das HR-Produkt deutlich senken. Dem entgegen steht das Reduktionsziel der Wirkstoffmasse 1. Nach Artikel 23 der VO (EG) 1107/2009 sind auch Grundstoffe Wirkstoffe und werden demnach in die Wirkstoffmasse 1 hineingezählt. Das stellt insbesondere deshalb ein Problem dar, da Grundstoffe in der Regel sehr massereich sind (z. B. Bier, Calciumhydroxid, Kuhmilch, Natriumhydrogencarbonat oder der wässrige Extrakt aus gekeimten Samen der Süßlupine).

6.2 Bandspritzung und Spot-Spraying

Insbesondere in Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben lässt sich das Unkraut zwischen den Reihen mittels Hackmaschinen mechanisch regulieren. Die mechanische Regulierung kann bei günstigen Witterungsverhältnissen die chemische Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen weitgehend ersetzen. Problematisch ist der Bereich zwischen den Kulturpflanzen in der Reihe, da hier die Unkräuter durch Verschütten und Fingerhacken nicht immer ausreichend bekämpft werden können. Durch eine Kombination von mechanischer Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen und der Behandlung eines Bandes auf der Reihe, so wie in geringem Abstand neben der Kulturpflanze, lassen sich rund 50 % der Herbizide einsparen (ISIP, 2022). Auf den Aufwand von Fungiziden und Insektiziden hat die Bandspritzung keinen Einfluss.

Einen anderen Ansatz verfolgt das so genannte Spot-Spraying. Hierbei werden nur die tatsächlich mit Unkräutern oder Krankheiten befallen Teilflächen eines Schrages mit PSM behandelt. Üblich war dies bisher schon bei sehr teuren Herbiziden wie z. B. die Bekämpfung von Disteln in Zuckerrüben. Hier wurden vom Landwirt in einer extra Überfahrt, ausschließlich mit einem distelwirksamen Herbizid im Tank, manuell nur die Teilbreiten geöffnet, welche sich über der Distelfläche befanden. Die Vorgehensweise erforderte vom Fahrer sehr viel Können und Aufmerksamkeit. Technische Lösungen sollen in Zukunft die Arbeit des Fahrer erleichtern in dem sie die Bestandesbeobachtung, das Erkennen des Unkrautes und das Steuern der Spritze übernehmen (AMAZONE, 2021).

6.3 Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz

Eine Reduktion des PSM-Einsatzes lässt sich im Vergleich zum Bezugszeitraum auch durch eine Reduktion der Anwendungsfläche erreichen. Um auf der verbleibenden Fläche unverändert Pflanzenschutz betreiben zu können, hätten im Jahr 2020 auf 41,5 % der Ackerfläche vollständig auf chemischen Pflanzenschutz verzichtet werden müssen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Nötige Flächenstilllegung 2020 zur Zielerfüllung

	M1	M2	HR
Betrachtete Fläche 2020	1,704 kg/ha	0,366 kg/ha	16,55
Flächenanteil 2020	73%		
Extrapoliert 2020	2321 g/ha	499 g/ha	22,55
Red. Ziel	1357 g/ha	444 g/ha	13,34
Nötige Verzichtfläche	41,5%	10,9%	40,9%

6.4 Ausweitung des Ökolandbaus

Im Ökolandbau werden deutlich weniger Pflanzenschutzmittel eingesetzt. In Anhang I DVO 1165/2021 sind alle im ökologischen Landbau zugelassenen Wirkstoffe aufgelistet. Im Wesentlichen beschränkt sich der Einsatz von Pflanzenschutzmittel im Ökolandbau bei den Ackerkulturen auf die Kartoffel, da die hier vorkommende Kraut- und Knollenfäule ohne den Einsatz von Fungiziden erhebliche Schäden verursachen würde (MUSA und FORRER, 2016). Zur Vereinfachung wurde angenommen, dass ausschließlich in Kartoffeln chemische Pflanzenschutzmaßnahmen, ausschließlich mit kupferhydroxidhaltigen Fungiziden, durchgeführt wurden. Nach Anhang I DVO 2021/1165 dürfen pro Jahr 4 kg Kupfer je Hektar ausgebracht werden, was einer Wirkstoffmenge von 6,14 kg/ha entspricht. Der durchschnittliche Ertrag von ökologisch erzeugten Kartoffeln beträgt 20 t/ha (KOLBE et al., 2012), der von konventionellen Kartoffeln hingegen im Jahr 2020 42,8 t/ha (BLE, 2021). Um dieselbe Menge an Kartoffeln zu erzeugen, muss deren Flächenanteil somit von im Schnitt 2,21 % auf 4,73 % steigen. Mit der Annahme, dass auf der Öko-Fläche nur in Kartoffeln chemische PSM zum Einsatz kommen, werden damit durchschnittlich je Hektar Ökofläche 290 g/ha Kupferhydroxid ausgebracht. Kupferhydroxid ist als gefährlicher Wirkstoff gelistet. Dadurch werden je Hektar 4,65 HR-Punkte erzeugt. Da die Reduktion insgesamt durch die Ökofläche damit geringer ausfällt, als bei einem vollständigen Verzicht (siehe Punkt 6.3) müssten zum Erreichen des Ziels 51,45 % der Anbaufläche im Jahr 2020 auf den Ökologischen Landbau umgestellt werden. In Tabelle 18 ist zu sehen, dass das HR-Produkt die Kennzahl ist, welche den größten Anteil Öko-Fläche benötigt, um ihr Reduktionsziel zu erreichen.

Tabelle 18: Flächenanteil des Ökolandbaus bei Zieleinhaltung

	M1	M2	HR
Betrachtete Fläche 2020	1,704	0,366	16,55
Flächenanteil 2020	73%		
Extrapoliert 2020	2321 g/ha	499 g/ha	22,55
Anteil Konventionell	48,55%		
Je Hektar Öko	290 g/ha	290 g/ha	4,65
Anteil Öko	51,45%		
Beitrag Öko	149 g/ha	149 g/ha	2,39
Beitrag konventionell	1127 g/ha	242 g/ha	10,95
Summe	1276 g/ha	391 g/ha	13,34
Red. Ziel	1357 g/ha	444 g/ha	13,34
Kontrolle	-81 g/ha	-53 g/ha	0,00

6.5 Einhaltung von Schadschwellen

Pflanzenschutzmittel dürfen nur dann eingesetzt werden, wenn dies wirklich notwendig ist. Eine Anwendung ist nur dann gerechtfertigt, wenn die Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes (§2 Pflanzenschutzgesetz) vollständig ausgeschöpft sind und trotzdem die Schadschwelle überschritten wurde. Entgegen dieser rechtlichen Regelungen wird von Nicht-Regierungsorganisationen häufig der Anschein erweckt, dass Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft unverhältnismäßig stark angewendet werden (RIEDL und TÖLLE-NOLTING, 2021 und CHEMNITZ et al., 2022 und BUND, 2023,). Diese unzulässigen Maßnahmen böten ein großes Einsparpotential. Auf Grund dessen, dass in den Vorwürfen die Mengen nicht quantifiziert werden, ließ sich keine zur Zielerfüllung notwendige Fläche berechnen.

6.6 Erweiterung von Fruchtfolgen

Wintergetreidelastige Fruchtfolgen erzielten in der Vergangenheit zwar sehr gute wirtschaftliche Ergebnisse, ermöglichen es den an sie angepassten Schaderregern aber auch sich massiv auszubreiten und dadurch für hohe wirtschaftliche Schäden zu sorgen (PRIGGE et al., 2004 und JKI, 2011). Dadurch dass dann die Schaderreger in den Kulturen immer häufiger die Schadschwelle überschreiten, müssen sie immer häufiger bekämpft werden. Durch die immer häufigere Bekämpfung lässt sich kein sinnvolles Resistenzmanagement mehr durchführen. Zum Eindämmen dieser Problematik kann im Bereich der Getreidekrankheiten der Einbau von Blattfrüchten wie z.B. Winterraps erfolgen. Dieser überträgt weder Halmbruch, noch Septoria trit. oder Ramularia. Die zwei häufigsten Ungräser Windhalm und Ackerfuchsschwanz laufen bevorzugt im Spätsommer bis Frühherbst auf, werden also durch den Rapsanbau, mit seinem Aussattermin Ende August, noch gefördert (JKI, 2011). Um auch diesem Problem zu begegnen sollte die Fruchtfolge um Sommerungen erweitert werden. Sommergetreide sind in der Regel wirtschaftlich uninteressant

(RICHTER, 2021) weshalb meist Mais und Zuckerrüben angebaut werden. Mais ist mit 28 % der Ackerfläche (DESATIS, 2023-b) die bedeutendste Sommerung, was vor allem an seiner universellen Verwendung als Viehfutter, Energiepflanze und Industrierohstoff liegt. Zuckerrüben stellen hohe Ansprüche an den Boden, zudem ist auf Grund der hohen Transportkosten der Anbau auf die Gebiete rund um die Zuckerfabriken beschränkt. Der durch seine Wuchshöhe im Landschaftsbild auffällige Mais steht gesellschaftlich in der Kritik (KIRCHNER, 2019), eine weitere Erweiterung der Fruchtfolgen ist demnach mit anderen Kulturen zu bewerkstelligen. Die Ackerbaustrategie für das Jahr 2030, erstellt von der Bundesregierung im Jahr 2019, und die Nationale Eiweißstrategie, erstellt von der Bundesregierung im Jahr 2020, forcieren beide den Anbau von Leguminosen. In Ackerbaubetrieben kommen insbesondere Erbsen und Ackerbohnen in Frage, da mit beiden zusammen ein breites Spektrum an Standorten abgedeckt werden kann. Für leicht saure Standorte sind statt Erbsen Lupinen in Betracht zu ziehen (LfL, 2015). Auf geeigneten Standorten, welche die hohen Ansprüche der Kartoffel erfüllen und zusätzlich neben der Möglichkeit der Bewässerung auch noch Verarbeiter oder Verpacker in der Nähe haben, könnte die Fruchtfolge auch mit Kartoffeln erweitert werden.

7. Diskussion

7.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage dienten zwei Dauerversuche der HSA sowie die PAPA-Erhebungen des JKI. Die Anwendungen der HSA entsprechen möglicherweise nicht dem Bundesdurchschnitt, da sie auf die Witterung im mitteldeutschen Trockengebiet angepasst sind. Auch sind Versuchsansteller daran interessiert, dass die Ergebnisse der Versuche nicht durch Krankheiten, Unkrautdruck und Schädlingsfraß verfälscht werden, weshalb die Anwendungen in der Regel intensiver als praxisüblich sind. Deshalb sollte zur Absicherung der Ergebnisse eine größere Anzahl an Behandlungsfolgen aus Praxisbetrieben in selber Art und Weise analysiert werden. Auf Grund der Datenerhebung weist das JKI drauf hin, dass die PAPA-Daten zu den Wirkstoffmengen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Die Wirkstoffmenge wird als Schätzwert angegeben, dieser liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 97,5 % innerhalb der ebenfalls angegebenen oberen und unteren Grenze. Untere und obere Grenze liegen teilweise um mehr als den Faktor zehn auseinander, der Schätzwert hat ebenfalls kein festes Verhältnis zu den Grenzwerten. In Tabelle 19 ist diese Problematik am Beispiel von fünf Herbizidwirkstoffen in Winterweizen aus dem Jahr 2016 dargestellt.

Tabelle 19: Beispiele PAPA-Daten

	Schätzwert	untere Grenze	obere Grenze
Bentazon	13090 kg	208 kg	44088 kg
2,4-D	9109 kg	626 kg	27512 kg
Mecoprop-P	51238 kg	817 kg	168500 kg
Pendimethalin	294453 kg	160817 kg	456344 kg
Flufenacet	194443 kg	145159 kg	249518 kg

Diese Unsicherheiten sollen nach Auskunft des JKI mit dem in Kraft treten der neuen EU-Pflanzenschutzmittelstatistik-Verordnung ab 2026 deutlich verringert werden, da ab dann alle Anwender als Datengrundlage dienen und nicht nur ein Testbetriebsnetz mit geringer Stichprobengröße (J. Helbig, persönliche Kommunikation, 30.06.2023).

Das in dieser Arbeit berechnete Reduktionsziel gilt nur für auf Ackerland angebaute Kulturen. Andere Teile der Landwirtschaft, wie z.B. das Grünland, der Obst- und Weinbau sind von diesem Reduktionsziel nicht erfasst und müssen die von ihnen verbrauchte PSM ebenfalls um das geforderte Maß reduzieren, damit das Gesamtziel erfüllt wird. Auch erfasst das Ziel nicht den Verbrauch von nicht-beruflichen Anwendern, welcher 1,6 % der gesamten in Deutschland abgesetzten Wirkstoffmasse ausmacht (BVL, 2022). Das BVL meldet gemäß §64 Pflanzenschutzgesetz die im vorangegangenen Kalenderjahr verkauften Mengen an Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen getrennt nach verschiedenen Kategorien. Bei dieser Meldung erfolgt eine Unterscheidung in berufsmäßige und nicht-berufsmäßige Verwender, eine Unterscheidung ob ein PSM im Ackerbau, auf dem Grünland oder einem anderen Bereich wie z.B. Gleisanlagen eingesetzt wird, wird nicht getroffen. Neben den Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im eigentlichen Sinne werden auch inerte Gase erfasst, da auch Kohlendioxid zum Vorratsschutz ein zugelassener Wirkstoff gemäß VO (EG) 1107/2009 ist. Kohlendioxid, welches mit 19.738 t 40,5 % der gesamten Wirkstoffmasse ausmacht (BVL, 2022), unterscheidet sich mit seiner einzigen Zulassung zum Vorratsschutz in jeder Hinsicht von den anderen Wirkstoffen, weshalb es extra ausgewiesen ist und auch nicht mit in das Reduktionsziel eingerechnet werden sollte. Würde Kohlendioxid mit in die Grundlage des Reduktionszieles einfließen, wäre das Reduktionsziel für die Wirkstoffmasse 1 und das HR-Produkt alleine durch eine Zulassungsentzung für Kohlendioxid weitestgehend erfüllt.

7.2 Behandlungsfolgen

Dieselben Unkräuter, Krankheiten und Schadinsekten lassen sich nach dem Überschreiten der Schadschwelle mit verschiedenen PSM bekämpfen. Die korrekte Auswahl aus der Produktpalette der chemischen Industrie erfolgt dabei unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, der Zulassungssituation und im Rahmen eines Resistenzmanagements unter Beachtung der Auflagen des PSM.

7.2.1 Behandlungsfolge der Hochschule Anhalt

Für die Behandlungsfolgen der HSA ist charakteristisch, dass im Bereich der Getreidefungizide häufig PSM-Packs verwendet werden, welche eine sehr große Wirkungsbreite haben. Bei den Getreideherbiziden sind Weizen und Gerste getrennt voneinander zu betrachten. Im Weizen kamen bis 2015, mit Ausnahme von 3 l/ha Filon im Jahr 2013, keine gräserwirksamen Herbizide zum Einsatz (ISIP, 2015). Es wurden nur Unkräuter überwiegend mit Sulfonylharnstoffen und PPO-Hemmern bekämpft. Angesichts des frühen Saatzeitpunktes eines Raps-Weizen ist dies kritisch zu bewerten. In den Jahren danach kamen verschiedene flufenacethaltige Produkte und Tankmischungen zum Einsatz welche alle eine gute Wirkung auf Ackerfuchsschwanz besitzen. In fast allen Jahren wurde der Ausfallraps durch eine Behandlung mit Glyphosat vor der Saat des Weizen abgetötet. Als Wachstumsregler kam in jedem Jahr ein Liter CCC als Standardmaßnahme zum Einsatz. Neben der hohen Wirkstoffmenge aus dem Wachstumsregler ist auch die Effizienz dieser Maßnahme anzuzweifeln. In der Wintergerste kam bis 2015 durchgehend das Produkt Bacara als Herbizid in der Kultur zum Einsatz. Bacara hat mit seinen beiden Bleachern keine Wirkung auf den Ackerfuchsschwanz, was auf Grund des frühen Saattermins der Wintergerste als kritisch zu bewerten ist. Ab 2016 kam das Nachfolgeprodukt CadouForte-Set zum Einsatz, welches eine gute Wirkung auf den Ackerfuchsschwanz besitzt (ISIP, 2016). Als Insektizid kam in Weizen und Gerste jedes Jahr mindestens einmal das Produkt KarateZeon zum Einsatz, dessen Wirkstoff, lambda-Cyhalothrin, als gefährlicher Wirkstoff eingestuft ist. Als Fungizide wurden häufig breit wirksame Produktpacks eingesetzt, woraus die hohe Anzahl von 5,5 fungiziden Wirkstoffen je Jahr resultiert. Die Herbizidanwendungen im Raps sind von breit wirksamen Kombinationspräparaten gegen Unkräuter und ein bis drei Anwendungen von Graminiziden gegen Ausfallgetreide gekennzeichnet. Der Einsatz von Metazachlor auf Lössboden ist ebenso vertretbar, wie die Anwendung von Clomazone gegen die am Standort stark vertretenen Raukearten. Das Fehlen von Propyzamid in der Gräserbekämpfung ist ebenso kritisch zu sehen wie die drei aufeinander folgenden Anwendungen der WSSA-Klasse 1, hier hätte der Ausfallgetreidedruck besser mechanisch oder mittels Totalherbizid vor der Saat vermindert werden sollen. Als Insektizide wurden vor allem die Pyrethroide lambda-Cyhalothrin und alpha-Cypermethrin eingesetzt. Beide sind wie auch das in fast jedem Jahr angewandte Thiacloprid gefährliche Wirkstoffe. Die Auswahl der Herbizide im Mais war geprägt von Tankmischungen aus Blatt- und Bodenherbiziden mit sehr großer Wirkungsbreite, zusätzlich kam in der Hälfte der Jahre vor der Saat ein Totalherbizid zum Einsatz, was zwar die Wirkstoffmasse erhöhte aber auch zum besseren Resistenzmanagement beiträgt. Starke Wirkungen auf den Ackerfuchsschwanz wurde vor allem durch den Einsatz von Nicosulfuron erzielt, was allerdings auch den RIH in die Höhe trieb. Gegen den Maiszünsler wurde in jedem Jahr das Produkt Coragen eingesetzt, ein Wechsel des Wirkmechanismus unterblieb. Die Herbizidbehandlungen in den Zuckerrüben entsprachen den üblichen Standardmaßnahmen für eine einfache Mischverunkrautung. Die Anwendung von Fungiziden ist sehr unterschiedlich, seit Wegfall der insektiziden Beize kam ab 2018 in jedem Jahr ein Pyrethoid zum Einsatz.

7.2.2 Behandlungsfolge unter Beachtung des Reduktionszieles

In den Fällen, in denen die Herbizidbehandlung der HSA nicht mit dem Reduktionsziel kollidierte, wurde sie übernommen. Das ist in den Jahren mit reinen Sulfonylharnstoff und PPO-Hemmer Anwendungen der Fall. Im Weizen wurde der Ausfallraps statt mit Glyphosat entweder mechanisch bekämpft oder mittels Sulfonylharnstoff im Herbst beseitigt um die hohe Wirkstoffmasse des Glyphosat einzusparen. Ab dem Jahr 2016 kamen als stark ackerfuchsschwanzwirksames Produkt Atlantis OD bzw. Atlantis WG zum Einsatz, jeweils ergänzt um Sulfonylharnstoffe um eine ausreichende Breitenwirkung im Bereich der Unkräuter zu gewährleisten. Die Wirkstoffe der Atlantis-Produkte sind hoch resistenzgefährdet und haben in 55 % der Fälle keine ausreichende Wirkung mehr gegen Ackerfuchsschwanz (WARNECKE-BUSCH et al., 2018). In der Gerste wurde die Bekämpfung der Ungräser mit dem Wirkstoff Pinoxaden durchgeführt, da alle anderen gegen Ackerfuchsschwanz wirkenden Wirkstoffe das Reduktionsziel überschritten hätten. Pinoxaden kam im Produkt Axial Komplett zum Einsatz, dessen weiterer Wirkstoff Florasulam preisgünstig ein Teil der Unkräuter erfasst. Das restliche Unkrautspektrum wurde überwiegend mit Sulfonylharnstoffen erfasst. Pinoxaden ist ähnlich hoch resistenzgefährdet wie die Gruppe der FOP-Wirkstoffe (DLG 432, 2018) welche keine ausreichende Wirkung mehr haben (WARNECKE-BUSCH et al., 2018). Im Mais basiert die Bekämpfung von Gräsern bis auf die Jahre 2015 bis 2017 ausschließlich auf dem Wirkstoff Rimsulfuron, welcher als Ersatz für das Nicosulfuron eingesetzt wurde, da er nicht als gefährlicher Wirkstoff eingestuft ist. In den Jahren 2015 bis 2017 wurden die Produkte der MaisTer-Familie verwendet. Durch die ausschließliche Anwendung von Sulfonylharnstoffen zur Gräserbekämpfung konnte zwar das Reduktionsziel eingehalten werden, allerdings wurde damit auch die Gefahr der Resistenzbildung stark erhöht. Die Lücken im Unkrautspektrum des Rimsulfurons wurden durch Mesotrione weitgehend geschlossen. Allen Anwendungen im Mais ist gemeinsam, dass sie keine Bodenherbizide enthalten und damit keine Vorsorge gegen spät auflaufende Unkräuter und Ungräser, insbesondere Hirsen, bieten. Die sehr häufige Anwendung von kräuterwirksamen Sulfonylharnstoffen in Getreide und Mais ist kritisch zu bewerten, da sich insbesondere bei Kamille, Vogelmiere, Klatschmohn und Amarant schon resistente Biotypen gebildet haben (DLG 432, 2018). Als Fungizide wurden Kombinationspräparate aus Strobilurinen oder Carboxamiden mit jeweils einem Azolwirkstoff in voller Aufwandmenge eingesetzt. Die dadurch starke Verwendung von Carboxamiden und Strobilurinen ist ebenso kritisch zu sehen wie das vollständige Fehlen von Kontaktwirkstoffen. Mit nur 2,9 fungiziden Wirkstoffen je Jahr wurden im Vergleich zur HSA-Variante deutlich weniger ausgebracht. Im Raps wurden überwiegend Kombinationspräparate aus Metazachlor und Clomazone in reduzierten Aufwandmengen angewendet. Die Bekämpfung des Ausfallgetreides erfolgte mit Mitteln aus der WSSA Gruppe 1 in reduzierter Aufwandmenge. Beide Reduzierungen waren nötig um das Reduktionsziel einzuhalten, verschärften aber auch die Gefahr von Minderwirkungen und Resistenzbildungen. Als Fungizide und zur Wachstumsregulierung kam häufig Metconazol zum Einsatz, obwohl es ein gefährlicher Wirkstoff ist, da es nur wenig Wirkstoffmasse mitbringt. Bei den

Insektiziden, welche rund 50 % des BI (Abb. 12) ausmachen, wurden keine besonders gefährliche Wirkstoffe eingesetzt. In den Zuckerrüben wurden vor allem reduzierte Mengen der Standardherbizide eingesetzt, wobei hier versucht wurde durch geschickte Kombination der Wirkstoffe eine ähnliche Wirkung zu erreichen. Durch das Reduzieren der Metamitron-Menge weit unter die empfohlenen 2800 g/ha ist mit einer Spätverunkrautung zu rechnen (WOCHENBLATT, 2016). Bei den Fungiziden wurde eine Reduktion durch eine andere Produktauswahl und teilweise durch eine Kürzung der AWM erreicht. Im Bereich der Insektizide konnte, bedingt durch die Indikationszulassungen, kaum eine Reduktion erreicht werden.

7.2.3 Behandlungsfolge „Optimal-Variante“

Die Herbizidbehandlung in Weizen und Gerste basieren auf Kombinationspräparaten aus Flufenacet und Bleachern, ab 2016 einheitlich Diflufenican. Um die Wirkung abzusichern und auch unter ungünstigen Bedingungen den Ackerfuchsschwanz sicher bekämpfen zu können, wurde ab 2016 in beiden Kulturen der Tankmischung 1600 g/ha Prosulfocarb zugegeben (JKI, 2011). In Jahren in denen an der HSA keine Gräserbekämpfung nötig war, wurden die Unkräuter ausschließlich mit Wuchsstoffpräparaten beseitigt. Der Ausfallraps wurde mit Glyphosat vor der Saat abgeräumt. Hier wurde die Aufwandmenge im Vergleich zur HSA allerdings reduziert ohne dass eine Verschlechterung der Wirksamkeit zu befürchten ist (EWERT, 2019). Zum Schutz vor Pilzkrankheiten wurde in Weizen und Gerste vor allem auf Azol-Fungizide gesetzt, welche aber immer in Tankmischung oder Spritzfolge mit einem Kontaktwirkstoff ausgebracht wurden. Bis zum endgültigen Wegfall war das in Gerste und Weizen Chlorthalonil, wobei im Weizen schon ab 2018 Mancozeb zum Einsatz kam. Strobilurine und Carboxamide wurden, wenn sie zum Einsatz kamen, in voller Menge angewendet. Trotz dem starken Einsatzes von Kontaktwirkstoffen wurde durch eine sorgfältige Auswahl der Präparate nur 3,8 fungizide Wirkstoffe je Hektar ausgebracht, was eine Verminderung von rund 30 % im Vergleich zur HSA darstellt. Bei den Insektiziden wurde das von der HSA häufig verwendete lambda-Cyhalothrin im Falle der Virusvektorenbekämpfung durch ungefährlichere Pyrethroide der Typen I und II ersetzt. Wurden Blattläuse als saugende Insekten bekämpft, wurden die nützlichsschonenden Wirkstoffe Pirimicarb und Flonicamid im Wechsel angewendet. Als Wachstumsregler wurde MedaxTop verwendet, da es nicht nur weniger Wirkstoffmenge mitbringt, sondern auch die Pflanze weniger stark negativ beeinflusst wie die hohen CCC-Mengen der HSA-Variante (Richter, 2009). Nachteilig ist der höhere Preis. Die Herbizidbehandlungen im Winterraps basieren auf dem Wirkstoff Metazachlor, außer in den Jahren 2017 und 2018 hier wurden metazachlorfreie Lösungen angewandt. Um das Unkrautspektrum vollständig abzudecken wurde das Metazachlor nach Bedarf mit Dimethenamid-P, Clomazone und Aminopyralid ergänzt. Das Ausfallgetreide wurde nur in zwei Jahren vor der Saat mit Glyphosat bekämpft, in der Kultur kam nur einmal im Jahr die WSSA-Gruppe 1 zum Einsatz um Ausfallgetreide zu bekämpfen. Um auch bereits resistente Ackerfuchsschwanzpflanzen zu erfassen, kam in jedem Jahr Propyzamid zum Einsatz, da 100 % des Ackerfuchsschwanz sensitiv gegenüber diesem Wirkstoff ist (WARNECKE-BUSCH et al. 2018). Als Wachstumsregler und Fungizid kam

bevorzugt der Wirkstoff Metconazol zum Einsatz, obwohl es sich dabei um einen gefährlichen Wirkstoff handelt, da er bei guter Wachstumsregulierung auch eine gute fungizide Wirkung hat (ISIP, 2020) und weit weniger Wirkstoffmasse mitbringt als vergleichbare Produkte. Zur Blütenbehandlung wurde ein Kombinationspräparat aus Boscalid und Dimoxystrobin angewendet, welches eine gute Wirkung gegen Sklerotinia hat (ISIP, 2020) und gleichzeitig weniger Wirkstoffmasse als vergleichbare Produkte mitbringt. Auf den noch möglichen Wirkstoff Prothioconazol wurde bewusst verzichtet, da dieser mit Anwendungen in den verschiedenen Getreidearten und Raps sehr häufig angewendet werden würde und damit sehr schnell verschleißend würde. Bei den Insektiziden wurden keine gefährlichen Wirkstoffe eingesetzt und insbesondere bei der Bekämpfung von Rapsglanzkäfern darauf geachtet, dass jede IRAC Gruppe nur einmal im Jahr zur Anwendung kam, wobei Pyrethroide weitgehend vermieden wurden. Auf die Behandlung von Schotenschädlingen wurde ganz verzichtet, da diese in der Regel nicht bekämpfungswürdig sind (ISIP, 2022). Im Mais wurden Kombinationspräparate und Tankmischungen in teils leicht verringerter Aufwandmenge verwendet, welche auch ohne Sulfonylharstoffe und gefährliche Wirkstoffe eine große Wirkbreite und Wirksamkeit erreichten (ISIP 2011-2020). In acht Jahren wurde die Altverunkrautung mit Glyphosat abgetötet, auch hier wurde die Wirkstoffmenge im Vergleich zur HSA-Variante verringert, ohne dass von einer Verschlechterung der Wirkung ausgegangen werden muss (EWERT, 2019). Bei der Anwendung der Insektizide gegen den Maiszünsler wurde auf einen Wirkstoffwechsel geachtet um einer Bildung von resistenten Populationen vorzubeugen. Es wurden die nützlichsschonenden Wirkstoffe Indoxacarb, Chlorantraniliprole und Methoxyfenozid angewendet, auch wenn dadurch eine größere Wirkstoffmasse ausgebracht wurde wie bei der jährlichen Anwendung von Chlorantraniliprole (Andrae, 2015 und ISIP, 2020 und FMC, 2023-a und FMC, 2023-b). In den Zuckerrüben wurden robuste Aufwandmengen der üblichen Standardprodukte gewählt. Es wurde darauf geachtet, dass die zur Versiegelung gegen Spätverunkrautung nötige Menge Metamitron von 2800 g/ha (WOCHENBLATT, 2016) ausgebracht wurde. Hierbei wurde in drei Jahren ein Teil des Metamitrons durch Chloridazon ersetzt und ab 2020 ergänzend zum Metamitron Dimethenamid-P eingesetzt. Im Bereich der Insektizide wurden soweit es durch die Indikationszulassung möglich war, keine besonders gefährlichen Wirkstoffe eingesetzt. Die Fungizide wurden von der HSA-Variante übernommen, zur Vermeidung der Bildung von Resistenzen aber in voller AWM eingesetzt.

7.3 Methodik

Die in der Arbeit angewandten Rechenwege sind an die von der EU vorgegebenen Rechenverfahren angelehnt und zur Erstellung optimierter Behandlungen auf ein Hektar skaliert. Da die Berechnungen der Mengen und Risikopunkte nur für die gesamte BRD erfolgt, gibt es keine hektarbezogenen Referenzwerte. Diese könnten jedoch mit den Aufzeichnungen der „Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ (DACHBRODT-SAAYDEH et al., 2021) und der Methodik dieser Arbeit errechnet

werden. Zur Bewertung der Gefahr der Bildung von Resistenten Biotypen bei Ackerfuchsschwanz und den Getreidekrankheiten *Ramularia* und *Septoria trit.* auf Basis der angewendeten Pflanzenschutzmittel konnte bisher kein Verfahren gefunden werden, weshalb im Rahmen dieser Arbeit ein Indikatorsystem entwickelt wurde. Die als RIH (Resistenzindikator Herbizid) bzw. RIF (Resistenzindikator Fungizid) bezeichneten Modelle geben die Gefahr der Resistenzbildung auf Basis der RAC Klasse des Wirkstoffs, der Aufwandmenge des PSM und seine Mischungspartner bzw. gegebenenfalls Behandlungsfolgen und Tankmischungen an. Der RI gibt bei voller Aufwandmenge des PSM Werte von 1 bis 6 aus. Beim Entwurf dieses Modells wurde mit auf dem Bereich des Pflanzenschutzes erfahrenen Fachleuten aus der Praxis Rücksprache gehalten, dennoch sollte zur Validierung der Methode die Berechnungen selbst, ihre Ergebnisse und die Interpretation dieser durch weitere Fachleute erfolgen.

7.4 Erreichbarkeit des Reduktionszieles

7.4.1 Wirkstoffmenge 1

Die größte Wirkstoffmenge 1 war mit etwa 4,9 kg/ha in den Zuckerrüben der PAPA-Erhebungen zu finden. Die Zuckerrüben der Optimalvariante verursachten eine Wirkstoffmenge 1 von rund 4 kg/ha und lagen damit deutlich über den Zuckerrüben der HSA-Variante mit 3,4 kg/ha und der Reduktions-Variante mit 2,9 kg/ha. Bei den Zuckerrüben war aufgrund der eingeschränkten Wirkstoffpalette kaum eine Reduktion zu erzielen (Abb. 2). Auch weil in Zuckerrüben zur Absicherung gegen Spätverunkrautung mindestens 2,8 kg/ha Metamitron ausgebracht werden müssen (WOCHENBLATT, 2016), welche in der Reduktions-Variante aber deutlich unterschritten wurden. Der Winterweizen der HSA-Variante und der Optimal-Variante erreichten mit 3,6 kg/ha bzw. 3,5 kg/ha ähnlich hohe Werte wie die Zuckerrüben, hingegen kam die Reduktionsvariante nur auf 866 g/ha. Der Winterweizen der PAPA-Daten lag mit 2,3 kg/ha dazwischen. In der Optimal-Variante wird die hohe Menge vor allem von den zur Minderung der Resistenzgefahr eingesetzten Kontaktfungizide und Bodenherbizide (Tabellenblatt C1 und C2) verursacht, bei der HSA-Variante schlagen vor allem die hohen Wirkstoffmengen aus den sehr intensiven Fungizid-Anwendungen und der massenreiche Wachstumsregler Chlorcholinchlorid zu Buche (Abb. 3). Im Winterraps liegen die HSA-Variante und die Optimalvariante mit je 2,4 kg/ha bzw. 2,3 kg/ha nahe an den PAPA-Daten, welche 2,1 kg/ha ausweisen. Die Reduktions-Variante liegt mit 1 kg/ha deutlich niedriger. Die hohe Masse des in der Optimal-Variante eingesetzten Propyzamid konnte durch eine geringere Menge an anderen Herbizide und durch eine andere Auswahl von Fungiziden überkompensiert werden. Im Mais schwank die Wirkstoffmenge 1 stark zwischen der HSA-Variante mit 2,4 kg/ha bzw. der Optimal-Variante mit 2,2 kg/ha und der Reduktions-Variante, welche nur 281 g/ha Wirkstoffmasse 1 verursachte, von denen allein 25 g/ha auf Insektizide entfielen. Der PAPA Mais verursacht rund 1,75 kg/ha Wirkstoffmasse, von denen nur 0,75 g/ha auf Insektizide entfallen. Die HSA-Variante setzte in vielen Jahren auf S-Metolachlor, welches schon alleine 1,2 kg/ha Wirkstoffmasse 1

verursacht. Die Optimal-Variante ersetzte S-Metolachlor teilweise durch Terbutylazin und Dimethenamid-P. In der Reduktions-Variante sind keinerlei Bodenherbizide und kein Glyphosat verwendet worden, dafür aber vor allem Sulfonylharnstoffe. Dadurch ließ sich zwar viel Wirkstoffmenge einsparen, allerdings zu Lasten des Schutzes vor Spätverunkrautung und mit einem sehr hohen Resistenzrisiko bei Gräsern und Unkräutern insbesondere Kamille (DLG 432, 2018). In der Wintergerste ist die Wirkstoffmenge 1 der Optimal-Variante mit 2,6 kg/ha auffällig hoch im Vergleich zur HSA-Variante und den PAPA-Daten mit 1,7 kg/ha bzw. 1,6 kg/ha. Die Begründet sich vor allem durch den konsequenten Einsatz von Kontaktfungiziden und Tankmischungen von massereichen Bodenherbiziden, welche aber beide für eine verantwortungsvolle Nutzung der zur Verfügung stehenden Wirkstoffgruppen zwingend notwendig sind. Im Gegensatz dazu steht die Reduktions-Variante mit nur 583 g/ha Wirkstoffmasse 1, von denen 44 % alleine aus Wachstumsreglern stammte. Durch die fast ausschließliche Nutzung der WSSA Gruppe 1 und 2 konnte die Herbizidmenge im Vergleich zur Optimal-Variante um 93 % gesenkt werden, allerdings wurde damit auch eine sehr hohe Resistenzgefahr erkaufte und gegen die gute fachliche Praxis nach Anhang III RL 2009/128/EG verstoßen (JKI, 2011). Das Reduktionsziel der Wirkstoffmasse 1 lässt sich nur dann erfüllen, wenn in allen Kulturen die gute fachliche Praxis missachtet wird.

7.4.2 Wirkstoffmenge 2

Winterweizen trägt überdurchschnittlich viel zur Wirkstoffmasse 2 bei (Abb.7). Die HSA-Variante brachte mit 848 g/ha die größte Menge an gefährlichen Wirkstoffen aus, fast zu gleichen Teilen auf Herbizide und Fungizide verteilt. Die hohe Menge bei den Herbiziden rührt vor allem aus der Verwendung des Wirkstoffs Pendimethalin in den Jahren 2015, 2018 und 2020 zusätzlich zu dem in vier Jahren eingesetzten Flufenacet. Die hohe Menge der gefährlichen fungiziden Wirkstoffe stammt überwiegend aus den Azol-Wirkstoffen der reichlich eingesetzten Fungizid-Packs. Die Optimal-Variante setzt an gefährlichen Wirkstoffen mit 376 g/ha deutlich weniger und in Herbiziden ausschließlich Flufenacet und Diflufenican ein. Flufenacet ist aber für eine sichere Regulierung des Ackerfuchsschwanzes alternativlos, Diflufenican ergänzt das Wirkspektrum um wichtige Unkräuter und vermeidet so den Einsatz größerer Mengen anderer Herbizide, zudem trägt es zur Absicherung der Wirkung gegen den Ackerfuchsschwanz bei. Die 172 g/ha gefährliche Wirkstoffe gegen Pilzkrankheiten wurden durch die vereinzelte Anwendung von Azol-Fungiziden verursacht, die dann angewendet wurden, wenn sich durch den Einsatz eines gefährlichen Wirkstoffs eine große Menge Wirkstoffmenge 1 einsparen ließen. Aus dem gleichen Grund wurden auch in der Reduktions-Variante gefährliche Wirkstoffe eingesetzt, allerdings mit in Summe 97 g/ha deutlich weniger als in allen anderen Varianten (Tabellenblatt C1). Zweitgrößter Verursacher an Wirkstoffmasse 2 ist in allen Varianten die Kultur Winterraps. Während sie in der HSA-Variante, der Reduktions-Variante und den PAPA-Daten zum Großteil aus Fungiziden, hier durch Azol-Wirkstoffe auch aus Wachstumsreglern verursacht, besteht, nehmen die Herbizide in der Optimal-Variante den Großteil in Anspruch. Diese große Herbizidmenge kommt vor allem aus der Anwendung von Propyzamid, mit dem auch

mehrfachresistente Ackerfuchsschwanztypen zuverlässig bekämpft werden können, was ein wesentlicher Teil des Resistenzmanagements in Winterraps darstellt. Auffällig ist, dass die HSA-Variante und auch die PAPA-Daten über 15 % der Wirkstoffmasse 2 durch Insektizide erzeugen. In der Reduktions- und auch der Optimal-Variante sind keine gefährlichen Insektizide zum Einsatz gekommen. In der Wintergerste haben die PAPA-Daten mit rund 640 g/ha, davon 540 g/ha aus Herbiziden, die größte Menge noch vor der HSA-Variante mit rund 450 g/ha, von denen rund 300 g/ha aus Herbiziden stammen. Verursacht werden diese hohen Mengen bei den PAPA-Daten durch die häufige Verwendung der Herbizide Isoproturon (nach dem Widerruf seiner Zulassung ersetzt durch Chlortoluron) und Pendimethalin. Beide zusammen machen im Jahr 2019 rund 72 % der Wirkstoffmasse 2 und 48 % der Wirkstoffmasse 1 der PAPA-Daten aus. In der HSA-Variante wurden vor allem Flufenacet und Diflufenican eingesetzt, in zwei Jahren zusätzlich der Wirkstoff Pendimethalin. Dazu kommen 64 g/ha gefährliche Insektizide, vor allem lambda-Cyhalothrin und Dimethoat. In der Optimal-Variante wurde die Wirkstoffmasse 2 ebenfalls von Flufenacet und Diflufenican verursacht, allerdings wurde das Pendimethalin durch Prosulfocarb ersetzt, welches nicht als gefährlicher Wirkstoff eingestuft ist. Als Insektizide kamen keine als gefährlich eingestuftene Wirkstoffe zum Einsatz. In der Reduktions-Variante spielen die gefährlichen Wirkstoffe mit 20 g/ha praktisch keine Rolle, 60 % davon wurden durch Sulfonylharnstoffherbizide erzeugt, der Rest aus Insektiziden. In Mais ist die Menge an gefährlichen Wirkstoffen unbedeutend (Abb. 5), die größte Masse stammt bei den PAPA-Daten aus dem Einsatz von Nicosulfuron, dem flächenstärksten gefährlichen Wirkstoff, sowie Pendimethalin und Flufenacet (Tabellenblatt A5). Reduktions- und Optimal-Variante setzen keinerlei gefährliche Wirkstoffe ein. In der HSA-Variante kamen vereinzelt Nicosulfuron und Prosulfuron zum Einsatz, allerdings immer in reduzierter AWM. Dies mindert zwar die Wirkstoffmasse 2, ist aber der Resistenzvorsorge abträglich. In Zuckerrüben kamen an gefährlichen Wirkstoffen fast ausschließlich Azol-Fungizide zum Einsatz. Da hier die Produktpalette sehr eingeschränkt ist, unterscheiden sich die einzelnen Varianten nicht nennenswert voneinander. In den Getreidekulturen enthalten die Wachstumsregler keine gefährlichen Wirkstoffe. Die im Raps zugelassenen Produkte enthalten in der Regel Azol-Wirkstoffe, welche eine wachstumsregulierende Wirkung mit einer fungiziden Wirkung kombinieren. Als reiner Wachstumsregler ist nur Trinexapac zugelassen, welcher aber auf Grund des Preisgefüges keine Rolle spielt. Im gewichteten Mittel der Kulturen lässt sich mit den Behandlungsfolgen dieser Arbeit das Reduktionsziel der Wirkstoffmasse 2, welches bei 333 g/ha liegt, einhalten. Gefährliche Wirkstoffe sind aber unverzichtbar, z.B. Flufenacet zur Bekämpfung von Gräsern in den meisten Wintergetreiden, Propyzamid als wichtiger Bestandteil von Resistenzvermeidungsstrategien bei Gräsern in Raps. Im Bereich der Pilzkrankheiten sind dies die Azol-Fungizide, zur Schonung von Carboxamiden und Strobilurinen, sofern sich noch keine gegen diese beiden Gruppen resistente Biotypen gebildet haben. Wenn das der Fall ist, bleiben nur noch Azol-Fungizide. Bei den Insektiziden hingegen lässt sich weitgehend auf gefährliche Wirkstoffe verzichten, ohne dass die Produktion langfristig eingeschränkt wird, da in jeder in Deutschland gebräuchlichen

IRAC-Gruppe als ungefährlich eingestufte Wirkstoffe vorhanden sind. Der Anbau anderer Kulturen wie z. B. Erbsen und Ackerbohnen ist bei der Unkrautbekämpfung vollständig auf gefährliche Wirkstoffe angewiesen, weil dort keine andere Wirkstoffe zugelassen sind oder das Wirkspektrum der nicht als gefährlich eingestuften Wirkstoffe nicht ausreichend breit ist (ISIP, 2022).

7.4.3 HR-Produkt

Das HR-Produkt ist an die Wirkstoffmengen 1 und 2 gekoppelt, weshalb seine Höhe in den einzelnen Kulturen und Varianten denen der Wirkstoffmassen ähnelt. Demzufolge hat die Zuckerrübe im Mittel der Varianten das höchste HR-Produkt. Da die Wirkstoffpalette bei Zuckerrüben im Vergleich zu anderen Kulturen klein ist, ließ sich das HR-Produkt nur durch eine Reduktion der Menge erreichen. Mengenreduktionen sind allerdings immer an einen Wirkungsverlust gekoppelt, weshalb davon auszugehen ist, dass sich die Zuckerrüben der Reduktions-Variante nur unter sehr günstigen Bedingungen als ausreichend unkrautfrei erweisen (Abb. 8). Das HR-Produkt des Winterweizens wird in der HSA- und der Reduktions-Variante von den Fungiziden dominiert. In der HSA-Variante kamen größere Mengen Azol-Fungizide zum Einsatz, welche vielfach als gefährliche Wirkstoffe eingestuft sind. In der Reduktions-Variante wurden nur sehr massearme Herbizide eingesetzt, welche zusätzlich kaum gefährliche Wirkstoffe enthielten. Die absolut gesehen geringe Menge gefährliche Wirkstoffe der Fungizide wirkt sich dadurch stärker aus (Abb. 9). Im Winterraps zeigt sich, dass eine Optimierung der Behandlungsfolgen nicht mit einem größeren HR-Produkt einhergeht. Im Raps konnte das HR-Produkt vor allem durch Ausweichen auf geringere Dosierungen der Wirkstoffe und teilweises Weglassen von Behandlungen gesenkt werden. In der Wintergerste sind außer in der Reduktions-Variante die Herbizide vorherrschend. In der Reduktions-Variante haben Wachstumsregler den größten Einzelposten, obwohl sie keine gefährlichen Wirkstoffe enthalten, weil sich ihre Masse nicht durch eine geänderte Wirkstoffauswahl senken lässt. Bei den Herbiziden hingegen fielen eine sehr geringe Wirkstoffmasse mit nicht als gefährlich eingestuften Wirkstoffen zusammen, was ein kleines HR-Produkt ergibt. Der Mais war die Kultur bei der die größten Reduktionserfolge erzielt werden konnten (Abb. 10). Durch den konsequenten Einsatz massearmer Wirkstoffe und den vollständigen Verzicht auf gefährliche Wirkstoffe in der Reduktions-Variante. In der Optimal-Variante war das HR-Produkt durch den Einsatz von geringer resistenzgefährdeten Bodenherbiziden mit rund 18 HR/ha deutlich höher als das der Reduktions-Variante (2,2 HR/ha) aber immer noch niedriger als das der HSA-Variante mit rund 20 HR/ha. Das Reduktionsziel, welches bei 9,57 Punkte je Hektar liegt, wurden vom PAPA Mais nur um 1,4 HR/ha verfehlt. Im Mittel alle Kulturen konnte das Reduktionsziel eingehalten werden. Das war allerdings nur durch einen Verzicht auf Wirkungssicherheit und Resistenzvorsorge, sowie durch den hohen Anteil Mais verbunden mit dessen niedrigen HR-Produkt möglich. Das HR-Produkt stellt kein geeignetes Mittel zur Quantifizierung des Risikos von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen dar. Wird z.B. bei der Bekämpfung von Blattläusen in Möhren der gefährliche Wirkstoff lambda-Cyhalothrin durch Rapsöl ersetzt, steigt das HR-Produkt von 0,12 Punkten je Hektar und den Faktor 628,4 auf

75,41 Punkte je Hektar an (SYNGENTA, 2021 und BIOFA, 2023). Nach Artikel 3 RL 2009/128/EG soll das HR-Produkt zur Beurteilung des Risikos für die Umwelt und/oder den Menschen verwendet werden. Ob Rapsöl in Speiseölqualität tatsächlich um den Faktor 628,4 gefährlicher als lambda-Cyhalothrin ist, muss noch abschließend geklärt werden.

7.4.4 Behandlungsindex

Der Behandlungsindex ist in allen Behandlungsvarianten höher als der der PAPA-Daten (Abb. 11). Der Winteraps der HSA-Variante erzielt mit einem BI von im Schnitt 9,5 den höchsten Wert, gefolgt von der Optimal-Variante mit einem BI von 9,0 und der Reduktions-Variante mit 8,3. In allen drei Strategien haben die Insektizide den größten Anteil am BI, welcher zwischen 41 % und 47 % schwankt. Raps wird in nahezu jedem Stadium seiner Entwicklung von Schädlingen befallen (ZELLNER, 2021) welche große wirtschaftliche Schäden hervorrufen können (MARTINEZ, 2014). Besonders der Rapsglanzkäfer ist von der Bildung von Resistenzen betroffen, was einen größeren BI verursacht, da nicht getötete Käfer in der Regel eine weitere Behandlung mit einem anderen Wirkmechanismus erforderlich machen (JKI, 2021). Da bei den Herbiziden die Wirkstoffpalette recht eingeschränkt ist, basieren alle Strategien weitgehend auf dem Wirkstoff Metazachlor, welcher im Voraufbau passend ergänzt wurde, zuzüglich zwei Maßnahmen gegen Gräser. Während in der HSA- und in der Reduktions-Variante beide Maßnahmen auf der WSSA-Gruppe 1 in voller AWM fußen, wurde in der Optimal-Variante eine Maßnahme mit dem Wirkstoff Propyzamid durchgeführt, was sich auf Grund dessen nicht voll ausgeschöpfter AWM senkend auf den BI auswirkt. Bei den Fungiziden/Wachstumsreglern war im Rahmen dieser Arbeit auf Grund der Methodik keine Optimierung und auch keine Reduktion möglich. In der Praxis ließ sich hier durch Sortenwahl und Prognosemodelle sowie eine intensive Bestandesbeobachtung vermutlich Einsparungen ermöglichen. Der BI des Winterweizens ist in der HSA-Variante am größten. Dies rührt vor allem aus den verwendeten Fungizid-Packs und der teilweise sich im Wirkspektrum überlappenden Herbiziden im Frühjahr. Reduktions- und Optimal-Variante haben den annähernd selben BI, allerdings ist der Anteil der Herbizide in der Reduktions-Variante größer, da hier sehr massearme, aber auch wenig breitwirksame, Herbizide ergänzt wurden. In der Optimal-Variante erhöht das Kontaktfungizid den BI. In den Zuckerrüben ist am BI deutlich zu sehen, dass dort die Unkrautbekämpfung nicht mit einer einfachen Behandlung mit einer unkomplizierten Tankmischung erledigt ist sondern eine komplexe Behandlungsfolge umfasst (LWK NDS, 2023). Durch die in der Regel drei Mal erfolgende Unkrautbekämpfung mit je einer Tankmischung aus einem blattaktiven und einem bodenaktiven Herbizid lassen selbst bei verringerter AWM den BI stark steigen. Bei der Anwendung von Fungiziden war auf Grund der eingeschränkten Mittelpalette keine Reduktion oder Optimierung möglich. In der Praxis ließ sich hier durch Sortenwahl und Prognosemodelle sowie engmaschige Bestandesbeobachtung vermutlich Einsparungen ermöglichen. In der Wintergerste schwankten die BI zwischen Varianten nur um rund 0,5 Einheiten zwischen 4,8 und 5,3, die PAPA-Variante hingegen wies einen BI von 4,1 auf. Der BI der Herbizide in der Reduktions-Variante ist etwas höher als der in der Optimal-

Variante, was vor allem daran lag, dass in der Reduktion-Variante die Herbizide in voller AWM angewendet wurden um die schon auf Grund der Wirkstoffwahl hohe Resistenzgefahr nicht weiter zu erhöhen. In der PAPA-Variante ist der Anteil von Wachstumsreglern und Insektiziden deutlich geringer im Vergleich zu den anderen drei Varianten, was aber vor allem am intensiven Einsatz dieser zwei PSM Gruppen in der HSA-Variante im Zusammenhang mit der Methodik dieser Arbeit liegt. Im Mais liegen die HSA-Variante und beide daraus kalkulierten Varianten auf Grund der jährlichen Insektizidbehandlung deutlich über dem BI der PAPA-Daten, da hier nur ein BI von 0,02 für die Insektizide ausgewiesen ist. Bei den Herbiziden schwankt der BI zwischen dem der PAPA-Variante mit 1,86 und 2,15 bei der Reduktions-Variante nicht stark, lediglich die HSA-Variante sticht mit einem BI von 2,9 hervor. Der hohe BI der HSA-Variante rührt vor allem von den relativ hohen AWM an Glyphosat und die häufige Anwendung einer S-Metolachlor Einzelformulierung. Denn Kombinationspräparate senken den BI einer Behandlungsfolge im Vergleich zu einer Tankmischung von einzeln formulierten Wirkstoffen mit selben Wirkstoffgehalt. Das Produkt Credo brachte mit 2 l/ha 200 g/ha Picoxystrobin und 1000 g/ha Chlorthalonil aus, der BI dieser Anwendung ist 1, sie kostete 2017 54 €/ha. Eine Tankmischung aus 0,8 l/ha Acanto und 2 l/ha Bravo 500 bringt die selbe Wirkstoffmenge aus, erzeugt aber einen BI von 1,8 und Kosten von 62 €. In diesem Fall ist es für den Landwirt sinnvoll sich für das Kombinationsprodukt zu entscheiden, gleichzeitig sinkt der BI der Kultur. Der umgekehrte Fall ist beim Produkt Starane XL zu beobachten: 1,8 l/ha des Produkts kosten 55 €/ha und bringen neben 180 g Fluroxypyr auch 4,5 g Florasulam aus. Eine Tankmischung mit selbem Wirkstoffgehalt besteht z.B. aus 0,9 l/ha Tomigan 200 und 90 ml/ha Saracen. Sie verursacht Kosten in Höhe von 35,9 €/ha und einen BI von 1,6 im Vergleich zum BI des StaraneXL mit 1,0. Hier ist es, trotz des 60 % höheren BI, für den Landwirt sinnvoll sich gegen das Kombinationsprodukt zu entscheiden, da die Kosten der Tankmischung 35 % niedriger liegen (ISIP, 2017).

7.4.5 Kosten

Die Kosten wurden anhand der Richtpreise aus der für das jeweilige Jahr geltende Broschüre „Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland“ (ISIP 2012-2020) ermittelt (für 2011 wurden die Preise von 2012 angenommen, da in der Ausgabe von 2011 keine Preise verzeichnet waren). Da in den Kosten keine Kosten für die Überfahrten enthalten sind, wirken sich Tankmischungen im Vergleich zur einzelnen Ausbringung, wie es z.B. bei Herbiziden im Mais der Fall sein kann, nicht auf die Kosten aus. Als Vergleich dient das Mittel der Kosten von 2015 bis 2019 aus der Datensammlung „Prozesskosten im Ackerbau in Sachsen-Anhalt“ der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt in der Ausgabe des Jahres 2021. Beim Winterweizen liegen die Herbizidkosten der HSA- und der Optimal-Variante mit rund 70 €/ha bzw. rund 66 €/ha schon über dem Landesdurchschnitt von Sachsen-Anhalt, der rund 48 €/ha beträgt. Die Reduktionsvariante ist mit rund 95 €/ha etwa doppelt so teuer wie der Landesdurchschnitt. Die Kosten für Fungizide unterscheiden sich zwischen Varianten mit 130 €/ha bis 138 €/ha nur unwesentlich, liegen aber um den Faktor 2,36 höher als der Landesdurchschnitt, welcher bei rund

57 €/ha liegt. Die HSA-Variante gibt mit 5 €/ha nur die Hälfte für Wachstumsregler aus, verglichen mit dem Landesdurchschnitt, während Reduktions- und Optimal-Variante mit 20 €/ha doppelt so teuer sind. Die Kosten für Insektizide unterscheiden sich zwischen den Varianten nur unwesentlich, liegen aber mit im Durchschnitt von etwa 13,5 € bei etwa dem dreifachen des Landesdurchschnitts von Sachsen-Anhalt. Bei der Wintergerste liegen die HSA und die Optimal-Variante mit 57 €/ha bzw. 60 €/ha nur wenig über dem Landesdurchschnitt von 46 €/ha, hingegen liegt die Reduktions-Variante mit 85 €/ha deutlich darüber. Die Kosten für Fungizide liegen in der HSA- und in der Reduktionsvariante mit rund 60 €/ha etwa 50 % über dem Landesdurchschnitt von Sachsen-Anhalt der 42 €/ha beträgt. Die Optimal-Variante ist mit 87 €/ha mehr als doppelt so teuer. Die Kosten für Wachstumsregler liegen mit 41,4 €/ha bis 41,8 €/ha in allen drei Varianten gleich hoch und bei rund dem Doppelten des Sachsen-anhaltinischen Durchschnitts von rund 20 €/ha. Die Insektizide kosten in allen Varianten einheitlich rund 11 €/ha und die Kosten für Insektizide sind damit drei Mal höher als im Landesdurchschnitt von Sachsen-Anhalt, der bei 3,7 €/ha liegt. Mit rund 145 €/ha bzw. 149 €/ha liegen die Herbizidkosten im Raps bei der HSA- und der Optimalvariante deutlich über dem Landeschnitt von Sachsen-Anhalt, der bei 81 €/ha liegt. Die Reduktions-Variante ist mit 125 €/ha zwar günstiger, aber immer noch 50 % teurer als der bundeslandweite Vergleichswert. Mit 100 €/ha hat die HSA-Variante die höchsten Kosten für Fungizide und Wachstumsregler, gefolgt von der Reduktions-Variante mit 92 €/ha. Aber selbst die 90 €/ha der Optimal-Variante sind immer noch das eineinhalbfache des Durchschnittes des Landes Sachsen-Anhalt, welcher bei rund 59 €/ha liegt. Die Kosten für die Insektizide der Reduktions-Variante liegen mit 33 €/ha nahe am Durchschnitt des Landes Sachsen-Anhalt, welcher bei rund 31 €/ha liegt. Die Optimal-Variante ist mit 38 € etwa 20 % teurer, die Kosten der HSA-Variante liegen mit 50 €/ha weit darüber. Im Mais waren die Herbizidkosten in der Optimal-Variante mit 87 €/ha am niedrigsten, gefolgt von der HSA-Variante mit 111 €/ha. Die Herbizidbehandlung unter Beachtung des Reduktionsziels verursachte mit 126 €/ha fast das Doppelte an Kosten im Vergleich zu der Erhebung der LLG, welche die Herbizidkosten in Körnermais mit 64 €/ha angibt. Bedingt durch den vermutlich deutlich höheren BI fallen auch die Kosten für Insektizide deutlich höher aus als im sachsen-anhaltinischen Durchschnitt, welcher bei 3,93 €/ha liegt. Die Kosten für die Insektizidbehandlung gegen den Maiszünsler liegen mit 41 €/ha bis 43 €/ha in allen Varianten nah beieinander. In den Zuckerrüben unterschieden sich die Kosten für die Herbizide beträchtlich. In der Reduktions-Variante lagen sie mit 184 €/ha am niedrigsten, was vor allem den stark verringerten Aufwandsmengen geschuldet ist. Die Hochschule liegt mit 205 €/ha darüber ist aber immer noch günstiger als die Optimal-Variante, welche Kosten in Höhe von 256 €/ha verursachte. Die Optimal-Variante ist trotz der höchsten Kosten immer noch günstiger als die mittleren Herbizidkosten in Sachsen-Anhalt, welche bei 258 €/ha liegen. Die Aufwendungen für Fungizide waren in der Reduktions-Variante mit 28 €/ha am niedrigsten, obwohl sie immer noch etwa doppelt so hoch waren wie die durchschnittlichen Aufwendungen in Sachsen-Anhalt, welche bei rund 15 €/ha lagen. Die Kosten der HSA- und der Optimal-Variante liegen mit 46 €/ha bzw. 50 €/ha nah beieinander. Für Insektizide wurde in allen drei

Behandlungsvarianten mit 8 €/ha bis 9 €/ha ähnlich viel Geld ausgegeben, im Durchschnitt 3 €/ha mehr als im Mittel des Landes Sachsen-Anhalt. Im gewichteten Mittel zeigt sich, dass die Reduktions-Variante mit 26 €/ha deutlich teurer ist als die HSA-Variante. Eine Optimierung der HSA-Variante auf ein möglichst gutes Resistenzmanagement verursacht nur Mehrkosten in Höhe von 1 %.

7.4.6 Resistenzindikatoren

In Tabelle 13 sind die einzelnen Kulturen und Varianten mit ihrem jeweiligen Flächenanteil und RIH dargestellt. Nach der Bewertungsmatrix in Tabelle 8 sind die Behandlungsfolgen der Hochschule Anhalt kritisch zu bewerten, da sie mit einem RIH von 3,87 unter einem Wert von 4 aber über 3,16 und damit bereits im problematischen Bereich liegen. Es ist damit zu rechnen, dass Probleme mit resistenten Biotypen auftreten werden. Die Reduktionsvariante ist mit einem Wert von 8,47 weit über den inakzeptablen Wert von 4 hinaus. Es ist anzunehmen, dass die Behandlungsfolge der Reduktionsvariante innerhalb kürzester Zeit zur starken Bildung einer resistenten Population an Ackerfuchsschwanz führt und ist deshalb abzulehnen. Der Wert der Optimal-Variante von 2,55 ist als sehr gut zu bewerten. Wird diese Behandlungsfolge angewandt, ist nicht mit der Bildung von resistenten Biotypen zu rechnen. Bereits vorhandene latent resistente Populationen können wieder zurückgedrängt werden.

In Tabelle 13 sind die beiden Kulturen Winterweizen und Wintergerste mit ihrem RIF der jeweiligen Variante und ihrem Flächenanteil dargestellt. Nach der Bewertungsmatrix in Tabelle 11 sind die Fungizidanwendungen der HSA aus Sicht der Resistenzgefahr im Übergang von gut zu schlecht einzuordnen. In der Reduktionsvariante ist mit einer raschen Bildung von Resistenzen und Minderwirkungen der Fungizide zu rechnen, da der Wert von 4,06 über der Grenze des inakzeptablen von 4,0 liegt. Die Behandlungsfolge der Reduktionsvariante ist damit abzulehnen. Die Optimalvariante erzielt einen Wert von 2,51, damit wird der Bildung von Resistenzen gut vorgebeugt und die Wirkmechanismen bleiben auch auf lange Sicht erhalten.

7.4.7 Kennzahlen der Kleinkulturen

Die Kulturführung der Kleinkulturen orientierte sich an der Optimal-Variante um auch langfristig die Produktion dieser Kulturen sicherzustellen. Zwischen den Kulturen gibt es große Unterschiede. Die geringsten Zahlen unter den Marktfrüchten weisen das Getreide zur Ganzpflanzenernte, der Hafer und die Sonnenblumen auf. Beim Getreide zur Ganzpflanzenernte wurde angenommen, dass dieses vor allem als Biogassubstrat dient und die Ernte vor dem Aussamen des Ackerfuchsschwanzes erfolgt. Dadurch lässt sich einerseits die Grünmasse des Ackerfuchsschwanzes mit als Erntegut nutzen, andererseits ermöglicht dies aber auch, dass keine teuren Bodenherbizide als Herbstbehandlung eingesetzt werden müssen. Die von Praktikern oft befürchtete Verbreitung von Ackerfuchsschwanz findet dabei nicht statt (de MOL et al., 2020). Beim Hafer wurde angesichts der eher schlechten Wirtschaftlichkeit (RICHTER, 2021) auf eine günstige und gleichzeitig breite Unkrautbekämpfung geachtet. Das ausgewählte Kombinationspräparat hat den

Vorteil, dass es die von Sulfonylharnstoffresistenzen betroffenen Arten Kamille und Vogelmiere (DLG 432, 2018) mit dem Clopyralid sicher und ohne nennenswerte Resistenzgefahr erfasst. In der Praxis tritt in der Regel nur Mehltau als bekämpfungswürdige Krankheit auf. Haferkronenrost ist nur selten anzutreffen und wurde deshalb nicht behandelt. In Sonnenblumen wurde sich für die Verwendung von sulfonylharnstofftoleranten Sorten entschieden. Sonnenblumen werden vor allem auf leichteren Böden angebaut. Die in konventionellen Sorten einzusetzenden Bodenherbizide sind hier insbesondere nach kräftigeren Niederschlägen nicht immer gut verträglich. Ohne regelmäßige Niederschläge sind die Bodenherbizide aber auch nur eingeschränkt wirksam, da sie zur sicheren Wirkung eine regelmäßige Durchfeuchtung des Bodens benötigen. Sulfonylharnstofftolerante Sorten werden von verschiedenen Züchtern angeboten und umgehen die Nachteile der konventionellen Sorten, haben aber den Nachteil die Resistenz von Unkräutern gegen Sulfonylharnstoffe zu fördern (DLG 432, 2018). Triticale und Roggen befinden sich im Mittelfeld. Beide Getreide wurden mit einer gut wirksamen Herbstbehandlung gegen Ackerfuchsschwanz angebaut. Roggen wurde intensiv gegen Braunrost geschützt, Triticale wurde, bei passender Sortenwahl, mit einer einmaligen Behandlung mit Prothioconazol ausreichend gut gegen Septoria trit und Roste geschützt. Im oberen Bereich der Kennzahlen befinden sich die Leguminosen Lupine, Sojabohne, Erbse und Ackerbohne. In allen vier Kulturen sind zur breit wirksamen Unkrautbekämpfung mit wirtschaftlich vertretbaren Kosten nur Bodenherbizide zugelassen, welche aber alle alleine oder in der nötigen Tankmischung große Mengen als gefährlich eingestufte Wirkstoffe enthalten (ISIP, 2020). Während Erbsen und Ackerbohnen gegen die sie befallenden Krankheiten geschützt werden sollten, kann bei Lupine und Sojabohne auf eine Behandlung mit Fungiziden verzichtet werden (ISIP, 2022). Spitzenreiter unter den Kleinkulturen ist die Kartoffel. Die Unkrautregulierung in Kartoffeln basierte je nach Sorte auf den Wirkstoffen Aclonifen und Metribuzin, beides als gefährlich eingestufte Wirkstoffe, ergänzt um Flufenacet, ebenfalls als gefährlich eingestuft oder Prosulfocarb, welches mit bis zu 4 kg/ha Wirkstoff sehr viel Wirkstoffmasse 1 mitbringt (ISIP, 2022). In der Arbeit wurde sich für eine Tankmischung mit jeweils reduzierten AWM aus Aclonifen und einem Kombinationspräparat aus Metribuzin und Flufenacet entschieden, ergänzt um Clomazone um die Wirkung gegen Nachtschatten und Knöteriche abzusichern Die wichtigste Krankheit in Kartoffeln ist die Kraut- und Knollenfäule. Deren sichere Bekämpfung sichert in erheblichem Maße den Ertrag ab, der bei Starkbefall vollständig ausfallen kann (SCHÖBER-BUTIN, 2001). Die Kontrolle der Kraut- und Knollenfäule erfordert auf Grund der Biologie des Pilzes und der Kartoffel eine intensive Behandlung mit Fungiziden. Durch diese intensive Behandlung ist die Gefahr der Bildung von Resistenzen verhältnismäßig hoch, so sind in der Vergangenheit die Wirkstoffe aus der Gruppe der Phenylamide weitgehend ausgefallen (ISIP, 2017). Um weitere Resistenzen zu vermeiden, muss in den Behandlungsfolgen darauf geachtet werden, dass die FRAC-Gruppen gewechselt werden und es sollten die spezifisch wirkenden Wirkstoffe immer in Tankmischung mit einem MSI-Wirkstoff angewendet werden. In der Vergangenheit wurde, wie auch in dieser Arbeit, dazu der Wirkstoff Mancozeb genutzt, welcher zusätzlich die zweite

wichtige Blattkrankheit Alternaria mit bekämpfte. Die häufigen Behandlungen und insbesondere Mancozeb bringen aber große Mengen Wirkstoffmasse 1 mit sich. Mit dem Wegfall von Mancozeb seit Januar 2022 muss hierfür Metiram oder Fluazinam angewandt werden (ISIP, 2022). Eine Sonderstellung nimmt das Ackergras ein, hier wird von einer Anlage für fünf Jahre ausgegangen, bei der eine Herbizidbehandlung nur einmal nach der Ansaat nötig ist. Bei verantwortlicher Nutzung der zur Verfügung stehenden Wirkstoffgruppen bieten Kleinkulturen bei beim Anbau von Getreide-GPS, Roggen, Hafer und sulfonylharnstoffresistenten Sonnenblumen eine Möglichkeit dem Reduktionsziel näher zu kommen. Allerdings sind diese Kulturen wenn überhaupt, nur auf Grenzertragsstandorten wirtschaftlich konkurrenzfähig

7.5 Alternative Ansätze

7.5.1 Ausweichen auf Wirkstoffe mit geringem Risiko und Grundstoffe

Die in Teil D des Anhangs der VO (EG) 1107/2009 aufgelisteten Wirkstoffe mit geringem Risiko sind in ihrer Wirkung kaum mit herkömmlichen Wirkstoffen vergleichbar. Ihre Wirkung ist nicht kalkulierbar, da sie im Rahmen des Zulassungsprozesses zwar geprüft wird, jedoch dürfen auch Mittel mit nur geringer Wirkung zugelassen werden (FELDMANN und SMOLKA, 2019). Grundstoffe müssen nach Artikel 23 VO (EG) 1107/2009 nur für den Pflanzenschutz von Nutzen sein, einen Beleg für die Wirksamkeit bedarf es nicht. Ebenso werden als Alternativen zu herkömmlichen chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln Biostimulanzen und Pflanzenstärkungsmittel ins Feld geführt (SYMNACZIK et al., 2022), allerdings ist für die Gruppe der Pflanzenstärkungsmittel nur eine Plausibilitätsprüfung notwendig. Für Biostimulanzen sind keine Prüfungen vorgegeben, da diese Produkte den Düngemitteln zugeordnet werden. Bisher konnten in Sojabohnen und Winterdurum keine positiven Auswirkungen von Biostimulanzen und Pflanzenstärkungsmittel auf den Ertrag festgestellt werden (ORZESSEK et al., 2022-a und ORZESSEK et al., 2022-b). Bei Körnerhirse konnte in einem zweijährigen Versuch eine Ertragssteigerung von 2,5 % festgestellt werden, allerdings sank der Rohprotein der Körnerhirse auch um 0,2 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (ORZESSEK et al., 2022-c). Zudem spricht gegen die Anwendung von Grundstoffen, dass sie nach Artikel 23 VO (EG) 1107/2009 auch Wirkstoffe sind und deshalb in der Wirkstoffmasse 1 mit erfasst werden: Das Reduktionsziel für die Wirkstoffmasse 1 liegt bei 1357 g/ha. Schon bei einer einzigen Anwendung von Grundstoffen wie z.B. Bier, Kuhmilch, Calciumhydroxid oder auch dem wässrigen Extrakt aus den gekeimten Samen der Süßlupine, ist davon auszugehen dass das Reduktionsziel weit überschritten wird, da die benötigte Menge Grundstoff weit über dieser Grenze liegt (PS-AMT BERLIN, 2023).

7.5.2 Bandspritzung und Spot-Spraying

Die Bandspritzung ist nur bei Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben einsetzbar. Der Raum zwischen den Reihen wird nur durch mechanische Maßnahmen von Unkraut freigehalten und nicht mit Herbiziden behandelt. Insbesondere bei

Zuckerrüben fehlt dann aber die Versiegelung gegen Spätverunkrautung zwischen den Reihen (WOCHENBLATT, 2016), was bei ungünstiger Witterung zu erheblichen Problemen bei der Ernte führen kann. Die Verfahrenskosten der Hacke mit Bandspritzung sind trotz der großen Einsparung der kostenintensiven Rübenherbizide nicht geringer als die vollflächige Herbizidbehandlung (ISIP, 2022). Bei Mais ist ebenfalls mit einem deutlichen Anstieg der Kosten zu rechnen, da hier die monetäre Einsparung durch geringere Herbizidmenge deutlich kleiner ausfällt, die Kosten für die Hack- und Spritztechnik aber die gleichen wie bei der Zuckerrübe sind, wodurch die Kosten für das Produktionsverfahren stark ansteigen würden. Die Schlagkraft einer Hackmaschine mit Bandspritzeinrichtung ist deutlich kleiner als die einer normalen Feldspritze, sodass der Personalbedarf um den Faktor fünf steigt (BISZ, 2023).

Beim Spot-Spraying können ausschließlich blattaktive Herbizide verwendet werden. Im Hinblick auf die Bekämpfung von Gräsern sind dies nur die WSSA Klassen 1 und 2 welche hoch resistenzgefährdet sind. Bodenherbizide aller Art müssen flächig aufgebracht werden, da nicht vorhersehbar ist, wo genau die Schadpflanzen wachsen werden. Auch die Problematik der fehlenden Versiegelung gegen Spätverunkrautung bleibt bestehen. Bei einem Test von HORSCH (2021) wurden nur etwa 40 % der Disteln in einem Winterweizen getroffen, obwohl Disteln sich optisch stark von Weizen unterschieden. Ähneln sich Schad- und Kulturpflanzen stärker, ist von noch geringeren Trefferquoten auszugehen. Angesichts dessen, dass bei der Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz Bekämpfungserfolge von deutlich größer 95 % erzielt werden müssen (JKI, 2011 und ISIP, 2022) ist diese Technik bisher noch nicht dafür geeignet. Krankheiten wie z.B. Gelb- und Braunrost müssen zur sicheren Regulierung noch vor einer Durchseuchung des Bestandes bekämpft werden. Ist die Krankheit bereits gut zu erkennen, ist es für deren Bekämpfung zu spät (HORSCH, 2021). Die wichtigste Weizenkrankheit *Septoria tri.* muss bis zwei Tage nach dem Infektionsereignis behandelt werden, andernfalls ist keine ausreichende Bekämpfung mehr zu erwarten (ISIP, 2022). Optisch erkennbare Symptome treten aber erst rund vier Wochen nach der Infektion auf. Auch hier wäre eine Spot-Spraying nicht zielführend.

7.5.3 Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz

Durch den Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz auf 41,5 % der gesamten Ackerfläche würde das Reduktionsziel erreicht werden. Durch den Verzicht entstehen erhebliche wirtschaftliche Verluste und die Produktion würde deutlich einbrechen. KERKHOF et al. (2023) hat ermittelt, dass bei einem vollständigen Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz für einen Ackerbaubetrieb auf einem guten Standort Verluste in Höhe von 448,79 €/ha entstehen. Auf schlechteren Standort würde der Ackerbau unrentabel und damit eingestellt werden. Auf schlechten Standorten, mit für diese Standorte sehr guten Erträge, würden durch den Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz ein Verlust in Höhe von 308,92 €/ha entstehen (KERKHOF et al., 2023). Unter der Annahme, dass gute Standorte zwei Drittel und schlechte Standorte ein Drittel der Deutschen Ackerfläche ausmachen, entstünden durch den Verzicht auf

chemischen Pflanzenschutz auf 41,5 % der Fläche ein Verlust in Höhe von 1,95 Milliarden Euro im Jahr 2020. Der Ausgleich dieser Verluste über den Bundeshaushalt würde die Höhe der ELER-Mittel des Bundes um rund 110 Millionen Euro übersteigen und den Aufwand der Bundesrepublik Deutschland für Fördermaßnahmen in der Landwirtschaft damit mehr als verdoppeln (BMEL, 2023-a). Die Stilllegung von Ackerland, welche in der GAP-2023 für konventionelle Betriebe in Höhe von 4 % des Ackerlandes verpflichtend vorgeschrieben ist, wirkt sich dann reduzierend auf den Reduktionsbedarf aus, wenn die Summe der Fläche aus Stilllegungen und Flächen auf denen auf PSM, z. B. auf Grund von AUKM verzichtet wird, größer ist als die Fläche ohne PSM im Referenzzeitraum. Näherungsweise ist anzunehmen, dass 1 % Fläche ohne PSM den Reduktionsbedarf für die verbleibende Fläche um 2,4 % senkt.

7.5.4 Ausweitung des Ökolandbau

Im Ökolandbau werden landläufig weniger Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Im Punkt 6.4 wurde berechnet, dass unter den dortigen Annahmen 51,45 % der deutschen Ackerfläche auf die ökologische Landwirtschaft umgestellt werden müssten, um das Reduktionsziel einhalten zu können. Aktuell beträgt der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche 6,7 % (DESTATIS, 2023-a und DESTATIS, 2023-b). Die gesamte ökologisch bewirtschaftete Fläche betrug 2022 11,2 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche, zehn Jahre zuvor 6,21 % (BMEL, 2023-b). Bei einem gleichmäßigen weiteren Anstieg von 0,5 Prozentpunkten je Jahr würde diese Ökolandbaufläche erst in rund 90 Jahren erreicht werden. Näherungsweise ist anzunehmen, dass 1 % Öko-Ackerfläche den Reduktionsbedarf um 1,94 % reduziert. Die nötigen zusätzlichen 44,75 % der Ackerfläche entsprechen im Jahr 2020 rund 5,22 Mio. Hektar. Der zusätzliche Aufwand für die Förderung des Ökolandbaus auf dieser Fläche würde nach aktuellem Fördersatz des Landes Sachsen-Anhalt Kosten für den Bundeshaushalt in Höhe von 1,39 Milliarden Euro verursachen (BLE, 2023-a), was eine Steigerung der Kosten für die Förderung des Ökolandbaus um den Faktor 7,68 darstellt.

7.5.5 Einhaltung von Schadschwellen

Um zu überprüfen ob Schadschwellen eingehalten wurden, wurde vom JKI der Indikator „notwendiges Maß“ entwickelt. Für diesen Indikator werden die PSM-Anwendungen der Betriebe von Fachpersonal der Pflanzenschutzdienste der Länder auf ihre Notwendigkeit hin bewertet (DACHBRODT-SAAYDEH et al., 2021). Auf Grund dieser fachlichen Expertise und der jahrelangen Entwicklungsarbeit seitens des JKI befürworteten Fachbehörden wie die BLE und das BMEL den Indikator. Allerdings muss auch festgestellt werden, dass der Indikator von fachfremden Autoren des Umweltbundesamtes abgelehnt wird (Frische et al., 2016). Das Verhältnis der notwendigen zu den gesamten Anwendungen ergibt die Quote zum notwendigen Maß. Ziel des Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz (NAP) ist es, dass diese Quote auf 95 % steigt. In Winterweizen lag diese Quote 2021 bei 87 %, in Wintergerste bei 92 % und in Winterraps bei 89 % (BLE, 2023-b). Im gewichteten Mittel dieser Kulturen lag das Notwendige Maß bei 88,5 %, damit ist das Ziel des

NAP zu 93 % erfüllt. Es besteht als Optimierungspotential bei lediglich 12,5 % der Anwendungen, nur 6,5 % der Anwendungen müssen optimiert werden um das Ziel des NAP zu erreichen. Bei genauer Betrachtung der Zahlen lässt sich erkennen, dass vor allem Insektizide mit 15,89 % und Wachstumsregler in Winterraps mit 13,75 % von „unnötigen Maßnahmen“ betroffen sind, beide Gruppen ermöglichen kein nennenswerte Reduktion der gesamten Masse, da die Anwendungen massearm sind oder nur auf kleiner Fläche zum Einsatz kommen. Bei den Fungiziden in Getreide konnten 2016 nur 4,2 % unnötige Maßnahmen festgestellt werden (DACHBRODT-SAAYDEH et al., 2017). Ebenfalls zu einer Verschlechterung des Indikators „notwendiges Maß“ führt aber auch eine nicht optimale Mittelauswahl oder eine zu starke Senkung der AWM. Diese fachlichen Fehler führten bei 6,1 % der Anwendungen zu Beanstandungen und machten damit 59 % der Beanstandungen aus. Ein Beheben dieser Fehler führt in der Regel zu einem Anstieg des PSM-Verbrauchs und wäre damit gegenläufig zum Reduktionsziel.

7.5.6 Erweiterung von Fruchtfolgen

Die Erweiterung von Fruchtfolgen verringert den Druck an Schaderregern, in dem deren Vermehrungszyklen unterbrochen werden oder auch die Bestellung des Ackers zu einem für die Unkrautart ungünstigen Zeitpunkt stattfindet. Zur besseren Kontrolle von Ackerfuchsschwanz ist auf eine Fruchtfolge mit nicht mehr als 50 % Winterungen und nicht mehr als 50 % Halmfrüchten zu achten. Insbesondere die in der Ackerbaustrategie und der Eiweißstrategie forcierten Leguminosen verursachen im Falle von Erbsen und Ackerbohnen bei ihrem Anbau 14 % mehr Wirkstoffmenge 1 als der Winterweizen in der Optimal-Variante und um den Faktor 4,7 mehr gefährliche Wirkstoffmasse als der Winterweizen mit der Optimal-Variante. Auch steigt auch das HR-Produkt um den Faktor 1,5, wenn Winterweizen durch Ackerbohnen ersetzt wird. Verglichen mit der Reduktions-Variante des Winterweizen steigt die Wirkstoffmenge 1 um den Faktor 4,7 und die Wirkstoffmenge 2 um den Faktor 13. Die große Steigerung erfährt bei diesem Austausch auch das HR Produkt mit einer Steigerung um den Faktor 5,9. Es ist nicht anzunehmen, dass die Erweiterung der Fruchtfolge mit Erbsen oder Ackerbohnen derart große phytosanitäre Effekte hat, die diese höheren Mengen überkompensieren. Eine Erweiterung mit Sommerungen außer Mais und Leguminosen führt auf einem Großteil der Fläche zu Sommergetreide, welches aber wirtschaftlich deutlich schlechter abschneidet (RICHTER, 2021). Auf rübenfähigen Standorten können Zuckerrüben angebaut werden, wenn es eine wirtschaftlich sinnvolle Verwertung für diese dort gibt. Damit ließe sich nur die Wirkstoffmasse 1 reduzieren, Wirkstoffmasse 1 und das HR-Produkt würden starke Steigerungen erfahren. Kartoffeln erwirtschaften auf passenden Standorten sehr gute wirtschaftliche Ergebnisse und stellen auch gute Vorfrüchte da. Im Sinne des Reduktionsziels ist der Anbau von Kartoffeln keine Alternative, da sie in jeder Hinsicht die Ergebnisse stark verschlechtern. Der Anbau von Sonnenblumen statt Winterraps oder zur Erweiterung der Fruchtfolge ist aus Sicht des Reduktionszieles nur dann sinnvoll, wenn sulfonylharnstofftolerante Sorten angebaut werden und das dazu passende Herbizid verwendet wird. Mit konventionellen Sorten kommen auch in Sonnenblumen als

Herbizide vor allem gefährliche, in jedem Fall aber massereiche Wirkstoffe zum Einsatz.

7.6 Veränderung des Reduktionszieles durch Änderung der Einstufung

Das Reduktionsziel nach Punkt 4.7.1 dieser Arbeit berechnet, bezieht sich, wie in Punkt 4.3.1 und Punkt 4.3.2 angegeben, auf die Einstufung des Wirkstoffs zum Zeitpunkt der Anwendung. Die Formulierung zur Einstufung der Wirkstoffe auf EU-Ebene lässt einen großen Interpretationsspielraum zu und ermöglicht es, Wirkstoffe auch rückwirkend umzugruppieren. Wird beispielweise ein Wirkstoff durch neue Erkenntnisse zum besonders gefährlichen Wirkstoff, so erhalten alle jemals angewendeten Mengen den HR-Faktor 16 und werden damit in die Wirkstoffmasse 2 gezählt. Wirkstoffe die ihre Zulassung verloren haben, werden in Gruppe 4 der Tabelle 1 des Anhangs IV der RL 2009/128/EG einsortiert und erhalten damit den HR-Faktor 64. Es wird angenommen, dass Wirkstoffe ohne Zulassung als gefährliche Wirkstoffe zählen, da ohne Gefährdung kein Grund zum Zulassungsentzug bestünde. Durch diese Umgruppierung sollen nach telefonischer Auskunft des BMEL Trends abgebildet werden. Der Wirkstoff Glyphosat ist seit einigen Jahren in der Öffentlichkeit umstritten, weshalb seine Neuzulassung in Frage gestellt ist. Da Glyphosat das massenreichste Herbizid ist, hat seine Einstufung große Auswirkungen auf das Reduktionsziel der Menge 2 und des HR-Produkts. Die Auswirkung der Umgruppierung sind in untenstehender Tabelle 20 ausgeführt:

Ausgang: Ausgangswerte auf Basis der Berechnung nach Punkt 4.3

V1: Grundlage dieser Arbeit, Einstufung zum Zeitpunkt der Anwendung

V2: Rückwirkende Umgruppierung, aktuelle Einstufung siehe Tabellenblatt G1

V3: Rückwirkende Umgruppierung, bei der Glyphosat seine Zulassung verloren hat

Es wird in Tabelle 20 deutlich, dass die rückwirkende Einstufung zu einer Verzerrung und teilweisen Aushebelung des Reduktionszieles führt. Ohne eine Veränderung der Anwendungen wäre das Reduktionsziel des Risikos bereits durch die rückwirkende Einstufung erfüllt. Die Masse an gefährlichen Wirkstoffen müsste nur noch um 26,5 % gesenkt werden, statt wie vorgesehen um 50 %. Verliert der Wirkstoff Glyphosat seine Zulassung in der EU, so ist das Reduktionsziel hinsichtlich des Risikos weit übererfüllt und die Masse gefährlicher Wirkstoffe müsste nur noch um 1,2 % gesenkt werden. Von der Einstufung unberührt ist die Gesamtmasse der Wirkstoffe und damit auch das Reduktionsziel für diese Größe. Wie aus Tabellenblatt F3 hervorgeht, ist allerdings die Wirkstoffmenge 1 die für die Pflanzenschutzanwendungen die als erstes begrenzende Größe. Die rückwirkende Einstufung, bei der zwar die Reduktionsziele für die Wirkstoffmasse 2 und dem Risiko erfüllt werden, hat damit keinen entscheidenden Einfluss auf die Pflanzenschutzstrategien unter Beachtung des Reduktionszieles.

Tabelle 20: Änderung der Reduktionsziele bei rückwirkender Umgruppierung

	Ausgang	V1	V2	V3
M1	2,044kg/ha	1,022kg/ha	1,022kg/ha	1,022kg/ha
M2	0,498kg/ha	0,249kg/ha	0,366kg/ha	0,492kg/ha
HR-Produkt	19,00 P/ha	9,50 P/ha	19,49 P/ha	28,36 P/ha

8. Zusammenfassung und Ausblick

Auf Grund des Green-Deals der Europäischen Union und der daraus folgenden Farm-to-Fork-Strategie steht die Landwirtschaft vor der Herausforderung die darin festgeschriebene Reduktion beim Pflanzenschutz in Höhe von 50 % der gesamten Wirkstoffmasse und des daraus resultierenden Risikos sowie die Masse an als gefährlich eingestuftem Wirkstoffe umzusetzen. Um die praktische Umsetzbarkeit dieser Vorgaben zu prüfen wurde in dieser Arbeit aus den PAPA-Erhebungen des JKI das Reduktionsziel errechnet und die Behandlungsfolgen aus Dauerversuchen der Hochschule Anhalt in den Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Wintererbsen, Mais und Zuckerrüben analysiert und auf das Reduktionsziel hin optimiert. Die Optimierung lieferte das Ergebnis, dass es theoretisch möglich ist bei gleicher biologischer Wirkung das Reduktionsziel einzuhalten. Das Einhalten des Zieles ist jedoch nur durch Missachtung der guten fachliche Praxis möglich, was ein Verstoß gegen die Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes nach Anhang III RL 2009/128/EG darstellt. Die Behandlungsfolgen, welche das Einhalten des Zieles ermöglichen, fördern massiv die Bildung von resistenten Biotypen bei wichtigen Ungräsern und Krankheiten. Deshalb wurde eine weitere Behandlungsfolge entworfen, die als Musterlösung im Hinblick auf die nachhaltige Nutzung der vorhandenen Wirkstoffe betrachtet werden kann. Des Weiteren wurden sechs mögliche Alternativen zur Erreichung des Reduktionsziels kurz vorgestellt, wobei die Einschnitte durch das Reduktionsziel der Europäischen Union derart drastisch sind, dass auch diese nicht umsetzbar sind. Es scheint nur möglich zu sein, dass die Masse der gefährlichen Wirkstoffe reduziert werden kann, in dem auf als nicht gefährlich eingestufte Wirkstoffe ausgewichen wird. Diese Ausweichmöglichkeiten müssen aber vorhanden sein und dürfen nicht durch Entzug der Zulassung oder Nichterteilen einer Neuzulassung vom Markt verschwinden. Auch ein pauschaler Zulassungsentzug für gefährliche Wirkstoffe ist nicht zu befürworten, da damit die Schlüsselwirkstoffe für den zukunftsfähigen Anbau von Wintergetreide, Kartoffeln, Körnerleguminosen und vielen Sonderkulturen verloren gingen. Stattdessen sollte die Zulassung von neuen, nicht als gefährlich einzustufenden, Wirkstoffen beschleunigt werden um mehr Alternativen zu schaffen und die Beratung die Landwirte dann dazu bewegen weniger als gefährlich eingestufte Wirkstoffe einzusetzen. Dies könnte insbesondere dann gelingen, wenn diese besonders günstige Anwendungsaufgaben haben.

Rechtsquellenverzeichnis

Durchführungsverordnung (EU) 2016/872 der Kommission vom 01. Juni 2016 zur Nichterneuerung der Genehmigung für den Wirkstoff Isoproturon gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 der Kommission - Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 145/7 vom 02.06.2016

Durchführungsverordnung (EU) 2016/864 der Kommission vom 31. Mai 2016 zur Nichterneuerung der Genehmigung des Wirkstoffs Triasulfuron gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 der Kommission – Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 144/32 vom 01.06.2016

Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates - Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 309/1 vom 24.11.2009, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2022/1438 der Kommission vom 31. August 2022 (Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 227/2 vom 01.09.2022)

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 Nr. L 309/71 vom 24.11.2009, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2019/1243 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 (Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 198/241 vom 25.07.2019)

Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 der Kommission vom 25. Mai 2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Liste zugelassener Wirkstoffe - Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 153/1 vom 11.06.2011, zuletzt geändert durch Durchführungsverordnung (EU) 2023/1021 der Kommission vom 24. Mai 2023 (Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 137/16 vom 25.05.2023)

Durchführungsverordnung (EU) 2015/408 der Kommission vom 11. März 2015 zur Durchführung des Artikels 80 Absatz 7 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Erstellung einer Liste mit Substitutionskandidaten - Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 67/18 vom 12.03.2015, zuletzt geändert durch Durchführungsverordnung (EU) 2022/1252 der Kommission vom 19. Juli 2022 (Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 191/41 vom 20.07.2022)

Quellenverzeichnis

Amazone, 2021

O.A.: Produktvorstellung AMAZONE UX SmartSprayer. Amazone-Werke H. Dreyer SE & Co. KG, Hasbergen-Gaste 2021 Abrufbar unter: <https://info.amazone.de/64447> Zuletzt geprüft am: 17.08.2023

Andrae, 2015

Andrae: Hinweise zur Apfelwicklerbekämpfung. Pflanzenschutzamt Berlin, Berlin 2015 Abrufbar unter: https://www.berlin.de/pflanzenschutzamt/_assets/service/fragen-und-antworten/apfelwicklerwarnung_2015.pdf Zuletzt geprüft am: 19.08.2023

Biofa, 2023

O. A.: Produktdatenblatt Micula. Biofa AG, Münsingen 2023 Abrufbar unter: https://res.cloudinary.com/baywa-ag-p/raw/upload/f_auto/A15753000.pdf Zuletzt geprüft am: 19.08.2023

BISZ, 2023

O.A: Informationen für den Süddeutschen Zuckerrübenanbau "Bandspritzung". Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau, Mannheim 2023 Abrufbar unter: <https://bisz.suedzucker.de/anbau/mechanische-unkrautbekaempfung/3-bandspritzung/> Zuletzt geprüft am: 20.08.2023

BLE, 2021

O.: Presseinformation des BLE vom 08.07.2021: Kartoffeln: Erträge erstmals wieder über 40 Tonnen pro Hektar – Verbrauch stieg um zwei Kilogramm pro Person. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn 2021 Abrufbar unter: www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilungen/2021/210708_Kartoffelbilanz.pdf;jsessionid=11CB55B70A66F95746D51DAF27485B7F.internet971?__blob=publicationFile&v=2 Zuletzt geprüft am: 14.08.2023

BLE, 2023-a

O. A.: Förderung des Öko-Landbaus in den Bundesländern. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn 2023 Abrufbar unter: <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/betrieb/oeko-foerderung/foerdersaetze-der-bundeslaender/> Zuletzt geprüft am: 22.08.2023

BLE, 2023-b

O.A.: Quote der Einhaltung des notwendigen Maßes, Stand 23.03.2023. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Berlin 2023 Abrufbar unter: <https://www.nap-pflanzenschutz.de/indikatorenforschung/indikatoren-und-deutscher-pflanzenschutzindex/deutscher-pflanzenschutzindex/quote-der-einhaltung-des-notwendigen-masses> Zuletzt geprüft am: 18.08.2023

BMEL, 2023-a

O.A.: Umsetzung der ELER-Förderperiode 2014 bis 2022 für ländliche Räume in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin 2023 Abrufbar unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/laendliche-regionen/foerderung-des-laendlichen-raumes/eu-foerderung/eler-2014-2020-umsetzung.html> Zuletzt geprüft am: 21.08.2023

BMEL, 2023-b

O. A.: Visualisierung der Strukturdaten zum ökologischen Landbau in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin 2023 Abrufbar unter: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/oekologischer-landbau> Zuletzt geprüft am: 12.08.2023

BUND, 2023

O. A.: StartseiteMensch & UmweltUmweltgiftePestizideLandwirtschaft

Pestizide in der Landwirtschaft: Flächendeckendes Gift. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), Berlin 2023" Abrufbar unter: <https://www.bund.net/umweltgifte/pestizide/landwirtschaft/> Zuletzt geprüft am: 11.08.2023

Chemnitz et al, 2022

C. Chemnitz, K. Wenz, S. Haffmans: Pestizidatlas 2022. Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin 2022 Abrufbar unter: www.boell.de/sites/default/files/2022-01/Boell-Pestizidatlas-2022.pdf Zuletzt geprüft am: 16.08.2023

Dachbrodt-Saaydeh et al., 2017

S. Dachbrodt-Saaydeh, B. Klocke, S. Kregel, J. Schwarz: Das Notwendige Maß Ergebnisse aus em Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Bonn 2017 Abrufbar unter: [/www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Bilder/Forum_NAP/Forum_Dez_2017/8_TOP3_Notwendiges_Mass_vf.pdf](https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Bilder/Forum_NAP/Forum_Dez_2017/8_TOP3_Notwendiges_Mass_vf.pdf) Zuletzt geprüft am: 11.08.2023

Dachbrodt-Saaydeh et al., 2021

S. Dachbrodt-Saaydeh, J. Sellmann, J. Strassemeyer, J. Schwarz, B. Klocke, S. Krenzel, H. Kehlenbeck: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2017 Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2017. Julius-Kühn-Institut, Kleinmachnow 2021 Abrufbar unter: https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Bilder/Indikatoren_Forschung/Erfassung_realer_PSM-Anwendungen/JKI-210_Vergleichsbetriebe_2017.pdf Zuletzt geprüft am: 17.08.2023

de Mol et al., 2020

F. de Mol, J. Schulz, B. Gerowitt: Temperatur-induzierte Inaktivierung von Samen aus der Familie der Süßgräser (Poaceae). Julius-Kühn-Archiv, 464, Braunschweig 2020 DOI 10.5073/jka.2020.464.015 Zuletzt geprüft am: 21.08.2023

Destatis, 2023-a

O. A.: Ökologischer Landbau in Deutschland: Ackerland und Dauergrünland. Statistisches Bundesamt, Berlin 2023 Abrufbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/oekologisches-dauergruen-ackerland.html> Zuletzt geprüft am: 22.08.2023

Destatis, 2023-b

O. A.: Ackerland nach Hauptfruchtgruppen und Fruchtarten. Statistisches Bundesamt, Berlin 2023 Abrufbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/ackerland-hauptnutzungsarten-kulturarten.html> Zuletzt geprüft am: 18.08.2023

DLG 432, 2018

DLG-Ausschuss Pflanzenschutz, L. Ulber, K. Gehring: DLG Merkblatt 432 Resistenzmanagement im Ackerbau. DLG ev., Frankfurt a. M. 2018 Abrufbar unter: www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_432.pdf Zuletzt geprüft am: 20.08.2023

EU-Kommision, 2019

Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen Der europäische Grüne Deal. Europäische Kommission, Brüssel 2019 Abrufbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF Zuletzt geprüft am: 20.08.2023

EU-Kommission, 2023

Europäische Kommission: Ziele von „Vom Hof auf den Tisch“ – Fortschritt. Europäische Kommission, Brüssel 2023 Abrufbar unter: https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/farm-fork-targets-progress_de?etrans=de Zuletzt geprüft am: 11.08.2023

Ewert, 2019

K. Ewert: Reduzierte Aufwandmengen bei Glyphosat-Herbiziden. Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum Thüringen, Erfurt 2019 Abrufbar unter: www.tll.de/www/daten/veranstaltungen/materialien/kolloquien/k18022019_4.pdf Zuletzt geprüft am: 18.08.2023

Feldmann und Smolka, 2019

F. Feldmann, S. Smolka: Grundstoffe, Low Risk Produkte, Pflanzenextrakte & Biostimulantien für den Pflanzenschutz im Gartenbau. Symposium zum nicht-chemischen Pflanzenschutz im Gartenbau 28. und 29. Mai 2019 Berlin, Berlin 2019 Abrufbar unter: https://www.julius-kuehn.de/media/Institute/GF/_FS_nicht-chem-PS_imGB/1/Abstract/Abstract_Feldmann_Smolka_Grundstoffe-LowRisk_Symp_nicht-chemischen_PS_Gartenbau-2019-05-28_BMEL_.pdf Zuletzt geprüft am: 18.08.2023

FMC, 2023-a

O.A.: Produktdatenblatt Steward. CHEMINOVA DEUTSCHLAND GMBH & CO. KG, Stade 2023 Abrufbar unter: https://res.cloudinary.com/baywa-ag-p/raw/upload/f_auto/A19445525.pdf Zuletzt geprüft am: 17.08.2023

FMC, 2023-b O.A.:

Produktdatenblatt Coragen. CHEMINOVA DEUTSCHLAND GMBH & CO. KG, Stade 2023 Abrufbar unter: https://ag.fmc.com/de/sites/default/files/2023-05/FMC_2301_SO_023_Flyer_Coragen_Arc_Mais_20230428.pdf Zuletzt geprüft am: 20.08.2023

Frische et al., 2016

T. Frische, S. Egerer, S. Matezki, C. Pickl, J. Wogram: 5-Punkte-Programm für einen nachhaltigen Pflanzenschutz. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2016 Abrufbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba-positionspapier_5-punkte-programm_nachhaltigkeit_pflanzenschutz_web.pdf Zuletzt geprüft am: 19.08.2023

Goltermann, 2019

S. Goltermann: Ertragssicherung durch Pflanzenschutz. Landesamt für Landwirtschaft, Lebendmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Rostock 2019 Abrufbar unter:
<https://www.isip.de/isip/servlet/resource/blob/306504/1bbf4b1867108fdc8a6fc896649c4a59/03-goltermann-ertragssicherung-durch-ps-data.pdf> Zuletzt geprüft am: 17.08.2023

Horsch, 2021

O. A.: Einzelpflanzenerkennung – Kamerasysteme mit Zukunft? Horsch Maschinen GmbH, Schwandorf 2021 Abrufbar unter:
<https://terra.horsch.com/ausgabe-23-2021/aus-dem-unternehmen/einzelpflanzenerkennung-kamerasysteme-mit-zukunft-theodor-leeb> Zuletzt geprüft am: 17.08.2023

ISIP, 2011

Pflanzenschutzempfehlung Ackerbau und Grünland. Pflanzenschutzempfehlung des amtlichen Pflanzenschutzdienstes. LLFG Sachsen-Anhalt, Bernburg 2011

ISIP, 2012

Hinweise zum sachkundigen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau und auf Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLFG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2012

ISIP, 2013

Hinweise zum sachkundigen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau und auf Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLFG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2013

ISIP, 2014

Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Herausgeber: Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLFG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2014

ISIP, 2015

Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Herausgeber: Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLFG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2015

ISIP, 2016

Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Herausgeber: Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2016

ISIP, 2017

Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Herausgeber: Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2017

ISIP, 2018

Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Herausgeber: Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2018

ISIP, 2019

Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Herausgeber: Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2019

ISIP, 2020

Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Herausgeber: Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2020

ISIP, 2022

Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Herausgeber: Pflanzenschutzamt Berlin; LELF Brandenburg, Frankfurt (Oder); LfULG Sachsen, Dresden; LLG Sachsen-Anhalt, Bernburg; TLL, Erfurt 2022

JKI, 2011

O. A.: Informationsblatt des JKI: Ackerfuchsschwanz. Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig, 2011

JKI, 2021

Fachausschuss Pflanzenschutzmittelresistenz – Insektizide, Akarizide: Anti-Resistenzstrategie bei wichtigen tierischen Schaderregern in Raps
Notwendigkeit einer Anti-Resistenzstrategie. Julius-Kühn-Institut, Quedlinburg 2021
Abrufbar unter: https://www.julius-kuehn.de/media/Institute/A/FA_Insektizide_Akarizide/Resistenzstrategie/2022_Resistenzstrategie_bei_wichtigen_Rapsschaedlingen.pdf
Zuletzt geprüft am: 10.08.2023

Kolbe et al. 2012

H. Kolbe, W. Karalus, M. Schuster, M. Hänzel, A. Schaerff, B. Pölit: Kartoffeln im Ökolandbau Informationen für Praxis und Beratung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden 2012
Abrufbar unter:
https://orgprints.org/id/eprint/15102/16/OekoKartoffeln_Broschuere12.pdf
Zuletzt geprüft am: 10.08.2023

Laufer 2020

D. Laufer: Unkrautbekämpfung im Zuckerrübenanbau in Deutschland - Situationsanalyse. Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen, Bernburg 2020
Abrufbar unter:
www.isip.de/isip/servlet/resource/blob/307354/afa4639934e363d23735cedbba54322a/laufer--fs-ps-ab-2020-data.pdf
Zuletzt geprüft am: 20.08.2023

LfL, 2015

O. A.: Großkörnige Leguminosen LfL Information. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2015
Abrufbar unter:
www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/grosskoernige-leguminosen_lfl-information.pdf
Zuletzt geprüft am: 14.08.2023

LfL, 2022

O. A.: Ährenfusariosen in Weizen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2022 Abrufbar unter: www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/merkblaetter/aehrenfusario_n_lfl-merkblatt.pdf Zuletzt geprüft am: 11.08.2023

LWK NDS, 2023

O. A.: Herbizidempfehlungen in ZR. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg 2023 Abrufbar unter: <https://www.lwk-niedersachsen.de/services/download.cfm?file=39452> Zuletzt geprüft am: 18.08.2023

Martinez, 2014

O. Martinez: Steckbrief Rapsschädlinge. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Oppenheim 2014 Abrufbar unter: www.isip.de/isip/servlet/resource/blob/303352/23585765aaba6c69b0f783962bfe31b/steckbrief-rapsschaedlinge-data.pdf Zuletzt geprüft am: 21.08.2023

Musa und Forrer, 2016

T. Musa, R. Forrer: Kraut-und Knollenfäule der Kartoffel Geschichte, Biologie & Epidemiologie. Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD Agroscope, Bern 2016 Abrufbar unter: https://portal-cdn.scnat.ch/asset/285915aa-4286-569c-bce0-1b205ed3ab92/Colloq_SCNAT_2016_Musa.pdf?b=7f13a4ac-3250-5b08-bf98-b89310b08bc1&v=808cdc2a-75c6-5bec-bb43-691cac673263_0&s=Nvr3OHt0nKqf2sLUZMZI9RnbMWSS9kGNs6NyABRn1of7uaJQ9GLPvc-XEdss6kABX7psc4ZHz6ZmZuEr6QOfFoo3Merh0LtgIYguSpnLXln6x1Sn-97egJ2UJ8wxM0wEBkTkXfOrQY_cMWWFFP9I7vgsqxkplKoXRyQK3YPmas4Q Zuletzt geprüft am: 20.08.2023

Orzessek et ali., 2022-a

D. Orzessek, J. Schröder, S. Gille, J. Dallmann, A. Deubel: Ergebnisse aus den Versuchen zum Durumanbau. Hochschule Anhalt, Bernburg, 2022 Abrufbar unter: www.hs-anhalt.de/fileadmin/Dateien/FB1/Forschung/Feldbau/Auswertungsberichte/broschuere_durum_2022.pdf Zuletzt geprüft am: 19.08.2023

Orzessek et ali., 2022-b

D. Orzessek, J. Schröder, S. Gille, J. Dallmann, A. Deubel: Ergebnisse aus den Versuchen zum Anbau von Sojabohnen. Hochschule Anhalt, Bernburg, 2022 Abrufbar unter: www.hs-anhalt.de/fileadmin/Dateien/FB1/Forschung/Feldbau/Auswertungsberichte/broschuere_hirse_2022.pdf Zuletzt geprüft am: 17.08.2023

Orzessek et ali., 2022-c

D. Orzessek, J. Schröder, S. Gille, J. Dallmann, A. Deubel: Ergebnisse aus den Versuchen zum Anbau von Körnerhirse. Hochschule Anhalt, Bernburg, 2022 Abrufbar unter: www.hs-anhalt.de/fileadmin/Dateien/FB1/Forschung/Feldbau/Auswertungsberichte/broschuere_soja_2022.pdf Zuletzt geprüft am: 18.08.2023

Prigge et al., 2004

G. Prigge, M. Gerhard, J. Habermeyer: Pilzkrankheiten und Schadsymptome im Getreidebau. Landwirtschaftsverlag GmbH in Zusammenarbeit mit der BASF AG, Münster und Limburgerhof 2004

PS-Amt Berlin, 2023

O.A.: Grundstoff-Datenbank Übersicht über genehmigte und nicht genehmigte Grundstoffe. Pflanzenschutzamt Berlin, Berlin 2023" Abrufbar unter: https://www.berlin.de/pflanzenschutzamt/_assets/ueberwachung/grundstoffe-im-pflanzenschutz/grundstoff-datenbank.xlsx?ts=1685684797 Zuletzt geprüft am: 12.08.2023

Richter, 2009

M. Richter: Einkürzung um jeden Preis? DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach 2009 Abrufbar unter: https://www.lw-heute.de/mediaarchiv/grab_pic.php?id=4924 Zuletzt geprüft am: 22.08.2023

Richter, 2021

R. Richter: Prozesskosten im Ackerbau in Sachsen-Anhalt Ausgabe 2021. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg 2021 Abrufbar unter: https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/betriebswirtschaft/prozesskosten/bw_prozess_21.pdf Zuletzt geprüft am: 14.08.2023

Riedl und Tölle-Nolting, 2021

V. Riedl und C. Tölle-Nolting: Minimierung des Pestizideinsatzes in Deutschland. Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V., Berlin 2021
Abrufbar unter:
www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/pestizidpolitik/210414-pestizid-position-nabu.pdf Zuletzt geprüft am: 19.08.2023

Schöber-Butin, 2001

Bärbel Schöber-Butin: Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem Die Kraut- und Braunfäule der Kartoffel und ihr Erreger *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin und Braunschweig, Berlin 2001 DOI 10.5073/20210706-110014 Zuletzt geprüft am: 20.08.2023

Syngenta, 2021

O. A.: Produktdatenblatt Karate Zeon. Syngenta Agro GmbH Frankfurt a. M., 2021 Abrufbar unter:
https://www.syngenta.de/sites/g/files/kgtny356/files/media/document/2021/06/16/karate_zeon_produkthinformation.pdf Zuletzt geprüft am: 21.08.2023

Thate, 2019

A. Tahte: Krankheitsbekämpfung und Resistenzsituation im Getreide 2019. , Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, Bautzen 2019
Abrufbar unter:
www.lfulg.sachsen.de/download/lfulg/Nachlese_KAM_Krankheitsbekaempfung-und-Resistenzsituation.pdf Zuletzt geprüft am: 22.08.2023

Warnecke-Busch et al., 2018

G. Warnecke-Busch¹, D. Wolber, L. Köhler, M. Breiding: Resistenzsituation bei Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Niedersachsen und Maßnahmen zur langfristigen Resistenzvermeidung. Julius-Kühn-Archiv, 458, Braunschweig 2018 DOI 10.5073/jka.2018.458.019 Zuletzt geprüft am: 10.08.2023

WOCHENBLATT, 2016

O. A.: Abschlussbehandlung in Zuckerrüben. Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben, Münster, 2016 Abrufbar unter:
<https://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/pflanzenbau-aktuell/abschlussbehandlung-in-zuckerrueben-8876184.html> Zuletzt geprüft am: 18.08.2023

Zechmann und Kapp, 2016

S. Zechmann und T. Kapp: Giftiges Unkraut im Salat? – Kreuzkrautfund in Rucola. Die Untersuchungsämter für Lebensmittelüberwachung und Tiergesundheit, Baden-Württemberg, Stuttgart 2016 Abrufbar unter: https://www.ua-bw.de/pub/beitrag.asp?subid=1&Thema_ID=5&ID=2354
Zuletzt geprüft am: 21.08.2023

Zellner, 2021

M. Zellner: Rapsschädlinge. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2021 Abrufbar unter: www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/merkblaetter/rapsschaedlinge_lfl-merkblatt.pdf
Zuletzt geprüft am: 16.08.2023

Zentralbericht LfL, 2011

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2011. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2012

Zentralbericht LfL, 2012

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2012. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2013

Zentralbericht LfL, 2013

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2013. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2014

Zentralbericht LfL, 2014

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2013. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2015

Zentralbericht LfL, 2015

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2015. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2016

Zentralbericht LfL, 2016

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2016. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2017

Zentralbericht LfL, 2017

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2017. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2018

Zentralbericht LfL, 2018

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2018.
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2019

Zentralbericht LfL, 2019

K. Gehring, S. Thyssen, T. Festner: Versuchsergebnisse aus Bayern 2019.
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising 2020

Danksagung

Danken möchte ich meiner Betreuerin Frau Prof. Dr. Deubel für die richtungsweisende Begleitung und für das unermüdliche Beantworten meiner vielen Fragen.

Des Weiteren möchte ich mich für die Hilfe bei der Entwicklung des Resistenzindikators RI bei Herrn Ralf Fasel, Mitglied des Fachausschuss für das Beratungswesen Fachbereich Biodiversität des LLH, Herrn Dr. Wilfried Herrmann von der Universität Hohenheim und Herrn Jürgen Weiland von der Agroa Raiffeisen e. G. bedanken.

Das größte Dankeschön geht an Stefanie Gerigk und meine Mutter für ihre Zeit und Mühe als Korrekturleserinnen und für die vielen Hinweise zur Verbesserung.

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen (einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software) benutzt habe.

Bernburg, den 24.08.2023



Linart Raatz

Anhang

Anhang dieser Arbeit ist eine Excel-Arbeitsmappe mit 25 Tabellenblättern, welche beim Autor auf Anfrage erhältlich ist.