

TEXTE

138/2024

Abschlussbericht

Pflanzenschutz im Wandel

**Chancen und Risiken neuartiger PSM und
Anwendungstechniken für den Schutz der Umwelt
erfassen und sinnvolle Steuerung der Entwicklungen
vorbereiten**

von:

Dr. Maria Lippl, Prof. Dr. Paul Lampert, Dr. Andreas Gabriel, Dr. Johanna Schöps
GreenSurvey – Institut für Marktforschung Prof. Dr. Menrad GmbH, Straubing

Dr. Florian Botzler
Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e.V., München

Herausgeber:
Umweltbundesamt

TEXTE 138/2024

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3720 64 487 0

FB001362

Abschlussbericht

Pflanzenschutz im Wandel

Chancen und Risiken neuartiger PSM und
Anwendungstechniken für den Schutz der Umwelt
erfassen und sinnvolle Steuerung der Entwicklungen
vorbereiten

von

Dr. Maria Lippl, Prof. Dr. Paul Lampert, Dr. Andreas Gabriel, Dr. Johanna Schöps
GreenSurvey – Institut für Marktforschung Prof. Dr. Menrad GmbH, Straubing

Dr. Florian Botzler
Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e.V., München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

GreenSurvey – Institut für Marktforschung Prof. Dr. Menrad GmbH
Europaring 4
94315 Straubing

Abschlussdatum:

April 2023

Redaktion:

Fachgebiet IV1.3 Pflanzenschutzmittel
Michael Hess, Cécile Périllon, Christina Pickl

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Pflanzenschutz im Wandel

Die zunehmende Digitalisierung in allen Lebensbereichen spiegelt sich auch in der Landwirtschaft wider. Neben wirtschaftlichen Vorteilen werden hier auch ökologische Chancen erwartet, insbesondere im Bereich Pflanzenschutz. Ziel der vorliegenden Studie ist es, die vielfältigen Innovationen in der Landwirtschaft aus Umweltsicht zu beleuchten. Ausgehend vom Green Deal der Europäischen Kommission und seinem zentralen Element der Farm-to-fork-Strategie mit einem dort festgeschriebenen Reduktionsziel von 50 Prozent an Pflanzenschutzmitteln, soll überprüft werden, ob die Innovationen zu diesem Ziel beitragen. Da eine reine Reduktion nicht zwangsläufig ein geringeres Umweltrisiko von Pflanzenschutzmitteln bedeutet, wird auch der Frage nachgegangen, welche Chancen, aber auch mögliche Risiken die Innovationen insgesamt für einen ökologisch nachhaltigeren Pflanzenschutz bergen.

Die Studie ist in vier Arbeitspakete gegliedert, welche in einem Zeitraum von zwei Jahren bearbeitet wurden. Im ersten Arbeitspaket wurden die Veränderungen und Entwicklungen im Pflanzenschutz identifiziert und eine Übersicht der aktuellen Entwicklungen sowie von Pilotprojekten und innovativen Ansätzen aus der Praxis gegeben, die aus der Perspektive der Entwicklung eines ökologisch nachhaltigeren und damit umweltgerechteren Pflanzenschutzes besonders relevant oder vielversprechend sind.

Der Schwerpunkt des Vorhabens lag auf einer detaillierten Analyse von ausgewählten Fallstudien im Arbeitspaket 2. Für diese praxisnahen Fallbeispiele wurden konkret die Chancen und Risiken für die Umwelt, aber auch für Betriebe sowie für die Gesellschaft mit Hilfe eines Bewertungs-Indexes betrachtet. Zudem wurden entscheidende Interessengruppen identifiziert und mit ihnen in einen Dialog hinsichtlich der Umweltaspekte zukünftiger Entwicklungen getreten, was in Form eines Workshops mit Stakeholder*innen-Dialog in Arbeitspaket 3 erfolgte.

Im letzten Arbeitspaket 4 werden in dem vorliegenden Abschlussbericht zusammenfassend die Chancen und Risiken benannt und schließlich Empfehlungen gegeben, wie und mit welchen Partner*innen auf die Veränderungen und Entwicklungen im Sinne eines besseren Umweltschutzes sinnvoll eingewirkt werden kann.

Abstract: Plant protection in transition - identifying opportunities and risks of novel pesticides and application technologies for the protection of the environment and preparing sensible control of developments

The increasing digitalization in all areas of life is also reflected in agriculture. In addition to economic benefits, ecological advantages are also being expected here, particularly in the area of plant protection. The aim of this study is to identify current changes and developments in plant protection in agriculture with a focus on digitalization. The focus is on developments that are particularly relevant or promising for more sustainable and environmentally friendly crop protection. Based on the Green Deal of the European Commission and its "centerpiece" the farm-to-fork strategy with a reduction target of 50 percent of pesticides, it will be examined whether the innovations contribute to this goal.

The study was elaborated over a period of two years in four work packages. In the first work package the changes and developments in plant protection were identified. An overview of current developments, pilot projects, and innovative approaches from practice was given. These should be particularly relevant or promising for the development of a more ecologically sustainable and thus environmentally compatible crop protection.

Main focus of the project was on a detailed analysis of selected case studies in work package 2. For these practical examples, the potential impacts and risks for the environment, as well as for agricultural enterprises and society, were examined using an evaluation index developed for this

study. In addition, a dialogue was initiated with the identified groups of interest to discuss the environmental aspects of future developments, which took place in the form of a workshop with stakeholder dialogue.

In the last work package 4, the opportunities and risks are summarized in the present final report. From the findings and results of all project parts, recommendations for action were developed.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	13
Zusammenfassung.....	14
Summary	28
1 Ziele und Ablauf der Studie	41
2 Identifizierung der Entwicklungen und Erfassen von geeigneten Praxisbeispielen (AP 1)	42
2.1 Literaturstudie und Erstellung der Datenbank	42
2.1.1 Suchstrategie	42
2.1.2 Auswertung und Erkenntnisse aus der Literaturstudie	43
2.2 Qualitative Interviews.....	44
2.2.1 Auswahl der zu Interviewenden und Entwicklung des Leitfadens	44
2.2.2 Auswertung und Erkenntnisse aus den Interviews.....	46
2.3 Erkenntnisse aus der Recherche	49
2.3.1 Aktuelle innovative Technologien im (digitalen) Pflanzenschutz	49
2.3.2 Aktuelle Entwicklungen in Deutschland, Europa und global	50
2.3.3 Kurzer Überblick über den Diskurs	54
3 Analyse von Fallstudien (AP 2)	56
3.1 Auswahl der Fallstudien.....	56
3.2 Entwicklung des Bewertungsindex	58
3.3 Beschreibung und Bewertung der Fallbeispiele	61
3.3.1 Roboter zur mechanischen Unkrautregulierung (Hackroboter).....	62
3.3.1.1 FarmDroid FD20.....	63
3.3.1.2 Naïo Technologies – Dino	64
3.3.1.3 Farming Revolution – Farming GT Hackroboter	66
3.3.2 Akteur*innen, Stakeholder*innen und Zielgruppe	67
3.3.3 Bewertungs-Index.....	67
3.3.4 Schlussfolgerungen	73
3.4 Feldspritzen.....	75
3.4.1.1 Pulsweitenmodulation: Agrifac - Strict Spray Plus	77
3.4.1.2 Bandspritze: Reihenspezifischen Düsenpositionierung (RSD) von HERBERT DAMMANN GmbH	78
3.4.1.3 UX 5201 SmartSprayer von Amazone.....	80

3.4.1.4	Forschungsprojekte: "Entwicklung und Praxistest eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungen zur Teilflächenapplikation von Pflanzenschutzmitteln", „AssSys“, „OPAL“	83
3.4.2	Akteur*innen, Stakeholder*innen und Zielgruppen	86
3.4.3	Bewertungs-Index	86
3.4.4	Schlussfolgerungen	93
3.5	Sprühroboter.....	94
3.5.1.1	ecoRobotix: Avo	94
3.5.1.2	FarmDroid FD20 mit Spot-Applikation von Amazone.....	96
3.5.2	Akteur*innen, Stakeholder*innen und Zielgruppen	97
3.5.3	Bewertungs-Index	97
3.5.4	Schlussfolgerungen	100
3.6	Komplexe Entscheidungshilfesysteme.....	102
3.6.1.1	FIELD MANAGER von xarvio™ Digital Farming Solutions (powered by BASF Digital Farming GmbH).....	103
3.6.1.2	Talking Fields von VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH.....	105
3.6.2	Akteur*innen, Stakeholder*innen und Zielgruppen	107
3.6.3	Bewertungs-Index	107
3.6.4	Schlussfolgerungen	109
3.7	Zusammenfassung der Analysen der Fallstudien.....	111
3.8	Entwicklungen im Pflanzenschutz und Synergien mit digitalen Technologien.....	113
4	Workshop und Stakeholder*innen-Dialog (AP 3)	116
5	Handlungsempfehlungen (AP 4).....	118
5.1	Handlungsbereich „Forschung“	119
5.2	Handlungsbereich „Förderung“	120
5.3	Handlungsbereich „Unabhängige Beratung“	121
5.4	Handlungsbereich „Kontrolle“	122
6	Quellenverzeichnis	125
A	Anhang: Interviewleitfaden.....	137
A.1.1	Leitfaden für Forschende/Behörden/Redaktion	137
B	Anhang: Bewertungsindex	139
B.1	Fragenkatalog.....	139
C	Anhang: Detaillierte Auswertung des Bewertungs-Index	150
C.1	Hackroboter	150
C.1.1	Reifegrad.....	150

C.1.2	Umweltentlastung	152
C.1.3	Erreichung politischer Ziele	155
C.1.4	Chancen und Risiken	157
C.2	Feldspritzen.....	166
C.2.1	Reifegrad.....	166
C.2.2	Umweltentlastung	170
C.2.3	Erreichung politischer Ziele	174
C.2.4	Chancen und Risiken	177
C.3	Sprühroboter.....	184
C.3.1	Reifegrad.....	184
C.3.2	Umweltentlastung	185
C.4	Erreichung politischer Ziele.....	188
C.4.1	Chancen und Risiken	189
C.5	Komplexe Entscheidungshilfesysteme.....	193
C.5.1	Reifegrad.....	193
C.5.2	Umweltentlastung	195
C.5.3	Erreichung politischer Ziele	198
C.6	Chancen und Risiken	200

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht Bewertungs-Index für alle Fallbeispiele in Prozent..18
Abbildung 2:	Einordnung der Fallbeispiele in die Maßnahmen des IPS58
Abbildung 3:	Anteil der verschiedenen Technologien im Einsatz oder in Planung62
Abbildung 4:	FramDroid FD 20.....63
Abbildung 5:	Dino Hackroboter65
Abbildung 6:	Farming GT Hackroboter66
Abbildung 7:	Bewertungs-Index Reifegrad Hackroboter in Prozent.....67
Abbildung 8:	Bewertungs-Index Umweltentlastung Hackroboter in Prozent68
Abbildung 9:	Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Hackroboter in Prozent70
Abbildung 10:	Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Hackroboter gegenüber Feldspritze in Prozent.....71
Abbildung 11:	Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Hackroboter gegenüber manuellem Hacken in Prozent71
Abbildung 12:	StrictSprayPlus77
Abbildung 13:	Kurvenkompensation78
Abbildung 14:	Reihenspezifische Düsenoptimierung79
Abbildung 15:	UX 520180
Abbildung 16:	Darstellung unterschiedlicher Spotgrößen (Prinzipskizze: nicht maßstabsgerecht).....82
Abbildung 17:	Vorschlag zur Systematisierung der Spotgrößen83
Abbildung 18:	Projektgerät D-I-S PSM84
Abbildung 19:	Systemarchitektur des Assistenzsystems zur teilflächenspezifischen Applikation85
Abbildung 20:	Bewertungs-Index Reifegrad Pulsweitenmodulation in Prozent87
Abbildung 21:	Bewertungs-Index Reifegrad Bandspritze in Prozent.....87
Abbildung 22:	Bewertungs-Index Reifegrad SmartSprayer in Prozent.....87
Abbildung 23:	Bewertungs-Index Reifegrad Direkteinspeisung in Prozent.....87
Abbildung 24:	Bewertungs-Index Umweltentlastung Pulsweitenmodulation in Prozent88
Abbildung 25:	Bewertungs-Index Umweltentlastung Bandspritze in Prozent 88
Abbildung 26:	Bewertungs-Index Umweltentlastung SmartSprayer in Prozent88
Abbildung 27:	Bewertungs-Index Umweltentlastung Direkteinspeisung in Prozent88
Abbildung 28:	Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Pulsweitenmodulation in Prozent90
Abbildung 29:	Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Bandspritze in Prozent90

Abbildung 30:	Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele SmartSprayer in Prozent	90
Abbildung 31:	Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Direkteinspeisung in Prozent.....	90
Abbildung 32:	Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Pulsweitenmodulation in Prozent	91
Abbildung 33:	Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Bandspritze in Prozent	91
Abbildung 34:	Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis SmartSprayer in Prozent	92
Abbildung 35:	Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Direkteinspeisung in Prozent.....	92
Abbildung 36:	Avo Sprühroboter	95
Abbildung 37:	FarmDroid als Sprühroboter	96
Abbildung 38:	Bewertungs-Index Reifegrad Sprühroboter in Prozent	97
Abbildung 39:	Bewertungs-Index Umweltentlastung Sprühroboter in Prozent	98
Abbildung 40:	Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Sprühroboter in Prozent	99
Abbildung 41:	Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Sprühroboter in Prozent	99
Abbildung 44:	Wirkungsgrad der getesteten Entscheidungshilfen gegen Hauptschaderreger (Prozent)	104
Abbildung 45:	Talking Fields	106
Abbildung 46:	Bewertungs-Index Reifegrad Entscheidungshilfesysteme in Prozent	107
Abbildung 47:	Bewertungs-Index Umweltentlastung Entscheidungshilfesysteme in Prozent.....	107
Abbildung 48:	Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Entscheidungshilfesysteme in Prozent.....	108
Abbildung 49:	Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Entscheidungshilfesysteme in Prozent.....	109
Abbildung 50:	Übersicht Bewertungs-Index für alle Fallbeispiele in Prozent	111
Abbildung 51:	Einsatzmöglichkeiten und Einsparpotential der betrachteten Technologien	113
Abbildung 52:	Handlungsbereiche	118
Abbildung 53:	Index-Wert "Reifegrad" - Hackroboter.....	150
Abbildung 54:	Index-Wert "Umweltentlastung" - Hackroboter	152
Abbildung 55:	Index-Wert "Erreichung politischer Ziele" - Hackroboter	155
Abbildung 56:	Bipolare Skala „Risiken und Chancen“ - Hackrobotern	158
Abbildung 57:	Index-Wert "Reifegrad" - Feldspritzen	166
Abbildung 58:	Index-Wert "Umweltentlastung" - Feldspritzen.....	170
Abbildung 59:	Index-Wert "Erreichung politischer Ziele" - Feldspritzen.....	174

Abbildung 60:	Bipolare Skala "Chancen-Risiken" - Feldspritzen.....	178
Abbildung 61:	Index-Wert "Reifegrad" - Sprühroboter	184
Abbildung 62:	Index-Wert "Umweltentlastung" - Sprühroboter.....	185
Abbildung 63:	Index-Wert "Erreichung politischer Ziele" - Sprühroboter.....	188
Abbildung 64:	Bipolare Skala "Chancen-Risiken" - Sprühroboter.....	190
Abbildung 65:	Index-Wert "Reifegrad" - Entscheidungshilfesystem	193
Abbildung 66:	Index-Wert "Umweltentlastung" - Entscheidungshilfesystem	195
Abbildung 67:	Index-Wert "Erreichung politischer Ziele" - Entscheidungshilfesysteme	198
Abbildung 68:	Bipolare Skala "Chancen-Risiken" - Entscheidungshilfesysteme	201

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht aktueller Entwicklungen.....	15
Tabelle 2:	Übersicht des PSM-Einsparpotentials der jeweiligen Technologie	20
Tabelle 3:	Übersicht der Stakeholder*innen und ihre Vor- und Nachteile durch die Entwicklungen	22
Tabelle 4:	Übersicht der Treiber und Hemmnisse für die Etablierung digitaler Technologien	24
Tabelle 5:	Liste der (angefragten) Expert*innen.....	45
Tabelle 6:	Fragenkatalog „Reifegrad“ - Hackroboter	150
Tabelle 7:	Fragenkatalog „Umweltentlastung“ - Hackroboter.....	152
Tabelle 8:	Fragenkatalog „Erreichung politischer Ziele“ - Hackroboter..	155
Tabelle 9:	Fragenkatalog "Risiken und Chancen" - Hackroboter	159
Tabelle 10:	Fragenkatalog "Reifegrad" – Feldspritzen	166
Tabelle 11:	Fragenkatalog „Umweltentlastung“ - Feldspritzen	170
Tabelle 12:	Fragenkatalog "Erreichung politischer Ziele" - Feldspritzen ..	174
Tabelle 13:	Fragenkatalog "Chancen und Risiken" - Feldspritzen.....	179
Tabelle 14:	Fragenkatalog „Reifegrad“ - Sprühroboter	184
Tabelle 15:	Fragenkatalog „Umweltentlastung“ - Sprühroboter	185
Tabelle 16:	Fragenkatalog „Erreichung politischer Ziele“ - Sprühroboter	188
Tabelle 17:	Fragenkatalog "Risiken und Chancen" - Sprühroboter.....	191
Tabelle 18:	Fragenkatalog „Reifegrad“ - Entscheidungshilfesysteme	193
Tabelle 19:	Fragenkatalog „Umweltentlastung“ - Entscheidungshilfesysteme	195
Tabelle 20:	Fragenkatalog „Erreichung politischer Ziele“ - Entscheidungshilfesysteme	199
Tabelle 21:	Fragenkatalog "Chancen und Risiken" – Entscheidungshilfesysteme	202

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
EU-GAP	Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union (EU)
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IPS	Integrierter Pflanzenschutz
ISIP	Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion
JKI	Julius Kühn-Institut
KI	Künstliche Intelligenz
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LKP	Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e.V.
NGO	Non-Governmental Organisation
PSM	Pflanzenschutzmittel
PPP	plant protection product
RTK	Real Time Kinematic
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
ZEPP	Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es, die aktuellen Veränderungen und Entwicklungen beim Pflanzenschutz in der Landwirtschaft mit Fokus auf die Digitalisierung zu identifizieren. Hierzu wurde zunächst mittels einer Literaturrecherche und Expert*innen-Interviews eine Übersicht über aktuelle Entwicklungen sowie über Pilotprojekte und innovative Ansätze aus der Praxis erstellt. Der Fokus lag dabei auf Entwicklungen, die für einen ökologischen, nachhaltigeren und damit umweltgerechteren Pflanzenschutz besonders relevant oder vielversprechend sind. Darüber hinaus wurden entscheidende Interessengruppen recherchiert sowie Treiber und Hemmnisse für die aktuellen Entwicklungen mittels Literatur und Expert*innen-Interviews ermittelt.

Ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens lag auf der detaillierten Analyse von ausgewählten Fallstudien. Für diese praxisnahen Fallbeispiele wurden konkret die Potentiale und Risiken für die Umweltwirkungen, aber auch für landwirtschaftliche Betriebe sowie für die Gesellschaft anhand eines vorgenerierten Bewertungs-Index betrachtet. Zudem wurden mit den identifizierten Interessengruppen in einen Dialog getreten, um die Umweltaspekte zukünftiger Entwicklungen zu diskutieren, was in Form eines Workshops mit Stakeholder*innen-Dialog erfolgte.

Aus den Erkenntnissen und Ergebnissen aller Projektteile konnten Handlungsempfehlungen entwickelt werden, wie und mit welchen Stakeholder*innen auf die Veränderungen und Entwicklungen im Sinne eines besseren Umweltschutzes in der landwirtschaftlichen Produktion sinnvoll eingewirkt werden kann.

Identifizierung der Entwicklungen und Erfassen von geeigneten Praxisbeispielen

Welche Entwicklungen gibt es? Dabei sollen auch verschiedene Entwicklungen in Deutschland, Europa und global berücksichtigt werden.

Welche Entwicklungen werden bereits in Initiativen und Pilotprojekten umgesetzt?

Welche Entwicklungen und Pilotprojekte sind besonders für eine vertiefte Betrachtung als Fallstudien geeignet?

Grundsätzlich ist festzustellen, dass das Thema Digitalisierung in der Landwirtschaft angekommen ist, aber noch nicht in der Breite und in vollem Umfang umgesetzt wird (vgl. Steinmann, H.-H. (2020), S. 24-25). Es zeigt sich, dass insbesondere große Betriebe stärker in digitale Technologien investieren als kleinere (vgl. PwC (Hg.) (2016), S. 11). Dies kann auch erklären, warum z.B. in den USA aufgrund der durchschnittlich größeren Bewirtschaftungsflächen die Digitalisierung in der Außenwirtschaft weiter fortgeschritten ist als in Deutschland (vgl. Umann, U. (2021)). Diese Tatsache ergibt sich u. a. daraus, dass viele neue Technologien für kleinere Betriebe (noch) nicht rentabel sind. Es konnten allerdings nur wenig allgemeingültige Informationen gefunden werden, ab welcher Höhe sich Investitionen unter Berücksichtigung aller Parameter, wie eingesparte Betriebsmittel oder Arbeitskosten, für einen Betrieb lohnten.

Ebenso konnten kaum quantitative Daten zur Bedeutung und tatsächlichem Einsatzumfang von digitalen Innovationen mit explizitem Bezug zum Pflanzenschutz gefunden werden – weder deutschlandweit, noch auf EU-Ebene oder global. Einige Studien und auch Marktanalysen beschäftigen sich allgemein mit dem Thema Digitalisierung in der Landwirtschaft und prognostizieren einen wachsenden Markt sowohl in Deutschland als auch europäisch und global. Während bei einer Umfrage des Digitalverbands Bitkom und des Deutschen Bauernverbandes

im Jahr 2016 noch 53 Prozent der Befragten angaben, digitale Technologien zu benutzen, waren es im Jahr 2020 bereits 82 Prozent (vgl. Rohleder, B.; Krüsken, B (2016), S. 6). Von diesen 82 Prozent gaben wiederum 32 Prozent an, dass sie digitale Technologien für den intelligenten Einsatz von Pflanzenschutz und Düngemittel benutzten (vgl. Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020), S. 4 und 5). Global betrachtet scheint allerdings im Bereich der Düngung eine breitere Anwendung stattzufinden als im Bereich Pflanzenschutz, wie eine andere Statistik zur prognostizierten Verteilung der Umsätze im weltweiten Markt mit Smart Farming Technologien, aufgeschlüsselt nach Anwendungsbereichen, aus dem Jahr 2017 von Goldman Sachs zeigte: Während bei der teilflächenspezifischen Düngung 27 Prozent angenommen werden, sind es im Bereich Pflanzenschutz nur sieben Prozent (vgl. Statista (Hg.) (2017)).

Auf dem Markt stehen bereits verschiedene technische Lösungen für die Landtechnik zur Verfügung, um mit innovativen Ansätzen Pflanzenschutzmittel zu reduzieren (siehe Tabelle 1). Eine Vielzahl an aktuell laufenden nationalen Forschungsprojekten, die in der Studie identifiziert wurden, zeigt aber auch, dass sowohl in Bezug auf die Technik selbst als auch auf die Wirkung des Einsatzes insbesondere in den Bereichen Sensorik und Robotik noch Entwicklungs- und Forschungsbedarf bestehen und nach weiteren praxistauglichen Lösungen gesucht werden muss.

Tabelle 1: Übersicht aktueller Entwicklungen

Art der Maßnahme	Technik	Digitale Innovation
chemisch	Feldspritzen	GPS-geschaltete Teilbreitenschaltung, GPS-geschaltete Einzeldüsenschaltung, pulsweitenmodulierte Düsen, abdriftmindernde Düsen Teilflächenspezifische Applikation: Kamera- oder sensorgestützt GPS-gesteuerte / Kamera-basierte Bandspritzung
	Feldrobotik	Automatische teilflächenspezifische Applikation: Kamera- oder sensorgestützt
	Entscheidungshilfesysteme	Komplexe Entscheidungshilfesysteme (Verarbeitung von Geodaten, Sensordaten, Bildaufnahmen via Drohnen etc.)
mechanisch	traktorgebunden	Sensorgestützte oder GPS-gesteuerte Hacke
	Feldrobotik	Automatische mechanische Unkrautbekämpfung: Sensorgestützte oder GPS-gesteuerte Hacke Laser Elektroschocks
biologisch	Einsatz von Nützlingen	Drohnen

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Detaillierte Betrachtung von Fallbeispielen

Wo liegen in den Fallstudien die Chancen und Risiken aus der Sicht eines umweltgerechten Pflanzenschutzes?

Welches Potenzial wird den Entwicklungen beigemessen hinsichtlich der Zielerreichung (Farm-to-Fork: 50 % bis zum Jahr 2030) zur Reduzierung des Einsatzes von chemischen Pflanzenschutzmitteln entsprechend der nationalen und Europäischen Ziele und Vorschriften zu einem Nachhaltigen und umweltgerechten Pflanzenschutz (RL 2009/128, PflSchG, NAP, Green Deal, Farm-to-Fork)?

Um ein breites Spektrum an Fallbeispielen abzubilden, wurden für die Auswahl zunächst für die oben beschriebenen Bereiche eine Reihe an konkreten Praxisbeispielen recherchiert. Danach wurden diese jeweils anhand einer Kriterienmatrix bewertet und gewichtet. Darauf basierend konnte eine Auswahl passend zu den Zielstellungen der vorliegenden Studie getroffen werden.

Die folgenden Fallbeispiele wurden in der Studie detailliert betrachtet und bewertet:

► Hackroboter

Im Bereich der Feldroboter mit mechanischer Unkrautbekämpfung insbesondere in Reihenkulturen wurden in den vergangenen Jahren mehrere Produkte bis zur Marktreife entwickelt. Auch wenn bisher nur drei Prozent der Landwirt*innen in Deutschland in Umfragen angeben, Feldrobotik in der Praxis einzusetzen, ist davon auszugehen, dass sich die Feldrobotik in den kommenden Jahren stärker durchsetzen wird. Ein größerer Teil von befragten Landwirt*innen (30 Prozent) geben an, eine Anschaffung zu planen oder zu diskutieren (vgl.: Rohleder, B.; Meinel, T. (2022), S. 5). Es ist abzuwarten, ob diese Einsatzraten erreicht werden, allerdings zeigt sich damit ein gesteigertes Interesse der Praxis an diesen Technologien.

Grundsätzlich können zwei Arten von Systemen mechanischer Unkrautbekämpfung durch autonome Feldroboter unterschieden werden. Ein Konzept beruht auf georeferenzierten Positionsdaten der Nutzpflanze, die bei der Aussaat gesammelt werden. Beim anderen System werden Pflanzen oder Reihen anhand von Sensoren oder Kameras und dem Einsatz Künstlicher Intelligenz identifiziert (vgl. Roßmadl, A. (2022), S. 18)).

Als konkrete Praxisbeispiele der Autonomisierung und Digitalisierung der mechanischen Unkrautregulierung bei Hackfrüchten wurden der FarmDroid FD20 der Firma FarmDroid ApS, der Dino von Naïo Technologies sowie der Farming GT Hackroboter der Farming Revolution GmbH genauer betrachtet. Die ersten beiden Modelle setzen auf das Konzept der Georeferenzierung und das dritte Modell auf die Unterscheidung von Pflanzen mittels Kamera und Mustererkennungsalgorithmen (vgl. Roßmadl, A. (2022), S. 20-21).

► Feldspritzen

Im Bereich der Feldspritzen wurden drei verschiedene Innovationen genauer betrachtet: pulsweitenmodulierte Düsen (PWM), die Bandspritzung sowie Smart Spraying-Feldspritzen:

- Pulsweitenmodulation (PWM)

Grundsätzlich handelt es sich bei einer pulsweitenmodulierten Feldspritze um eine konventionelle Flächenspritze, bei der allerdings die Düsen nicht permanent applizieren, sondern abhängig von der Fahrgeschwindigkeit mit hoher Frequenz an- und ausgeschaltet werden ohne dass sich Druck und Tropfenspektrum ändern (vgl. Höner, G. (2020)).

- Bandspritzung

Die Methode der Bandspritze ist nicht neu, hat aber neue technische bzw. digitale Möglichkeiten, die die Technik einfacher und effizienter machen. Dabei werden zur Unkrautbekämpfung in der Reihe Herbizide appliziert und zwischen den Reihen wird mechanische Unkrautbekämpfung durchgeführt.

- Smart Spraying - Feldspritzen

Smart Spraying-Feldspritzen arbeiten mit Sensoren zur Unkrauterkennung. Noch präziser arbeiten Feldspritzen mit Direkteinspeisung, die unterschiedliche Pflanzenschutzmittel je nach Bedarf auf dem Feld ausbringen können.

Als Fallbeispiel im Bereich der Feldspritzen wurde die Strict Spray Plus von Agrifac im Bereich der Feldspritzen mit Pulsweitenmodulation ausgewählt. Im Bereich der Bandspritze wurde ein Gerät zur Reihenspezifischen Düsenoptimierung der Herbert Dammann GmbH ermittelt. Bei den Smart Spraying – Feldspritzen wurde der UX 5201 Smart Sprayer von der AMAZONEN-WERKE H. Dreyer SE & Co. KG sowie eine Feldspritze eines Forschungsprojekts, die in Zusammenarbeit des JKI mit der Herbert Dammann GmbH entwickelt wurde, als Fallbeispiel gewählt.

► Sprühroboter

Feldrobotik wird bisher noch von einem sehr geringen Teil der Landwirt*innen eingesetzt. Der Einsatz von Sprührobotern scheint, im Vergleich zu Hackrobotern, noch in geringerem Maß zu erfolgen. So ließen sich bei der Recherche deutlich weniger Daten, Erfahrungsberichte, Forschungsarbeiten und auch Expert*innen dazu finden.

Als Fallbeispiele wurden der Avo der Firma ecoRobotix und ein Sprühroboter, der von FarmDroid ApS. und der AMAZONEN-WERKE H. Dreyer SE & Co. KG zu Forschungszwecken zusammen entwickelt wurde, herangezogen und bewertet.

► Komplexe Entscheidungshilfesysteme

Entscheidend bei diesen Systemen ist die Frage: Welche Informationen werden nach welchen Kriterien verarbeitet? Während verschiedene Feldspritzen in Echtzeit auf dem Feld Unkraut oder ggf. auch Krankheiten mittels Sensoren erkennen, werden mithilfe der Entscheidungshilfesysteme die Entscheidungen schon im Vorfeld getroffen bzw. mit bereits vorliegenden Daten aus dem Feld verknüpft. Dabei werden Geodaten, die über Satelliten oder auch Drohnen gesammelt werden, ausgewertet und mit weiteren Parametern wie Wetterdaten und Bodenkarten etc. kombiniert. Daneben gibt es auch die Möglichkeit, dass auf dem Landwirtschaftsbetrieb installierte Sensoren wichtige Parameter wie beispielsweise Feuchtigkeit oder sogar die Präsenz von Schädlingen oder Sporen messen und diese Daten dann in eine Software eingespeist werden. (vgl. Europäische Kommission (Hg.) (2020)). Aus diesen Daten können dann optimale Anwendungszeitpunkte sowie Applikationskarten erstellt werden.

Die in vorliegender Studie gewählten Praxisbeispiele, der FIELD MANAGER von xarvio™ Digital Farming Solutions und Talking Fields von VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, unterstützen die Entscheidung via satellitenbasierter Biomassekarten.

Zusammenfassung des Bewertungs-Index

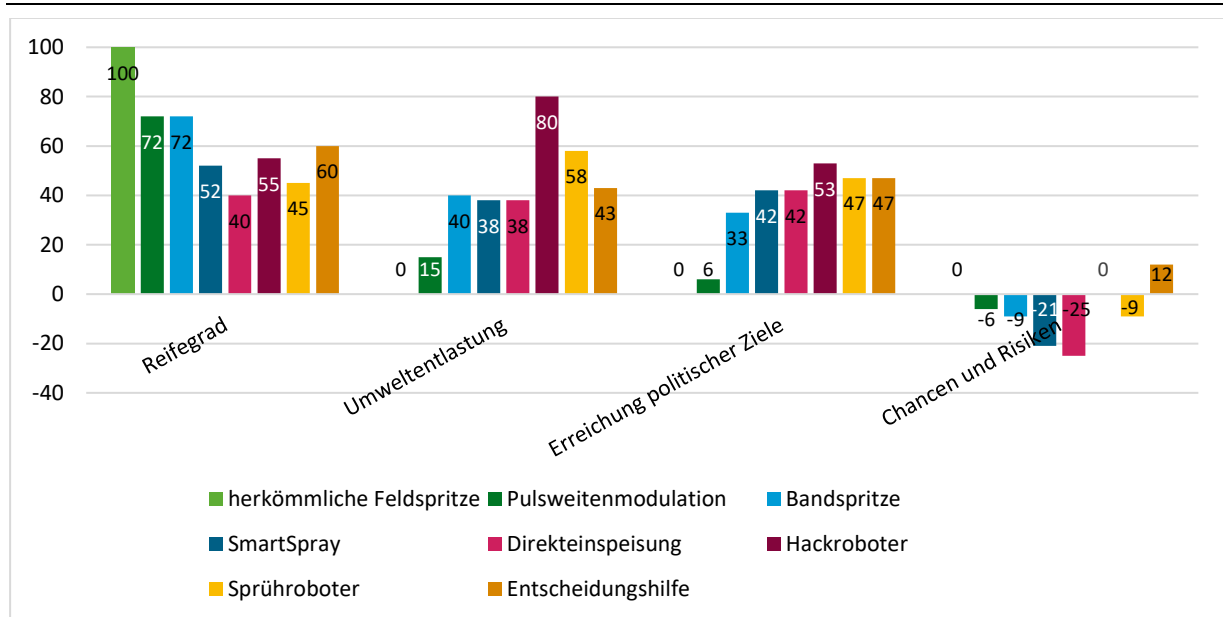
Um die beiden Forschungsfragen 4 und 5 zu beantworten und die Fallbeispiele bewerten und vergleichen zu können, wurde ein Bewertungssystem in Form eines Bewertungs-Index

entwickelt. Darin wurden sowohl das Potenzial der möglichen Umweltentlastung, als auch die Chancen einer breiten Umsetzung durch den Einsatz der in den Fallbeispielen beschriebenen Innovationen im Pflanzenschutz ermittelt.

Für die Berechnung der Kennzahlen und die Index-Bildung in dem Bewertungssystem wurde ein Fragenkatalog für verschiedene Teilbereiche zur Bewertung entwickelt. Die einzelnen Teilbereiche umfassen den Reifegrad einer Technologie, die potentielle Umweltentlastung, das Erreichen der politischen Ziele durch die Technologie sowie das Verhältnis der Chancen und Risiken für Landwirt*innen. Die Bewertung erfolgte durch die Einschätzung von 15 Expert*innen aus der landwirtschaftlichen Praxis, aus der Forschung und den Herstellenden, die den Fragebogen oder speziell an sie gerichtete Fragen via Telefon oder E-Mail beantwortet haben.

Bei der Beschreibung und Bewertung der Fallbeispiele zeigte sich, dass es schwierig ist, pauschale Aussagen insbesondere für die Bereiche „Umweltentlastung“, „Erreichung politischer Ziele“ sowie die Abwägung der „Chancen und Risiken“ zu treffen, da diese von Anwendungsfall zu Anwendungsfall sehr unterschiedlich ausfallen können. Trotzdem konnten grundsätzliche Aussagen zu den einzelnen Fallbeispielen abgeleitet werden, welche an dieser Stelle zusammengefasst werden. In Abbildung 2 sind die prozentualen Werte des Bewertungs-Index dargestellt, die die jeweilige Technologie in den Teilbereichen Reifegrad, Umweltentlastung, das Erreichen der politischen Ziele sowie das Verhältnis der Chancen und Risiken erreicht haben.

Abbildung 1: Übersicht Bewertungs-Index für alle Fallbeispiele in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

► Reifegrad

Von den vorgestellten Technologien sind marktreife Produkte verfügbar. Ebenso gibt es potentielle Märkte, die aber noch nicht in der Breite ausgeschöpft werden können. Bei einzelnen Aspekten fehlt es noch an ausgereiften Regularien wie beispielsweise beim autonomen Fahren oder bei Themen wie Datenschutz oder Datenhoheit bzw. einzelnen Zulassungen. Entwicklungsbedarf besteht insbesondere im Bereich Sensorik zur Erkennung von weiteren

Unkräutern oder Pflanzenkrankheiten sowie einer umfangreichen Aufarbeitung der Daten in den jeweiligen Softwareprogrammen und Modellen.

► Umweltentlastung und Erreichen der politischen Ziele

Zusammenfassend haben alle ausgewählten Fallbeispiele das Potential Umweltentlastungen in Bezug auf den Verzicht oder die Reduzierung von Pflanzenschutzmitteln zu erwirken und auch das Potential, einen Beitrag zum Erreichen der aktuellen politischen Ziele (im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze) zu leisten.

Die tatsächliche Umweltwirkung ist schwer zu beziffern und in der Realität durch mangelnde wissenschaftliche Daten nicht exakt nachprüfbar. Eine exakte Festlegung von Einsparpotentialen einzelner Technologien ist schwierig, da diese von mehreren Gegebenheiten, wie z.B. dem Unkrautdruck, dem Schädlings- oder Krankheitsbefall, dem Wetter und auch der Risikoaffinität bzw. -aversion der einzelnen Landwirt*innen abhängen. Ebenso sind auch die tatsächlichen Effekte auf die Biodiversität nicht einfach zu bewerten, da bei einem reduzierten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln die ökotoxikologische Wirkung bzw. Entlastung einerseits, und die Veränderungen der Unkraut- bzw. Ackerbegleitflora andererseits, berücksichtigt werden müssen. Letzteres kann z.B. deutliche Auswirkungen auf die Biodiversität haben (vgl. Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), S. 125).

Herbizide, Insektizide und Fungizide müssen unterschiedlich betrachtet werden. Hackgeräte können ausschließlich im Bereich der Herbizide für eine geringere Umweltwirkung sorgen, ebenso der SmartSprayer, da die aktuell einsetzbaren Sensoren nur Unkräuter erkennen können. Der FIELD MANAGER als Entscheidungshilfesystem hingegen wird nur im Bereich der Fungizide eingesetzt. In Bezug auf Insektizide hat keine der ausgewählten Fallbeispiele einen Einsatzbereich.

► Chancen-Risiken-Verhältnis

Bei einer qualitativen Abwägung der Chancen und Risiken beim Einsatz der gewählten Technologien schneiden lediglich die Entscheidungshilfesysteme im Bewertungsindex positiv ab, d.h. die Systeme bieten mehr Chancen als Risiken. Die Hackroboter haben auf konventionellen Betrieben gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze genauso viele Chancen wie Risiken. Bei Ökobetrieben bieten Hackroboter in den betrachteten Kriterien mehr Chancen als Risiken. Hier muss allerdings beachtet werden, dass der Vergleich nicht gegenüber einer Feldspritze, sondern gegenüber manuellem Hacken erfolgte. Die anderen betrachteten Technologien bieten aktuell mehr Risiken als Chancen, was in erster Linie an den höheren Investitionskosten gegenüber der häufig (noch) geringen ökonomischen Effizienz beim Einsatz liegt.

Die betrachteten Fallbeispiele bieten demnach Chancen für einen umweltgerechten Pflanzenschutz durch das Einsparpotential von Pflanzenschutzmitteln. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über das von den Herstellenden kommunizierte Einsparpotential der einzelnen Fallbeispiele im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze. Neben der Höhe des Einsparpotentials (in Prozent) ist auch die Art des Pflanzenschutzmittels, welches eingespart werden kann dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht des PSM-Einsparpotentials der jeweiligen Technologie

Technologie	Frucht	PSM-Einsparung	PSM-Art (Herbizid, Insektizid, Fungizid)
herkömmliche Feldspritze	Alle	0	Alle
Pulsweitenmodulation	Alle	< 10 %	Alle
Bandspritze	Hackfrüchte	< 65 %	Herbizide
SmartSprayer	Alle - außer Weizen	< 30 %	Herbizide
Direkteinspeisung mit Entscheidungshilfe	_____	_____	_____
Hackroboter	Hackfrüchte, Gemüse, Kräuter (je nach Software)	< 100 %	Herbizide
Sprühroboter	Reihenkulturen, Feldgemüseanbau, Grünland	< 95 %	Herbizide
Entscheidungshilfe	Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrübe, Kartoffel	< 30 %	Fungizide

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Bei den untersuchten Fallbeispielen lassen sich die Effekte und Potentiale als Maßnahmen des Integrierten Pflanzenschutzes analysieren und klassifizieren. Zusammenfassend zeigt sich, dass digitale Lösungen den Integrierten Pflanzenschutz durch die Möglichkeit einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung und die Reduktion an PSM unterstützen können. Die ausgewählten Technologien bieten jedoch *per se* keine Lösungen für einen präventiven Pflanzenschutz. Allerdings können z.B. kleinskalierte Robotereinheiten dabei unterstützen, kleinteiligere Anbausysteme zu bewirtschaften. Entscheidungshilfesysteme können bei der Risikoanalyse und dem Monitoring Vorteile bringen. Bis auf diese beiden Ausnahmen sind die meisten der betrachteten Technologien dem kurativen Pflanzenschutz zuzuordnen. So folgen die Hackroboter als physikalische, die Sprühroboter und verschiedenen Feldspritzen als chemische Methoden, dem Prinzip des „notwendigen Maßes“.

Stakeholder*innen und Nutznießende, Treiber und Hemmnisse der Entwicklungen

*Was sind die Treiber und wer sind die Stakeholder*innen und Nutznießenden der Entwicklungen?*

Was sind die entscheidenden Hemmnisse, Unsicherheiten, Risiken, Trade-offs (z.B.

Wirtschaftlichkeit, Investitionen, Ethik, öffentliche Meinung, Regulatorik), die für eine weitere Entwicklung oder Implementierung im nationalen Kontext überwunden werden müssen?

► Stakeholder*innen und Nutznießende

Als erste zentrale Interessengruppe sind **Landwirt*innen, Maschinenringe** sowie **Lohnunternehmen** zu nennen. Erleichterte Dokumentationen und Qualitätskontrollen sowie ökonomische und ökologische Vorteile durch PSM-Einsparungen und dem Zugang zu agronomischem Wissen durch verschiedene Software-Programme bringen für diese Gruppe Vorteile, wenn digitale Technologien eingesetzt werden können. Ein erhöhter Umfang an digitalem Datenaustausch kann sich auch negativ auf diese Interessengruppe auswirken, wenn es zu Datenmissbrauch kommt.

Eine weitere Interessengruppe bilden **Landtechnikherstellende** – große Agrarkonzerne, aber auch Start-ups – und **Softwareentwicklungsfirmen** (Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), S. 216). Für diese entstehen zum einen neue Märkte, zugleich aber auch Kosten durch Entwicklungen und komplexere Zulassungsverfahren.

Als wichtige Stakeholder*innen sind **Pflanzenschutzmittelherstellende** zu nennen, die durch einen geringeren Einsatz von Wirkstoffen im Pflanzenschutz stark betroffen sind und ihre Produktlinien entsprechend anpassen müssen. Hierfür entwickeln sie beispielsweise schadschwellen-konforme Lösungen wie etwa selektive Herbizide (vgl. Deininger, O. (o.D.)).

Als weitere Gruppen spielen der **Lebensmittelhandel** sowie **Verbraucher*innen** eine Rolle in der Gesamthematik (vgl. Ehlers, M.-H.; Finger, R.; El Benni, N.; Gocht, A.; u. a. (2022)). Diese Stakeholder*innen profitieren insbesondere von der höheren Transparenz entlang der agrarischen Wertschöpfungsketten, die durch digitale Technologien erhöht werden kann. Durch die Möglichkeit eines umweltgerechteren Pflanzenschutzes ist auch die Herstellung unbelasteter Lebensmittel ein Vorteil für diese Interessengruppen.

Die **Politik, Behörden** und **Nicht-Regierungs-Organisationen** sind weitere Gruppen, die am Prozess der Entwicklung digitaler Technologien in der Landwirtschaft Interesse haben und auch darauf Einfluss nehmen. Zum einen profitieren diese Stakeholder*innen von der höheren Transparenz und somit einer Nachvollziehbarkeit bzw. Kontrolle, die durch die digitalen Daten möglich sind. Zum anderen sind digitale Technologien ein mögliches Instrument, um die umwelt-politischen Ziele zu erreichen.

Daneben gibt es noch den Bereich der **Forschung und Wissenschaft** als weitere beteiligte Gruppe, die durch neue Forschungsmöglichkeiten einen Beitrag zu den umweltpolitischen Zielen leisten kann und zudem durch die Analyse großer Datenmengen neue Erkenntnisse generiert.

In Tabelle 3 sind die verschiedenen Stakeholder*innen und die jeweiligen Vor- und Nachteile, die die Digitalisierung in der Landwirtschaft für sie auslösen kann, in einer Übersicht zusammengefasst.

Tabelle 3: Übersicht der Stakeholder*innen und ihre Vor- und Nachteile durch die Entwicklungen

Bereich	Stakeholder*innen	Vorteile	Nachteile
Landwirtschaft	Landwirt*innen	Ökonomisch; Ökologisch; Organisatorisch (z.B. erleichterte Dokumentation); Automatisierung Höhere Transparenz; Einfacher Zugang zu komplexem Wissen	Ökonomisch; Aufwand durch Anpassungen; Verlust der Datenhoheit; Verlust der Privatsphäre; Abhängigkeit von Technik
	Maschinenringe		
	Lohnunternehmen		
	Berater*innen		
Industrie und Handel (Landwirtschaft)	Landtechnikherstellende (Konzerne, Start-ups)	Neue Märkte	Entwicklungskosten; Zulassungsverfahren
	Softwareentwicklungsfirmen		
	Pflanzenschutzmittelherstellende		
Industrie und Handel (Lebensmittel)	Lebensmittelverarbeitung und -handel	Höhere Transparenz; Umweltgerechterer Pflanzenschutz; Gesündere Lebensmittel	Zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft
	Verbraucher*innen		
Gesellschaft und Politik	Politik und Behörden	Höhere Transparenz; Erreichung des PSM-Reduktionsziels	Zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft
	NGOs und Verbände		
Wissenschaft	Naturwissenschaft	Neue Forschungsmöglichkeiten; Bessere Datenerfassung und -analyse; Beitrag zu umweltgerechterem Pflanzenschutz	Zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft
	Technologie		

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Mit den identifizierten Stakeholder*innen wurde ein Dialogprozess gestartet, um gemeinsam über Herausforderungen im Pflanzenschutz und einem zielgerichteten Einsatz der digitalen Technologien zu diskutieren. Der Start dieses Dialoges erfolgte im Rahmen eines Workshops, in dem zunächst die bisherigen Projektergebnisse vorgestellt und dann gemeinsam Lösungsansätze diskutiert wurden. Der Online-Workshop fand am 17. und 18. Oktober 2022 jeweils einen halben Tag statt. Von den eingeladenen Stakeholder*innen aus den oben beschriebenen Bereichen nahmen ca. 50 Personen an der Online-Veranstaltung teil. Der Dialog wird von Seiten des Umweltbundesamtes fortgesetzt.

► Treiber und Hemmnisse

Ökonomische Gründe sind für Landwirt*innen wichtigste Kriterien, sich für oder gegen die Anschaffung digitaler Technologien zu entscheiden. Die bereits erwähnte deutschlandweite Umfrage von Bitkom zeigt, dass 81 Prozent der befragten Landwirt*innen höhere Produktionseffizienz als Treiber und 92 Prozent die hohen Investitionskosten als Hemmnis für eine Investition sehen (vgl. Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020), S. 8). Somit können ökonomische Gründe sowohl Treiber (z.B. Einsparung von Betriebsmitteln, höhere Produktivität und Profitabilität) als auch Hemmnisse (z.B. zu hohe Investitionskosten, geringe Wirksamkeit in Bezug auf Umweltaspekte bei hoher Verunkrautung) sein.

Ökologische Aspekte spielen zwar auch eine Rolle, allerdings ist die Wirtschaftlichkeit beim Einsatz digitaler Technologien für die meisten Landwirt*innen wichtiger. Weiterhin ist den Landwirt*innen wichtig, dass Technologien einfach und verständlich (Komplexität) und funktionssicher (Verlässlichkeit) sind. Beispielsweise wurde die technische Komplexität bei pulsweitengeschalteten Düsen, der Einzeldüsen-schaltung und insbesondere bei kamera- oder sensor-gestützten teilflächenspezifischen Anwendungen in den Expert*innen-Interviews als Probleme für die Praxis genannt. Auch in der Bitkom-Studie geben 75 Prozent der Landwirt*innen die Komplexität und Anwendungsprobleme als Nachteil an (vgl. Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020), S. 8).

Neben dem finanziellen Aspekt werden als **sozio-ökonomische** Hemmnisse der digitalen Technologien auch mangelnde **Kenntnisse und Wissen** mit den komplexen Technologien gesehen. (vgl. Lieder, S.; Schröter-Schlaack, C. (2021), S. 11) Hinzu kommt aufgrund von Bedenken bei der **Datenhoheit** eine mangelnde Bereitschaft, Daten offen zu legen oder zu teilen sowie ein Misstrauen in Algorithmen (vgl. McFadden, J.; u. a. (2022), S.4).

Als Treiber für einen Wandel im Pflanzenschutzmanagement wurde in den Expert*innen-Interviews auch der **gesellschaftliche Druck**, Pflanzenschutzmittel einzusparen und nachhaltig zu wirtschaften, genannt, was sich letztendlich auch in Prozessen neuer **Regulierungen und politischer Vorgaben** widerspiegelt. Insbesondere in Europa baut sich dieser Druck durch Verbraucher*innen sowie durch die Politik (z.B. GreenDeal, Farm-to-Fork-Strategie, Biodiversitätsstrategie 2030, Aktionsprogramm Insektenschutz) schneller auf als in anderen Teilen der Welt.

Die Situation der **Wirkstoffzulassungen** bei Pflanzenschutzmitteln spielt ebenso wie Regulationen oder Kontrollen eine Rolle für den Einsatz digitaler Technologien in verschiedenen Ländern Europas. Erhöhte **Nachweispflichten** und die Erleichterung der **umfangreichen Dokumentation** in der Praxis können Treiber für den Einsatz digitaler Technologien darstellen. Beispielsweise hat in Deutschland – nach Aussage eines Interviewten – die neue Düngeverordnung einen Schub in Richtung digitale Schlagkarteien gebracht, da so die Dokumentation von Applikationsmengen vereinfacht wurde.

Gezielte **Förderprogramme** können die Digitalisierung der Landwirtschaft voranbringen. Dabei haben kleinere Betriebe, wie die vom Industrieverband Agrar (IVA) in Auftrag gegebene Umfrage zur Pflanzenschutztechnik unter Landwirt*innen ergab, eher eine Affinität zur Anwendungsförderung, während größere Betriebe zur Investitionsförderung tendieren (vgl. Schaal, R. 2022).

Als weiterer Punkt für den breiteren Einsatz von digitalen Technologien werden die **Entwicklungen in anderen Lebensbereichen** gesehen. Je weiter sich hier die Digitalisierung z.B. im generellen Alltag von Menschen verbreitet, umso mehr wird sie auch in der Landwirtschaft Anwendung finden. Hier scheint es auch – wie Aussagen aus den Interviews der

vorliegenden Studie zeigten – ein Generationenthema zu sein, inwieweit Betriebsleiter*innen motiviert und technisch bereit sind, digitale Technologien einzusetzen. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Treiber und Hemmnisse für die Etablierung digitaler Technologien.

Tabelle 4: Übersicht der Treiber und Hemmnisse für die Etablierung digitaler Technologien

Bereich	Treiber	Hemmnisse
Ökonomische Aspekte	Einsparungen von Betriebsmitteln; Produktionseffizienz; Produktionssteigerung	Technikkosten; Unzureichende Rentabilität; Anpassungen am Betrieb;
Ökologische Aspekte	Einsparung von PSM	Mangelnde Wirksamkeit
Sozio-Ökonomische Aspekte	Digitalisierung aller Lebensbereiche	Mangelndes Wissen; Unzureichende Beratung; Komplexität der Technik
Technische Aspekte	Datenschnittstellen; Breitbandabdeckung; Anwenderfreundlichkeit; Verlässlichkeit; Serviceleistungen	Mangelnde technische Reife; Funktionsunsicherheit; Schlechte Netzabdeckung (Mobilfunk, Internet) Mangelnde Datenschnittstellen; Misstrauen in Datenschutz; Misstrauen in Algorithmen; Sorge vor Verlust der Datenhoheit „gläserner Landwirt*in“
Gesellschaftliche Aspekte	Gesellschaftlicher Druck, PSM einzusparen; Digitalisierung aller Lebensbereiche	Skandalisierung einzelner Anwendungen
Politische und regulatorische Aspekte	umweltpolitische Vorgaben; Nachweispflichten; Qualitätskontrollen; umfangreiche Dokumentation; Zugelassene PSM-Wirkstoffe; Förderprogramme	Fehlende Kontrollmechanismen; Falsche finanzielle Anreize

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Synergien mit Entwicklungen im Pflanzenschutz

Welche Vernetzung und Schnittstellen gibt es mit weiteren Entwicklungen im Pflanzenschutz? Wie stark sind diese Entwicklungen miteinander gekoppelt und voneinander abhängig?

Die aktuellen Entwicklungen im chemischen Pflanzenschutz lassen erwarten, dass auch in Zukunft immer weniger Wirkstoffe im Pflanzenschutz zugelassen werden und somit Schwierigkeiten für die Landwirtschaft im Resistenzmanagement entstehen können. Deswegen müssen im Pflanzenschutz vorbeugende Maßnahmen – wie es im Integrierten Pflanzenschutz vorgesehen ist – eine größere Bedeutung bekommen.

Synergien könnten sich zwischen digitalen Agrartechnologien mit der Sortenzüchtung oder biotechnologische Verfahren ergeben. Hier könnten gezielt Pflanzeigenschaften gefördert

werden, die in der Wuchsform oder der Wechselwirkung für kleinstrukturierte Anbauformen oder Mischkulturen geeignet sind (vgl. Wilhelm, R. u. a. (2021)). Kamera-basierte teilflächenspezifische Applikationen könnten bei weiterer technischer Entwicklung nicht nur Pflanzenschutzmittel reduzieren, sondern darüber hinaus nur einzelne (resistente) Unkräuter behandeln, während andere Arten toleriert werden, um die Biodiversität zu erhöhen. (vgl. Paulus, S.; Streit, S. (2022)). Bestimmte Pflanzenschutzmittel könnten mit punktgenauen Sprühsystemen die exakte Einhaltung definierter Kriterien für die Applikation von Pflanzenschutzmitteln ermöglichen (wie beispielsweise Conviso One, vgl. Baumgarten, S; Hahnkemeyer, T. (2022)) und zudem einen georeferenzierten Nachweis über die gesetzeskonforme Ausbringung liefern.

Neben technischen Innovationen könnten sich perspektivisch noch weitere Neuerungen im Pflanzenschutz ergeben, durch die sich ggf. Vernetzungen und Schnittstellen mit der digitalen Landtechnik erstellen lassen. Ein Bereich könnte den biologischen Pflanzenschutz betreffen, bei dem neben Nützlingen in Zukunft auch Mikroorganismen zur Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden. (vgl. Jehle, J.A. (2019), S. 11). Auch sogenannte Biostimulanzien könnten zukünftig eine stärkere Rolle spielen (vgl. Rohlmann, A.K. (2021)). Darüber hinaus werden neuartige Pflanzenschutzmittel durch die Methode der RNA-Interferenzen zur Abwehr von Krankheitserregern und Schädlingen durch „Gene Silencing“ (Genstummschaltung) (vgl. Ordon, F. (2021), S. 17) entwickelt und ggf. zugelassen. Diese neuen Pflanzenschutzwirkstoffe haben eine andere Wirkungsweise als chemische Pflanzenschutzmittel und erfordern eine veränderte Risikoanalyse in Bezug auf deren Umweltwirkung und Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Möglicherweise könnten digitale Technologien für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung hier ein Brückenglied für neue Regulierungsstandards und die Risikobewertungsanalysen sein.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse aus den Analysen in der vorliegenden Studie zeigen, dass der Einsatz digitaler Technologien zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft beitragen kann. Um diese Innovationen in der Breite einsetzen zu können, wurden vier Bereiche als entscheidend identifiziert, in denen es zusätzlicher Entwicklungen bedarf, um die Digitalisierung voranzubringen und gleichzeitig einen besseren Umweltschutz zu erreichen. Diese sind verstärkte Anstrengungen sowohl in grundlagen- als auch anwendungsorientierter **Forschung**, eine unabhängige und strukturierte landwirtschaftliche **Beratung**, zielgerechte **finanzielle Förderung** und dezidierte **Kontrollmechanismen**. Konkret lassen sich für diese Bereich folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

► Forschung

Handlungsempfehlungen

- Weiterentwicklung der Technologien
- Wissenslücken schließen
- Wissen vermitteln (Beratung, Fortbildung und Ausbildung)

Die detaillierte Analyse der Fallbeispiele hat insbesondere weiteren **Forschungsbedarf** offengelegt. Zum einen müssen die betrachteten Technologien zu einer höheren Technik- und Marktreife gebracht werden, zum anderen fehlt es an Forschungsergebnissen bezüglich der

Wirkung sowie der ökologischen Effekte durch den Einsatz der Technologien. Diese mangelnden Kenntnisse und Unsicherheiten sind – verbunden mit ökonomischen Risiken – die größten Hemmnisse bei der breiten Umsetzung der Technologien. Die Forschungsergebnisse sollten dann in die **Bildung bzw. Ausbildung** von Landwirt*innen und zugleich auch bei landwirtschaftsberatenden Institutionen einfließen. Zugleich können fundierte Kenntnisse zum Erfolg bestimmter Maßnahmen auch Grundlage für gezielte finanzielle Förderungsmaßnahmen sein.

► Förderung

Handlungsempfehlungen

- Dezidierte und zielgenaue Forschungsförderung
- Förderung von Maßnahmen und Investitionen in die bestehenden Förderstrukturen integrieren und stärken
- Evaluation bestehender Fördermaßnahmen
- Finanzierung unabhängiger Beratung für jeden Betrieb ermöglichen

Finanzielle Förderung bedarf es in verschiedenen Bereichen. Zum einen muss weiterhin im Bereich der **Forschung investiert** werden, um die Technologien weiterzuentwickeln und Wissenslücken zu schließen.

Zum anderen bedürfen auch Landwirt*innen einer monetären Förderung oder gezielter Anreize, um die Innovationen in der Breite anzunehmen. Hier muss die Frage geklärt werden, woher die finanziellen Mittel kommen, jedoch ebenso, ob eine **Investitions- oder eine Anwendungsförderung** je nach Technologie eher zum Erfolg führt. Eine Kombination aus Investitions- und Anwendungsförderung scheint sinnvoll, da bei einer reinen Investitionsförderung die Gefahr besteht, dass die Technik nicht im Sinne eines umweltgerechteren Pflanzenschutzes eingesetzt wird, während bei einer reinen Anwendungsförderung vor allem kleineren Betrieben die Mittel für die Anfangsinvestition fehlen.

Um keine weiteren bürokratischen Hürden zu schaffen, sollten die **Fördermaßnahmen in die bestehenden Förderstrukturen integriert** werden. Für die nächste Förderperiode der EU gibt es eine Umstrukturierung der EU-GAP und es existieren auch bereits national einzelne Programme zur gezielten Förderung zur Digitalisierung der Landwirtschaft (z.B. Hessen: „Richtlinie zur Förderung von Innovation und Zusammenarbeit in der Landwirtschaft und in ländlichen Gebieten sowie der Digitalisierung in der Landwirtschaft“; Bayern: BaySL Digital). Für die kommenden Jahre ist eine Evaluation sinnvoll, ob die Förderung bzw. die Mittel ausreichend waren. Ebenso muss geprüft werden, ob die Programme zum gewünschten Erfolg, insbesondere zu einem positiven ökologischen Effekt geführt haben.

Neben der Förderung von Forschung und der Technologieentwicklung, sollte auch eine gezielte **Beratung finanziell unterstützt** werden. Auch hierfür sind im GAP-Strategieplan in den „investiven Interventionen“ der 2. Säule Mittel vorgesehen (vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2022), S. 32) und es wird zu klären sein, ob diese für diesen Bedarf ausreichend sind und genutzt werden.

► Beratung

Handlungsempfehlung

Flächendeckend unabhängige Beratung aufbauen

Es sollte **flächendeckend eine unabhängige Beratung** geben, wie es in Artikel 26 im „Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über die nachhaltige Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und zur Änderung der Verordnung (EU) 2021/2115“, formuliert ist. (vgl. Europäische Kommission (2022a), S. 65-66). In diese Beratung sollte ein Wissenstransfer zu den neuen Technologien stattfinden. Jedoch müssen ebenso Umwelt- und Naturschutzaspekte in die pflanzenbauliche sowie technische Beratung integriert werden.

► Kontrolle

Handlungsempfehlungen

- Digitale Erfassung aller Maßnahmen auf Betriebsebene (z.B. in Ackerschlagkarteien)
- Identifikation geeigneter (ökologischer) Indikatoren
- Vertrauensbildende Maßnahmen, um den Konflikt „Umwelt versus Landwirtschaft“ zu entschärfen

Der Handlungsbereich der Kontrolle ist der bei den verschiedenen Stakeholder*innen umstrittenste und zugleich am schwierigsten umsetzbare. Hier gibt es aktuell Umsetzungsprobleme in der Praxis, weil es zum einen sehr schwierig ist, **Indikatoren festzulegen**, an denen der Integrierte Pflanzenschutz gemessen und bewertet werden kann. Dies liegt daran, dass die Ausprägung der Indikatoren stark von regionalen Standortgegebenheiten, wie z.B. der jährlichen Witterung beeinflusst wird, was eine einheitliche Kontrolle, Bewertung und Sanktionierung kaum möglich macht. Zudem ist es aktuell schwierig, Angaben zu Indikatoren zu erhalten, weil sie nicht digital verfügbar und auch kaum zu kontrollieren sind (vgl.: Isermeyer, F.; Nieberg, H.; u. a. (2020), S. 46). Deshalb sollten im Rahmen der angestrebten Weiterentwicklung des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) (vgl. Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN, Freien Demokraten (FDP) (Hg.) (2021), S. 46), geeignete Indikatoren festgelegt werden, um den Erfolg der Maßnahmen durch digitale Technologien validieren zu können.

Zudem sollten die Bestrebungen der EU, verbindliche Reduktionsziele festzulegen und deren Fortschritt mit einer einheitlichen Berechnungsmethode sowie deren **digitale Erfassung** und Übermittlung für alle Mitgliedstaaten umgesetzt werden. (vgl. Europäische Kommission (2022b); (vgl. Europäische Kommission 2023)).

Weiterhin ist beim Bereich „Kontrolle“ neben den technischen Umsetzungsproblemen auch Widerstand von der Landwirtschaftsseite zu erwarten, was auch im Stakeholder*innen-Workshop eingehend diskutiert wurde. Die Sorge der Skandalisierung einzelner Anwendungen wurde hier beispielsweise genannt. **Vertrauensbildende Maßnahmen** könnten hier den Konflikt entschärfen.

Summary

The aim of this study was to identify current changes and developments in plant protection in agriculture with a focus on digitalization. A literature review and interviews with experts were conducted to provide an overview of current developments, pilot projects, and innovative approaches from practice. The focus was on developments that are particularly relevant or promising for more sustainable and environmentally friendly crop protection. In addition, key stakeholder groups as well as drivers and barriers for current developments were identified through literature and expert interviews.

Another focus of the project was the detailed analysis of selected case studies. For these practical examples, the potential impacts and risks for the environment, as well as for agricultural enterprises and society, were examined using an evaluation index developed for this study. In addition, a dialogue was initiated with the identified groups of interest to discuss the environmental aspects of future developments, which took place in the form of a workshop with stakeholder dialogue.

From the findings and results of all project parts, recommendations for action were developed. Specifically, on how and with which stakeholders, changes and developments can be meaningfully influenced with regard to better environmental protection in agricultural production.

Identification of developments and recording of suitable case studies

What are the existing developments? Different developments in Germany, Europe and globally should also be considered.

Which developments are already being implemented in initiatives and pilot projects?

Which developments and pilot projects are particularly suitable for in-depth valuation as case studies?

In general, it can be stated that the topic of digitalization has arrived in agriculture, but is not yet being implemented on a broad scale and to the its full extent (cf. Steinmann, H.-H. (2020), pp. 24-25). It is evident that larger farms invest more heavily in digital technologies than smaller ones (cf. PwC (ed.) (2016), p. 11). This may also explain why, for example, in the USA, due to the larger average size of farms, digitalization in outdoor farming is more advanced than in Germany (cf. Umann, U. (2021)). This result arises, among other things, from the fact that many new technologies are not (yet) profitable for smaller farms. However, little information could be found on the level at which investments would be worthwhile for a farm, when all parameters, such as saved operating resources or labor costs are taken into account.

Similarly, hardly any quantitative data could be found on the significance and actual scope of use of digital innovations with explicit reference to crop protection - neither in Germany, nor at EU level or globally. Some studies and market analyses deal with digitalization in agriculture in general and forecast a growing market both in Germany and at European and global level. While in a survey conducted in 2016 by the digital association Bitkom and the German Farmers' Association, 53 percent of respondents stated that they used digital technologies, this figure had risen to 82 percent by 2020 (see Rohleder, B.; Krüsken, B (2016), p. 6). Of these 82 percent, 32 percent in turn stated that they used digital technologies for the intelligent use of crop protection and fertilizers (cf. Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020), pp. 4 and 5).

Globally, however, there seems to be a broader application in the area of fertilization than in the area of crop protection. This was shown in another statistic on the projected distribution of sales in the global market with smart farming technologies, broken down by application area, from 2017 by Goldman Sachs: While 27 percent is assumed for site-specific fertilization, the figure for crop protection is only seven percent (cf. Statista (ed.) (2017)).

Various technical solutions are already available on the market to reduce pesticides with innovative approaches (see Table 1). However, a large number of current national research projects identified in the study also show that there is still a need for development and research, both in terms of the technology itself and its impact. Particularly in the areas of sensor technology and robotics further practical solutions must be sought.

Table 1: Overview of current developments

Type of measure	Technology	Digital innovation
Chemical	Field sprayers	GPS-switched boom section control, GPS-switched single nozzle control, pulse width modulated nozzles, drift reducing nozzles; Site-specific application: camera or sensor based; GPS-controlled / camera-based band spraying
	Field robots	Automatic site-specific application: Camera- or sensor-based
	Decision support systems	Complex decision support systems (processing of geodata, sensor data, image acquisition via drones, etc.)
Mechanical	tractor-bound	Sensor-assisted or GPS-based hoe
	Field robots	Automatic mechanical weed control: Sensor- or GPS-based hoe Laser Electric shocks
Biological	Use of beneficial organisms	Drones

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Detailed evaluation of case studies

What are the opportunities and risks in the case studies from the perspective of environmentally friendly crop protection?

What potential is attributed to the developments with regard to achieving the target (farm-to-fork: 50% by 2030) for reducing the use of chemical plant protection products in accordance with the national and European goals and regulations for sustainable and environmentally friendly plant protection (Directive 2009/128, Plant Protection Act, NAP, Green Deal, farm-to-fork)?

In order to cover a broad spectrum of case studies, a number of concrete practical examples were first researched for the areas described above. These were then evaluated and weighted using a criteria matrix. Based on this, a selection was made that matched the objectives of the present study.

The following case studies were examined and evaluated in detail in this study:

► Weeding robots

In the field of field robotics with mechanical weed control, particularly in row crops, several products have been developed to market maturity in recent years. Even though only three percent of farmers in Germany currently state that they use field robotics in practice, it can be assumed that this will become more established in the coming years. A larger proportion of surveyed farmers (30 percent) state that they are planning or discussing an acquisition (cf.: Rohleder, B.; Meinel, T. (2022), p. 5). It remains to be seen whether these deployment rates will be achieved, but this does indicate an increased interest in these technologies among practitioners.

In general, two types of systems for mechanical weed control by autonomous field robots can be distinguished. One concept is based on georeferenced crop position data collected during sowing. In the other system, plants or rows are identified using sensors or cameras and the application of artificial intelligence (cf. Roßmadl, A. (2022), p. 18)).

As concrete case studies of the automation and digitalization of mechanical weed control in row crops, the FarmDroid FD20 from the company FarmDroid ApS, the Dino from Naïo Technologies, and the Farming GT hoeing robot from Farming Revolution GmbH were examined in more detail. The first two models rely on the concept of georeferencing and the third model on the differentiation of plants using a camera and pattern recognition algorithms (cf. Roßmadl, A. (2022), pp. 20-21).

► Field sprayers

In the area of field sprayers, three different innovations were examined in more detail: pulse-width modulated nozzles (PWM), band spraying, and smart spraying field sprayers:

- Pulse Width Modulation (PWM)

A pulse width modulated field sprayer is essentially a conventional area sprayer, but the nozzles do not apply continuously. Instead, they are switched on and off at high frequency depending on the driving speed without changing the pressure and droplet spectrum (cf. Höner, G. (2020)).

- Band sprayers

The method of band spraying is not new, but new digital capabilities make the technique simpler and more efficient. In this method, herbicides are applied in the row for weed control and mechanical weed control is performed between the rows.

- Smart Sprayers

Smart Spraying field sprayers use sensors to detect weeds. Direct injection field sprayers, which can apply different crop protection products as needed in the field, work even more precisely.

The Strict Spray Plus from Agrifac was selected as a case study in the area of pulse width modulated field sprayer. In the area of band sprayers, a device for row-specific nozzle optimization from Herbert Dammann GmbH was identified. For Smart Spraying - field sprayers,

the UX 5201 Smart Sprayer from AMAZONEN-WERKE H. Dreyer SE & Co. KG and a field sprayer from a research project developed in cooperation between the JKI and Herbert Dammann GmbH were chosen as case studies.

► Spraying robots

Field robotics is still used by a very small proportion of farmers. The use of spray robots seems to be even less common compared to hoeing robots. During the research, considerably less data, experience reports, research papers and also experts could be found on this topic.

As case studies, the Avo from the company ecoRobotix and a spraying robot developed jointly by FarmDroid ApS. and AMAZONEN-WERKE H. Dreyer SE & Co. KG were used and evaluated.

► Complex decision support systems

The crucial question with these systems is: Which information is processed according to which criteria? While various field sprayers use sensors to detect weeds or even diseases in the field in real time, decision support systems are used to make decisions in advance or link them to data already available from the field. Geodata collected via satellites or even drones are evaluated and combined with other parameters such as weather data and soil maps. In addition, sensors installed on the farm can measure important parameters such as moisture or even the presence of pests or spores and feed this data into software (cf. European Commission (ed.) (2020)). From this data, optimal application times and application maps can be created.

The practical examples selected in this study, the FIELD MANAGER from xarvio™ Digital Farming Solutions and Talking Fields from VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, support the decision via satellite-based biomass maps.

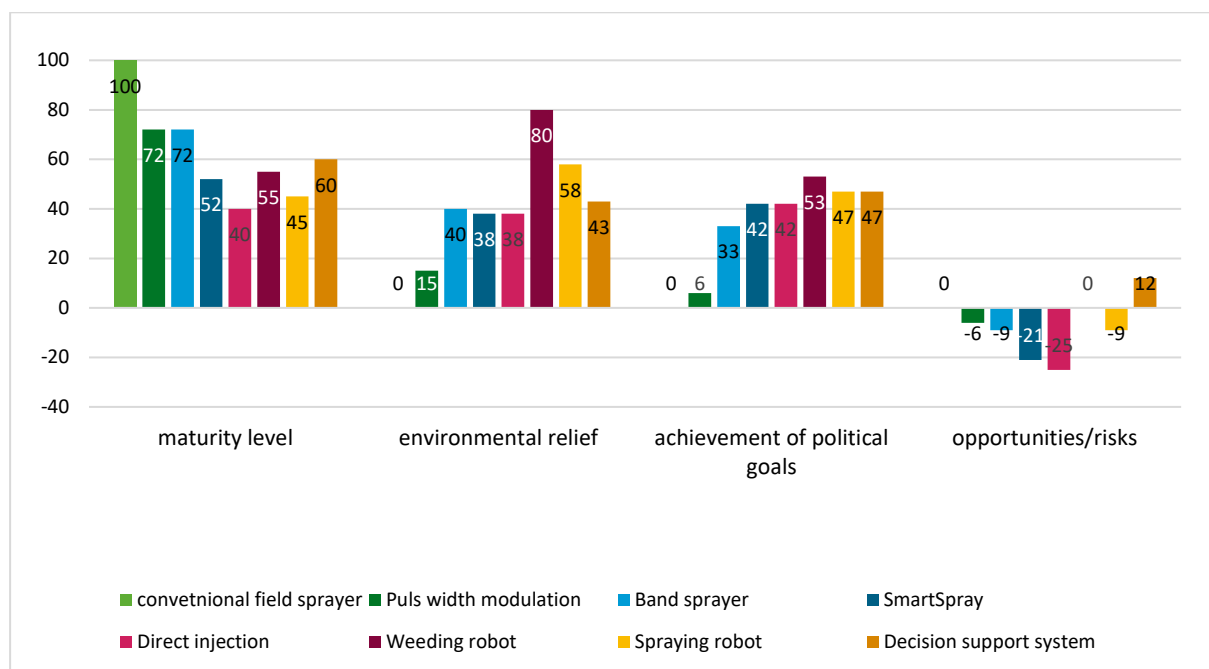
Summary of the evaluation index

In order to answer the two research questions 4 and 5 and to be able to evaluate and compare the case studies, an evaluation system in the form of an evaluation index was developed. In it, both the potential for environmental relief and the chances of widespread implementation through the use of the innovations in crop protection described in the case studies were determined.

For the calculation of the indicators and the index formation in the evaluation system, a questionnaire was developed for four different sub-areas for evaluation. These are the degree of maturity of a technology, the potential environmental relief, the achievement of political goals by the technology, and the relation of opportunities and risks for farmers. The evaluation was based on the assessment of 15 experts from agricultural practice, research and manufacturers who answered the questionnaire or questions specifically addressed to them via telephone or e-mail.

When describing and evaluating the case studies, it became apparent that it is difficult to make general statements, particularly for the areas of "environmental relief", "achievement of political goals" and the weighing of "opportunities and risks", as these can vary greatly from one application to the other. Nevertheless, basic statements could be derived for the individual case studies, which are summarized here. Figure 2 shows the percentage values of the evaluation index achieved by each technology in the sub-areas of maturity, environmental relief, achievement of political goals and the ratio of opportunities and risks.

Figure 1: Overview rating index for all case studies in percent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

► Maturity level

Market-ready products of the technologies presented are available. There are also potential markets, but they cannot yet be fully exploited. In some aspects, there is still a lack of mature regulations, such as autonomous driving, data protection and data sovereignty, or individual approvals. There is a particular need for development of sensor technology for detection of additional weeds or plant diseases, as well as extensive processing of the data in the respective software programs and models.

► Environmental relief and achievement of political goals

In summary, all selected case studies have the potential to achieve environmental benefits in terms of avoiding or reducing the use of pesticides and also have the potential (in comparison with conventional field sprayers) to contribute to the achievement of current policy goals.

The actual environmental impact is difficult to quantify and cannot be accurately verified due to lack of scientific data. It is difficult to precisely determine the potential savings of individual technologies, as these depend on several conditions, such as weed pressure, pest or disease infestation, weather, and the risk affinity or aversion of the individual farmer. Likewise, the actual effects on biodiversity are not easy to assess, since a reduced use of pesticides must consider, on one side, the ecotoxicological effect or relief, and on the other side, the changes in weed or field flora. As an example, the latter can have a significant impact on biodiversity (cf. Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), p. 125).

Herbicides, insecticides, and fungicides must be considered differently. Like the SmartSprayer, hoes can only provide a lower environmental impact in the area of herbicides since the currently available sensors can only detect weeds. As a decision support system, the FIELD MANAGER is only used in the area of fungicides. Regarding insecticides, none of the selected case studies has a field of application.

► Opportunity-risk ratio

When weighing the opportunities and risks, only the decision support systems score positively in the evaluation index i.e., the systems offer more opportunities than risks. On conventional farms, hoeing robots have as many opportunities as risks compared to a conventional field sprayer and offer more opportunities than risks in organic farms with the criteria considered. However, it should be noted that the comparison was not made with a field sprayer, but with manual hoeing. The other technologies considered currently offer more risks than opportunities, which is primarily due to the higher investment costs compared to the often low economic efficiency of their use.

In summary, the case studies considered offer opportunities for environmentally sound crop protection through the potential savings of pesticides. Table 2 shows an overview of the savings potential communicated by the manufacturers for the individual case studies compared to a conventional field sprayer. In addition to the amount of savings potential (in percent), that the type of crop protection product can have saved is also shown.

Table 2: Overview of the PPP reduction potential of the respective technology

Technology	Crop	PPP-reduction	PPP type (herbicide, insecticide, fungicide)
conventional field sprayer	all	0	all
Pulse width modulation	all	< 10 %	all
Band sprayer	root crops	< 65 %	herbicide
SmartSprayer	all - except wheat	< 30 %	herbicide
Direct injection with decision support	_____	_____	_____
Weeding robot	root crops, vegetables, herbs (depending on software)	< 100 %	herbicide
Spraying robot	Row crops, field vegetable crops, grassland	< 95 %	herbicide
Decision support system	Winter wheat, winter barley, sugar beet, potato	< 30 %	fungicide

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

In the case studies investigated, the effects and impacts for the environment can be analyzed and classified as measures of integrated pest management. In summary, digital solutions can support integrated pest management through the possibility of site-specific management and the reduction of PPPs. However, the selected technologies do not offer solutions for preventive crop protection per se. Nevertheless, small robotic units, for example, can help in the management of small cropping systems and decision support systems can provide benefits in risk analysis and monitoring. With these two exceptions, the technologies considered in this study are

only/mostly related to curative crop protection. Thus, the hoeing robots as a physical method and the spraying robots and various field sprayers as chemical methods, follow the principle of "necessary measure".

Stakeholders and beneficiaries, drivers and obstacles of developments

What and who are the drivers, stakeholders and beneficiaries of the developments?

What are the key barriers, uncertainties, risks, and trade-offs (e.g., economics, investment, ethics, public opinion, regulatory) that need to be overcome for further development or implementation in the national context?

► Stakeholders and beneficiaries

The first central interest group to be mentioned includes **farmers, machinery rings and contractors**. Facilitated documentation and quality controls as well as economic and ecological benefits through PPP savings and access to agronomic knowledge through various software programs bring advantages for this group. Increased levels of digital data sharing can also have a negative impact on this stakeholder group if data misuse occurs.

Another stakeholder group is formed by **agricultural technology producers** - large agricultural groups, but also start-ups - and **software developers** (Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), p. 216). For these, new markets, but also costs, due to developments and more complex approval procedures, can arise.

Producers of crop protection products are also important stakeholders who are strongly affected by a reduced use of active ingredients in crop protection and must adapt their product lines accordingly. In order to achieve this they can, for example, develop damage threshold-compliant solutions, such as selective herbicides (cf. Deininger, O. (n.d.)).

In addition, **food trade** and **consumers** also play a role in the overall issue (cf. Ehlers, M.-H.; Finger, R.; El Benni, N.; Gocht, A.; et al. (2022)). These stakeholders benefit in particular from the higher transparency along agricultural value chains which can be increased through digital technologies. By enabling more environmentally friendly crop protection, the production of uncontaminated food is also a benefit for these groups.

Politicians, authorities, and non-governmental organizations are other groups that have an interest in the process of developing digital technologies in agriculture and exert influence on it. On the one hand, these stakeholders benefit from the higher transparency and thus easier traceability, or control made possible by digital data. On the other hand, digital technologies are a possible instrument to achieve environmental policy goals.

The area of **research and science** is another involved group that can contribute to the environmental policy goals through new research possibilities and also generate new knowledge through the analysis of large amounts of data.

Table 3 provides an overview of the various stakeholders and the respective advantages and disadvantages that digitalization in agriculture can trigger for them.

Table 3: Overview of the stakeholders and their advantages and disadvantages caused by the developments

area	stakeholder	advantages	disadvantages
Agriculture	Farmers	Economical;	Effort due to adaptations; Loss of data sovereignty; Loss of privacy; Dependence on technology
	Machinery rings	Ecological;	
	Contractors	Organizational (e.g., facilitated documentation); Automation	
	Advisor	Increased transparency; Easy access to complex knowledge Economical;	
Industry and trade (agriculture)	Agricultural machinery producers (corporations, start-ups)	New markets	Development costs; Approval procedure
	Software developers		
	Producer of PPPs		
Industry and trade (food)	Food processing and trade	Increased transparency; More environmentally sound crop protection; Healthier food	Increasing intensification of agriculture
	Consumer		
Society and politics	Politics and authorities	Increased transparency; Achievement of the PPP reduction target	Increasing intensification of agriculture
	NGOs and associations		
Science	Natural Science	New research opportunities; Better data collection and analysis; Contribution to more environmentally sound crop protection	Increasing intensification of agriculture

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

A dialog process was started with the identified stakeholders to jointly discuss challenges in plant protection and the targeted use of digital technologies. This dialog was launched in the form of a workshop where first the project results to date were presented and then joint approaches to solutions were discussed. The online workshop took place for half a day each on October 17 and 18, 2022. Of the invited stakeholders from the areas described above, approximately 50 people participated in the online event. The dialog will be continued by the Federal Environment Agency.

► Drivers and barriers

Economic reasons are the most important criteria for farmers to decide for or against the acquisition of digital technologies. The Germany-wide survey conducted by Bitkom shows that 81 percent of the farmers surveyed see higher production efficiency as a driver and 92 percent

see the high investment costs as a barrier to investment (cf. Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020), p. 8). Thus, economic reasons can be both drivers (e.g., saving inputs, higher productivity and profitability) and barriers (e.g., too high investment costs, and low effectiveness in terms of environmental aspects in case of high weediness).

Even though profitability is more important for most farmers, **ecological** aspects also play a role when using digital technologies. Furthermore, it is also important for the farmers that technologies are simple and understandable (complexity), and functionally reliable (reliability). For example, the technical complexity of pulse-width-switched nozzles, single nozzle switching, and, in particular, camera- or sensor-supported site-specific applications were mentioned in the expert interviews as problems for practice. In the Bitkom study, 75 percent of farmers also indicate complexity and application problems as a disadvantage (see Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020), p. 8).

In addition to the financial aspect, a lack of knowledge and understanding of complex technologies are also mentioned **as socio-economic** barriers to digital technologies. (cf. Lieder, S.; Schröter-Schlaack, C. (2021), p. 11) Furthermore, there is an unwillingness to share data due to concerns of **data sovereignty** and distrust of algorithms (cf. McFadden, J.; et al. (2022), p.4).

In the expert interviews, the **social pressure** to save pesticides and to manage sustainably was also named as a driver for change in crop protection management. This is ultimately also reflected in processes for new **regulations and political guidelines**. In Europe in particular, this pressure is building up more quickly than in other parts of the world, both from consumers and from politicians (e.g., Green Deal, Farm-to-Fork Strategy, Biodiversity Strategy 2030, Insect Protection Action Program).

The situation of **approvals of new active ingredients for pesticides** as well as regulations and controls influence the use of digital technologies in Europe. Increased **evidence requirements** and the ease of **extensive documentation** in practice can be drivers for the use of digital technologies. For example, in Germany - according to one interviewee - the new Fertilizer Regulation has given a boost to digital arable land registers, as this has simplified the documentation of application rates.

Targeted **funding programs** can advance the digitalization of agriculture. In this context, while smaller farms tend to have an affinity for application support, as revealed by the survey on crop protection technology among farmers commissioned by the German Agricultural Industry Association (IVA), larger farms tend to prefer investment support (cf. Schaal, R. 2022).

Developments in other areas of life are seen as a further driver of the broader use of digital technologies. For example, the more digitalization spreads in people's general everyday lives, the more it will also be used in agriculture. Here, it also seems to be a generational issue - as statements from the interviews in this study showed - to what extent a farm manager is motivated and technically ready to implement digital technologies. Table 4 provides an overview of the drivers and barriers to the establishment of digital technologies.

Table 4: Overview of drivers and barriers for the establishment of digital technologies

domain	drivers	barriers
Economic aspects	Savings of operating resources; Production efficiency; Production increase	Technology costs; Insufficient profitability; Adjustments to the operation
Ecological aspects	Saving of PPPs	Lack of effectiveness
Socio-economic aspects	Digitization of all areas of life	Lack of knowledge; Inadequate advice; Complexity of technology
Technical aspects	Data interfaces; broadband coverage; user-friendliness; reliability; Services	Lack of technical maturity; Functional insecurity; Poor network coverage (mobile communications, Internet) Lack of data interfaces; Distrust in data protection; Mistrust in algorithms; Concern about loss of data sovereignty "transparent farmer"
Social aspects	Social pressure to save PPPs; Digitization of all areas of life	Scandalization of individual applications
Political and regulatory aspects	environmental policy requirements; verification requirements; quality controls; extensive documentation; Approved PPP active ingredients; Support programs	Lack of control mechanisms; Wrong financial incentives

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Synergies with developments in crop protection

What linkages and connections exist with other developments in crop protection? To what extent are these developments interlinked and interdependent?

Current developments in chemical crop protection leads us to expect that fewer and fewer active ingredients will be approved for use in crop protection in the future. This could lead to resistance management difficulties in agriculture. For this reason, it is crucial that preventive measures - as intended in integrated pest management - become more important in crop protection.

Synergies could arise between digital agricultural technologies and breeding of plant varieties or biotechnological processes. Here, targeted plant traits that are suitable in growth form or interaction for small-structured cultivation forms or mixed crops could be promoted (cf. Wilhelm, R. et al. (2021)). Camera-based site-specific applications could, with further technical development, not only reduce pesticides but also treat individual (resistant) weeds while tolerating other species to increase biodiversity. (cf. Paulus, S.; Streit, S. (2022)). Certain crop protection products could use precise spraying systems to enable exact compliance with defined

criteria for the application of these products (such as Conviso One, cf. Baumgarten, S; Hahnkemeyer, T. (2022)) and provide geo-referenced evidence for the legally compliant application of crop protection products.

In addition to technical innovations, there could be further innovations in plant protection in the future, which could generate linkages and connections with digital agricultural technology. One area could concern biological plant protection, in which, in addition to beneficial organisms, microorganisms will be used for pest control in the future. (cf. Jehle, J.A. (2019), p. 11). So-called biostimulants could also play a stronger role in the future (cf. Rohlmann, A.K. (2021)). In addition, novel plant protection products are being developed and possibly approved using the RNA-interference method to defend against pathogens and pests through “gene silencing” (cf. Ordon, F. (2021), p. 17). These new crop protection agents have a different mode of action than chemical pesticides and require a modified risk analysis in terms of their environmental impact and effects on human health. Potentially, digital technologies for site-specific management could be a bridge link here for new regulatory standards and the risk assessment analyses.

Conclusion and recommendations for action

The results from the analyses in this study show that the use of digital technologies can contribute to the reduction of pesticides in agriculture. In order to be able to implement these innovations on a broad scale, four areas have been identified as crucial in which additional developments are needed to advance digitalization and at the same time achieve better environmental protection. These are increased efforts in both basic and applied **research**, independent and structured **agricultural advisory service**, targeted **financial support** and dedicated **control mechanisms**. In concrete terms, the following recommendations for action can be derived for this area:

► Research

Recommendations for action

- Further development of technologies
- Closing gaps in knowledge
- Transfer knowledge (advisory service, training and education)

The detailed analysis of the case studies has revealed a particular need for **further research**. On the one hand, the technologies under consideration must be brought to a higher level of technological and market maturity, and on the other hand, there is a lack of evidence regarding the impact and ecological effects of using the technologies. This lack of knowledge and uncertainties - combined with economic risks - are the greatest obstacles to the widespread implementation of the technologies. Research results in these topics should then be incorporated into the **education and training** of farmers and into agricultural advisory institutions. Furthermore, well-founded knowledge about the success of certain measures can also serve as basis for targeted financial support.

► Funding

Recommendations for action

- Dedicated and targeted research funding
- Integration and strengthening of funding measures and investments in existing funding structures
- Evaluation of existing funding programs
- Enabling financing of independent advisory services

Financial support is needed in various areas. In **research, investments** must continue to be made in order to further develop the technologies and close knowledge gaps.

To adopt the innovations on a broad scale, farmers also need **monetary support and targeted incentives**. Here, the question must be clarified as to where the financial resources will come from, but also whether investment or application support is more likely to lead to success. A combination of investment and application support seems to make sense, since with pure investment support there is a risk that the technology will not be used in the sense of more environmentally friendly crop protection, while with pure application support, smaller farms in particular lack the funds for the initial investment.

To avoid creating further bureaucratic barriers, the **funding should be integrated into the existing support structures**. For the next EU funding period, a restructuring of the EU CAP is planned and national individual programs for targeted support for the digitization of agriculture already exist (e.g. Hesse: "Directive for the promotion of innovation and cooperation in agriculture and rural areas as well as digitization in agriculture"; Bavaria: BaySL Digital). For the coming years, an evaluation to determine whether the funding and resources were sufficient could be useful. Likewise, it must be examined whether the programs have led to the desired success, and, in particular, to a positive ecological effect.

In addition to the promotion of research and technology development, **advisory services should also be financially supported**. Funds for this are also earmarked in the CAP strategic plan in the "investment interventions" of the 2nd pillar (cf. Federal Ministry of Food and Agriculture (ed.) (2022), p. 32) and it will have to be clarified whether these are sufficient for this need.

► Advisory service

Recommendation for action

- Establish independent advisory services nationwide

There should be **independent advisory services nationwide**, as formulated in Article 26 in the "Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the sustainable use of plant protection products and amending Regulation (EU) 2017/215". (cf. European Commission (2022a), pp. 65-66). This consultation should include a transfer of knowledge on the new technologies. However, environmental and nature conservation aspects must also be integrated into crop cultivation and technical advice.

► Control

Recommendations for action

- Digital recording of all measures at farm level (e.g., in arable land registers)
- Identification of suitable (ecological) indicators
- Trust-building activities to mitigate the conflict of environment versus agriculture

The Control as an area of action is the most controversial among the various stakeholders and, at the same time, the most difficult to implement. Currently, there are implementation problems in practice here. It is very difficult to **define indicators** with which integrated pest management can be measured and evaluated. This is due to the fact that the characteristics of the indicators are strongly influenced by regional site conditions, such as the annual weather, which makes uniform monitoring, evaluation, and sanctioning almost impossible. In addition, it is currently difficult to obtain information on indicators because they are difficult to monitor and not digitally available (cf.: Isermeyer, F.; Nieberg, H.; et al. (2020), p. 46). Therefore, as part of the intended further development of the National Action Plan for the Sustainable Use of Plant Protection Products (NAP) (cf. Social Democratic Party of Germany (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN, Free Democrats (FDP) (eds.) (2021), p. 46), suitable indicators should be defined to be able to validate the success of the measures through digital technologies.

In addition, the EU's efforts to establish binding reduction targets and to measure their progress with a uniform calculation method plus their digital recording and transmission for all member states should be implemented (cf. European Commission (2022b); (cf. European Commission 2023)).

Furthermore, in the area of "control", resistance from the agricultural side is to be expected in addition to the technical implementation problems, which was also discussed in detail in the stakeholder workshop. As an example, the concern of scandalization of individual applications was mentioned here. **Trust-building** measures could defuse this conflict.

1 Ziele und Ablauf der Studie

Die zunehmende Digitalisierung in allen Lebensbereichen, spiegelt sich auch in der Landwirtschaft wider. Neben wirtschaftlichen Vorteilen werden hier auch ökologische Vorteile erwartet, insbesondere im Bereich Pflanzenschutz. Ziel der vorliegenden Studie ist es, die vielfältigen Innovationen in der Landwirtschaft im Bereich PSM-Reduktion aus Umweltsicht zu beleuchten. Ausgehend vom Green Deal der Europäischen Kommission und seinem zentralen Element der Farm-to-fork-Strategie mit einem dort festgeschriebenen Reduktionsziel von 50 Prozent an Pflanzenschutzmitteln, soll überprüft werden, ob die Innovationen zu diesem Ziel beitragen und ob dadurch ein geringeres Umweltrisiko von Pflanzenschutzmitteln entsteht. Es wird der Frage nachgegangen, welche Chancen, aber auch mögliche Risiken die Innovationen für einen ökologisch nachhaltigeren Pflanzenschutz bergen.

Die Studie ist in vier Arbeitspakete gegliedert, welche in einem Zeitraum von zwei Jahren bearbeitet wurden. Im ersten Arbeitspaket wurden die angelaufenen Veränderungen und Entwicklungen im Pflanzenschutz identifiziert und eine Übersicht der aktuellen Entwicklungen sowie von Pilotprojekten und innovativen Ansätze aus der Praxis gegeben, die aus der Perspektive der Entwicklung eines ökologisch nachhaltigeren und damit umweltgerechteren Pflanzenschutzes besonders relevant oder vielversprechend sind.

Ein Schwerpunkt des Vorhabens lag auf einer detaillierten Analyse von ausgewählten Fallbeispielen im Arbeitspaket 2. Für diese praxisnahen Fallbeispiele wurden konkret die Chancen und Risiken für die Umwelt, aber auch für landwirtschaftliche Betriebe sowie für die Gesellschaft in einem Bewertungs-Index betrachtet. Wichtige Gesichtspunkte für die Analyse der Fallbeispiele sollten die Integrierbarkeit in bestehende Anbaustrategien und die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassung sowie die Akzeptanz durch die verschiedenen Interessengruppen sein. Zudem wurden entscheidende Interessengruppen identifiziert und mit ihnen in einen Dialog um die Umweltaspekte zukünftiger Entwicklungen getreten, was in Form eines Workshops mit Stakeholder*innen-Dialog in Arbeitspaket 3 erfolgte.

Im letzten Arbeitspaket 4 werden in dem vorliegenden Abschlussbericht zusammenfassend die Chancen und Risiken der neuen Technologien für einen umweltgerechten Pflanzenschutz benannt und schließlich Empfehlungen gegeben, wie und mit welchen Partnern auf die Veränderungen und Entwicklungen im Sinne eines besseren Umweltschutzes sinnvoll eingewirkt werden kann.

2 Identifizierung der Entwicklungen und Erfassen von geeigneten Praxisbeispielen (AP 1)

Im Arbeitspaket 1 wurden die Veränderungen und Entwicklungen im Pflanzenschutz identifiziert. Der Fokus lag dabei auf innovativen Anwendungstechniken und neuartigen Pflanzenschutzmitteln. Die Informationssuche dazu war methodisch breit angelegt: So wurde z.B. Literatur gesichtet, online recherchiert, eigene fachpraktische Expertise durch das Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e.V. (LKP) eingebracht sowie Befragungen durchgeführt. Ziel von Arbeitspaket 1 war die Beantwortung folgender Fragen:

- ▶ Welche Entwicklungen im Pflanzenschutz gibt es? Dabei sollen auch verschiedene Entwicklungen in Deutschland, Europa und global berücksichtigt werden.
- ▶ Welche Entwicklungen werden bereits in Initiativen und Pilotprojekten umgesetzt?
- ▶ Welche Entwicklungen und Pilotprojekte sind besonders für eine vertiefte Betrachtung als Fallstudien geeignet?

2.1 Literaturstudie und Erstellung der Datenbank

Zunächst wurde der Untersuchungsgegenstand genauer definiert und eingegrenzt. Im Bereich der Innovationen spielte das Thema Digitalisierung der Landwirtschaft für die Möglichkeiten des Wandels im Pflanzenschutz eine zentrale Rolle. Aus diesem Grund wurde bei den Anwendungstechniken der Fokus auf Digitalisierungstechnologien bei der Landtechnik gelegt. Dabei wurden insbesondere (digitale)¹ Pflanzenschutzgeräte für den Ackerbau, die Pflanzenschutzmittel einsparen können, betrachtet. In Bezug auf neuartige Pflanzenschutzmittel wurde der biotechnologische Bereich, insbesondere die Methode der RNA-Interferenz bestimmt.

Zur Identifikation des aktuellen Standes des Wissens in diesen beiden Bereichen wurde eine Literaturstudie durchgeführt, in der die Informationen zu Entwicklungen neuartiger Pflanzenschutzmittel und Anwendungstechniken in Deutschland und Europa systematisch in den einschlägigen Datenbanken zusammengetragen wurden. Im Vorfeld zur Literaturstudie wurden verschiedene Gespräche mit Personen aus dem Bereich Forschung und der landwirtschaftlichen Beratung geführt, um Hinweise für eine gezielte Recherche zu finden (z.B. in Bezug auf Datenbanken und Suchkriterien) und auch um die Literaturstudie um weitere inhaltliche Aspekte zu ergänzen.

Die Literaturrecherche diente auch dazu, eine projektinterne Datenbank aufzubauen, die so angelegt sein sollte, dass sie über den Projektverlauf hinweg entsprechend der Entwicklungen stetig aktualisiert und erweitert werden kann.

2.1.1 Suchstrategie

Für die Literaturstudie wurden verschiedene elektronische Datenbanken nach bestimmten Suchbegriffen abgefragt. Dabei wurde in einem ersten Schritt im öffentlich zugänglichen Online-Katalog der bayerischen Staatsbibliothek (OPAC) mit einer Schlagwortsuchanfrage passende Literatur identifiziert. Es wurde deutsche und englische Literatur eingeschlossen. Wenn die erste Suchanfrage mit einem eher generellen Schlagwort zu einer zu großen Trefferanzahl führte, wurde die Suchanfrage immer mehr mit zusätzlichen Schlagwörtern spezifiziert. Die

¹ Bei der mechanischen Unkrautbekämpfung wurden auch Innovationen mit aufgenommen, die nicht zwangsläufig digital sein müssen (z.B. Hacken und Striegeln ohne GPS).

Trefferlisten wurden anhand des Titels auf ihre Relevanz bezüglich des Forschungsvorhabens gescannt.

Als Schlagwörter wurden folgende verwendet: *Digitalisierung Landwirtschaft, digital farming AND pesticide, RNAi AND pesticide, Unkrautbekämpfung AND Digitalisierung, Pflanzenschutz, Pflanzenschutz AND Ökolandbau, low-risk-Pflanzenschutz, precision spraying, smart spraying, precision farming, Präzisionslandwirtschaft, Pflanzenschutz Anwendungsmanager, Pesticide Application, weed identification, plant identification, pest detection, weed mapping.*

Weitere Datenbanken und Verlagskataloge, die auf gleiche Weise durchsucht wurden, waren: *Researchgate, Springer link, MDPI, DBU-Bibliothek, ScienceDirect.*

Auch wurden basierend auf den Trefferlisten Zeitschriften, in denen bereits passende Literatur gefunden wurde, gezielt nach den obigen Suchkriterien sowie spezifischen Schlagwörtern durchsucht. Diese waren beispielsweise: *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, www.Pflanzenforschung.de, Pest Management Science, Weed Science, www.agrarzeitung.de.*

Tagungsbände bzw. Programme von einschlägigen Tagungen (z.B. Innovationstage 2020, 61. und 62. Pflanzenschutztagung, 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung) wurden auf Projekte bzw. Veröffentlichungen durchsucht und bei Vorträgen wurde nach weiteren Publikationen der Autorinnen und Autoren recherchiert.

Auch wurde in den Literaturverweisen passender Studien nach weiterer Literatur bzw. Autorinnen und Autoren, die sich mit dem Thema beschäftigen, in der Google-Suchmaschine gesucht sowie auf die Algorithmen der verschiedenen Datenbanken zurückgegriffen, die nach den Suchanfragen auf verschiedene Literatur verwiesen haben.

Literatur, die aufgrund des Titels passend schien, wurde in das Literaturverwaltungsprogramm Citavi aufgenommen. Zur genaueren Analyse wurden im Anschluss die Abstracts gesichtet und danach entschieden, ob die Publikation in die Datenbank mit aufgenommen wurde. Dies war der Fall, wenn sie sich im weiteren Sinne mit dem Thema Digitalisierung der Landwirtschaft und der Möglichkeit der Pflanzenschutzmittelreduktion im Ackerbau befassten. Der Abstract diente weiterhin dazu, die Publikationen innerhalb der Datenbank zu systematisieren.

Bei der Recherche wurden bisher nach einer Analyse der Titel und anschließend der Abstracts 333 deutsch- und englischsprachige Publikationen in die Datenbank aufgenommen. Der älteste Beitrag datiert von 2006 und der neueste von 2022, wobei ca. 70 Prozent der Artikel seit 2019 veröffentlicht worden sind.

2.1.2 Auswertung und Erkenntnisse aus der Literaturstudie

Mittels der Literaturstudie und der Durchsicht der Abstracts konnten zunächst verschiedene Gruppen von neuen Anwendungstechniken mit der Möglichkeit Pflanzenschutzmittel einzusparen, identifiziert werden:

- Pulsweitenmodulation: Spezielle Düsen, die nicht ständig spritzen, sondern über ein Ventil mit hoher Frequenz an- und ausgeschaltet werden, wodurch sich die Ausbringmenge bei gleichem Druck und Tropfenspektrum an unterschiedliche Geschwindigkeiten oder auch an Kurven anpassen lässt.
- Automatische Teilbreitenschaltung

- ▶ Moderne Bandspritzung (GPS oder Kamera gesteuert): Unkrautbekämpfung in Reienkulturen – Herbizid in der Reihe, mechanische Maßnahmen zwischen den Reihen
- ▶ Teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln (Vom Schlag bis zur einzelnen Pflanze): Chemische Unkraut- bzw. Schädlingsbekämpfung: Feldspritzen gekoppelt mit Bilderkennung oder Applikationskarten oder Roboter
- ▶ Mechanische Unkrautbekämpfung (mit Pflanzenerkennung, Applikationskarten oder GPS) Hacken, Strom, Laser, Elektroschock und mechanische Schädlingsbekämpfung (Bilderkennung, z.B. Schneckenroboter)
- ▶ Entscheidungshilfesysteme: Prognosemodelle, z.B. Berechnung von Schädlingsbekämpfungsterminen ggf. gekoppelt mit Applikationskarten

Des Weiteren zeigte sich, dass der Bereich Sensorik/Phänotypisierung von der Anzahl der Artikel überrepräsentiert ist. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass aktuell viel Forschung in diesem Bereich stattfindet. Zudem konnten mehr Veröffentlichungen zu „Einzelkomponenten“ als zu Systemen, in denen die Einzelkomponenten bereits integriert sind („Systeme mit integrierten Einzelkomponenten“), gefunden werden, z.B. wurde ein Artikel, der die Entwicklung eines Sensors beschreibt, der Kategorie „Einzelkomponente“ zugeordnet, und ein Artikel, bei dem die Entwicklung eines Sensors mit einer Feldspritze dargestellt wird, als „System mit integrierten Einzelkomponenten“ definiert. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass es in Deutschland aktuell einige Forschungsprojekte, aber noch wenig (wissenschaftliche) Publikationen zu solchen Systemen gibt, d.h. dass diese Technologien noch in einem Entwicklungsstadium sind.

Es stellte sich heraus, dass anhand der Veröffentlichungen weder über die Häufigkeit der Anwendung in der Praxis noch über die tatsächlichen Umweltwirkungen der jeweiligen Technologie eine Aussage getroffen werden konnte. Um hierüber weitere Informationen zu erhalten und um die o.g. Erkenntnisse zu verifizieren, zu ergänzen oder zu ändern wurden im Anschluss Interviews mit Expert*innen mit einem teilstandardisierten Leitfaden geführt.

2.2 Qualitative Interviews

Auf Basis der vorangegangenen Literaturrecherche wurde eine qualitative Primärdatenerhebung per Telefon durchgeführt. Dieses Vorgehen war notwendig, um keine aktuellen Entwicklungen in Wissenschaft, anwendungsorientierter Forschung, Handel, Produktion, Industrie und landwirtschaftlicher Praxis zu übersehen und um Verzerrungen durch die Inanspruchnahme von reinen Sekundärdaten so weit wie möglich auszuschließen. Methodisch wurden dafür Expert*innen-Interviews durchgeführt. Dabei handelt es sich um eine qualitative Befragungsmethode, die zum Ziel hat, vertiefte Informationen zu einem bestimmten Thema auf Basis von Expert*innen-Wissen zu erhalten, die interpretativ ausgewertet werden (vgl. Tausendpfund, M. (2020), S. 280 ff.). Im Gegensatz zu quantitativen Befragungen lassen sich die Daten von Interviews nicht standardisieren oder statistisch auswerten. In diesem Gutachten sollten mittels der Befragung von Expert*innen, die Einzelinteressen der Akteur*innen und deren Handlungsspielräume und -restriktionen im Hinblick auf neue Technologien im Pflanzenschutz und deren Umweltwirkungen identifiziert werden.

2.2.1 Auswahl der zu Interviewenden und Entwicklung des Leitfadens

Im Rahmen von Expert*innen-Interviews werden als Expert*innen Personen bezeichnet, die an den jeweils interessierenden sozialen Sachverhalten (Forschungsgegenstand) beteiligt sind. (vgl. von dem Berge (2020), S. 280). Während „sich bei der quantitativen Forschung die

Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse aus der möglichst genauen Übereinstimmung der Stichprobe mit der Grundgesamtheit ergibt“ (von dem Berge (2020), S. 284), liegt der Fokus bei der qualitativen Befragung auf einer möglichst breiten inhaltlichen Repräsentativität.

Deswegen wurden für das vorliegende Gutachten Expert*innen aus verschiedensten Bereichen, die sich mit dem Thema beschäftigen, ausgewählt, um ein möglichst umfassendes Meinungsbild zu bekommen. Hierzu wurden aus dem akademischen Umfeld von Hochschulen mit einschlägigen Forschungsinstituten und der anwendungsorientierten Forschung Interviews durchgeführt. Zusätzlich wurden auch der Handel, Landtechnikherstellende, Pflanzenschutzmittelherstellende, Verbände, Nicht-Regierungs-Organisationen sowie relevante Beratungseinrichtungen in Einzelinterviews befragt. Darüber hinaus wurden Start-ups aus dem Bereich Digitalisierung der Landwirtschaft identifiziert und angefragt. Zudem wurden, um die landwirtschaftliche Praxis abzudecken, Landwirt*innen sowohl aus dem konventionellen als auch aus dem Ökolandbau und ein Landwirt aus Frankreich befragt. Des Weiteren wurden die thematisch zuständigen Vertreterinnen und Vertreter von politischen Fachstellen, des Bundesamtes für Naturschutz und ein bereichsspezifischer Redakteur einer Fachzeitschrift angefragt. Drei der geplanten Interviews (Landhandel, politische Fachstellen, Start-up) konnten aus terminlichen Gründen nicht mehr durchgeführt werden.

Tabelle 5: Liste der (angefragten) Expert*innen

Anzahl	Bereich/Institution/Unternehmen
	Forschung (Vorgespräch)
	Landwirtschaftliche Praxis (Pretest)
1	Landwirt*in 1
2	Landwirt*in 2
3	Landwirt*in 3
4	Forschung 1
5	Forschung 2
6	Landwirtschaftliche Praxis 1
7	Landwirtschaftliche Praxis 2
8	Landtechnikherstellende (Softwareentwicklungsfirmen)
9	Umwelt-/Naturschutz
10	NGO
11	Verband 1
12	Verband 2
13	Journalist*in
14	Pflanzenschutzmittelherstellende
15	<i>Landhandel</i>
16	<i>Politische Fachstelle/Landesamt</i>

Anzahl	Bereich/Institution/Unternehmen
17	<i>Start-up (Robotik)</i>

Kursiv: Nicht durchgeführte Interviews

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Somit wurden 14 Interviews im Zeitraum vom 11.8.2021 bis zum 06.10.2021 mit einer durchschnittlichen Dauer von 30 Minuten durchgeführt. Auch wenn drei geplante Interviews nicht durchgeführt werden konnten, konnte ein umfassender Überblick zum Forschungsthema erarbeitet werden.

Der für die Interviews entwickelte (teilstandardisierte) Gesprächsleitfaden (siehe Anhang A) ermöglichte es, die in der Literaturstudie identifizierten Entwicklungen zu diskutieren, einzuordnen und zu verifizieren. Eine wichtige Forschungsfrage für die Entwicklung des Leitfadens war, welche innovativen Technologien bekannt sind, die Pflanzenschutzmittel reduzieren, und wie die aktuelle Entwicklung bei diesen Technologien eingeschätzt wird. Dabei wurden die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche sowie eines Vorgesprächs mit einem Experten der Landesanstalt für Landwirtschaft in Weihenstephan als Grundlage verwendet. Der Interviewleitfaden wurde in einem Pretest auf seine Tauglichkeit überprüft.

Der Interviewleitfaden umfasste nach einer Einstiegsfrage nach dem Tätigkeitsbereich der oder des Befragten acht Fragen, die teilweise Unterfragen enthielten. Die Fragen lassen sich in vier Themenbereiche untergliedern: 1. Kenntnisse und Erfahrungen mit innovativen Technologien im Pflanzenschutz, 2. Motivation und Hemmnisse für den Einsatz digitaler Technologien, 3. Situation der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln und RNA-Interferenz (RNAi) und 4. Einschätzung der zukünftigen Entwicklung digitaler Technologien im Pflanzenschutz.

Zunächst wurde eine offene Frage gestellt und wenn der oder die Interviewende erwartete Aspekte nicht von sich aus nannte, wurde explizit nachgefragt. Beispielsweise wurde danach gefragt, welche innovativen Technologien im Bereich Pflanzenschutz bekannt sind. Wenn nur wenige oder keine Technologien genannt wurden, wurde gezielt nach der Bekanntheit einzelner Technologien nachgefragt.

Bei der Befragung von Mitarbeitenden von Unternehmen musste der Fragebogen entsprechend den Produkten, die das Unternehmen herstellt, angepasst werden.

2.2.2 Auswertung und Erkenntnisse aus den Interviews

Die Interviews wurden nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Philipp Mayring (Mayring 2015) ausgewertet. Dabei wurden sowohl induktiv, deduktiv oder durch eine Zusammenfassung Kategorien gebildet, nach denen die Interviews codiert wurden. Dafür wurde die open access Software QCAmap² verwendet. Mittels der Codes konnten die Ergebnisse der Interviews zu den einzelnen Fragen zusammengefasst werden.

Zunächst wurde danach gefragt, welche innovativen Technologien, die auch Pflanzenschutzmittel einsparen, die Befragten aus dem Stegreif kennen würden. Am häufigsten wurde dabei die teilflächenspezifische Applikation genannt. Ähnlich häufig oft wurde die mechanische Unkrautbekämpfung (Hacken und Striegeln) genannt. Daneben wurden noch genannt: Bandspritzung, automatische Teilbreitenschaltung, Einzeldüsenschaltung, abdriftmindernde Düsen, Ausbringung von Nützlingen, Sortenwahl (klassische Züchtung und auch Gentechnik), Robotik und (einfache) Entscheidungshilfesysteme.

² <https://qualitative-content-analysis.org/de/software-2/qcamap-2020/>

Auf Nachfrage kannten alle Befragten die in der Literaturrecherche identifizierten Technologien. Einzig die **Pulsweitenmodulation** war nur einzelnen Befragten bekannt. Die Pulsweitenmodulation war – zumindest unter diesem Begriff – noch wenig bekannt und wird offensichtlich noch nicht so häufig in der Praxis eingesetzt.

Die moderne **Bandspritzung** sowie die **automatische Teilbreitenschaltung** waren bekannt und finden nach Meinung der Interviewten auch schon in der Praxis Anwendung. Wobei es bei der Bandspritzung als auch bei der Teilbreitenschaltung eine analoge Methode gibt und die modernen, GPS-gesteuerten oder Kamera-basierten Varianten laut den Befragten in Deutschland vor allem bei kleineren Betrieben nicht häufig im Einsatz sind. In diesem Zusammenhang wurde von einigen Interviewten noch die Einzeldüsenabschaltung oder auch die Abdriftminderung, die mit Entscheidungshilfesystemen gekoppelt werden können, genannt, die der nächste Entwicklungsschritt nach der automatischen Teilbreitenschaltung ist.

Die **teilflächenspezifische Applikation** ist ein breites Feld und grundsätzlich war den Befragten die Technik bekannt. Allerdings wird sie noch selten angewendet und Bedarf nach Ansicht der Interviewten noch weiterer Entwicklung. Es besteht hier ein Unterschied zwischen der Unkrautbekämpfung und der Schädlings- bzw. Krankheitsbekämpfung: Letztere ist noch weniger weit entwickelt als erstere.

Der Bereich **Robotik** war den Befragten ähnlich wie die teilflächenspezifische Applikation zwar bekannt, allerdings für die Anwendung auf dem Feld noch nicht weit genug ausgereift bzw. rentabel. Eine Anwendung scheint hier aktuell eher beim Gemüse- oder Weinbau machbar.

Bei der **mechanischen Unkrautbekämpfung** finden nach Aussage der Interviewten vor allem das Hacken und Striegeln zunehmend breite Anwendung, wobei diese Technik nur bei bestimmten Kulturen und Böden angewendet werden kann. In der Schädlingsbekämpfung war den Befragten eine mechanische Bekämpfung (z.B. ein Schneckenroboter) nicht bekannt. Verfahren mit Strom, Laser, Heißwasser etc. waren bekannt, aber meist nur in der Theorie, nicht in der Praxis.

Entscheidungshilfesysteme, insbesondere Prognosemodelle waren allen Teilnehmenden der Interviews bekannt. Hier wurde aber ein Generationenunterschied in der Anwendung angemerkt („Fax versus App“) und es zeigte sich, dass gerade komplexe Systeme noch keine breite Anwendung finden. Dies ist in Deutschland und ebenso in Frankreich wohl auch darauf zurückzuführen, weil es eine Vielzahl kostenloser Beratungsangebote z.B. durch die Officialberatung gibt, auf die eher zurückgegriffen wird.

In Bezug auf Bekanntheit der Techniken und deren Einsatz in der Praxis bestand grundsätzlich Einigkeit bei den Befragten. In der Praxis eingesetzt werden nach Kenntnis der Befragten in erster Linie die mechanische Unkrautbekämpfung (Hacken und Striegeln) – wobei hier auch nicht-digitale Technologien eingeschlossen sind. Es wurden auch noch die (automatische) Teilbreitenschaltung, die Einzeldüsenabschaltung und die (moderne) Bandspritzung genannt.

Diskrepanzen bei den Antworten in den Interviews zeigten sich allerdings in Bezug auf die Wirkweise der teilflächenspezifischen Applikationen: Während ein Teil der Interviewten der Meinung war, dass sich diese Technik in Deutschland wegen der hohen Verunkrautung und den häufigen Unkrautwellen nicht einsetzen lassen, ist der andere Teil der Meinung, dass sich diese Technik auch hier gut anwenden lässt. Dies ist insbesondere der Fall, wenn sich die Technologie (vor allem die Sensoren) noch weiter entwickelt und wenn ein generelles Umdenken, weg von der Vorabbehandlung, ggf. bis hin zu tolerierbaren Schäden und das gezielte nicht Bekämpfen von bestimmten Unkräutern bzw. Beikräutern, entsteht.

Die wenigsten der Interviewten konnten konkrete Zahlen nennen, wie viel Pflanzenschutzmittel durch den Einsatz von digitalen Innovationen eingespart werden kann. Ein kompletter Umstieg von chemischem auf mechanisches Pflanzenschutzmanagement hätte konsequenterweise eine Ersparnis von 100 Prozent zur Folge. Auch bei der Bandspritzung und der automatischen Teilbreitenschaltung wurde angegeben, dass die Ersparnis bei 50-60 Prozent liegen könne.

Bei den Fragen zu der Motivation bzw. den Hemmnissen für Landwirt*innen, sich solche Technologien anzuschaffen, bestand bei den Befragten weitestgehend Einigkeit: Als Hauptfaktor für oder gegen eine Anschaffung wurde der finanzielle Aspekt genannt. Das Preis-Leistungs-Verhältnis müsse stimmen, die hohen Anschaffungskosten müssten sich rechnen oder der Wirkungsgrad müsse im Gegensatz zu den herkömmlichen Technologien höher sein – waren beispielhafte Aussagen dazu. Die aktuell noch hohen Funktionsunsicherheiten, die teure Wartung und die Komplexität der Bedienung wurden als weitere Hemmfaktoren genannt. Ökologische Aspekte spielten zwar für eine Anwendung auch eine Rolle, aber sie stünden hinter den ökonomischen. Danach folgten rechtliche Aspekte, insbesondere in Bezug auf autonomes Fahren und die Anwendung von Drohnen. Der Faktor Datenschutz wurde von den meisten als eher nebenrangig eingestuft bzw. als eine Debatte angesehen, die (aktuell noch) auf übergeordneter Ebene geführt würde, und nicht bei den Landwirt*innen selbst.

Die Tatsache, dass immer weniger Wirkstoffe im Pflanzenschutz zugelassen sind, wurde unterschiedlich betrachtet: In einigen Bereichen (z.B. bei bestimmten Kulturen) entstehe dadurch ein Druck auf die Praxis umzusteigen. Vor allem Resistenzen wurden hier als Problem genannt. Grundsätzlich spiele aber das Thema kaum eine Rolle bzw. sei noch nicht als Problem beim Einzelnen angekommen, da es durch die vielen verschiedenen Produkte von Pflanzenschutzmitteln kompensiert würde, die auf dem Markt sind. Im biologischen Pflanzenschutz scheint sogar das Gegenteil der Fall zu sein: Es gäbe immer mehr zugelassene Wirkstoffe, wobei darauf hingewiesen wurde, dass bei einigen der wissenschaftliche Nachweis über die Wirkung fehle. Auch wurde erwähnt, dass die Vielfalt der Mittel über den Bereich der Biostimulanzien größer würde, wobei hier angemerkt werden muss, dass diese offiziell nicht in den Bereich der Pflanzenschutzmittel fallen.

Zur Methode der RNA-Interferenzen bei Pflanzenschutzmitteln hatte keine der interviewten Personen fundierte Kenntnisse. Grundsätzlich bestand bei den meisten Expert*innen – bis auf eine Ausnahme – (nach kurzer Begriffs-Erklärung) eine Skepsis gegenüber solcher Technologie.

Auf die Frage, wie die Entwicklungen in den nächsten 10 bis 20 Jahren in Bezug auf digitale Technologien im Pflanzenschutz aussehen wird, gab es weitestgehend Einigkeit bei den Expert*innen mit unterschiedlicher fachlicher Herkunft: Die meisten prognostizierten, dass diese Technologien immer mehr zum Einsatz kommen, dass sie allein die Probleme im Pflanzenschutz aber nicht lösen würden. Eine grundsätzliche Umstellung der Landwirtschaft mit z.B. geänderter Fruchtfolge oder Bodenbearbeitung, sprich einer umweltgerechteren Landwirtschaft, wurde von allen als nötig erachtet. Auch die Erforschung weiterer biologischer Pflanzenschutzmittel kann hierzu gezählt werden.

Als Motor für diese Entwicklungen wurden häufig der Druck der Gesellschaft und damit verbundene Regulationen durch die Politik gesehen. Auf der anderen Seite wurde aber hier die Sorge eines weiter voranschreitenden Strukturwandels hin zu weniger, aber immer größeren Betrieben, insbesondere was die Umstellung auf digitale Technologien betrifft, häufig erwähnt.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die in der Literaturstudie identifizierten Anwendungstechnologien weitestgehend vollständig waren. Die Liste wurde nach den geführten Interviews noch um die Einzeldüsenschaltung ergänzt. Diese modernen Technologien befinden sich in Deutschland laut den Befragten noch nicht in der breiten Anwendung, auch wenn das

Wissen um diese Anwendungen zum großen Teil vorhanden ist. Als größter Hemmfaktor für eine breite Anwendung werden hohe Investitionskosten genannt, aber auch eine noch nicht ausgereifte Funktionssicherheit (insbesondere bei der teilflächenspezifischen Applikation). Ökologische Aspekte spielen beim Umstieg auf neue Technologien zwar eine Rolle, allerdings fallen diese hinter die ökonomischen zurück.

2.3 Erkenntnisse aus der Recherche

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus der Literaturstudie sowie der Primärdatenerhebung über Gespräche und qualitative Interviews die bisherigen Entwicklungen im Bereich Digitalisierung in der Landwirtschaft in Bezug auf Pflanzenschutz beschrieben. Dabei werden zunächst die aktuellen Technologien beschrieben sowie ein Überblick über die Marktentwicklung dargestellt. Zudem wird ein kurzer Überblick über den Diskurs zum Thema Digitalisierung in der Landwirtschaft gegeben.

2.3.1 Aktuelle innovative Technologien im (digitalen) Pflanzenschutz

Durch die Recherche konnten einzelne Felder identifiziert werden, in die sich die aktuellen innovativen Technologien im Pflanzenschutz einteilen lassen:

► Feldspritzen

- GPS-geschaltete Teilbreitenschaltung, GPS-geschaltete Einzeldüsenschaltung, pulsweitenmodulierte Düsen, abdriftmindernde Düsen

Die automatische Teilbreitenschaltung ist bei neuen Feldspritzen Standard und anders als die Teilbreitenschaltung ohne GPS-Steuerung deutlich präziser und findet sich zunehmend in der Praxis (vgl. PwC (Hg.) (2016), S. 12). Zudem besteht bei einigen Modellen die Möglichkeit, Spritzen mit nicht-automatisierter Teilbreitenschaltung zu einer digitalen, GPS-gesteuerten Version umzurüsten. Bei der Feldspritze gibt es zudem die Möglichkeit verschiedene Düsen zu wählen, z.B. abdriftmindernde oder pulsweitenmodulierte Düsen.

- Teilflächenspezifische Applikation, Spot-Applikation

Daneben gibt es kamera- oder sensorgesteuerte Feldspritzen, die gezielt einzelne Pflanzen oder Spots behandeln sollen. Hier gibt es noch wenig marktreife Technik. Die Aussagen in den Interviews bestätigen auch die Einschätzung aus der Literaturrecherche, dass diese Geräte größtenteils in der Entwicklungsphase sind. Insbesondere im Bereich der Kamera-basierten Feldspritzen besteht für praxistaugliche Lösungen noch Forschungsbedarf. Dabei scheint der Bereich der Unkrautbekämpfung weiter vorangeschritten zu sein, als der Bereich der Schädlings- und Krankheitsbekämpfung. (vgl. Wegener, J. K. (2017))

- GPS-gesteuerte / Kamera-basierte Bandspritzung

Eine Form der teilflächenspezifischen Anwendung ist die Bandspritzung. Anders als die analoge Methode arbeiten die neuen Geräte GPS-gesteuert oder Kamera-basiert. Damit erhöht sich der Komfort, aber auch die Präzision.

► Automatische mechanische Unkrautbekämpfung

Die mechanische Unkrautbekämpfung, insbesondere Hacken und Striegeln, ist der Bereich, der am weitesten verbreitet ist, um Pflanzenschutzmittel einzusparen. Allerdings wird hier in den Interviews auf das Problem hingewiesen, dass es mit enormen Kosten verbunden ist, wenn von

einer herkömmlichen Feldspritze umgestiegen werden muss. Zudem ist diese Technik nicht bei jeder Kultur oder bei allen Böden möglich und erwünscht.

► Robotik

Die Robotik ist eine weitere Technologie, die zunehmend Anwendung findet und durch die kleineren und leichteren Geräte im Gegensatz zu einem Traktor verschiedene Vor- und Nachteile mit sich bringt. In Bezug auf die Maßnahmen können Roboter entweder zur mechanischen Unkrautbekämpfung oder teilflächenspezifischen Applikation im chemischen Pflanzenschutz gezählt werden.

► Einsatz von Nützlingen via Drohnen

Neben diesen Feldern konnte noch der Einsatz von Nützlingen via Drohnen als weitere Technik identifiziert werden, beispielsweise das Ausbringen der Trichogramma Schlupfwespe gegen den Maiszünsler findet zunehmend Anwendung in der Praxis.

► Komplexe Entscheidungshilfesysteme

Entscheidungshilfen in der Landwirtschaft sind grundsätzlich nicht neu, denn Landwirt*innen haben sich immer schon Unterstützung für ihre Entscheidungen geholt. Entscheidungsunterstützend können fundierte Kenntnisse von Berater*innen persönlich oder durch regelmäßige Mitteilungen an Landwirt*innen sein. Von diesen werden auch häufig Online-Dienste wie z.B. bei ISIP e.V., welches auch die vorherrschende Witterung der jeweiligen Region berücksichtigt, herangezogen. Diese Entscheidungshilfen können zunehmend durch komplexe, digitale Lösungen auf Grundlage Künstlicher Intelligenz ergänzt werden, die auch kleinräumige Ereignisse wie Starkregen oder auch individuelle Gegebenheiten wie Tallagen, Bodeneigenschaften oder schlagspezifische Ertragsprognosen berücksichtigen können. Entscheidungshilfesysteme bilden eine Schnittstelle zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, indem Entscheidungen mit Spot-Applikation kombiniert werden.

► Biotechnologie

Auch die Gentechnik bzw. Biotechnologie in Bezug auf Saatgut wurde als innovative Technologie für den Pflanzenschutz in den Interviews erwähnt. Zum biotechnologischen Forschungsbereich gehört auch die Methode der RNA-Interferenzen bei Pflanzenschutzmitteln. In den Interviews wurde deutlich, dass diese Art von Pflanzenschutzmittel aktuell in Deutschland noch keine Rolle spielen und es neben der wissenschaftlichen Erforschung dieser Mittel auch einer gesellschaftlichen Aufklärung bzw. Debatte bedarf.

2.3.2 Aktuelle Entwicklungen in Deutschland, Europa und global

► Entwicklungen in Deutschland

Grundsätzlich ist festzustellen, dass das Thema Digitalisierung in der Landwirtschaft angekommen ist, aber noch nicht breit und in vollem Umfang eingesetzt wird (vgl. Steinmann, H.-H. (2020, S. 24-25).

In dem Artikel „Entwicklungen im Bereich der Anwendungstechnik im Pflanzenschutz gestern, heute und morgen“ gibt Prof. Dr. Jens Karl Wegener vom Julius Kühn-Institut (JKI) einen Überblick über die Entwicklung der Pflanzenschutztechnik in Deutschland in den vergangenen 160 Jahren, beleuchtet den aktuellen Stand der Technik und weist auf mögliche zukünftige Entwicklungen hin. Dabei kommt er zu dem Ergebnis, dass sich „die aktuelle Pflanzenschutztechnik in Deutschland (...) – auch im internationalen Vergleich – auf höchstem

Niveau (befindet). Wenn es um die Fragestellung geht, wie man einen Wirkstoff gleichmäßig über eine Fläche bei gleichzeitiger Minimierung der Behandlung von Nicht-Zielflächen verteilt, bieten die aktuellen Technologien eine optimale Grundlage, um die konkurrierenden Ziele bezüglich des Schutzes von Kulturpflanzen, Gesundheit und Umwelt in der Praxis weiter zu verbessern.“ (Wegener, J. K. (2021), S. 282) In Hinblick auf die durch die Digitalisierung ermöglichte teilflächenspezifische Applikation sieht Prof. Dr. Wegener Pflanzenschutztechnik aktuell in einem Transformationsprozess, der noch nicht vollzogen ist. (vgl. Wegener, J.K. (2021), S. 282)

Es zeigt sich, dass insbesondere große Betriebe eher in innovative Technologien investieren als kleinere (vgl. PwC (Hg.) (2016), S. 11). Diese Tatsache ergibt sich draus, dass die neuen Technologien für kleinere Betriebe (noch) nicht rentabel sind, was auch durch die Interviews bestätigt wurde. Dabei konnten allerdings keine verlässlichen Zahlen zu einzelnen Anwendungen gefunden werden, ab wann sich eine Investition unter Berücksichtigung aller Parameter (wie z.B. anhand eingesparter Betriebsmittel) für einen landwirtschaftlichen Betrieb lohnt. Auch ist es schwierig zu definieren, ab wann ein Betrieb als groß oder klein eingestuft wird, weil dies nicht nur von der Betriebsfläche, sondern auch von weiteren Faktoren wie erwirtschafteter Ertrag abhängt, was u. a. vom Anbauprodukt bestimmt wird.

Um einen Eindruck zum bisherigen Einsatzumfang und der Bedeutung zu erhalten, sollten im Rahmen vorliegender Studie quantitative Daten zu neuartigen Pflanzenschutzmitteln und Anwendungstechniken deutschlandweit, auf EU-Ebene und global ermittelt werden. Es konnte allerdings nur wenig Literatur identifiziert werden, die sich mit dem Thema Digitalisierung in der Landwirtschaft mit explizitem Bezug zum Pflanzenschutz beschäftigt bzw. eine umfassende Analyse der aktuellen Situation bot. Über die Vor- und Nachteile der Digitalisierung in der Landwirtschaft allgemein wird in einigen Studien detailliert berichtet (vgl. z.B. Kliem, L. u.a (2022); Büro zur Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (Hg.) (2022)). Zur Feldrobotik, bei der davon auszugehen ist, dass es sich auch um autonome Roboter zur mechanischen Unkrautbekämpfung handelt, gibt es exaktere Daten: Bei einer Befragung durch den Digitalverband Bitkom und die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) gaben drei Prozent der Landwirt*innen an, Feldrobotik in der Praxis einzusetzen (vgl.: Rohleder, B.; Meinel, T. (2022), S. 5). Während bei der, nach eigenen Angaben der Autoren, repräsentativen Umfragen des Digitalverbands Bitkom und des Deutschen Bauernverbandes im Jahr 2016 noch 53 Prozent der Befragten angaben, bereits digitale Technologien zu benutzen, waren es im Jahr 2020 bereits 82 Prozent (Rohleder, B.; Krüsken, B (2016), S. 6). Von diesen 82 Prozent gaben wiederum 32 Prozent an, dass sie digitale Technologien für den intelligenten Einsatz von Pflanzenschutzmaßnahmen und Düngemittelapplikationen benutzen (Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020), S. 4 und 5). Hierbei scheint allerdings im Bereich der Düngung eine breitere Anwendung stattzufinden als im Bereich Pflanzenschutz, wie eine andere Statistik aus dem Jahr 2017 von Goldman Sachs zeigt, die die Verteilung von Umsätzen im globalen Markt mit Smart Farming aufgeschlüsselt nach Anwendungsbereichen prognostiziert. Während bei der zielgenauen Düngung 27 Prozent an Einsparungen erwartet werden, sind es im Bereich Pflanzenschutz nur 7 Prozent (vgl. Statista (Hg.) (2017)). Bei diesen Zahlen gilt es zusätzlich zu bedenken, dass der bloße Einsatz digitaler Technologien mit einhergehenden möglichen Mitteleinsparungen nichts über die Auswirkungen auf Natur und Umwelt aussagt.

► Entwicklungen global

Einige Studien und auch Marktanalysen beschäftigen sich allgemein mit dem Thema Digitalisierung in der Landwirtschaft (vgl. z.B. PwC (Hg.) (2016); Gabriel, A. (2021)) und sehen bzw. prognostizieren einen wachsenden Markt sowohl in Deutschland als auch global (vgl. z.B.:

Frankreich: Robert, A. (2020) / USA: Umann, U. (2021) oder Bhutani, A.; Wadhwani, P. (2019)). Beim Blick in andere europäische Länder oder auch global zeigt sich, dass es schwierig ist, fundierte Aussagen über den Entwicklungsstand zu treffen. Hier können nur einzelne Aussagen referiert werden:

Für Österreich wird angegeben, dass nur 6 Prozent der landwirtschaftlichen Betriebe Technologien des Precision Farming verwenden (vgl. HBLFA Francisco Josephinum Wieselburg (Hg.) (2018)).

Eine Marktanalyse zum prognostizierten Marktwert von „Precision Farming“ weltweit von 2018 bis 2023 zeigt, dass in diesem Bereich ein Wachstum zu erwarten ist. „The market value of precision is expected to grow from approximately 5.09 million U.S. dollars in 2018 to 9.53 billion U.S. dollars by 2023“ (Statista (Hg.) (2018)).

Laut Germany Trade and Invest – Gesellschaft für Außenwirtschaft und Standortmarketing mbH ist die Digitalisierung in den USA weiter fortgeschritten (vgl. Umann, U. (2021)). Hierbei ist die Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe als ausschlaggebender Faktor zu betrachten, denn die meisten digitalen Technologien sind in großen Betrieben eher rentabel in der Anwendung als bei kleineren, weshalb in Ländern wie beispielsweise den USA mit deutlich größeren Anbauflächen (Durchschnittsgröße von landwirtschaftlichen Betrieben im Jahr 2017 178 ha (vgl. United States Department of Agriculture (Hg.) (2017), S. 7)) der Einsatz von Precision Farming Technologien höher ist als beispielsweise in Deutschland mit einer durchschnittlich genutzten landwirtschaftlichen Fläche von 62,5 ha je Betrieb (vgl. Statista (Hg.) (2019)).

► Treiber und Hemmnisse für die Entwicklung

Ausschlaggebender Faktor für oder gegen die Anschaffung digitaler Technologien für Landwirt*innen sind betriebswirtschaftliche Gründe. 81 Prozent sehen laut der bereits erwähnten Studie von Bitkom höhere Produktionseffizienz als Vorteil und 92 Prozent die hohen Investitionskosten als Nachteil. Somit können ökonomische Gründe sowohl Treiber (z.B. Einsparung von Betriebsmitteln, höhere Produktivität und Profit) als auch Hemmnisse (z.B. zu hohe Investitionskosten, geringe Wirksamkeit in Bezug auf Umweltaspekte bei hoher Verunkrautung u. a.) sein.

Die Ergebnisse der Bitkom-Studie decken sich auch mit den Antworten aus den Interviews. Ökologische Aspekte spielen zwar auch eine Rolle, allerdings ist die Wirtschaftlichkeit für die meisten wichtiger. Aber auch, dass die Technik zu komplex und nicht funktionssicher ist, wirkt aktuell hemmend: Beispielsweise bei pulsweitengeschalteten Düsen, der Einzeldüsenschaltung und insbesondere bei kamera- oder sensorgestützten teilflächenspezifischen Anwendungen³ wird das in den Interviews als Problem genannt. Auch in der Bitkom-Studie geben 75 Prozent als Nachteile die Komplexität und Anwendungsprobleme an (vgl. Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020), S. 8).

Neben dem finanziellen Aspekt werden als sozio-ökonomische Hemmnisse der digitalen Technologien auch mangelnde Kenntnisse und Wissen mit den komplexen Technologien (human capital) gesehen. (vgl. Lieder, S.; Schröter-Schlaack, C. (2021), S. 11) Hinzu kommt eine mangelnde Bereitschaft, Daten offen zu legen oder zu teilen sowie ein Misstrauen in Algorithmen (vgl. McFadden, J.; u. a. (2022), S.4). Die bereits erwähnte Umfrage des Industrieverbands Agrar (IVA) kommt zu ähnlichen Ergebnissen: „Als schwerwiegendste Hemmnisgründe nennen die befragten Landwirte zu hohe Technikkosten und eine unzureichende Rentabilität für den eigenen Betrieb. Des Weiteren werden fehlendes Knowhow und unzureichende Beratung genannt. Auch mangelhafte technische Rahmenbedingungen wie

³ Siehe hierzu auch: Wegener, J. K. (2017), S. 3 und 4.

Internetverbindung, GPS-Empfang, Datenschnittstellen und Bedenken bei der Datenhoheit spielen eine Rolle.“ (Schaal, R. 2022)

Als Treiber für einen Wandel im Pflanzenschutzmanagement wurde in den Interviews auch der gesellschaftliche Druck, Pflanzenschutzmittel einzusparen und nachhaltig zu wirtschaften, genannt, was sich letztendlich auch in der Regulierung und politischer Vorgaben widerspiegeln kann. Insbesondere in Europa scheint sich dieser Druck durch Verbraucher*innen sowie durch die Politik (z.B. GreenDeal, Farm-to-Fork-Strategie, Biodiversitätsstrategie 2030, Aktionsprogramm Insektenschutz⁴) schneller aufzubauen als in anderen Teilen der Welt.

Die Situation der zugelassenen Wirkstoffe bei Pflanzenschutzmitteln spielt ebenso wie unterschiedliche Regulationen oder Kontrollen eine Rolle für den Einsatz digitaler Technologien in verschiedenen Ländern. Nachweispflichten und die Erleichterung von umfangreicher Dokumentation können somit als Treiber fungieren. „Betriebe, die etwa zwei Drittel der Fläche bewirtschaften, wollen den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zukünftig automatisch bei der Applikation dokumentieren. Der Anteil manueller Dokumentationsformen oder die Dokumentation mittels Ackerschlagkarteien und Farmmanagement-Systemen wird zukünftig abnehmen. Das zeigt, dass es einen hohen Bedarf an Lösungen für einen geringeren Dokumentationsaufwand gibt.“ (Schaal, R. (2022)) Beispielsweise hat in Deutschland – nach Aussage eines Interviewten – die neue Düngeverordnung einen Schub in Richtung digitale Schlagkarteien gebracht, weil so die Dokumentation einfacher wurde. Die digitalen Schlagkarteien könnten auch für den Pflanzenschutz eingesetzt werden. Ähnliches wurde über landwirtschaftliche Kontrollen in Frankreich berichtet: Ein digitalisierter Betrieb ist hier in Bezug auf den Aufwand deutlich im Vorteil, wobei hier gleichzeitig auf das Problem der „gläsernen Landwirt*innen“ hingewiesen wurde.

Mit Blick auf die Dokumentation und die Qualitätskontrolle könnten durch den digitalen Datenaustausch auch Lohnunternehmen oder Maschinenringe von neuen Entwicklungen profitieren. „Weiterhin dürften kleinere Betriebe und Nebenerwerbsbetriebe künftig überproportional von verfügbaren Entscheidungsalgorithmen profitieren. Auf diese Weise können sie kostengünstigen Zugang zu hochwertigen produktionstechnischen Management- und Anbauempfehlungen erhalten, die bisher eher größeren Betrieben in Form einer Spezialberatung zugänglich waren. Somit sinkt künftig der Einfluss der agronomischen Managementfähigkeiten auf den Betriebserfolg.“ (de Witte, T. u. a. (2016), S. 39)

Ebenso können Förderprogramme die Digitalisierung der Landwirtschaft gezielt voranbringen. Dabei haben kleinere Betriebe, wie die vom Industrieverband Agrar (IVA) in Auftrag gegebene Umfrage zur Pflanzenschutztechnik unter Landwirt*innen ergab, eher eine Affinität zur Anwendungsförderung, während größere Betriebe zur Investitionsförderung tendieren (vgl. Schaal, R. 2022).

Als weiterer Punkt für den breiteren Einsatz von digitalen Technologien werden die Entwicklungen in anderen Lebensbereichen gesehen. Je weiter sich hier die Digitalisierung verbreitet, umso mehr wird sie auch in der Landwirtschaft Anwendung finden. Hier scheint es auch – wie Aussagen aus den Interviews der vorliegenden Studie zeigten – ein Generationenthema zu sein, inwieweit ein Betrieb innovative Technologien nutzt.

⁴ „Die EU-Kommission möchte bis 2030 (a) den Einsatz von und das Risiko durch chemische Pestizide insgesamt und (b) den Einsatz von Pestiziden mit höherem Risiko um jeweils 50 Prozent verringern. Das Maßnahmenbündel, mit dem dies erreicht werden soll, umfasst die Richtlinie über die nachhaltige Verwendung von Pestiziden, die Bestimmungen über den integrierten Pflanzenschutz sowie die Förderung bestimmter Landbewirtschaftungsmethoden im Rahmen der GAP. Deutlich weitergehende Maßnahmen werden im deutschen Aktionsprogramm Insektenschutz angekündigt, nämlich (a) Verbot von Glyphosat, (b) Anwendungsverbot von Herbiziden und biodiversitätsschädigenden Insektiziden in Schutzgebieten, (c) Refugialflächen und (d) erweiterte Gewässerschutzstreifen.“ (Isermeyer, F.; Nieberg, H.; u. a. (2020), S. 5)

2.3.3 Kurzer Überblick über den Diskurs

Auch wenn im Rahmen dieser Studie keine Diskursanalyse durchgeführt werden konnte, lässt sich anhand der gefundenen veröffentlichten Meinungen und Forschungsarbeiten festhalten, dass in der Debatte um Chancen und Risiken der Digitalisierung sich eine ähnlich gelagerte Konfliktlandschaft abzeichnet, wie sie in anderen Bereichen der Landwirtschaft bereits bekannt ist: Ökonomische versus ökologische Chancen und Risiken werden gegenübergestellt und finden sich auf einer übergeordneten Ebene auf dem Konflikt einer auf Wachstum ausgerichteten kapitalistischen Landwirtschaft versus einer regional und ökologisch ausgerichteten Landwirtschaft wieder (vgl. z.B. Hartmann, E. (2022), Deutscher Naturschutzring (DNR) (2019)). Auch die Digitalisierung kann diesen Konflikt nicht beheben, weil sie das Risiko einer weiteren Intensivierung der Landwirtschaft auf Kosten ökologischer Ziele nicht *per se* aushebeln kann und wird.

Dieser Aspekt wird von den meisten beteiligten Akteur*innen – insbesondere von den Landwirt*innen, dies zeigte sich in den Interviews der vorliegenden Studie - erkannt: Eine digitale Transformation führt nicht zwangsläufig zu einer ökologischen Transformation der Landwirtschaft. Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass digitale Technologien das Potential haben, die Landwirtschaft und auch den Pflanzenschutz ökologischer zu gestalten und gleichzeitig eine Ernährungssicherheit zu gewährleisten. Insbesondere für den Aspekt der Ernährungssicherheit werden Innovationen, unter anderem die Präzisionslandwirtschaft gefordert, um mögliche Ertragseinbußen durch die Reduktion von Pflanzenschutzmitteln zu verhindern (vgl. Bremmer, J.; u. a. (2021), S. 8).

Nachfolgende Zitate sollen beispielhaft für die Debatte genannt werden⁵:

„Mit der Digitalisierung der Landwirtschaft eröffnet sich ein weites Innovationsfeld, das sehr unterschiedliche Technologiebereiche wie Sensorik, Robotik und künstliche Intelligenz inklusive Datenanalyseverfahren umfasst. Diese Technologien bieten die große Chance, die Landwirtschaft nicht nur kostengünstiger, sondern vor allem nachhaltiger zu gestalten. Um diese Ziele zu erreichen, ist eine rein technikgetriebene, an der Effizienzsteigerung orientierte Innovation der Agrarproduktion vermutlich nicht ausreichend. (...) Der Politik kommt vor diesem Hintergrund die Aufgabe zu, eigene Innovationsakzente zu setzen und Forschungs- und Entwicklungsprogramme zu initiieren, welche sich stärker auch an agrarökologischen Prinzipien orientieren.“ (Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), S. 23)

„Digitale Technologien sind eine Möglichkeit für unsere Landwirtinnen und Landwirte, die aktuellen ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Herausforderungen zu meistern. Es bedarf jedoch geeigneter Rahmenbedingungen, um die notwendigen Investitionen sinnvoll nutzen zu können.“ (Bitkom e.V. (Hg.) (2022))

„Der Erhalt von Biodiversität und Ökosystemen ist bisher kein primäres Ziel der Digitalisierung der Landwirtschaft, sondern stellt lediglich einen möglichen Nebeneffekt dar. Solange keine konkreten Anreize für den Schutz von Biodiversität und Ökosystemleistungen geschaffen werden, bleibt bei der Digitalisierung der Landwirtschaft die Steigerung der Produktivität im Fokus und Umwelt- und Naturschutzpotenziale unausgeschöpft. Insgesamt klafft eine große Lücke zwischen dem theoretisch möglichen Nutzen und dem bislang tatsächlich Beobachtbaren. Beispielsweise kommt die Meta-Studie von Schrijver

⁵ Einen fundierten Eindruck der verschiedenen Positionen zu dem Thema geben die veröffentlichten Stellungnahmen zur „Ackerbaustrategie 2035“ von Verbänden, der Wissenschaft und weiteren Einrichtungen unter den Handlungsfeldern „Pflanzenschutz“ und „Digitalisierung“.
https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Pflanzenbau/ackerbaustrategie-stellungnahmen-verbaende.pdf?__blob=publicationFile&v=5

und van Woensel (2016) zu dem Schluss, dass Präzisionslandwirtschaft bis zu 80 Prozent der Pestizide einsparen könnte, während in der empirischen Studie von Bovensiepen et al. (2016) bislang nur 2 Prozent der Landwirt*innen in Deutschland Einsparungen von über 20 Prozent erzielen. Das tatsächliche Ausmaß vieler positiver und negativer Auswirkungen ist zudem empirisch noch nicht abzusehen und stellt eine große Forschungslücke dar (siehe auch KLU, 2019). Dabei ist auch die Ausgestaltung der Politik noch offen und hat großen Einfluss auf zukünftige Entwicklungspfade.“ (Kliem, L. u.a (2022))

„In der Arbeitsgruppe Landwirtschaft lagen zwischen verschiedenen Stakeholder*innen-Gruppen oder zwischen WissenschaftlerInnen diverser Disziplinen große Unterschiede bezogen auf die Bewertung agrarökologischer Auswirkungen [der Digitalisierung, Anm. d. Verf.] vor. Dies kann ein Zeichen dafür sein, dass es sich bei agrarökologischen Auswirkungen um vage (oder ambigüide) Risiken handelt (...). Als Hauptursachen wurden hier die unterschiedlichen Bewertungen und Priorisierungen und unterschiedliche Ansichten über die Wahrscheinlichkeit des Eintretens möglicher Unseens sichtbar: Beispiele dafür sind die aus Kreisen des Naturschutzes geäußerten Befürchtungen über eine weiter voranschreitende Reduktion der Biodiversität, möglicher Veränderungen auf die Kulturlandschaften und möglicher negativer Auswirkungen auf die Ressourcen- und Ökobilanz.“ (Reichel, C., u. a. (2021))

Hinzu kommt bei der Debatte ein Konflikt zwischen Gegnern und Befürwortern der Digitalisierung grundsätzlich, worin beispielsweise Vor- und Nachteile der Bereitstellung und dem Teilen von Daten kontrovers diskutiert wird.

„Uncertainties regarding data protection and sovereignty represent a major reason for farmers' hesitation in adopting SF technologies (...). Accordingly, the problem has also become the most frequently cited obstacle to acceptance in the literature [33]. The academic debate has also often addressed the issue of data sovereignty and autonomy (...). The stakeholders concerned have recognized that mass collection and storage of data also means a risk of misuse and loss of data sovereignty of farmers. Moreover, not only agricultural data is collected, but also personal data.“ (Lieder, S.; Schröter-Schlaack, C. (2021), S. 11)

3 Analyse von Fallstudien (AP 2)

In folgendem Teil der Studie wurden auf Basis der Literaturrecherche und der Interviews Fallstudien für eine detaillierte Analyse ausgewählt. Folgende Forschungsfragen lagen der Bearbeitung der Fallstudien zu Grunde:

- ▶ Wo liegen in den Fallstudien die Chancen und Risiken aus der Sicht eines umweltgerechten Pflanzenschutzes?
- ▶ Welches Potenzial wird den Entwicklungen beigemessen hinsichtlich der Zielerreichung (Farm-to-Fork: 50 Prozent bis zum Jahr 2030) zur Reduzierung des Einsatzes von chemischen Pflanzenschutzmitteln entsprechend der nationalen und europäischen Ziele und Vorschriften zu einem nachhaltigen und umweltgerechten Pflanzenschutz (RL 2009/128, PflSchG, NAP, Green Deal, Farm-to-Fork)?
- ▶ Was sind die Treiber und wer sind die Stakeholder*innen, Nutznießende der Entwicklungen?
- ▶ Was sind die entscheidenden Hemmnisse, Unsicherheiten, Risiken, Trade-offs (z.B. Wirtschaftlichkeit, Investitionen, Ethik, öffentliche Meinung, Regulatorik), die für eine weitere Entwicklung oder Implementierung im nationalen Kontext überwunden werden müssen?
- ▶ Welche Vernetzung und Schnittstellen gibt es mit weiteren Entwicklungen im Pflanzenschutz? Wie stark sind diese Entwicklungen miteinander gekoppelt und voneinander abhängig?

Wichtige Gesichtspunkte für die Analyse der Fallstudien waren auch die Integrierbarkeit in bestehende Anbaustrategien und die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassung sowie die Akzeptanz durch die verschiedenen Interessengruppen.

Um die Forschungsfragen zu beantworten, wurden zunächst anhand einer Matrix Fallstudien in Abstimmung mit dem UBA ausgewählt. Zu den gewählten Praxisbeispielen wurde dann durch Kennzahlen in verschiedenen Teilbereichen ein Index gebildet. Damit erfolgte eine Bewertung der jeweiligen Technologie, die einen Vergleich der Fallbeispiele untereinander ermöglicht.

3.1 Auswahl der Fallstudien

Um ein breites Spektrum abzubilden, wurden für die Auswahl zunächst für die in Arbeitspaket 1 beschriebenen Bereiche konkrete Praxisbeispiele recherchiert. Danach wurden diese anhand einer Matrix von mehreren am Projekt beteiligten Personen inklusive des Auftraggebers bewertet und gewichtet. Darauf basierend wurde eine Auswahl nach für die Studie besonders wichtigen Aspekten getroffen. Die Matrix enthielt folgende Kriterien:

- ▶ Technologiereifegrad (laufendes Forschungsprojekt / in Anwendung)
- ▶ Produktionsweise (Ökolandbau / konventionelle Landwirtschaft)
- ▶ Kultur (Getreide / Hackfrüchte / Sonderkultur)
- ▶ Art der Innovation (mechanisch, physikalisch / chemisch / sonstiges)
- ▶ Innovationsgrad (niedrig / mittel / hoch)
- ▶ Investitionsbedarf (Preis) (niedrig / mittel / hoch)

- ▶ Breitenwirkung / Adaptionmöglichkeiten (niedrig / mittel / hoch)
- ▶ Verfügbarkeit / Zugang zu Informationen (leicht / mittel / schwer)
- ▶ Biodiversität (niedrig / mittel / hoch)
- ▶ Pestizidreduktion (niedrig / mittel / hoch)
- ▶ Regulatorik (niedrig / mittel / hoch)

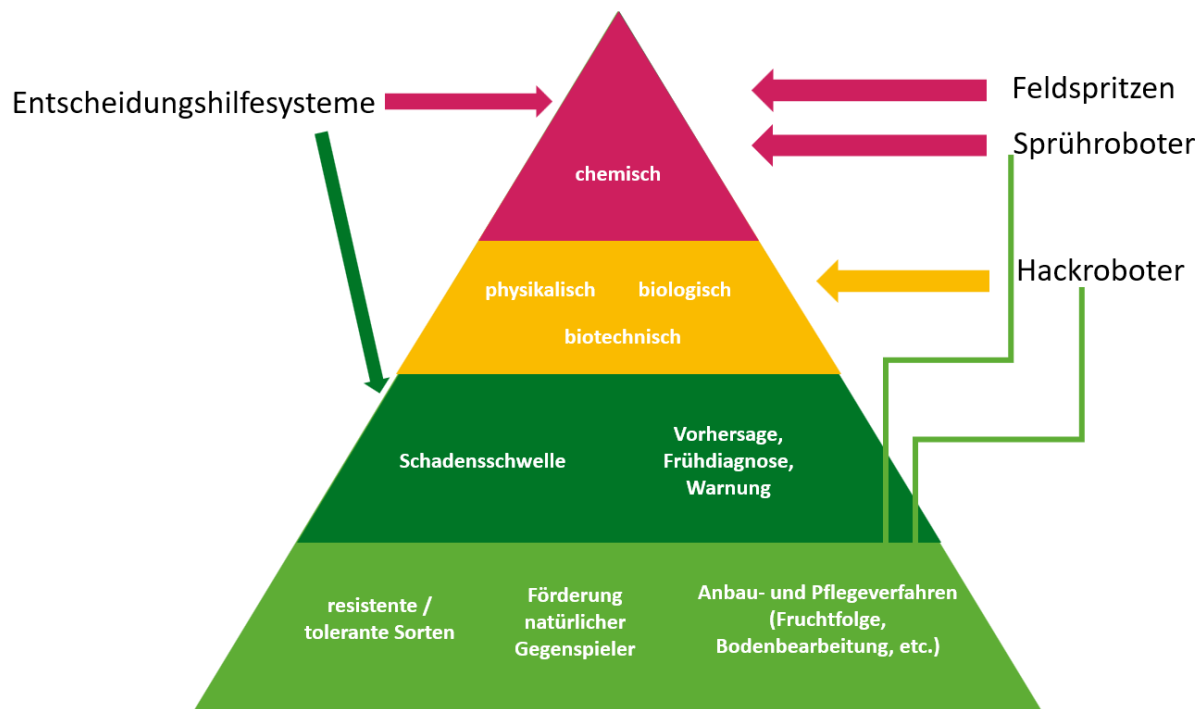
Anhand der Auswahlmatrix wurden vier Fallstudien und insgesamt 11 konkrete Technologien ausgewählt:

- ▶ automatisierte mechanische Bekämpfung (Hackroboter)
- ▶ automatisierte chemische Bekämpfung (Sprühroboter)
- ▶ verschiedene Feldspritzen (Bandspritze, SmartSprayer, Direkteinspeisung, Pulsweitenmodulation)
- ▶ komplexe Entscheidungshilfesysteme

Als Fallstudien ausgeschlossen wurden Unkrautschneider oder Unkrautsammler, Hacke und Striegel, der Einsatz von Nützlingen sowie Wildkräutern oder auch elektrophysikalische Bekämpfungsmethoden. Ebenso wurde der Bereich Biotechnologie, speziell die Technologie mRNAi (messenger RNA-Interferenz) nicht in einer Fallstudie betrachtet, weil hierzu aktuell noch zu viele Fragen offen sind und eine genaue Bewertung in der aktuellen Situation noch nicht sinnvoll erscheint.

Alle ausgewählten Fallbeispiele können grundsätzlich in bestehende Anbaustrategien integriert werden und entsprechen in den verschiedenen Bereichen dem Integrierten Pflanzenschutz bzw. den Leitlinien des Pflanzenschutzes (siehe Abbildung 1). Sie sind primär keine Lösungen, die im präventiven Pflanzenschutz ansetzen und dementsprechend dem kurativen Pflanzenschutz zuzuordnen: Die Hackroboter als physikalische, die Sprühroboter und verschiedenen Feldspritzen als chemische Methoden, die dem Prinzip „das notwendige Maß“ folgen. Entscheidungshilfen, wie sie hier betrachtet werden, setzen eher bei den chemischen Maßnahmen an. Aber sie können theoretisch, je nach Software und Inhalt, auch auf anderen Ebenen ansetzen (z.B. Entscheidungen nach Schadschwellenprinzip, unnötige Behandlungen vermeiden u. a.) und bei der Risikoanalyse und dem Monitoring Vorteile bringen. Zudem können Entscheidungshilfesysteme und auch Roboter helfen, kleinteiligere Anbausysteme zu fördern.

Abbildung 2: Einordnung der Fallbeispiele in die Maßnahmen des IPS



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

3.2 Entwicklung des Bewertungsindex

Um die Fallstudien bewerten und auch vergleichen zu können, wurde im Rahmen des Arbeitspaketes ein Bewertungssystem entwickelt und umgesetzt. Darin konnten sowohl das Potenzial zur Umweltentlastung als auch die Chancen einer breiten Umsetzung durch den Einsatz der in den Fallstudien beschriebenen Innovationen ermittelt werden.

Für die Berechnung der Kennzahlen und die Index-Bildung wurde ein Fragenkatalog für verschiedene Teilbereiche entwickelt und mit dem Auftraggeber abgestimmt. Die einzelnen Teilbereiche sind:

- ▶ Reifegrad der Technologie (5 Fragen)
- ▶ Umweltentlastung durch die Technologie (10 Fragen)
- ▶ Erreichen der politischen Ziele (9 Fragen)
- ▶ Chancen und Risiken für Landwirt*innen (17 Fragen)

Die Fragen zur Ermittlung des **Reifegrades** wurden am sogenannten „Balanced readiness level assessment (BLRa)“ von Vik J. u. a. (2021) angelehnt. Hier wurde zur Bewertung landwirtschaftlicher Entwicklungen in Norwegen ein Tool entwickelt, mit dem das Anwendungspotential von Innovationen bestimmt werden kann. Dabei werden die Entwicklungen bei der Technologie selbst, die Marktchancen, die regulatorischen und organisatorischen Anpassungen sowie die soziale Akzeptanz einer Innovation subsumiert. Die von den Autoren verwendete 9-stufige Skala wurde für die vorliegende Studie auf eine 5-stufige Skala reduziert, um eine Vergleichbarkeit mit den anderen Teilbereichen des Bewertungsindex zu erreichen:

1. Zu welchem Grad ist die Innovation technisch voll entwickelt und einsatzbereit?

2. Zu welchem Grad ist für die Innovation ein Geschäftsmodell am Markt etabliert?
3. Zu welchem Grad sind für die Innovation regulatorische oder gesetzgeberische Anforderungen erfüllt?
4. Zu welchem Grad ist der Einsatz der Innovation von einer breiten Mehrheit unter den Landwirt*innen akzeptiert?
5. Zu welchem Grad kann die Technologie in bestehende Arbeitsprozesse integriert werden?

Der Bereich der **Umweltentlastungen** umfasst Effekte auf verschiedene Aspekte, die bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln problematisch sind: Beispielsweise die Menge der ausgebrachten Pestizide, Effekte auf die Biodiversität durch die Reduktion von PSM auf die Veränderungen der Unkraut- bzw. Begleitflora sowie auf den Boden, die Luft oder das Grundwasser.

Für den Bereich der Umweltentlastung wird bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die tatsächliche Umweltwirkung – auch für die befragten Expert*innen in den Interviews – schwer zu beziffern und auch empirisch durch mangelnde wissenschaftliche Daten aktuell nicht exakt nachzuprüfen ist. „Es gibt nur eine begrenzte Anzahl von Einzeluntersuchungen, in der explizit die ökologischen Wirkungen der Anwendung digitaler Technologien in der Landwirtschaft beleuchtet werden. Reviews und Metaanalysen fehlen weitgehend, da die wissenschaftliche Datenbasis zu Umweltwirkungen bisher begrenzt ist.“ (Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), S. 100)

Exakt beziffert konnte die Umweltentlastung demnach nicht werden, da diese von den Gegebenheiten, dem Unkrautdruck bzw. dem Schädlings- oder Krankheitsbefall, dem Wetter und auch der Risikoaffinität bzw. -aversion der einzelnen Landwirt*innen abhängt, was z.B. Schadensschwellen betrifft. Gerade letzteres hat eine Auswirkung auf die Biodiversität, weshalb man bei der Einsparung von Pflanzenschutzmitteln zwischen der ökotoxikologischen Wirkung bzw. Entlastung auf der einen Seite, und den Veränderungen der Unkraut- bzw. Ackerbegleitflora auf der anderen Seite unterscheiden muss, welche eine deutlichere Auswirkung auf die Biodiversität hat (vgl. Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), S. 125). Dieser Unterscheidung sollte im Fragenkatalog Rechnung getragen werden:

1. Zu welchem Grad führt die Anwendung zu einer Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes?
2. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Bodenstruktur (z.B. keine Bodenverdichtung)?
3. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Verminderung von Pestizideinträgen in das Grundwasser?
4. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Luft (Abgase, Aerosole, Dämpfe, Geruchsstoffe, Pestizide)?
5. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) auf den Feldern?
6. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) am Feldrand?
7. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) in Gewässern?
8. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf CO₂-Emissionen beim Ackerbau?
9. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf Pflanzenschutzmittel-Rückstände auf Lebensmitteln?
10. Zu welchem Grad sind durch die Anwendung der Innovation Substitutionseffekte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, häufigere Überfahrten) zu erwarten?

Die Fragen zur **Erreichung der politischen Ziele** ergaben sich aus den im Green Deal und der Farm-to-Fork-Strategie sowie dem Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz und der Pflanzenschutz-Rahmenrichtlinie formulierten Ziele zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und der Herstellung nachhaltiger Lebensmittel. Wichtig ist hier das 50-Prozent-Reduktionsziel oder auch der Beitrag zur Erhöhung des Anteils des Ökolandbaus. Neben Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekten werden hier aber auch Aspekte der Ernährungssicherheit oder der Einkommensabsicherung von Landwirt*innen in den Blick genommen.

1. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion?
2. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung von Ernährungssicherheit?
3. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, bis 2030 den Einsatz und das Risiko chemischer Pestizide um 50 Prozent zu verringern und die Verwendung gefährlicherer Pestizide um 50 Prozent zu reduzieren?
4. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, einen weltweiten Übergang zu wettbewerbsgerechter Nachhaltigkeit, d.h. dass die nachhaltigsten Lebensmittel die erschwinglichsten sind, einzuläuten?
5. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, 25 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 2030 mit biologischer Landwirtschaft zu bewirtschaften?
6. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, den ökologischen und klimatischen Fußabdruck des EU-Lebensmittelsystems zu verringern?
7. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel zur Einkommensabsicherung von Landwirt*innen beizutragen?
8. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (gemäß der Europäischen Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung und des Pflanzenschutzgesetzes)?
9. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen)?

Die Fragen zum Bereich **Chancen und Risiken** ergaben sich in erster Linie aus den im Arbeitspaket 1 erfolgten Befragungen und der Literaturrecherche. Dabei wurden sowohl Aspekte betrachtet, die den Betrieb betreffen, als auch Aspekte, die Vor- bzw. Nachteile für mehrere Betriebe oder die Gesellschaft umfassen. Als wichtigster Punkt wird hier der ökonomische Aspekt (Erhöhung oder Verminderung des Einkommens fünf Jahre nach Anschaffung, Höhe der laufenden Kosten) für den Betrieb betrachtet, aber auch weitere Aspekte in den Blick genommen, wie z.B. die Komplexität der Anwendung, die Anwendersicherheit, die Abhängigkeit von Saisonarbeitskräften sowie Effekte auf den Strukturwandel:

1. Zu welchem Grad führt die Innovation bei Neuanschaffung zu einer Erhöhung des Betriebseinkommens innerhalb der nächsten fünf Jahre?
2. Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit gegenüber der Zulassung bzw. dem Wegfallen von Wirkstoffen im Pflanzenschutz?
3. Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit des landwirtschaftlichen Betriebs gegenüber Saisonarbeitskräften?
4. Zu welchem Grad trägt die Innovation zu einer Arbeitserleichterung bei (körperlich oder auch bürokratisch)?
5. Wie sehr befördert die Innovation die Herstellung von Lebensmitteln, die wenig Rückstände von Pflanzenschutzmitteln aufweisen?

6. Zu welchem Grad bietet die Innovation einen Anschub der Digitalisierung im ländlichen Raum?
7. Zu welchem Grad sorgt die Innovation für attraktivere Arbeitsplätze im Landbau?
8. Zu welchem Grad bietet die Innovation einen guten oder schlechten Anwenderschutz?
9. Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung weniger, aber größere Betriebe?
10. Wie komplex wird die Bedienung der Innovation eingestuft?
11. Wie hoch werden die laufenden Kosten (z.B. Reparatur, Betriebsmittel, Wartung) für die Innovation eingeschätzt?
12. Wie wird der Aspekt "Datenschutz" und "Datenhoheit" bei der Innovation eingeschätzt?
13. Wie werden mögliche rechtliche Probleme bei der Innovation eingeschätzt?
14. Wie wird sich durch die Innovation die Bearbeitungszeit der Fläche ändern?
15. Wie hoch wird die Funktionssicherheit der Innovation eingeschätzt?
16. Wie stark sind durch den Einsatz der Innovation Zielkonflikte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, Bodenverdichtung etc.) zu erwarten?
17. Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung Konzentration des Landwirtschaftsmarkts?

Die Fragen enthielten für die ersten drei Teilbereiche des Fragenkatalogs eine fünfstufige Antwortskala, die mit einem Wert von 0 bis 4 belegt wurden, während die Fragen zu Chancen und Risiken eine bipolare Skala von -2 bis +2 umfassten. Für die einzelnen Bereiche wurden dann jeweils die Punkt- bzw. Prozentwerte berechnet. (Fragenkatalog siehe Anhang)

Der Bewertungs-Index wurde ausschließlich für die Bewertung der Fallbeispiele innerhalb dieser Studie entwickelt und dient insbesondere dazu, die verschiedenen Technologien untereinander zu vergleichen und einschätzen zu können. Es können aber keine allgemeingültigen Aussagen mit dem Wert getroffen werden. Die Bewertung aller Fallbeispiele wurde gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze (Referenztechnologie) vorgenommen.

3.3 Beschreibung und Bewertung der Fallbeispiele

Im Folgenden werden die ausgewählten Fallstudien näher betrachtet. Zunächst erfolgte jeweils eine grundsätzliche Kurzbeschreibung der Technologie sowie damit verbundene Akteur*innen und Stakeholder*innen. In einem nächsten Schritt wurden konkrete Praxisbeispiele beschrieben, um eine bessere Vorstellung von ausgewählten Technologien in den Fallbeispielen zu bekommen. Zudem wird gezeigt, dass sich die konkreten Geräte in einzelnen Punkten unterscheiden und somit allgemeingültige Aussagen ggf. abweichen können. Die Auswahl der konkreten Praxisbeispiele orientierte sich an der Praxisreife der Geräte, der Anzahl an Praxisanwendungen und damit verbunden der Verfügbarkeit von Informationen zu diesen Geräten. An dieser Stelle soll explizit darauf hingewiesen werden, dass es auch weitere Praxisbeispiele anderer Herstellenden gibt. Die Studie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Nach der Beschreibung und der Vorstellung konkreter Geräte erfolgte die Einordnung und Bewertung anhand des oben beschriebenen Fragenkatalogs für den Bewertungs-Index. Der Bewertungs-Index wurde zunächst durch eine Einschätzung der Auftragnehmer anhand der gefundenen Literatur bzw. durch veröffentlichte Aussagen von Expert*innen gebildet und mit den Praxiserfahrungen der Berater*innen des LKP abgeglichen. Die Bewertung wurde in der Folge durch die Einschätzung von 15 Expert*innen aus der landwirtschaftlichen Praxis, aus der Forschung und den Herstellenden, die den Fragebogen oder speziell an sie gerichtete Fragen via Telefon oder E-Mail beantwortet haben, validiert. (Die detaillierte Auswertung des Bewertungs-Index im Fragebogen befindet sich jeweils im Anhang C).

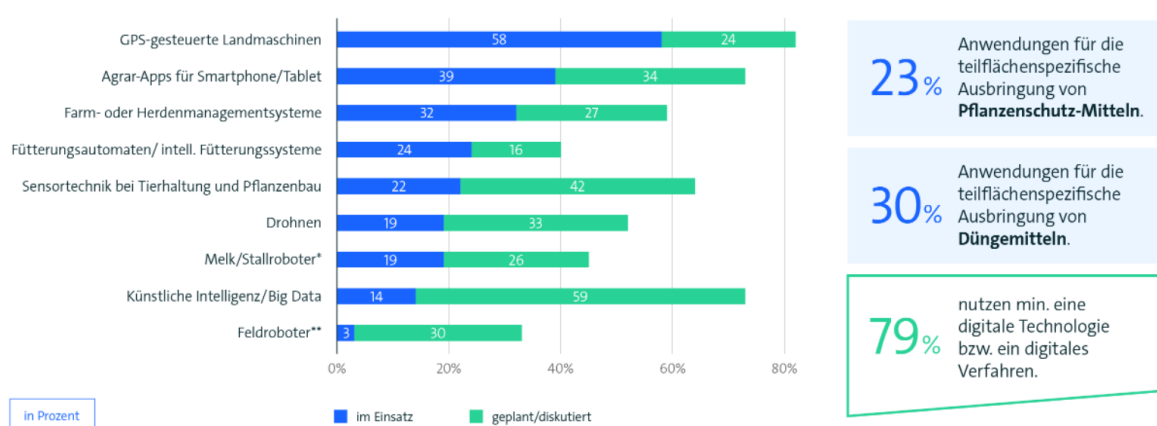
3.3.1 Roboter zur mechanischen Unkrautregulierung (Hackroboter)

Im Bereich der Hackroboter wurden in den vergangenen Jahren mehrere Produkte bis zur Marktreife entwickelt. Aktuell geben nur zwei-drei Prozent der Landwirt*innen an, Feldrobotik in der Praxis einzusetzen. Es ist aber davon auszugehen, dass sich die Feldrobotik in den kommenden Jahren immer mehr durchsetzen wird, da 30 Prozent angeben, dass der Einsatz geplant oder diskutiert wird (siehe Abbildung 2) (vgl.: Herchenbach, M. (2021) und Bitkom Research (2022), S. 5).

Abbildung 3: Anteil der verschiedenen Technologien im Einsatz oder in Planung

High-Tech im Stall, Drohnen über dem Acker

Welche Technologien oder Verfahren setzen Sie bereits ein bzw. planen/diskutieren Sie einzusetzen?



Basis: Alle befragten Landwirtinnen und Landwirte (n=500) | *nur Veredlung/Futterbau | **nur Ackerbau/Sonderkulturen | Quelle: Bitkom Research 2022

bitkom

Quelle: Bitkom Research (2022), S. 5

Auch wenn es naheliegend ist, soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass Hackroboter ausschließlich zur Bekämpfung von Un- bzw. Beikräutern eingesetzt werden können. Sie können also – und dies zu 100 Prozent – Herbizide einsparen, allerdings keine Fungizide oder indirekt nur sehr wenig Insektizide, wenn z.B. von Vektoren besuchte potentielle Zwischenwirte dadurch vernichtet werden (z.B. Kreuzblütler als Überträger des Kohlhernie-Erregers).

Grundsätzlich kann man zwei Arten von Robotersystemen unterscheiden: „Das erste ist die Georeferenzierung einzelner Nutzpflanzen, anhand bei der Aussaat gesammelter Positionsdaten. Das zweite Konzept beruht auf dem Einsatz von Kameras und Sensoren, welche Kulturpflanzen oder Reihen ohne Vorwissen mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz (KI) identifizieren können.“ (Roßmadl, A. (2022), S. 18)

Als konkrete Praxisbeispiele der Autonomisierung und Digitalisierung der mechanischen Unkrautregulierung bei Hackfrüchten werden im Folgenden der FarmDroid FD20 der Firma FarmDroid ApS, der Dino von Naïo Technologies sowie der Farming GT Hackroboter der Farming Revolution GmbH genauer betrachtet. Die ersten beiden Modelle setzen auf das Konzept der Georeferenzierung und das dritte Modell auf die Unterscheidung von Pflanzen mittels Kamera und Mustererkennungsalgorithmen (vgl. Roßmadl, A. (2022), S. 20-21).

3.3.1.1 FarmDroid FD20

Nach Herstellerangaben ist der FarmDroid FD20 ein solarzellenbetriebener Agrar-Roboter, der mit Hilfe von einem GPS-Signal die Position der Pflanze bei der Aussaat markiert und daraufhin die mechanische Unkrautbekämpfung sowohl zwischen als auch in den Reihen verrichtet. Die hohe Präzision bei der Aussaat ermöglicht ein Jäten ganz dicht an der Pflanze und der Bedarf für manuelle Unkrautbekämpfung wird dadurch reduziert oder ganz eliminiert. Die vier Solarzellen erzeugen Strom für ein Batteriepaket und sollen einen CO₂-neutralen Betrieb in bis zu 24 Stunden sichern. Landwirt*innen können somit ohne externes Aufladen der Batterien den FarmDroid FD20 die ganze Saison hindurch auf dem Feld arbeiten lassen. Dabei werden vier Batterien von vier Solarzellen aufgeladen, die bis zu 1,6 kWh, entsprechend 20 kWh täglich produzieren sollen. (vgl. FarmDroid ApS (Hg.) (2021))

Abbildung 4: FramDroid FD 20



Quelle: FarmDroid ApS (Hg.) (2021)

Der FarmDroid FD20 funktioniert vollautomatisch mit Hilfe der Hochpräzisions-Navigationstechnologie GPS und sorgt für die Aussaat und das darauffolgende Jäten. Bei diesem Hackroboter ist eine Überwachung nicht nötig. Reihenabstand, Pflanzenabstand, Saattiefe, Geschwindigkeit und Toleranz lassen sich so einstellen, dass sie zu den verschiedenen Ackerpflanzen, den verschiedenen Bodenverhältnissen und den individuellen Wünschen von Landwirt*innen passen. Der FarmDroid FD20 stoppt automatisch und sendet den Landwirt*innen eine Mitteilung, wenn Abweichungen von den Einstellungen auftreten. (vgl. FarmDroid ApS. (Hg.) (2022))

► Anwendungskulturen

Der FD20 wurde für die Handhabung verschiedener Ackerpflanzen entwickelt und kann für z.B. Zuckerrüben und Zwiebeln eingesetzt werden. Bis auf Weiteres wurden vom Unternehmen mit Zuckerrüben, Zwiebeln, Spinat, Grünkohl, Blumensamen und Raps Erfahrungen gesammelt und laufend werden weitere Kulturen hinzugefügt.

► Wirkung

„Eine Forschergruppe mit Beteiligung des Instituts für Zuckerrübenforschung (IfZ), des Saatgutunternehmens KWS und der Universität Göttingen hat drei Feldroboter verglichen, wie gut sie Unkraut in Zuckerrüben bekämpfen. Die Versuchsflächen des FarmDroid-Roboters hatten durch die mechanische Vorauflaufbekämpfung zum Zeitpunkt des Feldaufgangs bereits rund 40 Prozent weniger Unkräuter als die Kontrollflächen. Der weitere wöchentliche Einsatz bis zum Reihenschluss beseitigte neu auflaufende Unkräuter in einem frühen Wachstumsstadium. Um wie viel Prozent der FarmDroid das Unkraut bekämpft, wurde nicht mitgeteilt. Stehen Unkräuter direkt an einer Zuckerrübe, werden sie vom FarmDroid nicht ausreichend erfasst.“ (Göggerle, T. (2021))

Aktuelle Untersuchungen bei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zur Wirksamkeit, daran gekoppelte Ertragshöhen sowie dem Aufwand bei Zuckerrüben kamen zu dem Ergebnis, dass – verglichen mit einer traktorgebundenen Hacke (mit Kamera zur Reihenerkennung und Verschieberahmen) und zusätzlicher Handhacke – die Unkrautregulierung mit dem FramDroid FD20 schlechter abschneidet, allerdings sich die Ertragshöhen nicht signifikant unterscheiden. Bei ansonsten ähnlichem Verfahrensaufwand konnten durch den Roboter durchschnittlich 144 Arbeitsstunden für manuelles Hacken pro ha eingespart werden. (vgl. Kopfinger, S.; Vinzent, B. (2021), S. 175)

3.3.1.2 Naïo Technologies – Dino

Nach Herstellerangaben ist der Dino „ein vollautonomer landwirtschaftlicher Hackroboter, der per Satellitennavigation mit einer Genauigkeit von 2 cm hackt. Voraussetzung dafür ist, dass schon während der Pflanzung die Spurlinien exakt aufgezeichnet werden. Zusätzlich kann der Dino mit einer Kamera ausgestattet werden, die kleinere Abweichungen zur Reihe erkennt und mit einem Verschieberahmen korrigiert. Er verfügt über Spurbreiten von 1,60 Meter bis 2 Meter und schafft pro Tag etwa 5 Hektar. (...) Bei autonomen Maschinen spielt der Sicherheitsaspekt eine entscheidende Rolle. Deshalb ist der Dino mit verschiedenen Sicherheitssystemen ausgestattet: An den Ecken sind sogenannte Lidar-Sensoren angebracht, die mit Laserstrahlen das Umfeld des Roboters erfassen. Nähern sich Personen oder Hindernisse, kommt der Roboter zum Stillstand. Vor jedem Rad sind drucksensitive Taster angebaut, die bei einer Berührung den Roboter ebenfalls sofort stoppen lassen. Wenn kein GNSS-Signal empfangen wird, kommt der Roboter ebenfalls zum Stillstand und setzt seine Fahrt erst fort, wenn er ein zuverlässiges GNSS-Signal aufnimmt.“ (Süss, H. (2020))

Abbildung 5: Dino Hackroboter



Quelle: Naïo Technologies (Hg.) (o.D.)

„Der Dino kann mit einem Hackwerkzeug ausgestattet werden, das nicht nur zwischen den Reihen, sondern innerhalb der Reihe zwischen den einzelnen Pflanzen hackt. Er erkennt mittels einer Kamera den Abstand der Pflanzen in der Reihe und aktiviert ein Werkzeug, das sich in den Zwischenräumen der Pflanzreihe hin- und her bewegt.“ (BayWa AG (Hg.) (o. D.))

„Während der Saatreihenaufzeichnung kann der Gemüsebauer sein Smartphone mit der App Naïo Maps als Display nutzen. Die App stellt per WLAN eine Verbindung zum Empfänger her und sendet die aufgezeichneten Daten für die Routenplanung und für eine Datensicherung in die Cloud von Naïo. Die App zeigt auch die Qualität des GNSS-Empfangs sowie den Ladezustand der Akkus an.“ (Böhrnsen, A. (2021))

Laut Expertenaussage wird der Dino in Zukunft nicht mehr hergestellt, sondern es wird einen kleineren Nachfolger des „Orio“⁶, der 2022 erschienen ist, geben. Offizielle Angaben dazu gibt es allerdings noch nicht. Gründe dafür sind vor allem technische, weil u. a. der Platz beim Dino teilweise für die Hackgeräte zu klein war.

► Anwendungskulturen

Der Dino kann bei Sonderkulturen wie Salat, Zwiebeln, Karotten, Pastinake, Kohl, Lauch, Blumenkohl, verschiedenen Kräutern (Knoblauch, Koriander, Minze etc.) sowie bei verschiedenen Hackfrüchten eingesetzt werden. (Naïo Technologies (Hg.) (o.D.))

► Wirkung

Laut telefonischer Auskunft eines deutschen Vertriebspartners laufen hierzu aktuell Studien und es sind noch keine Daten veröffentlicht (persönliche Mitteilung, 20.6.2022).

⁶ <https://www.Naïo-technologies.com/actualite/un-nouvel-enjambeur-debarque-chez-Naïo-technologies-orio/>

3.3.1.3 Farming Revolution – Farming GT Hackroboter

Nach Herstellerangaben arbeitet der Farming GT mit einem rotierenden Fräskopf und kann bei einer Spurbreite von 1,35 bis 2,25 Meter einfach auf verschiedene Kulturen eingestellt werden. Er bietet einen Allrandantrieb und bei einem Seitenhang einen Hundegang, wodurch der Hackroboter 20 Prozent Hanglage bearbeiten kann. Sein geringes Gewicht ist sowohl für die Böden gut als auch für die Leistung: Er funktioniert voll-elektrisch bei einem Verbrauch von 1,5 kW und hat somit einen geringen CO₂-Ausstoß und keine Ölhydraulik. Er erkennt 'Grün in Grün' schon im Keimblattstadium, d.h. er kann Unkräuter von Kulturpflanzen bei einer Pflanzengröße ab 1 cm unterscheiden. Dies erreicht er durch eine sehr große Pflanzenbilddatenbank und soll zu 99 Prozent zuverlässig sein. Bei Unkräutern nahe der Kulturpflanze soll der Farming GT mit einer Genauigkeit von 5 mm arbeiten. Zudem arbeitet er zwischen und in der Reihe auch auf verkrusteten und sandigen Böden. Er arbeitet voll-autonom (30h Autonomie durch Range-Extender) und kann via Internet fernüberwacht werden. (vgl. Farming Revolution GmbH (Hg.) (o.D.))

Eine Besonderheit des Unternehmenskonzeptes ist es, dass der Roboter als Leihmodell angeboten wird, um so eine stetige Weiterentwicklung zu gewährleisten und den Kund*innen jeweils das neuste Modell anbieten zu können. (vgl. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) (Hg.) (2021))

Abbildung 6: Farming GT Hackroboter



Quelle: Farming Revolution GmbH (Hg.) (o.D.)

► Anwendungskulturen

Der Farming GT kann über 80 Pflanzentypen erkennen und somit in vielen Kulturen eingesetzt werden – z.B. Kohl, Salatsorten, Zwiebeln, Mais, Zuckerrübe, Kürbis, Ackerbohne, Kartoffel, Raps, Soja, Weizen.

► Wirkung

Die beim Farmdroid erwähnte Untersuchung von drei Feldrobotern durch eine Forschergruppe mit Beteiligung des Instituts für Zuckerrübenforschung (IfZ), des Saatgutunternehmens KWS und der Universität Göttingen hat ergeben, dass der Farming Revolution Unkräuter in der Reihe bis zu einem Drittel pro Durchgang reduzierte. Standen Unkräuter direkt an einer Zuckerrübe, wurden sie vom Farming-Revolution-Roboter nicht ausreichend erfasst. (vgl.: Göggerle, T. (2021)) Über Auswirkungen auf die Ertragshöhe wurde in dieser Studie nicht berichtet.

3.3.2 Akteur*innen, Stakeholder*innen und Zielgruppe

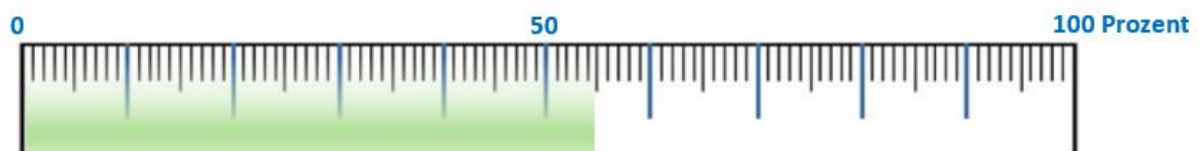
Hackroboter sind nur für Reihenkulturen bzw. Hackfrüchte geeignet, weshalb sich die Zielgruppe auf Ackerbaubetriebe mit Schwerpunkt von Hackfrüchten einschränkt. Eine weitere Einschränkung sind Hanglagen und Mulchsaat, hier eignen sich Hackroboter nicht. Eine weitere wichtige Zielgruppe ist der Gemüse- und Sonderkulturanbau. Dabei sind allerdings nicht nur konventionelle Betriebe im Fokus, sondern insbesondere auch der Ökolandbau. Durch Roboter kann aufwändige Handarbeit zum Teil deutlich reduziert und somit ggf. Produktionskosten gesenkt werden. Dadurch wird der Einsatz insbesondere auch bei kleineren Betrieben mit weniger Arbeitskräften sinnvoll.

3.3.3 Bewertungs-Index

Der Bewertungs-Index wurde nicht für ein bestimmtes, oben beschriebenes Modell, sondern allgemein für Hackroboter erstellt, auch wenn es Unterschiede zwischen den Systemen gibt. Beispielsweise werden beim FarmDroid FD20 und beim Dino bei der Aussaat die Position der Ablage hochgenau georeferenziert und die Maschinen hacken dann nicht, wo die referenzierte Pflanze wächst. Der Roboter von Farming Revolution arbeitet hingegen mit einem Erkennungssystem. „Grundlage dafür ist ein trainiertes Modell basierend auf maschinellen Lernmethoden. Diese Modelle sind vorab mit sehr großen Beispieldatensätzen trainiert, die eine Unterscheidung zwischen Unkraut und Nutzpflanze ermöglichen.“ (Paulus, S.; Streit, S. (2022)) Durch diesen Unterschied können sich auch Unterschiede in der Bewertung ergeben. Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien genauer beschrieben und argumentiert, wie die einzelnen Punkte bewertet wurden bzw. ggf. auch unterschiedlich bewertet werden könnten. Die verwendeten Referenzquellen und genauen Punktwerte bei der Bewertung wurden für eine bessere Lesbarkeit in den Tabellen im Anhang C dokumentiert.

► Reifegrad

Abbildung 7: Bewertungs-Index Reifegrad Hackroboter in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Beim Reifegrad, der die Technikreife und die Marktreife umfasst sowie Aspekte der Regulatorik, Organisation und sozialen Akzeptanz, wurde ein Wert von 55 Prozent gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze errechnet. Es stehen marktreife Geräte zur Verfügung. Allerdings werden von Anwendern Probleme berichtet bezüglich verschiedener Böden oder Hangneigungen. „Marktreife georeferenzierte Systeme wie der Naïo Dino können aktuell nur begrenzt innerhalb der Reihen hacken und Systeme mit sensorgestützter Pflanzenerkennung befinden sich noch überwiegend in der Entwicklungsphase.“ (Roßmadl, A. (2022), S. 81) Die Produktionsumstellung beim Dino oder auch das Mietsystem bei Farming Revolution mit der Begründung, dass stets das aktuelle Modell benutzt werden kann, zeigen beispielhaft, dass es sich um eine dynamische Entwicklung bei Hackrobotern handelt.

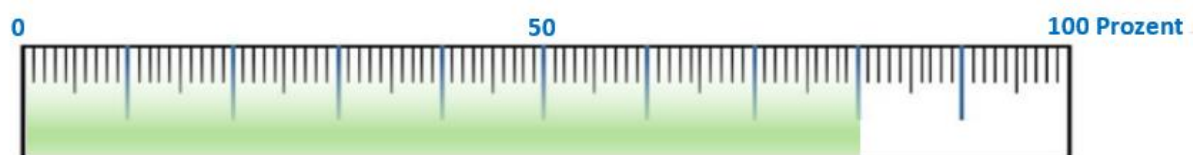
Es fehlt noch an rechtlichen Rahmenbedingungen für autonome Fahrzeuge. Bisher ist es den Hackrobotern rechtlich nicht gestattet, sich vollautonom ohne menschliche Überwachung auf dem Acker zu bewegen. Der FarmDroid beruft sich auf die Norm „ISO 3691-4 standard Industrial Trucks – Safety Requirements and Verification – Part 4: Driverless Industrial Trucks and their Systems“, und somit den Hackroboter als fahrerloses Transportsystem klassifiziert, so dass er keine direkte Überwachung braucht, während sich andere Geräte auf die ISO 18497 beziehen, die eine Überwachung erfordern. Aktuell müssen also die Herstellenden im Rahmen einer Risikobewertung über die Systemauslegung entscheiden, wodurch ein rechtlicher Graubereich entstehen kann (vgl. Lowenberg-DeBoer, J.; Behrendt, K.; Canavari, M.; Ehlers, M.-H.; Gabriel, A.; Huang, I. u. a. (2021), S. 713-716).

Unter den befragten Expert*innen gab es bei einigen Punkten vermutlich aus diesem Grund Meinungsunterschiede: Bei den regulatorischen Anpassungen reicht die Bewertung von der höchsten „regelmäßiger Gebrauch und Produktion erfüllen generelle Anforderungen“ bis zur niedrigsten „gesetzgeberische Veränderungen sind nötig, aber noch nicht gemacht“. Hier wurde vermutlich das Problem der rechtlichen Unsicherheit von autonomen Fahrzeugen unterschiedlich bewertet. Auch bei der Akzeptanz gab es verschiedene Meinungen: Die einen Befragten sehen die Hackroboter von einer großen Gruppe akzeptiert, andere nur von wenigen. Dies lässt sich ggf. auf einen Unterschied zwischen dem tatsächlichen Gebrauch, der aktuell nur bei 2-3 Prozent liegt, und einer grundsätzlichen Akzeptanz von Robotik herleiten. Ein geplanter Einsatz bei der Feldrobotik liegt laut einer aktuellen Umfrage von Bitkom e.V. bei 30 Prozent (Rohleder, B.; Meinel, T. (2022), S. 5), weshalb davon auszugehen ist, dass eine grundsätzliche Akzeptanz noch höher liegt.

Bei dem Punkt der Integration in bestehende Arbeitsprozesse, schwankt die Einschätzung zwischen „kann reibungslos mit bestehenden Technologien kombiniert werden“ und „große Anpassungen sind notwendig“. Diese unterschiedliche Einschätzung hängt davon ab, von welcher Struktur auf einem durchschnittlichen Betrieb ausgegangen wird. Hier wurde zum Teil angenommen, dass insbesondere bei der Umstellungsphase größere Anpassungen vorgenommen und auch Einarbeitungsphasen eingeplant werden müssen.

► Umweltentlastung

Abbildung 8: Bewertungs-Index Umweltentlastung Hackroboter in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Bei der Umweltentlastung ergibt sich für die Hackroboter ein Unterschied zum konventionellen Betrieb, der aktuell von einer herkömmlichen Flächenspritze umsteigt und einem Ökobetrieb, bei dem der Pflanzenschutz auch zuvor schon durch Hackmethoden betrieben wurde. Hier kommt es bezüglich der betrachteten Faktoren zu keiner zusätzlichen Umweltentlastung, weil lediglich die händische Arbeit durch einen Roboter ersetzt wird. Bei einem konventionellen Betrieb hingegen liegt die Umweltentlastung bei den im Bewertungs-Index betrachteten Punkten insgesamt bei 80 Prozent.

Die Umweltentlastung ist besonders hoch, wenn ein Betrieb von einer chemischen Behandlung auf das Hacken mit Hackroboter umsteigt, weil damit theoretisch bis zu 100 Prozent an Herbiziden eingespart werden können.

Dies wirkt sich auch geringfügig positiv auf Herbizid-Rückstände auf Lebensmittel aus, weil insgesamt weniger Herbizide in die Umwelt ausgebracht werden und davon auszugehen ist, dass eine Aufnahme von Herbiziden über den Boden, also über die Wurzel in die Pflanze erfolgt und weniger über eine Blattaufnahme. Bei den regelmäßigen Rückstandsmonitorings an Obst, Gemüse, Getreide und Kartoffeln des LKP zeigt sich allerdings, dass in der jüngeren Vergangenheit nur in sehr seltenen Fällen Pflanzenschutzmittel in relevanten Mengen nachgewiesen wurden und es sich dann auch um Insektizide oder Fungizide handelte und nicht um Herbizide, die mit dem Hackroboter eingespart werden können. Diese Tatsache wird zum einen darauf zurückgeführt, dass Insektizide und Fungizide später ausgebracht werden als Herbizide und somit im Erntegut eher nachweisbar sind. Zum anderen stellte sich auch bei den Grenzwertüberschreitungen oftmals heraus, dass es sich um ein Problem einzelner Früchte handelte und nicht die gesamte Ernte betroffen war. Diese Information wird auch durch den Deutschen Pflanzenschutzindex (PIX) 2020 bestätigt, bei dem der Zielerreichungsgrad der „Quote der Überschreitung der Rückstandshöchstgehalte“ bei 82 Prozent liegt (vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (o.D.)).

In Bezug auf die Effekte auf die Bodenstruktur können verschiedene Aspekte betrachtet werden, die in der Bewertung dieser Frage einander gegenübergestellt und unterschiedlich bewertet werden können: Bodenverdichtung, Bodenerosion und bessere Nährstoffverfügbarkeit. Von den Herstellenden der Hackroboter wird häufig betont, dass die Roboter durch ihr geringes Gewicht nicht zu einer Bodenverdichtung beitragen. Diesem Aspekt wird in dieser Bewertung aber nur ein geringer Effekt zugewiesen, weil das Problem der Bodenverdichtung bei einer Feldspritze – insbesondere mit einer großen Arbeitsbreite – nicht als gravierend eingestuft wird. Gegenüber einer traktorgebundenen Hacke könnte diese Bewertung anders ausfallen. Demgegenüber wird das Problem der Bodenerosion durch das Hacken genannt, was aber nur in Hanglagen ein größeres Problem darstellt. Als positiver Effekt durch das Hacken wird demgegenüber eine bessere Nährstoffverfügbarkeit gesehen, weshalb die Effekte auf den Boden insgesamt als positiv eingeschätzt werden – vorausgesetzt es handelt sich um eine weitestgehend ebene Fläche und es wird kein Mulchsaatverfahren angewendet.

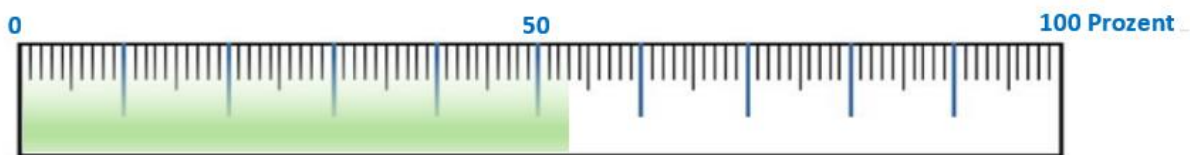
Die Umweltentlastungen auf das Grundwasser, die Luft und in Bezug auf die Biodiversität werden grundsätzlich als groß bis sehr groß gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze eingestuft, weil eine Verringerung des Herbizideinsatzes bis zu 100 Prozent möglich ist und die vorgestellten Hackroboter elektrisch betrieben werden. Zudem macht die Robotik eine kleinteiligere Anbaustruktur rentabler, was sich positiv auf die Biodiversität auswirken kann. Eingeschränkt werden positive Auswirkungen auf die Biodiversität dann, wenn eine Nulltoleranzstrategie verfolgt wird. Auch ist beispielsweise die Aufzucht für Bodenbrüter schwierig, wenn die Hackroboter mehrmals wöchentlich das Feld bearbeiten.

Eine wichtige Einschätzung ist die unterschiedliche Bewertung der Wirkung auf die Biodiversität auf dem Feld im Vergleich zum Feldrand und Gewässern. Die Wirkung wird im konventionellen Landbau auf dem Feld höher eingeschätzt als auf den anderen beiden Bereichen, da auch beim Einsatz von Hackrobotern eine Behandlung mit Herbiziden am Feldrand erfolgen kann. Ein Kompletterverzicht auf Herbizide im konventionellen Bereich muss nach Expertenmeinung vermutlich über mehrere Jahre anbautechnisch aufgebaut werden und wird auch nicht jedes Jahr erreicht werden.

In Bezug auf Substitutionseffekte beispielsweise durch einen erhöhten Energieverbrauch durch häufigere Überfahrten der Roboter gegenüber Diesel betriebenen Traktoren konnten keine Daten gefunden werden. Diese würden allerdings durch Einsparungen in der Herstellung und der Logistik der Pflanzenschutzmittel vermutlich zu einem gewissen Grad aufgewogen.

► Erreichung politischer Ziele

Abbildung 9: Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Hackroboter in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Bei der Erreichung der politischen Ziele, wie sie im Green Deal und der Farm-to-Fork-Strategie sowie dem Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz und der Pflanzenschutz-Rahmenrichtlinie zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln festgelegt sind, erreicht der Hackroboter einen Wert von 53 Prozent, sowohl bei konventionellen als auch bei Ökobetrieben. Hackroboter können zur Erreichung der politischen Ziele beitragen, insbesondere wenn diese solarelektrisch- oder elektrisch betrieben sind.

Durch die Möglichkeit, Herbizide fast vollständig einzusparen, können Hackroboter einen großen Beitrag zum 50-Prozent-Reduktionsziel von PSM sowie zur Herstellung nachhaltigerer Lebensmittel leisten. Insbesondere im Ökolandbau können Hackroboter auch dazu beitragen, dass die nachhaltigeren Lebensmittel auch günstiger werden, z.B. durch die Einsparung von Lohnkosten beim manuellen Hacken. Durch die wirtschaftlichen Vorteile, die bei Ökolandwirt*innen durch die Hackroboter entstehen, können diese auch einen Beitrag zu dem Ziel leisten, dass mehr Fläche ökologisch bewirtschaftet wird.

Durch einen potenziellen Beitrag zu diesen Zielen sowie durch Einsparungen von CO₂-Emissionen durch den Elektroantrieb wird insgesamt der klimatische und ökologische Fußabdruck des EU-Lebensmittelsystems verringert – vorausgesetzt der Strom kommt aus Erneuerbaren Energien.

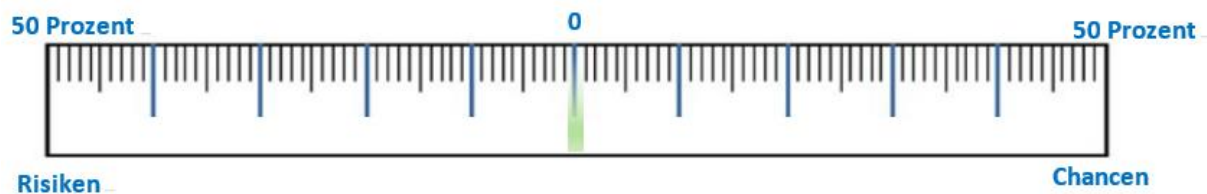
In Bezug auf eine höhere Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (gemäß der Europäischen Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung und des Pflanzenschutzgesetzes) ist die Frage, wie dieser Aspekt definiert wird. Hier wird davon ausgegangen, dass eine höhere Transparenz in sehr hohem Maße erreicht wird, weil auf Betriebsebene genau nachgewiesen werden kann (ggf. auch georeferenziert durch die Aufzeichnungen des Hackroboters), wie viele Herbizid-Anwendungen durch den Hackroboter eingespart werden konnten.

Der Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen) wird als moderat eingestuft, weil zwar auf chemischen Pflanzenschutz so weit wie möglich verzichtet werden kann, aber die im Vorfeld durchgeführten Maßnahmen davon nicht beeinflusst werden. Dies ist nur der Fall, wenn aufgrund des Einsatzes von Hackrobotern auch eine kleinteiligere Anbaustruktur gewählt wird, die ein höheres Maß an Biodiversität ermöglicht.

► Chancen-Risiken-Verhältnis

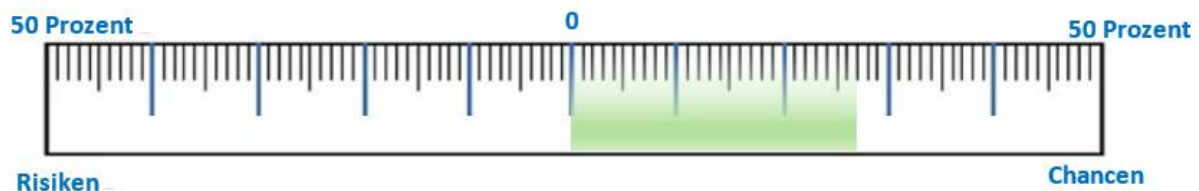
Bei den Chancen und Risiken wurden jeweils zwei Pole eines möglichen Einflussfaktors einander gegenübergestellt. Wenn der Indikator sich stark nachteilig auswirkt, wurde er mit -2 bewertet. Wenn er sich stark positiv auswirkte mit +2. Somit ergab sich bei 17 Fragen eine Skala von -34 bis +34. Die erreichte Punktzahl wurde dann in Abbildungen 9 und 10 in einem Prozentwert angegeben.

Abbildung 10: Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Hackroboter gegenüber Feldspritze in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 11: Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Hackroboter gegenüber manuellem Hacken in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Für den konventionellen Betrieb ergibt sich ein Gesamtwert von 0 und beim Ökobetrieb ergibt sich ein Gesamtwert von +9 (27 Prozent „Chancen“). Für den Ökobetrieb ist der Einsatz von Hackrobotern in Bezug auf die betrachteten Aspekte insgesamt vorteilhafter. Beim Einsatz gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze wiegen sich die Chancen und Risiken beim Einsatz eines Hackroboters in dieser Betrachtung gegenseitig auf.

Bezüglich der Erhöhung bzw. Minderung der Betriebseinnahmen innerhalb von fünf Jahren nach der Neuanschaffung konnten keine genauen Daten für einen Betrieb mit herkömmlicher Feldspritze gefunden werden. Es ist davon auszugehen, dass sich auf einem konventionellen Betrieb die Betriebseinnahmen aufgrund der geringeren Flächenleistung und Wirksamkeit zunächst eher vermindern als erhöhen werden. Bei Ökobetrieben hingegen rechnet sich die Anschaffung eines Hackroboters je nach Betriebsgröße und Gerät sogar bereits ab dem ersten

Jahr, insbesondere wenn zusätzlich staatliche Förderungen⁷ bei der Anschaffung in Anspruch genommen werden können.

Die Unabhängigkeit gegenüber Pflanzenschutzmitteln und somit geringeren Rückständen von PSM auf Lebensmitteln wirkt sich positiv gegenüber der Verwendung einer Feldspritze aus, wobei diese bei Herbiziden (nicht aber bei Pestiziden und Insektiziden) bei bis zu 100 Prozent liegen kann. Diese Wirkung kann den Ökobetrieben nicht zugeschrieben werden, allerdings werden diese in hohem Maße unabhängiger gegenüber der abnehmenden Verfügbarkeit von Saisonarbeitskräften. Gleichzeitig sorgen die Roboter zu einer Arbeitserleichterung, weil sie die schwere manuelle Arbeit ersetzen können.

Ein Anschub der Digitalisierung im ländlichen Raum durch Hackroboter wird nicht gesehen. Hingegen ist anzunehmen, dass sich in Gegenden mit schlechter Netzabdeckung digitale Technologien nicht durchsetzen können. Dies wird bei der Bewertung für alle Fallbeispiele angenommen und wird somit bei allen mit 0 bewertet.

Da die Handhacke zum großen Teil ersetzt wird, aber die Qualifikationsanforderungen an die Betriebsleiter*innen und die Arbeitnehmer*innen auf den landwirtschaftlichen Betrieben steigen, ist davon auszugehen, dass gerade auf Ökobetrieben Arbeitsplätze insgesamt attraktiver werden.

Gegenüber einer Feldspritze steigt der Anwenderschutz, weil weniger mit toxischen Substanzen gearbeitet werden muss. Gegenüber manueller Arbeit haben die körperlichen Entlastungen einen positiven Effekt auf den Anwenderschutz. Auch scheint die Verletzungsgefahr bei kleineren Maschinen geringer als bei großen.

Da durch Hackroboter die Bewirtschaftung kleinerer Flächen rentabler ist (im Vergleich zu großen Flächenspritzen), könnten diese einen Beitrag dazu leisten, dass der aktuelle Strukturwandel hin zu immer größeren Betrieben verlangsamt wird.

Insbesondere zu Beginn ist die Bedienung eines Hackroboters komplexer als die einer Feldspritze oder einer traktorgebundenen Hacke. Diese Komplexität spiegelt sich durch einen nicht zu unterschätzenden zeitlichen Mehraufwand (durch das Einmessen, die Fehlerbehebung und das Umsetzen) für Betriebsleiter*innen negativ aus. Allerdings ist davon auszugehen, dass die komplexe Bedienung mit einer zunehmenden technischen Reife der Geräte und auch durch Routinen nach häufigerem Gebrauch beim Anwender oder der Anwenderin weniger Zeit in Anspruch nehmen werden. Beim Umsetzen der Roboter der beispielsweise mittels PKW-Anhänger erfolgen muss, weil die Geräte nicht autonom auf Straßen fahren dürfen, wird allerdings absehbar keine Entlastung erwartet, weshalb die Bedienung insgesamt aufwendiger gegenüber einer Feldspritze ist.

Die Bearbeitungszeiten sind durch die geringere Flächenleistung wegen der langsamen Fahrgeschwindigkeit im Vergleich zur Feldspritze deutlich geringer. Die geringere Flächenleistung kann durch den längeren Einsatz an Stunden beispielsweise auch während der Nacht von Hackrobotern grundsätzlich kompensiert werden, wobei hier bedacht werden muss, dass die Bedienperson dann entsprechend der Laufzeit des Roboters ebenso präsent sein muss, um den Roboter zu betreuen, wenn er beispielsweise eine Fehlermeldung schickt oder von einem Schlag auf den anderen umgesetzt werden muss (vgl. Gansberger, M. (2022)). Die

⁷ z.B. <https://www.bayern.de/neue-foerderung-fuer-digitale-hacktechnik-und-feldroboter/>

laufenden Kosten werden bei einer Feldspritze in etwa gleich zum Hackroboter und auf Ökobetrieben im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung als geringer eingestuft.

Probleme beim Datenschutz und der Datenhoheit werden nicht gesehen, sofern die Daten nur auf dem Bordcomputer, aber nicht auf externen Servern gespeichert werden. Hinsichtlich der rechtlichen Probleme werden Hackroboter als nachteilig eingestuft, weil noch viele Aspekte bezüglich Versicherung, Sicherheit oder Diebstahl geklärt werden müssen.

In Bezug auf die Funktionssicherheit werden Probleme, wie z.B. Ausfälle bei Hanglagen, und somit Verbesserungsbedarf, berichtet.

Beim Einsatz von Hackrobotern gegenüber einer Feldspritze ergibt sich als Zielkonflikt einzig der Aspekt der Bodenerosion, der durch die geringere Verdichtung und bessere Mineralisation in der Bewertung kompensiert wird. Auf Ökobetrieben ergeben sich keine Zielkonflikte durch den Einsatz mit Hackrobotern.

Aktuell sind es eher Start-ups, die sich bei der Entwicklung von Hackrobotern durchsetzen, weshalb Hackroboter einer Monopolisierung auf dem Landtechnikmarkt entgegenwirken können.

3.3.4 Schlussfolgerungen

Aktuell besetzen Feldroboter noch eine Nische in der deutschen Landwirtschaft und werden nur von 3 Prozent der Landwirt*innen, die eher technikaffine Pionierinnen und Pioniere sind, benutzt. Allerdings wird die Anschaffung von Feldrobotern von rund 30 Prozent der Praxisbetriebe geplant oder zumindest diskutiert (vgl.: Rohleder, B.; Meinel, T. (2022), S. 5). Somit zeigt sich ein grundsätzliches Potential für den Einsatz.

Da im Rahmen des Integrierten Pflanzenschutzes mechanische Maßnahmen dem Einsatz chemischer Mittel vorzuziehen sind, ist eine Förderung dieser Anwendung sinnvoll. Der ökologische Nutzen ist besonders hoch, wenn ein Betrieb, der aktuell eine konventionelle Feldspritze einsetzt, auf Hackrobotik umsteigt. Allerdings sind hier die Investitions- und Umstellungskosten besonders hoch. Wenn Hackroboter im konventionellen Landbau eingesetzt werden, muss berücksichtigt werden, dass trotzdem PSM eingesetzt werden können, beispielsweise Herbizide am Feldrand oder vor Auflauf der Kulturen, was ggf. durch einen geringeren Befallsdruck die Wirksamkeit der Hackroboter erhöhen könnte. Zudem werden gerade im Bereich der Hackfrüchte und im Gartenbau häufig Insektizide oder Fungizide eingesetzt. Eine Reduktion von Herbiziden wird aber in jedem Fall erreicht werden.

Der Einsatz von Hackrobotern im Ökolandbau wiederum stellt sich rentabler dar. Weshalb die zusätzliche Förderung für Hackroboter beim Umstieg eines konventionellen Betriebs auf Ökolandbau sowohl ökonomische, als auch ökologische Vorteile bieten könnte und ein Anreiz für einen solchen Umstieg sein könnte.

Weiterhin haben Hackroboter das Potential Ackerflächen kleinteiliger und gleichzeitig rentabler zu bewirtschaften, was die Biodiversität erhöhen könnte. Allerdings wird zu diesem Aspekt auch die Sorge geäußert, dass aktuell brachliegende Flächen, die unrentabel für eine Landwirtschaft, aber gut für die Biodiversität sind, dann auch bewirtschaftet werden könnten (vgl.: Kliem, L. u.a (2022), S. 52). Um diesen Rebound-Effekt zu verhindern, könnte das Konzept des „Spot Farming“, welches ein neues Pflanzenbausystem beschreibt, bei dem die Einzelpflanze im Mittelpunkt steht, umgesetzt werden. In dem Konzept wird die Produktionsfläche nach ihren teilflächenspezifischen Eigenschaften bewertet und dann festgelegt, welcher Teil („Spot“) am besten für welche Kulturpflanze geeignet ist. „Auf Spots mit hoher Produktivität bzw. guter Bodenstruktur kann dann z. B. eine Zuckerrübe-Winterweizen-Mais-Winterweizen Fruchtfolge,

auf Spots mit geringerer Produktivität eine andere standortspezifische Fruchtfolge (z. B. Raps-Roggen-Mais-Roggen) realisiert werden. Spots mit sehr geringer Produktivität könnten bewusst als Refugien oder Pufferzonen z. B. mit Blühpflanzen oder auch, wo geografisch sinnvoll, zum Schutz vor Erosion, gezielt mit Landschaftselementen bestellt werden.“ (Wegener, J. K.; Hörsten, D. von; Urso, L.-M. (2018), S. 21-22)

Da die Feldrobotik immer noch in der Weiterentwicklung ist und noch nicht alle rechtlichen und auch Anwendungsprobleme gelöst sind, bietet momentan ein Mietsystem eine gute Alternative gegenüber einer eigenen Anschaffung. Eine überbetriebliche Nutzung ergibt bei Hackrobotern durch den regelmäßigen und häufigen Einsatz weniger Sinn. Da die Anwendung tendenziell komplex ist und auch die Einführung auf dem Betrieb aufwändig ist, sind Beratungen und Schulungen sinnvoll.

3.4 Feldspritzen

In der Beschreibung des Parcours zu „Pflanzenschutzspritzen im Praxisvergleich“ zu den DLG-Feldtagen am 14. und 16. Juni 2022 wird beschrieben, dass zwar der mechanischen Unkrautkontrolle wieder mehr Bedeutung zukommt, weiterhin bleibt aber die Feldspritze eine der wichtigsten und zentralen Maßnahmen für den erfolgreichen Pflanzenbau. Folgende Beschreibung umreißt die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Feldspritzen:

„Schließlich dienen Pflanzenschutzmittel auch dazu, Kulturpflanzen gesund und Schädlinge fernzuhalten. Andererseits werden Pflanzenschutzspritzen auf vielen Betrieben zur Düngemittelapplikation und neuerdings auch zur Ausbringung von Biostimulanzen benutzt – und selbst das ein oder andere Pflanzenstärkungsmittel wird via Feldspritze ausgebracht. (...) Immer wichtiger wird es, ein Spritzgestänge einzusetzen, das möglichst stabil und ohne viel Zutun des Fahrers ruhig und schwingungsarm seine Arbeit verrichtet. Schließlich soll vor allem die Gestängeschwingung in horizontaler Richtung (also in, bzw. gegen die Fahrtrichtung) vermieden werden, denn sie wirkt sich auf die Genauigkeit der Verteilung besonders stark aus. Damit kommt aktuell der Weiterentwicklung der Fahrwerke und Lenksysteme sowie insbesondere auch der Gestängetechnik eine zentrale Rolle zu, wenn es nämlich außerdem gilt, reduzierte Aufwandmengen punktgenau und sicher zu applizieren und dabei die Abtrift so gering wie möglich zu halten. Aus den genannten Gründen gewinnen Düsenbeleuchtung und automatische Düsenüberwachung ebenso schnell weiter an Bedeutung, wie Systeme zur automatisierten Lenkung, Gestängeführung und Teilbreiten- bzw. Einzeldüsen-schaltung bis hin zur Pulsweitenmodulation. Auch eine teilflächenspezifische Applikation nach Applikationskarte ist zumindest von der technischen Seite her machbar.“ (DLG e.V. (Hg.) (2022))

Eine Umfrage, welche vom Marktforschungsunternehmen produkt+markt im Auftrag des Industrieverbands Agrar (IVA) unter 500 Landwirt*innen zum Stand der Technik im Pflanzenschutz 2022 durchgeführt wurde, hat ergeben, dass Betriebe in Ostdeutschland schon fast vollständig mit GPS-basierten Lenksystemen ausgestattet sind, diese Technologie im Westen aktuell aber nur auf etwa der Hälfte der Betriebe eingesetzt wird. In zehn Jahren wollen die befragten Betriebe GPS gesteuerte Lenksysteme auf 80 Prozent der Flächen einsetzen. Hier ist also ein kontinuierlicher Zuwachs der Nutzung zu erwarten. Applikationskarten werden derzeit auf bis zu 24 Prozent der Ackerfläche in erster Linie im Offlineverfahren genutzt, während Onlineverfahren nur auf Betrieben mit 9 Prozent der Fläche im Einsatz sind. Weniger als die Hälfte der Betriebe, die zwar Spritzen mit GPS-gesteuerter Teilbreiten- oder Einzeldüsen-schaltung verwenden, nutzen auch die für die Teilflächenapplikation erforderlichen Applikationskarten. Eine KI-gestützte Einzelpflanzenbehandlung im Onlineverfahren ist auf deutschen Äckern momentan noch nicht im Einsatz und wird laut Umfrage in zehn Jahren auf Betrieben mit einem Fünftel der Fläche zum Einsatz kommen. (vgl. Schaal, R. (2022))

Einige dieser beschriebenen Neurungen zur Verminderung der Umweltauswirkungen von Pflanzenschutzmitteln bei Feldspritzen sollen im Folgenden genauer betrachtet werden: Pulsweitenmodulation (PWM), Bandspritzung und Smart-Spraying Feldspritzen

► Pulsweitenmodulation (PWM)

Grundsätzlich handelt es sich bei einer pulsweitenmodulierten Feldspritze um eine Flächenspritze, bei der allerdings die Düsen nicht ständig spritzen, „sondern (...) mit hoher Frequenz über ein spezielles Ventil an- und ausgeschaltet (werden). Über den An-Anteil im Zyklus, den sogenannten Duty Cycle, lässt sich die Ausbringmenge z.B. an wechselnde Geschwindigkeiten anpassen, ohne dass sich der Druck und das Tropfenspektrum ändern.“

(Höner, G. (2020)) „Erreicht wird dies durch hochfrequentes An- und Ausschalten der Düsen, wobei die Länge der Einschaltzeit (Pulsweite) die Durchflussmenge bestimmt. Aktuelle Systeme arbeiten mit 15 bis 50 Hz. Die PWM ermöglicht darüber hinaus weitere Funktionen wie die Anpassung der Aufwandmenge innerhalb der Teilbreiten bei Kurvenfahrten (Kurvenkompensation) bis hin zum durchflussmengengesteuerten Ausgleich von Schwingungen im Gestänge durch die Durchflussmengenregelung einer jeden einzelnen Düse. Das JKI hat mittlerweile mehrere Düsen/ PWM-System Kombinationen geprüft und anerkannt (AT, 2019).“ (Wegener, J.K. (2021), S. 3)

► Bandspritzung

Die Methode der Bandspritzung ist nicht neu, hat aber neue technische bzw. digitale Möglichkeiten, die die Technik einfacher und effizienter machen. Dabei werden zur Unkrautbekämpfung in der Reihe Herbizide appliziert und zwischen den Reihen wird die mechanische Unkrautbekämpfung durchgeführt. „In der Vergangenheit wurden diese Verfahren „Hacken“ und „Spritzen“ in einer Maschine miteinander kombiniert. Weil aber die idealen Einsatzzeitpunkte beim Hacken – warm, windig und trocken – im Kontrast zum Spritzen – bedeckt und windstill – stehen, bieten einige Herstellende Lösungen zur Verfahrenstrennung an. Dabei übernimmt die klassische Feldspritze auch die Bandspritzung (vgl. Wegener, J.K., (2020a)). So können mit dem Feldspritzengerät wahlweise die gesamte Fläche oder eben nur die Bänder von Reihenkulturen behandelt werden. Die Anschaffung einer separaten Bandspritzeinrichtung entfällt damit und die Verfahren Hacken und Spritzen können zum jeweils optimalen Zeitpunkt voneinander getrennt durchgeführt werden.“ (Wegener, J.K. (2021), S. 4)

Sowohl bei der Hacke als auch bei der Bandspritze ist die Präzision für eine hohe Wirkung entscheidend. „Denn jeder Zentimeter Abweichung der Anschlüsse überträgt sich auf das Spritzband, welches sich dann ebenfalls verschiebt. Sind die Anschlüsse nicht exakt genug, kann dies bedeuten, dass die nachfolgende Bandspritzung nicht mehr auf der Pflanzenreihe erfolgt. Im schlechtesten Fall wird das Spritzband so stark verschoben, dass es anstatt auf die Reihe zwischen den Reihen abgelegt wird.“ (Baumgarten, S; Hahnkemeyer, T. (2022), S. 15) Hierbei liefern sensorgestützte Systeme zur Pflanzenerkennung oder RKT-GPS-Systeme, die die Positionsdaten der Aussaat speichern, einen großen Beitrag.

Der Bandspritzung wird ein besonders hohes Maß an Einsparpotenzial von Pflanzenschutzmitteln zugeschrieben, allerdings ist diese nur in Reihenkulturen anwendbar. (vgl.: HFFA Research GmbH (Hg.) (2022), S. 15)

► Smart Spraying - Feldspritzen

Daneben gibt es Smart Spraying- oder Spot Spraying-Feldspritzen. Diese arbeiten entweder mit Kameras und erkennen die Unkräuter direkt, oder sie arbeiten mit vorher – beispielsweise via Drohnen – erstellten Applikationskarten. Noch präziser arbeiten Feldspritzen mit Direkteinspeisung, die unterschiedliche Pflanzenschutzmittel je nach Bedarf auf dem Feld ausbringen können.

Als konkrete Praxisbeispiele wurde die Strict Spray Plus von Agrifac im Bereich der Feldspritzen mit Pulsweitenmodulation ausgewählt. Im Bereich der Bandspritze ein Gerät zur Reihenspezifischen Düsenoptimierung der Herbert Dammann GmbH. Bei den Smart Spraying – Feldspritzen wurde der UX 5201 Smart Sprayer von Amazone sowie eine Feldspritze mit Direkteinspeisung, die im Rahmen eines Forschungsprojekts in Zusammenarbeit des JKI mit der Herbert Dammann GmbH entwickelt wurde und mit einem Entscheidungshilfesystem kombiniert werden soll, gewählt.

3.4.1.1 Pulsweitenmodulation: Agrifac - Strict Spray Plus

Nach Herstellerangaben „werden Systeme mit Pulsweitenmodulation (PWM) heute eingesetzt, um die Genauigkeit zu verbessern und die Ausgaben für Chemikalien zu senken“ (Agrifac Deutschland (Hg.) (2021)). Die Spritze verfügt über eine Einzeldüsenschaltung, d.h. jede Düse kann einzeln geschlossen und geöffnet werden, um Überlappung und Überdosierung zu verhindern.

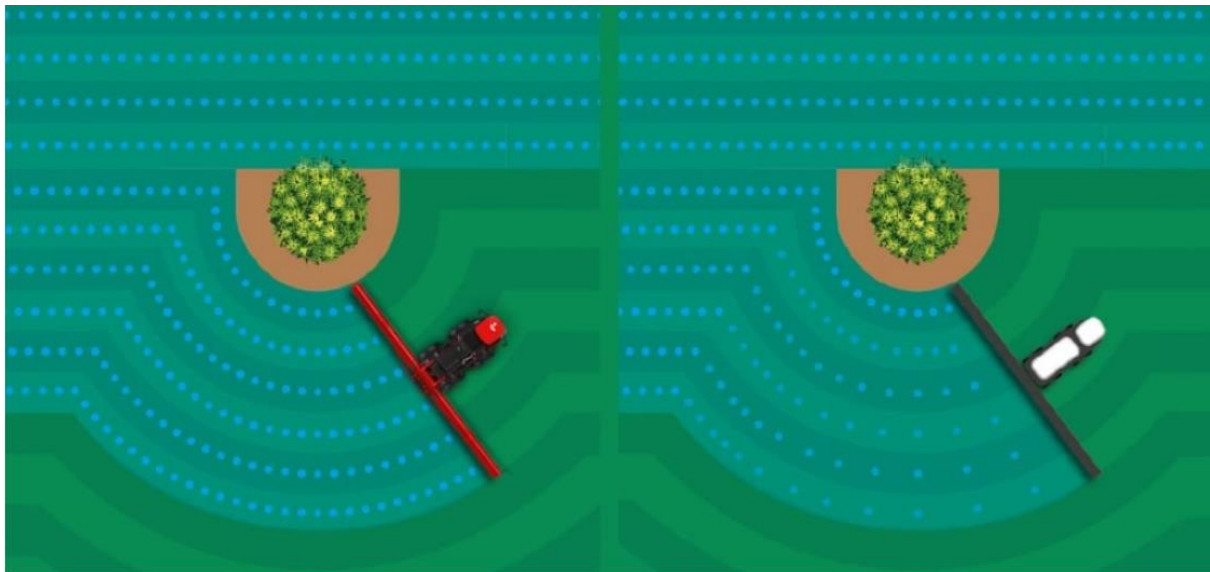
Abbildung 12: StrictSprayPlus



Quelle: Agrifac Deutschland (Hg.) (2021)

Die Spritze verfügt über eine Kurven-Kompensation: „Wenn beim Spritzen gedreht wird, bewegen sich unterschiedliche Düsen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. An der Außenseite der Kurve müssen die Düsen schneller spritzen, als an der Innenseite. Um dieselbe Menge konsistent zu spritzen, müssen die sich schneller bewegenden Düsen mehr und die sich langsamer bewegenden Düsen weniger spritzen. Der Spritzdruck wird von Strict Spray Plus anhand der Änderung der Flüssigkeitgeschwindigkeit durch jede Düse einschließlich der Tropfengröße des Spritzbildes gemessen. Die druckunabhängige Geschwindigkeitsregelung stellt sicher, dass das Pflanzengut unabhängig von der Durchflussgeschwindigkeit die gewünschte Menge erhält. Schnell umschaltende Düsen öffnen und schließen sich bis zu 100-Mal pro Sekunde.“ (Agrifac Deutschland (Hg.) (2021))

Abbildung 13: Kurvenkompensation



Quelle: Agrifac Deutschland (Hg.) (2021)

► Anwendungskulturen

Die Pulsweitenmodulation kann bei allen Kulturen angewendet werden.

► Sonstiges

Weitere marktreife Geräte gibt es beispielsweise von Hardi⁸ oder Leeb⁹.

3.4.1.2 Bandspritze: Reihenspezifischen Düsenpositionierung (RSD) von HERBERT DAMMANN GmbH

Nach Herstellerangaben wird „bei der Reihenspezifischen Düsenpositionierung die Düse durch aktive Steuerung mittels Kamera präzise über der Reihe geführt. Die Applikation des Pflanzenschutzmittels erfolgt nur auf einem Teil der Fläche, die Abdriftmenge wird automatisch verringert – und durch die punktgenaue Verteilung gesetzliche Auflagen eingehalten. (...) Die erste Einstellung erfolgt manuell vor der Ausbringung: Die Düsen werden einfach über den Reihen positioniert. Während der Applikation übernehmen ein flexibel bewegliches Gestänge und Sensoren diese Aufgabe und sorgen für eine präzise Verteilung der Pflanzenschutzmittel. RDS kann auch mit einem GPS-Gerät über ein ISOBUS-Bedienterminal und einer Software eingesetzt werden.“ (Hinterholzer, N. (2021))

⁸ <https://hardi.com/de/sprayers/trailed/aeon-centurialine>

⁹ <https://www.horsch.com/us/products/crop-protection/leeb/leeb-vn/precisionspray>

Abbildung 14: Reihenspezifische Düsenoptimierung



Quelle: Hinterholzer, N. (2021)

► Anwendungskulturen

Die Bandspritze kann grundsätzlich in allen Reihenkulturen angewendet werden.

► Sonstiges

Wie bereits beschrieben, gibt es für die Methode der Bandspritzung zwei Möglichkeiten: Mit einem Kombigerät, das zeitgleich hackt und spritzt, kann es schwierig sein, einen geeigneten Anwendungszeitpunkt zu finden. Das hier vorgestellte Gerät ermöglicht ein sogenanntes „absetziges“ Verfahren, bei dem zwar der richtige Zeitpunkt für das Hacken und Spritzen besser gewählt werden kann, wodurch die Schlagkraft höher wird (vgl. Kiefer, S. (2021), wodurch aber auch zwei Überfahrten nötig werden. Zudem muss neben der Bandspritze ein Hackgerät zur Verfügung stehen oder angeschafft werden.

Ein weiteres Problem bezüglich des Hackens bei der Bandspritzung sind Hanglagen. Dort wird aus der Praxis nach Aussage des LKP eine erhöhte Bodenerosion nach Starkregenereignissen berichtet, wenn der Boden mit einem Hackverfahren aufgelockert wurde. Auch Mulchsaatverfahren eignen sich nicht für das Hacken, weil die Mulchauflage die Hackschare verstopft.

Weitere marktreife Geräte gibt es beispielsweise von Bräutigam GmbH¹⁰ als Kombigerät oder von Amazone¹¹, bei der eine Flächenspritze mit Einzeldüsenschaltung auf reihenbezogene Bandspritzung umgeschaltet werden kann.

¹⁰ <https://www.braeutigam-landtechnik.de/bandspritze/>

¹¹ <https://amazone.de/de-de/produkte-digitale-loesungen/landtechnik/pflanzenschutztechnik/amazone-amaselect-row-fuer-die-zukunft-geruestet-340348>

3.4.1.3 UX 5201 SmartSprayer von Amazone

„Anhand von Kameras und künstlicher Intelligenz unterscheidet unsere Smart-Spraying-Technologie Kulturpflanzen von Unkräutern. Herbizide werden nur dort ausgebracht, wo sie benötigt werden. (...) Zunächst nehmen mehrere Kameras über die gesamte Arbeitsbreite der Feldspritze verteilt lückenlos Bilder auf. Danach detektiert das System mithilfe von klassischen Deep-Learning-Algorithmen für die computergestützte Bilderkennung die auf dem Acker wachsenden Pflanzen. Dabei unterscheidet es zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern. Im letzten Schritt wählt die Software automatisch das geeignete Herbizid und die zu aktivierenden Düsen der Feldspritze aus.“ (Robert Bosch GmbH (o.D.))

Abbildung 15: UX 5201



Quelle: AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG (Hg.) (2021a)

„Mit welcher feldspezifischen Einstellung und mit welcher empfohlenen Herbizidmischung das SmartSpraying-System wann am besten eingesetzt wird, basiert dabei auf der erweiterten xarvio™ agronomic decision-making engine (ADE) von BASF Digital Farming. Dabei werden in Anlehnung an die gute fachliche Praxis des integrierten Pflanzenschutzes diverse Parameter, wie Anbaukultur, Unkrautspektrum, Wetterbedingungen automatisiert aus dem xarvio™ FIELD MANAGER (siehe dazu auch Kapitel 3.6) herangezogen, zu einer Entscheidung verarbeitet und an das SmartSpraying-System übertragen. Die UX 5201 SmartSprayer appliziert durch die Nutzung von Schadschwellen nur dort, wo Unkräuter einen negativen Einfluss auf die Qualität des Unkrautmanagements haben. So werden bei gleichem Ergebnis höhere Herbizideinsparungen als bei herkömmlichen Systemen erreicht.“ (AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG (Hg.) (2021b))

► Anwendungskulturen

Grundsätzlich kann diese Technologie bei allen Kulturen angewendet werden. Dabei gibt es die Einschränkung, dass das System das entsprechende Bildmaterial von Nutzpflanzen und Beikräutern haben muss. Zudem ist Spot-Spraying nur dann sinnvoll, wenn es keine breite Verunkrautung auf dem Feld gibt, weil das System ansonsten einer gewöhnlichen Feldspritze gleicht. Anwendungen sind beispielsweise bei Unkräutern, die in Nestern auftreten sinnvoll, oder wenn in einem Jahr Kartoffeln und im Folgejahr Mais angebaut wurden und dann einzelne Kartoffeln durchkommen, die dann gezielt behandelt werden können (vgl. Agrotech Valley Forum e. V. (Hg.) (o.D.)). Spot-Spraying ist im Weizen noch nicht möglich, weil Unkräuter dort noch nicht erkannt werden können (vgl. Hampe, M. (2021), S. 14).

► Sonstiges

Weitere marktreife Geräte werden unter anderem von EcoRobotix¹² und John Deere¹³, Greeneye¹⁴, CarbonBee¹⁵, Billberry¹⁶ angeboten. Eine Besonderheit der See&Spray Ultimate Feldspritze von John Deere ist, dass sie mit einem Tanksystem betrieben werden kann, das mit zwei verschiedenen Mitteln arbeitet. Somit könnten beispielsweise bei einer Überfahrt breitflächig Fungizide ausgebracht werden und gleichzeitig Unkräuter erkannt und präzise besprüht werden (vgl. John Deere (Hg.) (o.D.)).

Ein Unterschied bei den verschiedenen Feldspritzen ist die Düsenhöhe und somit die Größe des Spots, der besprüht wird und auf dem in Abhängigkeit von der Verunkrautung entschieden wird, ob gesprüht werden soll oder nicht. Die ARA von EcoRobotix beispielsweise arbeitet in kleineren spots als die Amazone UX5201. (Kiefer, S. (2021), S. 40) Da sich die spot-Größe auch auf die Umweltwirkungen auswirkt, wurde hier von einem Experten der Vorschlag einer Systematisierung gemacht, um eine exaktere Bewertung abgeben zu können. Denn je nach Größe des spots stellt sich die Frage, ob eine Applikation erfolgen soll oder nicht.

¹² ecoRobotix.com/de/ara

¹³ <https://www.deere.com/en/sprayers/see-spray-ultimate/>

¹⁴ <https://greeneye.ag/>

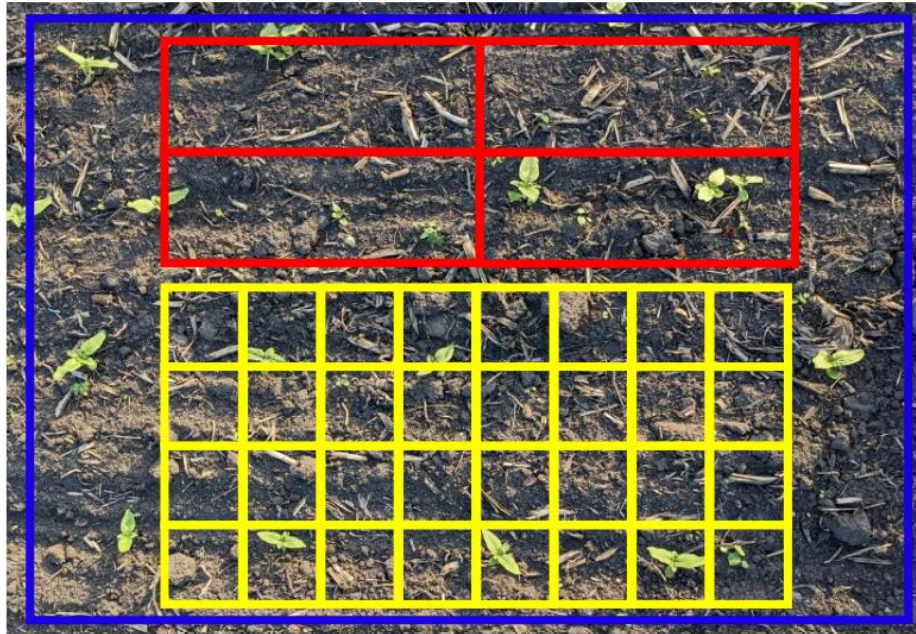
¹⁵ <https://carbonbee-agtech.fr/>

¹⁶ <https://bilberry.io/>

Abbildung 16: Darstellung unterschiedlicher Spotgrößen (Prinzipskizze: nicht maßstabsgerecht)



Größe des Spots: Aufwand und Nutzen?



© AMAZONE 2021

Quelle: Kiefer, S. (2021), S. 40

In Abbildung 10 werden in verschiedenen Farben unterschiedliche spots dargestellt, die jeweils von der Düsenhöhe abhängt: Je höher die Düse, desto größer der spot. Bei einer gestängegeführten spot-Applikation wie beim SmartSprayer ist die Düsenhöhe größer als 40 cm. Bei einer bodengeführten Spot-Applikation kann die Düsenhöhe kleiner als 30 cm sein wie beispielsweise bei der ARA Anbauspritze von EcoRobotix¹⁷ (siehe Abbildung 11).

¹⁷ <https://ecoRobotix.com/de/ara/>

Abbildung 17: Vorschlag zur Systematisierung der Spotgrößen


Pflanzenbauinnovation

Systematisierung SpotSpreying

Mehr Struktur für eine klare Kommunikation

- **Gestängegeführte Spot-Applikation: Düsenhöhe > 40 cm**
 - XXL 300 x 300 cm z.B. AmaSelect Spot
 - XL 50 x 50 cm z.B. SmartSpreyer (25 x 60)
 - L 25 x 25 cm ...?

- **Bodengeführte Spot Applikation: Düsenhöhe < 30 cm**
 - M 10 x 10 cm z.B. Ecorobotix
 - S 2 x 2 cm ...?

© AMAZONE 2021

Quelle: Kiefer, S. (2021), S. 40

3.4.1.4 Forschungsprojekte:

"Entwicklung und Praxistest eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Teilflächenapplikation von Pflanzenschutzmitteln", „AssSys“, „OPAL“

Im Rahmen von zwei Verbundprojekten wurde ein Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln weiterentwickelt und im praktischen Einsatz intensiv erprobt. „Im Fokus stand, dass das Gerät in der Lage sein muss, mehrere Pflanzenschutzmittel in einer Überfahrt unabhängig voneinander verzögerungsfrei und zielgenau zu applizieren. Das Feldspritzgerät hat zwei separate Düsenleitungen mit jeweils mindestens einer eigenen Direkteinspeiseeinheit. Die Düsenleitungen können durch das Zirkulationssystem mit der jeweiligen Spritzflüssigkeit vorgeladen werden, sodass beim Einschalten der Düsen sofort die vorgegebene Sollkonzentration zur Verfügung steht. Precision Spraying erfordert eine teilflächenspezifische Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Ohne die Direkteinspeisung im Pflanzenschutz kann die teilflächenspezifische Anwendung nicht in der Landwirtschaft umgesetzt werden.“ (Pohl, JP.; Rautmann, D.; Nordmeyer, H. u. a. (2019), S. 51)

„Bei heterogenem Schaderregervorkommen werden PSM nur auf Teilflächen appliziert, wodurch der Verbrauch an PSM und die Belastung der Umwelt deutlich reduziert werden können. Bisher werden überwiegend Tankmischungen eingesetzt, eine teilflächenspezifische Anwendung einzelner Mittel ist so unmöglich. Eine Lösung bieten Feldspritzgeräte mit Direkteinspeisung. Weitere Vorteile der Direkteinspeisung sind zum einen, dass keine Restmengen an Spritzflüssigkeit entstehen, da sich nur klares Wasser im Tank befindet und zum anderen die kurzen Reinigungszeiten (KREBS et al., 2015b). Die Vermischung von PSM und Wasser zur Applikation findet kurz vor der Düse statt.“ (Pohl, JP.; Dunekacke, H.; Bargaen, F.; Hörsten, D.; Wegener, JK. (2021), S. 117)

Abbildung 18: Projektgerät D-I-S PSM



Quelle: Wegener, J.K.; Krebs, M.; Rautmann, D.; Nordmeyer, H. (2016), S. 5

Zusätzlich wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes ein „Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln“ für das Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung entwickelt, mit dessen Hilfe es über eine Webanwendung möglich ist, Applikationskarten zu erzeugen. In die Applikationskarten können verschiedenste Parameter wie Wetter, Ertragskarten, Unkrautverteilung usw., eingebunden werden, die vollautomatisch vom Feldspritzgerät abgearbeitet werden.“ (Pohl, JP.; Rautmann, D.; Nordmeyer, H. u. a. (2019), S. 55)

„Das System soll den Anwender durch die automatische Einbindung von externen Datenquellen unterstützen, wobei im Planungsprozess notwendige Eingriffsmöglichkeiten gewährt werden. Vielmehr sollen alle hierfür benötigten und verfügbaren Daten zusammengeführt und dem Anwender in aufbereiteter Form zur Entscheidungsunterstützung und Empfehlung zur Verfügung gestellt werden.“ (Pohl, JP.; Jahncke, D.; Feise, D.; Hörsten, D.; Wegener, JK. (2021), S. 111,112)

Abbildung 19: Systemarchitektur des Assistenzsystems zur teilflächenspezifischen Applikation



Quelle: Pohl, JP.; Jahncke, D.; Feise, D.; Hörsten, D.; Wegener, JK. (2021), S. 112

Das Assistenzsystem wurde entwickelt und wird aktuell in einem Folgeprojekt erprobt („Optimierung und Praxiserprobung eines Assistenzsystems zur Applikation von Pflanzenschutzmitteln“, Forschungsinformationssystem Agrar und Ernährung (Hg.) (o.D.)).

Im Rahmen des Projektes wurde auch ein Prognosemodell zur räumlichen Erfassung und Prognose von Halmbasiskrankheiten erarbeitet: „Das entwickelte Prognosemodell liefert einen vielversprechenden Ansatz für die Umsetzung eines teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. Aktuell weist das Prognosemodell allerdings keine ausreichende Prognosegüte auf (diese liegt für die Halmbasiskrankheiten Halmbruch und Scharfer Augenfleck mit circa 50 Prozent Prognosegüte nochmals niedriger). Es ist jedoch davon auszugehen, dass mit fortschreitender Entwicklung im Bereich der Sensortechnik (insb. im Bereich der Fernerkundung) zukünftig zeitlich und räumlich höher aufgelöste Daten vorliegen werden, die eine genauere teilflächenspezifische Prognose erlauben.“ (Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP) (Hg.) (o.D.)) Dieses Prognosemodell „(...) wird in das Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion (ISIP) implementiert und als externer Datenservice für das im Forschungsprojekt „AssSys“ entwickelte Assistenzsystem prototypisch zur Verfügung gestellt. Eine allgemeine Bereitstellung des Prognosemodells über ISIP ist nicht beabsichtigt, da konkrete Handlungsanweisungen für den Pflanzenschutz anhand der ausgewiesenen Gefährdungszonen nicht gegeben werden können. Entsprechende Feldversuche zur Ableitung geeigneter Handlungsanweisungen konnten im Zuge des Forschungsprojekts nicht realisiert werden, zudem ist im konkreten Anwendungsfall die verhältnismäßig geringe Ertragsrelevanz von Fusarium-Halmbasisverbräunung zu berücksichtigen.“ (Herrmann, M.; Federle, C.; Röhrig, M.; Kleinhenz, B. (2021), S. 138)

Hier könnten auch Methoden des „Weedmapping“ genutzt werden, bei denen anders als bei kamerabasierten Spritzen die Unkräuter nicht durch die Spritze bei der Applikation erkannt werden, sondern der Acker in einem vorgelagerten Schritt via Drohne mittels hochauflösender Sensortechnik überflogen und eine Applikationskarte erstellt wird. Dabei wird das Datenmaterial von einer Software mit Hilfe von künstlicher Intelligenz nach den vorher trainierten Objekten (z.B. Unkräutern) abgesucht. Die detektierten Unkräuter können dann mit genauen Koordinaten markiert und diese anschließend in ein Traktorterminal übertragen werden, um die Unkräuter dann lokal und punktuell zu bekämpfen. Diese Methode wird beispielsweise im Experimentierfeld „Agro-Nordwest“ untersucht (vgl. Agrotech Valley Forum e. V. (Hg.) (o.D.).

► Anwendungskulturen

Grundsätzlich kann das System in allen Kulturen angewendet werden. Ein umfangreiches Prognosemodell bzw. Entscheidungshilfesystem für ein Direkteinspeisesystem mit verschiedenen Pflanzenschutzmitteln steht allerdings aktuell nicht zur Verfügung.

3.4.2 Akteur*innen, Stakeholder*innen und Zielgruppen

Die Feldspritzensysteme können grundsätzlich von allen konventionellen Landwirt*innen eingesetzt werden.

Bei der Pulsweitenmodulation sind „Treiber (...) vor allem die Entwicklungen in der Präzisionslandwirtschaft.“ (Höner, G. 2020) „PWM bedeutet zunächst nur eine Düse und damit Bequemlichkeit, dann aber über die Einzeldüsensteuerung auch Präzision und damit die Möglichkeit, die Spritze mit Behandlungskarten zu verknüpfen.“ Insbesondere bei topographisch unterschiedlichen Schlägen kann die Technik für eine gleichmäßige Verteilung von Pflanzenschutzmitteln beitragen (vgl. Kramer, H. (2020): Minute 40).

Die Bandspritzung kann nur bei Reihenkulturen zum Einsatz kommen. Während die pulsweitenmodulierte Feldspritze potenziell Precision Farming ermöglicht, wird dieses bei der Bandspritzung in einem relativ einfachen System umgesetzt. Noch weiter gehen die beiden anderen Systeme, die eine teilflächenspezifische Behandlung des Ackers ermöglichen und sich an der Einzelpflanze oder einem „spot“ orientieren und nicht am ganzen Bestand. Grundsätzlich können diese beiden Systeme bei allen konventionellen Landwirt*innen und allen Kulturen eingesetzt werden, allerdings sind die Systeme noch nicht für alle Kulturen sowie Unkräuter, Schädlinge, Krankheiten oder Pilze entwickelt.

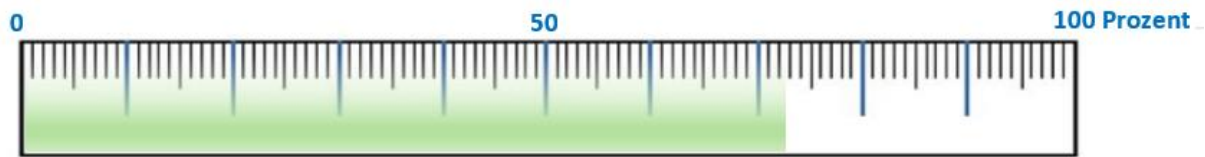
Durch Prognosemodelle und Entscheidungshilfen kann bei den Systemen die Bekämpfungsnotwendigkeit in den Behandlungsprozess eingebunden werden (vgl. Preuße, T. (2022). Dies ist aber grundsätzlich bei allen Behandlungsmethoden möglich.

3.4.3 Bewertungs-Index

Während bei den Hackrobotern die Datenlage zur Bildung des Bewertungs-Index durch verschiedene Forschungsergebnisse breiter ist, ist diese Situation in Bezug auf die hier vorgestellten Feldspritzen weniger weit fortgeschritten. Da es weniger Forschungsarbeiten und noch wenig bis keine Praxiserfahrung bei Landwirt*innen gibt, sind insbesondere die für dieses Gutachten zentralen Bereiche der Umweltentlastung und der Erreichung der politischen Ziele pauschale Bewertungen im Fragenkatalog schwierig.

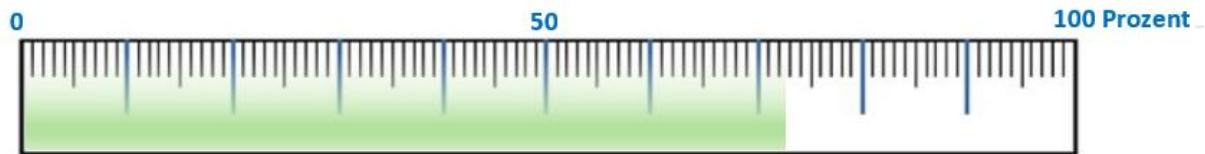
► Reifegrad

Abbildung 20: Bewertungs-Index Reifegrad Pulsweitenmodulation in Prozent



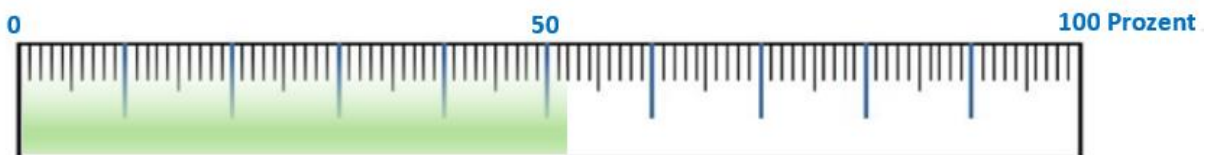
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 21: Bewertungs-Index Reifegrad Bandspritze in Prozent



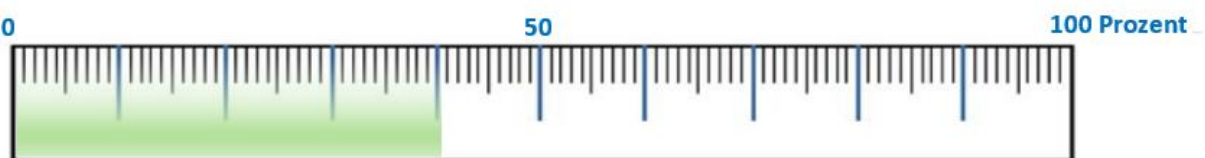
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 22: Bewertungs-Index Reifegrad SmartSprayer in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 23: Bewertungs-Index Reifegrad Direkteinspeisung in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Moderne kamerabasierte Bandspritzsysteme sowie pulsweitenmodulierte Feldspritzen sind von den betrachteten Feldspritzen am weitesten entwickelt und werden auch regelmäßig nachgefragt, weshalb sich für diese ein Wert von 72 Prozent gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze ergibt. Der SmartSprayer ist ebenfalls bis zu Marktreife entwickelt, wird aber bisher nur in geringen Mengen vertrieben und nachgefragt – hier ergibt sich ein Wert von 52 Prozent. Das vorgestellte Direkteinspeisesystem erreicht einen Wert von 40 Prozent, denn es ist in Bezug auf die Feldspritze marktreif entwickelt, allerdings fehlt es noch an entsprechender Erkennungstechnologie. Der SmartSprayer arbeitet mit einem Entscheidungshilfesystem, das bisher nur für Herbizide und Reihenkulturen funktioniert. Somit sind bei den letztgenannten Systemen die Software und weniger die Hardware noch nicht voll entwickelt und validiert. Insbesondere bei Krankheiten und Pilzen ist eine frühzeitige Erkennung wichtig, um Ertragseinbußen abzuwenden.

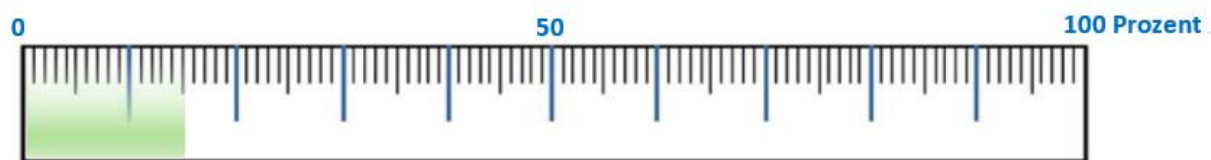
Durch die hohen Kosten, insbesondere beim SmartSprayer und der Direkteinspeisung, und gleichzeitiger Unklarheit, was den Einsatzbereich und die Einsatzmöglichkeiten betrifft, wird die Technologie aktuell nur von einer kleinen Gruppe akzeptiert. Demgegenüber ist die

Bandspritzung hier im Vorteil, weil das System und auch die Wirkung einfach nachzuvollziehen und auch umzusetzen sind.

Was die Integration in bestehende Arbeitsprozesse bei den verschiedenen Feldspritzen betrifft, kann man zu unterschiedlichen Einschätzungen kommen: Die hier getroffene Einschätzung bezieht sich auf die Funktionsweise einer Feldspritze mit den entsprechenden Assistenzsystemen. Wenn Betriebe bereits mit Feldspritzen arbeiten, können die vorgestellten Geräte problemlos in die bestehenden Strukturen integriert werden. Allerdings bedarf es einer Auseinandersetzung bezüglich des sinnvollen Einsatzes solcher Spritzen und somit ggf. auch einer Anpassung der Pflanzenschutzstrategie mit beispielsweise einer reaktiveren Vorgehensweise nach Bedarf anstelle einer Vorbehandlung mit Bodenherbiziden, wodurch durchaus eine Umstellungsphase nötig wird.

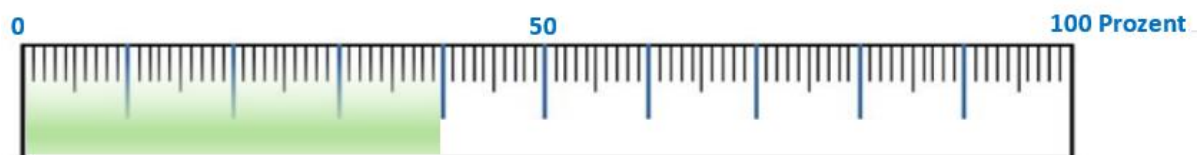
► Umweltentlastung

Abbildung 24: Bewertungs-Index Umweltentlastung Pulsweitenmodulation in Prozent



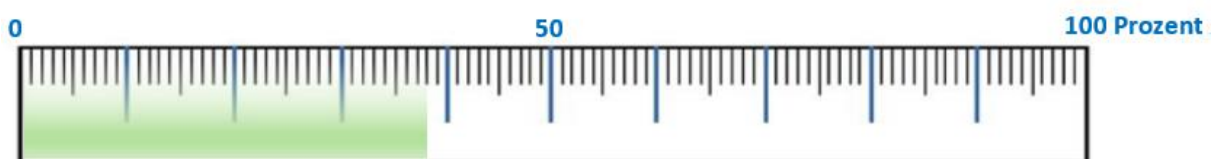
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 25: Bewertungs-Index Umweltentlastung Bandspritze in Prozent



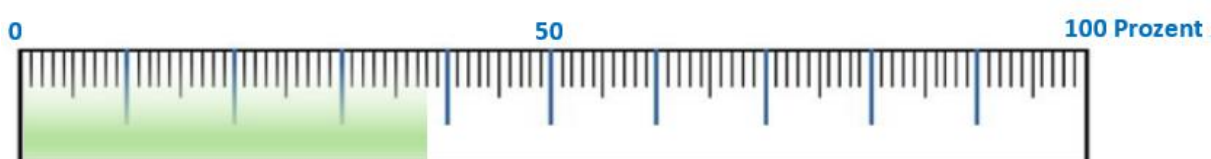
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 26: Bewertungs-Index Umweltentlastung SmartSprayer in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 27: Bewertungs-Index Umweltentlastung Direkteinspeisung in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Bei allen vorgestellten Feldspritzsystemen ist es schwierig in Bezug auf die Umweltentlastung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze eine pauschale Aussage zu treffen, die sich in einem Kennwert widerspiegelt. Der Bewertungs-Index ergibt für die Pulsweitenmodulation einen Wert von 15 Prozent, für die Bandspritze 40 Prozent und der SmartSprayer sowie die Direkteinspeisung einen Wert von 38 Prozent.

Wichtigster Faktor für die Umweltentlastung ist die Einsparung von Pflanzenschutzmitteln. Da aber die Aufwandmenge vom Befallsdruck, den jeweiligen Bedingungen (Klimaraum, Fruchtfolge usw.) und auch der Risikoaffinität bzw. -aversion des Anwenders abhängt, liegt die Einsparmenge zwischen 0 und 90 Prozent. Bei Feldspritzen mit pulsweitenmodulierten Düsen ist ein Einsparpotential an PSM gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze gering, wenn man nur die Kurvenkompensation und die Abdriftminderung betrachtet, allerdings konnten hierfür keine Daten gefunden werden. Grundsätzlich lässt die PWM auch eine Einzeldüsen-schaltung zu und wenn man diese mit Applikationskarten kombiniert, könnte man ähnliche Effekte erreichen wie beim SmartSprayer.

Am zuverlässigsten kann die Einsparmenge von Pflanzenschutzmitteln bei der Bandspritze vorhergesagt werden, weil hier im Gegensatz zu einer Feldspritze nur die Reihen behandelt werden. Hier gilt allerdings die Einschränkung, dass nur Reihenkulturen behandelt werden können, wobei der meiste Herbizideinsatz in Reihenkulturen erfolgt. Hier werden Einsparungen in der Fläche und bei Pflanzenschutzmitteln bis zu 65 Prozent dokumentiert. „Amazone z. B. gibt eine mögliche Einsparung bei 50-cm-Reihen von 40 bis 50 Prozent, bei 75er-Abstand von 50 bis 65 Prozent an.“ (Höner, G. (2021))

„Für den konventionellen Landwirt bietet sich die Kombination mechanischer und chemischer Verfahren an, wie sie bereits in vielen Betrieben erfolgreich praktiziert wird. Damit verbunden sein kann eine Verringerung des Pflanzenschutzmittelaufwandes von bis zu 60 Prozent. Auch hier geht die Entwicklung weiter, wie z.B. die Spot Spraying-Technologien der Firmen Blue River, Amazone oder Agrifac mit Bilderkennung und punktgenauer Einzeldüsenapplikation und damit verbundenen Aufwandmengenreduzierungen von bis zu 90 Prozent.“ (DLG Ausschuss für Öko-Landbau; DLG-Ausschuss für Technik in der Pflanzenproduktion; Köller, K.H.; Vinzent, B.; Demmel, M. (2019), S. 25)

Von Amazone wird beispielsweise für die zweite Überfahrt nach einer Bodenherbizidbehandlung eine Einsparung von bis zu 80 Prozent beschrieben. Somit kann von einer Gesamteinsparung nach Region, Wetter und Fruchtfolge von 20-30 Prozent ausgegangen werden. Hier erfolgen allerdings noch regionsspezifische Untersuchungen (vgl. European Commission (Hg.) (o.D.)).

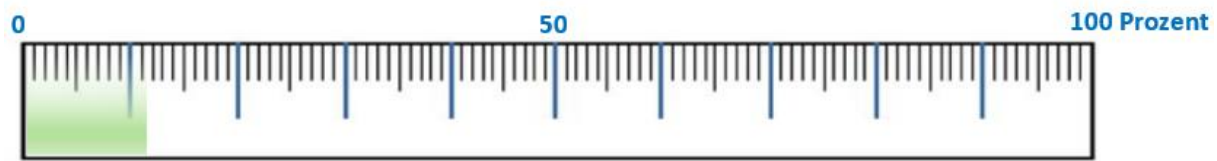
Die Effekte auf die Eintragungen in das Grundwasser, die Luft, den Erhalt der Biodiversität auf dem Feld, dem Feldrand und in Gewässern sowie auf PSM-Rückstände auf Lebensmittel können demnach ebenso wenig pauschal beziffert werden. Da aber eine grundsätzliche Einsparung bei allen Systemen zu erwarten ist, ist auch hier ein zumindest geringfügiger positiver Effekt zu erwarten.

Wenn man bei den CO₂-Emissionen davon ausgeht, dass sich hier in erster Linie die fossilen Brennstoffe auf die Überfahrten auswirken, ist gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze kein Effekt zu erwarten. Würden allerdings Einsparungen von CO₂-Emissionen durch die Einsparung von PSM (bei der Herstellung, der Logistik etc.) entstehen, wäre ein positiver Effekt erwartbar.

Bei den Substitutionseffekten wurde in erster Linie ein vermehrter Energieverbrauch durch häufigere Überfahrten angemerkt. Diese wurden allerdings bei allen Systemen gegenüber einer herkömmlichen Behandlung mit Feldspritze als gering eingeschätzt.

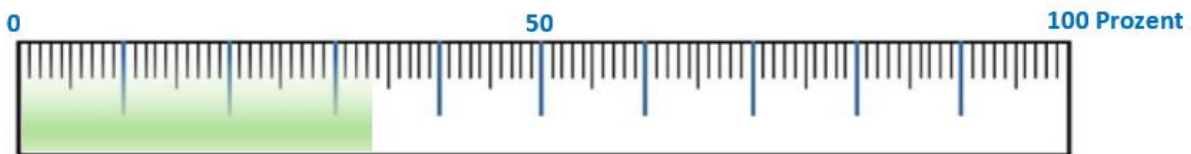
► Erreichung politischer Ziele

Abbildung 28: Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Pulsweitenmodulation in Prozent



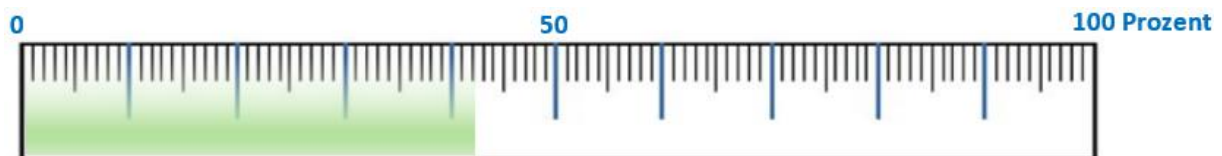
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 29: Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Bandspritze in Prozent



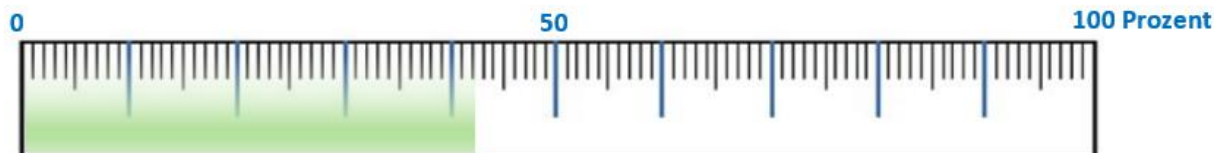
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 30: Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele SmartSprayer in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 31: Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Direkteinspeisung in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Alle Technologien haben ein grundsätzliches Potential die hier aufgelisteten politischen Ziele zu erreichen, was eine nachhaltigere Lebensmittelproduktion anbelangt. Allerdings erreicht der Bereich der chemischen Bekämpfung hier nicht die gleichen Werte wie bei der mechanischen Bekämpfung durch z.B. Hackroboter. Der Bewertungs-Index für die Pulsweitenmodulation erreicht einen Wert von 6 Prozent, für die Bandspritze einen Wert von 33 Prozent und der SmartSprayer und die Direkteinspeisung erreichen jeweils einen Wert von 42 Prozent.

Da grundsätzlich eine Umweltentlastung erfolgen kann, werden Lebensmittel auch nachhaltiger produziert. Aufgrund der Mitteleinsparungen durch die Systeme können diese potenziell auch dazu beitragen, dass die Produkte nicht nur nachhaltiger, sondern ggf. auch günstiger werden. Wie groß diese Effekte sind, hängt allerdings von den tatsächlichen Umweltentlastungen ab, die wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, schwer zu prognostizieren sind. Unter diesem Aspekt können die Systeme auch einen positiven Effekt auf die Einkommensabsicherung von Landwirt*innen haben, weil die Nachfrage nach nachhaltigen und kostengünstigen Lebensmitteln steigt.

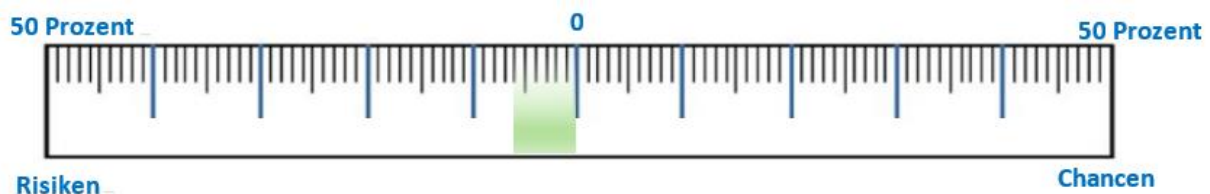
Das 50-Prozent-Reduktionsziel erreicht am zuverlässigsten die Bandspritzung (siehe auch vorheriger Abschnitt), aber auch die anderen Systeme tragen mit geringen bzw. moderaten Effekten zu diesem Ziel bei. Da es sich um chemischen Pflanzenschutz handelt, tragen die vier Systeme nicht zu dem Ziel bei, 25 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 2030 mit ökologischer Landwirtschaft zu bewirtschaften, da eine Förderung des Ökolandbaus durch diese Technik nicht zu erwarten ist.

Bei dem Aspekt einer verbesserten Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (gemäß der Europäischen Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung und des Pflanzenschutzgesetzes) wurde hier davon ausgegangen, dass die Pulsweitenmodulation und die Bandspritze keinen Effekt gegenüber einem herkömmlichen Feldspritzensystem haben. Demgegenüber besteht bei den anderen beiden Systemen die Möglichkeit exakte georeferenzierte Daten bezüglich der Applikation zu erfassen, was ggf. bei zukünftigen Dokumentationspflichten nützlich sein kann. Aus diesem Grund hat die Bandspritze hier gegenüber den letztgenannten Systemen einen Nachteil, wobei hier die Frage nach der Gewichtung dieses Aspekts gestellt werden kann. Denn auch mit den ersten beiden Systemen ist eine gute Dokumentation des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln möglich.

Der Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen) wurde bei der Bandspritze, dem SmartSprayer und der Direkteinspeisung als moderat und bei der Pulsweitenmodulation als nicht vorhanden eingestuft. Alle Systeme setzen beim Integrierten Pflanzenschutz erst im Bereich des chemischen Pflanzenschutzes an, orientieren sich aber an dem Grundsatz „so viel wie nötig, so wenig wie möglich.“ Über die Möglichkeiten der Einsparpotentiale wurde bereits berichtet. Ob und in welchem Maß Landwirt*innen den Grundsätzen des IPS folgt, kann nicht pauschal bewertet werden, es ist aber davon auszugehen, dass die Bandspritze und insbesondere die Entscheidungshilfesysteme und Prognosemodelle beim SmartSprayer und der Direkteinspeisung das Befolgen des Grundsatzes befördert.

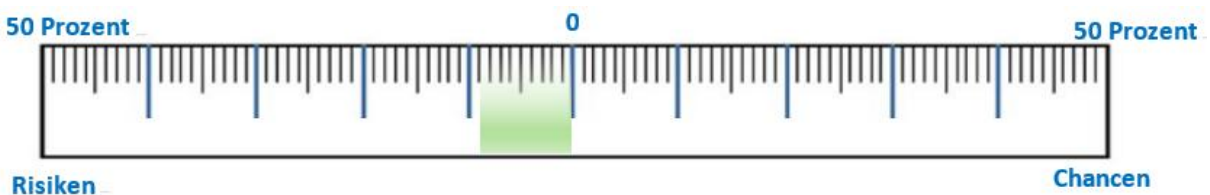
► Chancen-Risiken-Verhältnis

Abbildung 32: Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Pulsweitenmodulation in Prozent



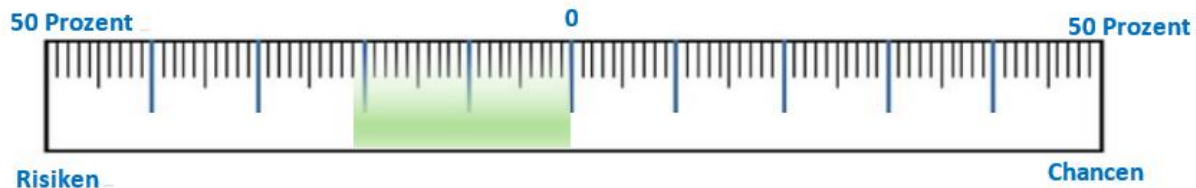
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 33: Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Bandspritze in Prozent



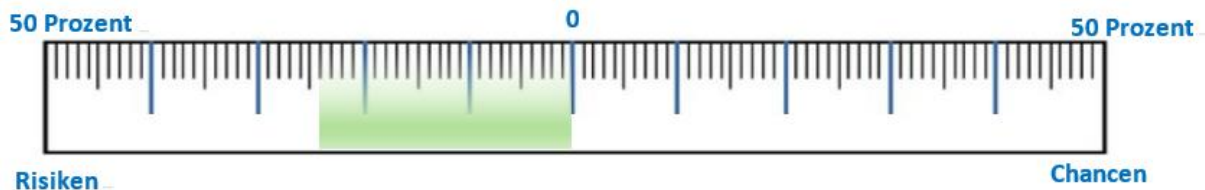
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 34: Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis SmartSprayer in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Abbildung 35: Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Direkteinspeisung in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Bei den Chancen und Risiken wurden jeweils zwei Pole eines möglichen Einflussfaktors einander gegenübergestellt. Wenn der Indikator sich stark nachteilig auswirkt, wurde er mit -2 bewertet. Wenn er sich stark positiv auswirkte mit +2.

Die Pulsweitenmodulation erreicht gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze einen Wert von -2 (6 Prozent Risiken), die Bandspritze einen Wert von -3 (9 Prozent Risiken), der SmartSprayer einen Wert von -7 (21 Prozent Risiken) und die Direkteinspeisung einen Wert von -8 (24 Prozent Risiken) (Skala von -34 bis +34).

Bei den Chancen und Risiken ist der ökonomische Aspekt für einen Betrieb einer der entscheidenden Punkte. Ob sich die Neuanschaffung eines der vorgestellten Systeme für einen Betrieb wirtschaftlich rechnet, hängt von verschiedenen Faktoren ab, beispielsweise, ob man ohnehin ein neues Gerät anschaffen muss oder ob man ggf. ein bereits vorhandenes um- oder aufrüsten kann. Bei der Bandspritzung braucht man zusätzlich eine Hacke, hier ist die Frage, ob diese bereits vorhanden ist oder dann ggf. auch für andere Kulturen eingesetzt werden kann. Wenn man nur den Aspekt der Einsparung der Pflanzenschutzmittel betrachtet, lohnt rein ökonomisch eine Neuanschaffung aktuell nicht. Allerdings werden durch die Technologien mehr oder weniger nachhaltigere Lebensmittel hergestellt, was sich positiv auf das Betriebseinkommen auswirken könnte. Nachhaltigere Lebensmittel werden insbesondere durch die Einsparungen von PSM erreicht. Die Rückstände von PSM auf Lebensmitteln werden beim SmartSprayer und der Direkteinspeisung verringert, weil hier die Nutzpflanzen weniger behandelt werden.

Die Abhängigkeit gegenüber Pflanzenschutzmitteln ebenso wie gegenüber Saisonarbeitskräften bleibt, auch wenn es zu einer Einsparung von Pflanzenschutzmittel kommt, prinzipiell unverändert zu der Situation einer herkömmlichen Feldspritze. Auch kommt es nicht zu einer Arbeitserleichterung was die körperliche Arbeit oder auch die Dokumentation angeht.

Es ist davon auszugehen, dass digitale Technologien den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern eher das Problem besteht, dass in Gegenden, in denen das Netz noch immer schlecht ist, diese Technologien nicht eingesetzt werden.

Die Attraktivität der Arbeitsplätze sowie der Anwenderschutz ändern sich durch die Technologien nicht grundsätzlich.

Während eine zunehmende Monopolisierung auf dem Markt der Landtechnikherstellende nicht zu erwarten ist, werden durch die kostenintensiven Technologien kleinere Betriebe benachteiligt, was einen Strukturwandel hin zu größeren Betrieben vorantreiben könnte.

Die Komplexität der Bedienung wird bei den einzelnen Technologien unterschiedlich bewertet: Die Pulsweitenmodulation ist einfacher zu bedienen als eine herkömmliche Feldspritze, weil der Düsendruck automatisch an die Fahrgeschwindigkeit oder Kurven angepasst wird. Bei der Bandspritzung hingegen wird die Bedienung als komplexer eingestuft, weil die Reihenabstände der Düsen eingestellt und auch die richtigen Anwendungszeitpunkte für das Spritzen und Hacken gefunden werden müssen. Der SmartSprayer ist grundsätzlich nicht komplexer zu bedienen als eine herkömmliche Feldspritze, aber es bedarf einer Anpassung der Pflanzenschutzstrategie. Noch komplexer wird die Bedienung des Direkteinspeisesystems bewertet, weil hier zusätzlich noch verschiedene PSM verwendet werden.

Zu den laufenden Kosten sowie der Funktionssicherheit sind keine Daten vorhanden, es wird aber davon ausgegangen, dass mit der Komplexität der Technik auch die laufenden Kosten sowie die Funktionsunsicherheit gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze steigen.

In Bezug auf Datenschutz und Datenhoheit werden die Pulsweitenmodulation und die Bandspritze nicht anders bewertet als eine herkömmliche Feldspritze. Bei den anderen beiden Systemen können allerdings georeferenzierte Daten auf externen Servern gespeichert werden, was in dieser Bewertung als problematisch eingestuft wird.

Bei der Pulsweitenmodulation erhöht sich die Bearbeitungszeit nicht. Bei den anderen Systemen sind häufigere Überfahrten und somit die Gesamtbearbeitungszeit zu erwarten.

Bei der Pulsweitenmodulation, dem SmartSprayer und der Direkteinspeisung sind keine anderen Zielkonflikte zu erwarten als bei einer herkömmlichen Feldspritze. Bei der Bandspritzung kann die Bodenerosion durch das Hacken den Pestizideinsparungen und der besseren Mineralisation in der Bewertung gegenübergestellt werden. Zusätzlich sind allerdings erhöhte CO₂-Emissionen durch mehrere Überfahrten zu verschiedenen Zeitpunkten zu erwarten.

3.4.4 Schlussfolgerungen

Im Bereich des chemischen Pflanzenschutzes können die vorgestellten Technologien einen gewissen Beitrag zur Einsparung von Pflanzenschutzmitteln und somit einer Verminderung deren ökotoxikologischer Wirkung leisten. Eine positive Wirkung auf die Biodiversität haben die Systeme bei einer entsprechenden Pflanzenschutzstrategie – bei einer Null-Toleranz-Strategie ergibt sich keine positive Wirkung auf die Biodiversität.

Ein besonderes Potential in Deutschland kann der Bandspritzung zugeschrieben werden, weil ihr Prinzip nachvollziehbar und umsetzbar ist und dadurch bis zu 60 Prozent Herbizide bei einer Einzelbehandlung eingespart werden können.

Die Smart- bzw. Spot-Spraying-Systeme können insbesondere mit einer angepassten Pflanzenschutzstrategie neben der direkten Einsparung von Pflanzenschutzmitteln eine positive Wirkung auf die Biodiversität haben. Gerade der kamerabasierte Ansatz, könnte theoretisch eine individuelle Behandlung von Un- bzw. Beikräutern ermöglichen, sofern verschiedene Arten erkannt und unterschieden werden könnten. (vgl. Paulus, S.; Streit, S. (2022)). Allerdings gibt es in diesem Bereich noch Forschungsbedarf bezüglich sinnvoller Einsatzbereiche, aber auch bezüglich der Sensorik sowie der Prognose- bzw. Entscheidungsmodelle.

Einen weiteren Vorteil könnten für die Zukunft die georeferenzierten Applikationsdaten für die Dokumentation bieten.

3.5 Sprühroboter

Wie im Kapitel 3.3.1 zu den Hackrobotern deutlich wurde, wird Feldrobotik bisher noch von einem sehr geringen Teil der Landwirt*innen eingesetzt. Der Einsatz von Sprührobotern scheint in noch geringerem Maß zu erfolgen, da sich bei der Recherche deutlich weniger Daten, Erfahrungsberichte oder Forschungsarbeiten dazu finden ließen.

Als Praxisbeispiele werden der Avo der Firma ecoRobotix und ein Sprühroboter, der von FarmDroid und Amazone zusammen entwickelt wurde, vorgestellt.

3.5.1.1 ecoRobotix: Avo

Nach Herstellerangaben befindet sich der Sprühroboter noch in der Entwicklung und es handelt sich um „einen energie- und navigationsautonomen Pflanzenschutz-Roboter, der eine hochpräzise Einzelpflanzenbehandlung ermöglicht. Dank seines Bilderfassungssystems und künstlicher Intelligenz erkennt der Roboter Unkraut und besprüht es mit einer Mikrodosis Herbizid. Durch die zentimetergenaue Erkennung wird die Menge der eingesetzten Pflanzenschutzmittel um bis zu 95 Prozent reduziert, während gleichzeitig die Nutzpflanzen unversehrt bleiben. Der Solarbetrieb und die wiederaufladbaren und austauschbaren Akkus machen AVO völlig unabhängig in der Energieversorgung und das selbst bei bedecktem Himmel. Der Benutzer kann über die Benutzerschnittstellensoftware verschiedene Einstellungen zur Unkrautbekämpfung vornehmen, wie die Definition von Feldgrenzen und Lage der Reihen. Das System generiert dann einen Navigationspfad, der die Einschränkungen des Feldes und Benutzereingaben berücksichtigt. Durch die Kombination aus RTK-GPS-Positionierung und Bildnavigation fährt AVO mit sehr hoher Präzision und vermeidet Schäden an der vorhandenen Kultur. Mit seinem Allradantrieb kann der Roboter Hindernisse überwinden und auf geneigtem Gelände fahren. Alle vier Räder können unabhängig voneinander gesteuert werden, woraus sich ein kleiner Wenderadius und eine hohe Wendigkeit ergibt. Seine Arbeitsgeschwindigkeit ermöglicht es ihm, eine durchschnittliche Fläche von 0,6 ha pro Stunde zu behandeln. AVO kann auch nachts arbeiten, was die täglich behandelte Fläche erhöht. Je nach Sonneneinstrahlung, Akkuladung und Geländebeschaffenheit können bis zu 10 ha pro Tag (einschließlich Nachtarbeit) behandelt werden.“ (EcoRobotix SA (Hg.) (o.D.))

Abbildung 36: Avo Sprühroboter



Quelle: EcoRobotix SA (Hg.) (o.D.)

Zu den Steuerelementen und Datenschnittstellen schreibt der Hersteller: „Der Benutzer kann den AVO-Roboter über die Smartphone-Applikation ecoRobotix™ steuern und kontrollieren sowie seine Aufgaben über die Webanwendung festlegen. Feld- und Kulturdaten, die mit anderen GPS-Systemen erzeugt wurden (z.B. RTK-GPS-Traktordaten), können über die Webanwendung genutzt werden. Die Software generiert dann einen Navigationspfad für die entsprechende Mission. Die Mission wird an den Roboter übertragen und mit Hilfe der Smartphone-Applikation initialisiert, die auch der manuellen Steuerung und der Statusüberwachung dient. Während der Roboter arbeitet, werden die von ihm gesammelten Daten zur Analyse und zum Herunterladen auf einen ecoRobotix™ Server hochgeladen. Die Informationen umfassen den Einsatzstatus und den Arbeitsfortschritt des Roboters (z.B. Einsatzort, Akkuladestand, Herbizid-Spritzniveau usw.) sowie Daten zur Unkrautdichte.“ (EcoRobotix SA (Hg.) (o.D.))

► Anwendungskulturen

„Der AVO-Roboter führt autonome Unkrautbekämpfung in Reienkulturen sowie im Feldgemüseanbau (Zwiebeln, Zuckerrüben, Chicoree, Bohnen, Spinat, Raps, Baumwolle; in Planung: Soja, Eisbergsalat, Mais) und auf Grünland durch.“ (EcoRobotix SA (Hg.) (o.D.))

► Wirkung

Eine Forschergruppe mit Beteiligung des Instituts für Zuckerrübenforschung (IfZ), des Saatgutunternehmens KWS und der Universität Göttingen hat bei Feldversuchen ermittelt, dass der Avo von ecoRobotix durch die punktuelle Applikation 70 Prozent der vorhandenen Unkräuter reduziert. Dadurch spart er im Vergleich zur Flächenspritzung 80 Prozent Mittel ein. (vgl.: Göggerle, T. (2021))

Die Entwicklung des Sprühroboters wird laut Expertenauskunft vom Unternehmen aktuell nur in Bezug auf die Kameratechnik vorangetrieben, die auch in der Anhängerstrixte Ara, die bereits im Kapitel 3.4.1.3 zum UX 5201 SmartSprayer von Amazone erwähnt wurde, verwendet wird. Der Sprühroboter Avo wird aktuell nicht vertrieben und seine Entwicklung nur mit begrenzten Mitteln vorangetrieben, weil der Fokus auf der Entwicklung der Ara liegt. In Zukunft kann aber auch die weiterentwickelte Software auf den Sprühroboter umgesetzt werden.¹⁸

3.5.1.2 FarmDroid FD20 mit Spot-Applikation von Amazone

In einem Versuchsprojekt der Südzucker AG, des Landtechnikunternehmens Amazone sowie des dänischen Feldroboterherstellers FarmDroid soll durch den Einsatz des hochautomatisierten, solarbetriebenen Sä- und Hackroboters FD20 und einer speziellen Spot-Spraying-Methode zukünftig der Einsatz von Herbiziden und Insektiziden auf ein Minimum reduziert werden. Erste, wissenschaftlich begleitete Versuche dazu wurden auf dem Südzucker-Versuchsgut in Kirschgartshausen bei Mannheim durchgeführt.

Abbildung 37: FarmDroid als Sprühroboter



Quelle: Framdroid Aps. (2021a)

Um dieses Ziel zu erreichen, haben die Unternehmen den Hackroboter FarmDroid FD20, der mit seinem hochpräzisen GPS-Saatsystem Zuckerrübensamen in einem exakten Raster aussät, sich dabei die genaue Position der Rüben merkt und in der Folge bei der Unkrautentfernung um diese Position herumhackt, d.h. neben und zwischen den Reihen, um ein Feldspritzsystem erweitert. Dadurch wird es möglich, Herbizide punktgenau auf bzw. neben die Rübe zu applizieren – mit minimalem Einsatz des Pflanzenschutzmittels. Denn in unmittelbarer Nähe der Pflanze ist es schwierig, alle Unkräuter durch das Hacken zu entfernen, ohne die Rübenpflanze zu berühren. (Framdroid Aps. (2021a))

► Anwendungskulturen

Der Roboter war im Test für Zuckerrüben, könnte aber potentiell auch für andere Hackfrüchte eingesetzt werden, sofern entsprechende Pflanzenerkennungssoftware verfügbar ist.

¹⁸ Hinweis: Laut Expert*innen kann auch die Ara Anhängerstrixte als Robotiksystem bezeichnet werden, weil Sie – außer das Fahren – alles autonom erledigt. Diese Strixte fährt aktuell bis zu 7,2 km/h bei einer Arbeitsbreite von 6 Meter.

► Wirkung

Die ersten Versuche waren laut Südzucker vielversprechend und zeigten das Reduktionspotenzial von Pflanzenschutzmitteln bei punktgenauer Anwendung eindrucksvoll. Die Ergebnisse der Felduntersuchungen auf die Unkräuter müssen aber erst noch zeigen, ob die Wirkung mit der praxisüblichen Behandlung mithalten kann. (Framdroid Aps. (2021a)) Allerdings wurde das Projekt laut Expertenauskunft mittlerweile eingestellt.

Ein Erfahrungsbericht zeigt, dass dieses System als Ergänzung zum Hackroboter durchaus sinnvoll sein kann, weil das Problem, dass die Unkräuter, die direkt an der Zuckerrübe stehen, vom Farmdroid FD20 nicht ausreichend erfasst werden (vgl. Göggerle, T. (2021) und dies durchaus in manchen Jahren zu Problemen führen kann. „Innerhalb der Reihe, das Messer geht ja nicht ganz an die Rübe ran, und genau da hat sich in diesem Jahr die Melde drangesetzt.“ (Plank, A. (2022)). Durch das punktuelle Applizieren von PSM könnten solche Ereignisse vermieden werden.

3.5.2 Akteur*innen, Stakeholder*innen und Zielgruppen

Konventionell arbeitende Landwirt*innen mit Wiesen und/oder Reihenkulturen (Zwiebeln, Zuckerrüben, Chicoree, Bohnen, Spinat, Raps, Baumwolle; in Planung: Soja, Eisbergsalat, Mais) können diese Technologie einsetzen. „Interessant ist die Technik auch für die Schädlingsbekämpfung oder zur Düngung mit Mikronährstoffen über das Blatt der Zuckerrübe. Dies ist auch eine spannende, zukunftsweisende Anwendungsmöglichkeit für den ökologischen Landbau.“ (Framdroid Aps. (2021a))

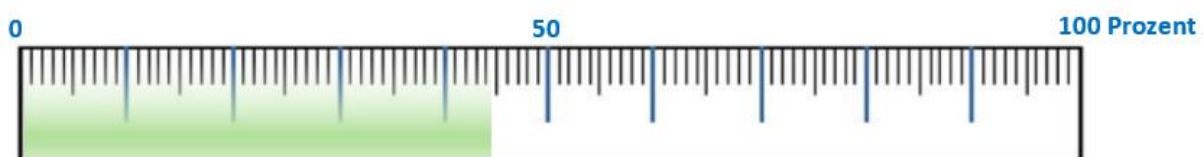
Besonders eignet sich die Sprührobotik aufgrund der geringeren Fahrgeschwindigkeit und höheren Bearbeitungszeit bei kleinen Schlägen und wäre somit auch gut im Bereich des Spot Farming einsetzbar.

3.5.3 Bewertungs-Index

Für den Bereich der Sprühroboter konnten wenige Forschungsergebnisse oder auch andere Beiträge, z.B. in Fachzeitschriften, gefunden werden. Auch war es schwierig Expert*innen, die sich mit dieser speziellen Technologie auskennen, zu finden und zu befragen.

► Reifegrad

Abbildung 38: Bewertungs-Index Reifegrad Sprühroboter in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

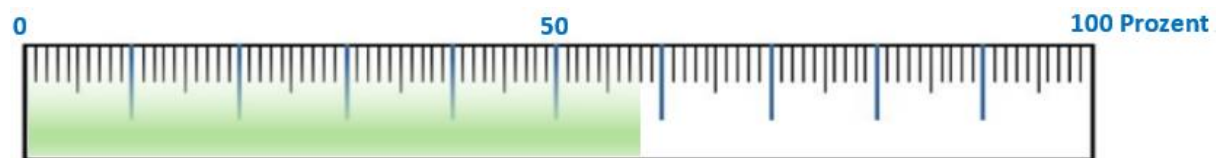
Die beiden Sprühroboter befinden sich aktuell noch in der Entwicklung und erreichen einen Wert von 45 Prozent. Sie sind noch nicht so weit entwickelt wie beispielsweise die Hackroboter. Auch fehlt es noch an wissenschaftlicher Begleitforschung, was Wirkung und Effizienz anbelangt. Aus diesem Grund ist auch die Nachfrage und die Akzeptanz der Sprühroboter geringer als bei den Hackrobotern. Da es in Bezug auf Robotik grundsätzlich rechtlich offene Fragen gibt, was

beispielsweise das autonome Fahren und den Aspekt der Versicherung betrifft, müssen auch für die Sprühroboter noch regulatorische Anpassungen erfolgen.

Bei dem Aspekt der Integration in bestehende Arbeitsprozesse muss ähnlich wie beim Hackroboter zunächst eine Umgebung geschaffen werden, in der der Roboter arbeiten kann.

► Umweltentlastung

Abbildung 39: Bewertungs-Index Umweltentlastung Sprühroboter in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Bei der Umweltentlastung erreichen die Sprühroboter einen Wert von 58 Prozent im Verhältnis zu einer herkömmlichen Feldspritze. Ähnlich wie bei den vorher beschriebenen Feldspritzen ist hier die genaue Einsparung von Herbiziden schwierig. Es ist davon auszugehen, dass sich der Wert der Herbizideinsparung ähnlich wie beim SmartSprayer auf die Überfahrt nach einer ersten Bodenherbizidbehandlung bezieht und erst danach der Sprühroboter zum Einsatz kommt. Die applizierte Menge ist dann abhängig vom Befallsdruck. Zudem können die Systeme aktuell nur Herbizide applizieren und noch keine Fungizide oder Pestizide, weil die Sensortechnik noch nicht weit genug entwickelt ist. Grundsätzlich ist bei der punktuellen Behandlung eine Einsparung bis zu 95 Prozent möglich. Durch die punktuelle Behandlung der Unkräuter werden die Nutzpflanzen weniger mit Herbiziden belastet, wodurch auch die Rückstände von Pflanzenschutzmitteln auf Lebensmitteln gegenüber einer Flächenbehandlung mit einer Feldspritze sinken werden.

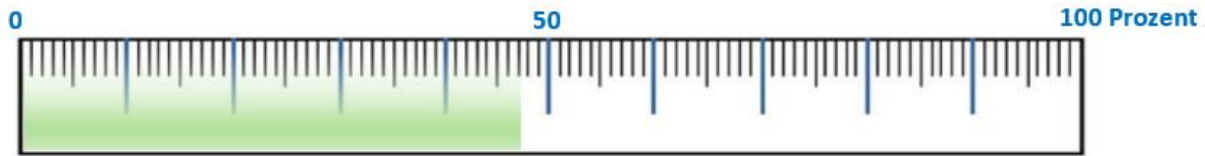
Vorteilhaft auf die Umwelt wirken sich das geringe Gewicht, die geringe Fahrgeschwindigkeit und die Sprühhöhe aus: Der Boden wird nicht durch schweres Gerät belastet und die Abdrift kann geringer sein als bei herkömmlichen Feldspritzen, weil es bei herkömmlichen Feldspritzen besonders bei Anwendungsfehlern wie falsche Düsenwahl oder Gestängeführung sowie die Wahl zu windiger Anwendungszeitpunkte zu Abdrift kommt (vgl. Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) (2021)).

Der elektrische Antrieb und auch die Solarzellen sorgen für geringe CO₂-Emissionen.

Die Entlastungen auf die Biodiversität sind ähnlich wie bei den Feldspritzen abhängig von der Pflanzenschutzstrategie des Anwenders zu bewerten: Wenn dieser eine Null-Toleranz-Strategie verfolgt, steigt die Biodiversität auf dem Feld nicht. Durch die geringe Abdrift, können sich die Effekte auf das Grundwasser und die Biodiversität am Feldrand und in Gewässern verbessern.

► Erreichung politischer Ziele

Abbildung 40: Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Sprühroboter in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Bei der Erreichung der politischen Ziele werden in etwa die gleichen Bewertungen vorgenommen wie beim SmartSprayer aus dem vorherigen Kapitel – hier wird ein Wert von 47 Prozent erreicht. Es besteht ein Potential die hier aufgelisteten politischen Ziele zu erreichen, was eine nachhaltigere Lebensmittelproduktion und das 50-Prozent-Reduktionsziel anbelangt, allerdings im Bereich des chemischen Pflanzenschutzes. Da eine Umweltentlastung, wie oben beschrieben erfolgt, werden Lebensmittel auch nachhaltiger und möglicherweise aufgrund der Mitteleinsparung auch günstiger produziert. Auch können die Sprühroboter unter diesem Aspekt einen positiven Effekt auf die Einkommensabsicherung von Landwirt*innen haben, wenn die Nachfrage nach nachhaltigen und kostengünstigen Lebensmitteln steigt.

Da es sich um chemischen Pflanzenschutz handelt, tragen Sprühroboter nicht zu dem Ziel, 25 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 2030 mit ökologischer Landwirtschaft zu bewirtschaften, bei.

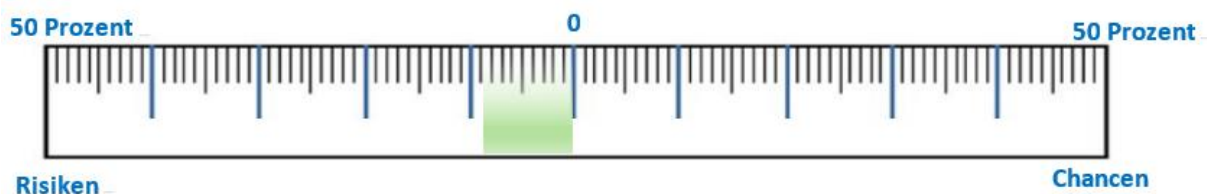
Beim ökologischen und klimatischen Fußabdruck werden die Sprühroboter im Gegensatz zu Feldspritzen besser bewertet, da sie durch den elektrischen Antrieb emissionsfrei fahren und in Abhängigkeit der CO₂-Emission bei der Stromerzeugung tendenziell weniger CO₂-Emissionen haben

Bei dem Aspekt einer verbesserten Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln besteht die Möglichkeit exakte georeferenzierte Daten bezüglich der Applikation zu erfassen, was ggf. bei zukünftigen Dokumentationspflichten nützlich sein kann.

Der Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen) wird als moderat bewertet, da Sprühroboter beim Integrierten Pflanzenschutz erst im Bereich des chemischen Pflanzenschutzes ansetzen, aber sich am Grundsatz „so viel wie nötig, so wenig wie möglich“ orientieren. Über die Möglichkeiten der Einsparpotentiale wurde bereits berichtet.

► Chancen-Risiken-Verhältnis

Abbildung 41: Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Sprühroboter in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Im Bereich Chancen versus Risiken schneidet der Sprühroboter nicht so gut ab und liegt mit -3 Punkten (9 Prozent „Risiken“) im negativen Bereich. Aktuell birgt die Anschaffung demnach mehr Risiken als Chancen im Gegensatz zu einer herkömmlichen Feldspritze.

Die Neuanschaffung eines Sprühroboters führt nach Einschätzung der Befragten unter den aktuellen Gegebenheiten bei den meisten Betrieben nicht zu einer Erhöhung des Betriebseinkommens innerhalb der nächsten fünf Jahre. Allerdings wird die Produktion der Lebensmittel im Gegensatz zu einer Feldspritze durch die Einsparung und das punktuelle Applizieren auf Unkräuter von Pflanzenschutzmittel nachhaltiger.

Die Abhängigkeit gegenüber Pflanzenschutzmittel ebenso wie gegenüber Saisonarbeitskräften bleibt, auch wenn es zu einer Einsparung von Pflanzenschutzmittel kommt, prinzipiell unverändert zu der Situation einer herkömmlichen Feldspritze. Aktuell kommt es auch nicht zu einer Arbeitserleichterung was die körperliche Arbeit oder auch die Dokumentation anbelangt, was sich allerdings ändern könnte, wenn bei der Dokumentationspflicht georeferenzierte Daten notwendig würden.

Auch hier ist davon auszugehen, dass Sprühroboter den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern sie sich in Gegenden mit schlechter Netzabdeckung nicht werden durchsetzen können.

Die Attraktivität der Arbeitsplätze sowie der Anwenderschutz ändern sich durch Sprühroboter nicht grundsätzlich, weil weiterhin mit den Chemikalien bei der Befüllung des Tanks gearbeitet wird.

Durch die Möglichkeit kleine Flächen zu behandeln, führen die Sprühroboter – ähnlich wie Hackroboter – eher zu einer Verlangsamung des Strukturwandels und sie wirken eher einer Monopolisierung auf dem Landtechnikmarkt entgegen. Allerdings steigt auch die Bearbeitungszeit gegenüber einer Feldspritze durch die geringe Fahrgeschwindigkeit und eine häufigere Befüllung des kleineren Tanks für Pflanzenschutzmittel des Roboters.

Die Komplexität der Bedienung wird von EcoRobotix als einfach beschrieben. In der Bewertung wird hier aber von einer Einarbeitungszeit und einer zeitlichen Zusatzbelastung – ähnlich wie bei Hackrobotern – ausgegangen.

Zu den laufenden Kosten sowie der Funktionssicherheit sind keine Daten vorhanden, es wird aber davon ausgegangen, dass mit der Komplexität der Technik auch die laufenden Kosten sowie die Funktionsunsicherheit gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze steigen.

Die Daten werden auf den EcoRobotix-Servern gespeichert, was zu Problemen mit der Datenhoheit führen könnte.

Bei dem Aspekt der Zielkonflikte werden Sprühroboter besser bewertet als herkömmliche Feldspritzen, weil sie einen geringen Energieverbrauch haben, keine Bodenverdichtung und auch keine Bodenerosion zur Folge haben und der Pflanzenschutzmitteleinsatz verringert wird.

3.5.4 Schlussfolgerungen

Durch die deutlich geringere Flächenleistung und höhere Bearbeitungszeit bei gleicher Wirkung gegenüber Spot-Spraying-Feldspritzen ist der Einsatz von Sprührobotern insbesondere für die Bearbeitung kleiner Schläge sinnvoll. Da kleinere Anbauflächen nach dem Prinzip des Spot Farming einen ökologischen Vorteil bieten (vgl. (Wegener, J. K.; Hörsten, D. von; Urso, L.-M. (2018))), könnten die Sprühroboter einen Beitrag für die Umsetzung dieser Anbaustrategie leisten.

Ähnlich wie bei den kamerabasierten Feldspritzen wären auch bei den Sprührobotern neue Ansätze für die Förderung der Biodiversität oder eine angepasste Behandlung von resistenten

Unkräutern möglich, sofern die Sensoren die Pflanzenarten erkennen und unterscheiden könnten. (vgl. Paulus, S.; Streit, S. (2022))

3.6 Komplexe Entscheidungshilfesysteme

Entscheidungshilfen in der Landwirtschaft zu definieren ist nicht einfach, denn Landwirt*innen holen sich bei ihren Entscheidungen die verschiedensten Arten von Unterstützung. Entscheidungsunterstützend können einfache Wetterdaten oder auch fundierte Kenntnisse von Berater*innen persönlich oder durch regelmäßige Mitteilungen an Landwirt*innen sein. Von diesen wiederum werden auch häufig Online-Dienste wie z.B. von ISIP e.V., welches auch die vorherrschende Witterung der jeweiligen Region berücksichtigt¹⁹, herangezogen.

Diese bisherigen Informationskanäle werden aber immer mehr durch komplexe, digitale Entscheidungshilfesysteme auf Grundlage Künstlicher Intelligenz ergänzt bzw. ersetzt. Dabei können dann auch kleinräumige Ereignisse wie Starkregen oder auch schlagspezifische Gegebenheiten sowie historische Biomassekarten berücksichtigt werden.

Entscheidungshilfesysteme bilden eine Schnittstelle zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, indem Entscheidungen mit Spot-Applikation kombiniert werden können. Entscheidend bei den einzelnen Systemen ist die Frage: Welche Informationen bzw. Daten nach welchen Algorithmen und Kriterien verarbeitet werden? „Neben der technischen Grundlage ist die eigentliche Dimension von Smart Spraying aber die Frage, welche Mittel wann in welcher Aufwandmenge eingesetzt werden. Dies bzw. die dazu nötigen Algorithmen basieren auf drei Parametern: Schwellenwerten (Bekämpfungsnotwendigkeit), Timing in Abhängigkeit vom Wachstum der Unkräuter (so viel Wirkungsgrad mit so wenig Aufwandmenge wie möglich) und Rahmenbedingungen (Problemunkräuter, Resistenzen).“ (DLG-Mitteilung, S. 23)

Während SmartSprayer wie in Kapitel 3.4.1.3 beschrieben in Echtzeit auf dem Feld Unkraut oder ggf. auch Krankheiten mittels Sensoren erkennen, werden mithilfe anderer Entscheidungshilfesysteme die Entscheidungen schon im Vorfeld getroffen bzw. mit den Daten aus dem Feld kombiniert. Dabei werden Geodaten, die über Satelliten oder auch Drohnen gesammelt werden, ausgewertet und mit anderen Daten wie Wetter und Bodenkarten etc. kombiniert. Es besteht auch die Möglichkeit den Befall oder die Verunkrautung via Drohnen zu messen wie z.B. beim „Schadinspektor“ von ISIP e.V. (Wolff, C.; Hoffmann, B. (2018)).

Daneben gibt es auch die Option, dass auf dem Landwirtschaftsbetrieb installierte Sensoren wichtige Parameter wie beispielsweise Feuchtigkeit, Temperatur oder sogar die Präsenz von Schädlingen/Sporen messen. Diese Parameter werden dann in eine Cloud-basierte Software eingespeist. Dazu wurde beispielsweise 2019 in dem EU-finanzierten Projekt DESSA ein Prototyp („DESSA-Entscheidungshilfe“) entwickelt, der „vollständig an der EU-Richtlinie ausgerichtet (ist), da Landwirt*innen zu Verfahrensweisen mit begrenztem Risiko für die menschliche Gesundheit und Umwelt angehalten werden und der geringe Einsatz von Pestiziden Priorität hat. (...) Auf einem ein Hektar großen Tomatenfeld in Italien installierte und validierte das DESSA-Team erfolgreich den Prototypen. Die Ergebnisse zeigten einen Anstieg des Ernteertrags um 15 Prozent, eine Pestizidreduktion um 30 Prozent und eine Reduktion der gesamten Produktionskosten um 16 Prozent“ (Europäische Kommission (Hg.) (2020)).

Die Teilflächenbewirtschaftung mittels Sensoren, aber auch mittels Drohnen ist im Gegensatz zu satellitenbasierten Karten kostenintensiver. Während sensorbasierte und satellitenbasierte Systeme eine ähnliche Wirkung erzielen sollen, bieten Drohnenbilder gegenüber Satellitenbildern eine bessere Qualität (vg.: Rutt, K. (2020), S. 28). „Betriebsgröße, Maschinenpark, angebaute Kulturen, geografische/klimatische Lage und länderspezifische Eigenheiten. Aus diesen Variablen ergibt sich der Anspruch an die Genauigkeit des Bildmaterials. Hier muss jeder Betrieb seine eigene Kosten-/Nutzenrechnung aufstellen. In jedem Fall bleibt

¹⁹ <https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de>

die Drohne immer dann die bessere Lösung, wenn der Satellit (aus welchem Grund auch immer), kein Bild in der benötigten Auflösung liefern kann (z.B. Pflanzenzählung, Unkrautererkennung).“ (Rutt, K. (2020), S. 29)

Die hier vorgestellten Beispiele, der FIELD MANAGER von xarvio™ Digital Farming Solutions und Talking Fields von VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, unterstützen die Entscheidung via satellitenbasierter Biomassekarten. Eine Liste weiterer marktreifer Systeme sind auf der Plattform „AgraCheck“, welche gerade in der Entwicklung ist und Landwirt*innen Informationen und Vergleiche für Smart Farming Technologien bereitstellen wird, zu finden.²⁰

3.6.1.1 FIELD MANAGER von xarvio™ Digital Farming Solutions (powered by BASF Digital Farming GmbH)

Laut Herstellerangaben werden durch die Kombination des Wissens von Landwirt*innen sowie aller verfügbaren Daten der Felder und Kulturen, durch den xarvio™ FIELD MANAGER der Feldstatus analysiert und klare Empfehlungen zum Feldmanagement in vier Hauptkomponenten: „Feld Monitor“, „Aussaat Optimierung“, „Nährstoffmanagement“ und „Pflanzenschutz & Wachstumsreglermanagement“ gegeben. Durch historische und aktuelle Biomassekarten, Bodenkarten und Ertragskarten basierend auf Satellitendaten zusammen mit aktuellen Wetter- und historischen Klimadaten sollen fundiertere Entscheidungen beim Feldmanagement getroffen und der Applikationszeitpunkt sowie die Dosierungen optimiert werden. Der FIELD MANAGER analysiert alle verfügbaren Daten und verarbeitet sie in agronomischen Modellen, um für jedes Feld eine optimale Schutzempfehlungen zu geben.

„Mit dem xarvio™ Applikationstimer und den variablen Applikationskarten wird die Pflanzenschutz- & Wachstumsreglerapplikation nicht nur für jedes Feld, sondern sogar feldzonenspezifisch optimiert. Felder und sogar Feldzonen weisen unterschiedliche Eigenschaften und damit auch unterschiedliche Risikostufen für Pflanzenstress auf. Die optimale Pflanzenschutzstrategie hängt von vielen Faktoren ab, wie Kultur, Sorte, Wetterdaten, Höhenlagen, Biodiversitätszonen oder Biomasseverteilung.“ (BASF Digital Farming GmbH (Hg.) (o.D.))

Zudem soll eine App eine einfache Verwaltung und die Cross Compliance Dokumentation von Anwendungen ermöglichen. Darüber hinaus können Abstandsauflagen und Biodiversitätsfenster in die eigenen Applikationskarten in Abhängigkeit von lokalen Vorschriften und Feldeigenschaften (Saumstrukturen, Gewässer) und ausgebrachten Produkten integriert werden. (vgl. BASF Digital Farming GmbH (Hg.) (o.D.))

Als Ergänzung gibt es noch das Paket „Healthy Fields“, ein Programm das präzise Applikationsempfehlungen für Fungizide und Wachstumsregler gibt und die Blattgesundheit garantieren soll, die sogar durch eine Garantie des Unternehmens abgesichert wird. (vgl. BASF Digital Farming GmbH (Hg.) (o.D.b))

► Anwendungskulturen

Aktuell kann der FIELD MANAGER zur Optimierung des Fungizideinsatzes im Winterweizen, in der Wintergerste, Zuckerrübe und Kartoffel sowie für die zeitliche Insektizidoptimierung im Raps genutzt werden. (BASF Digital Farming GmbH (Hg.) (o.D.a))

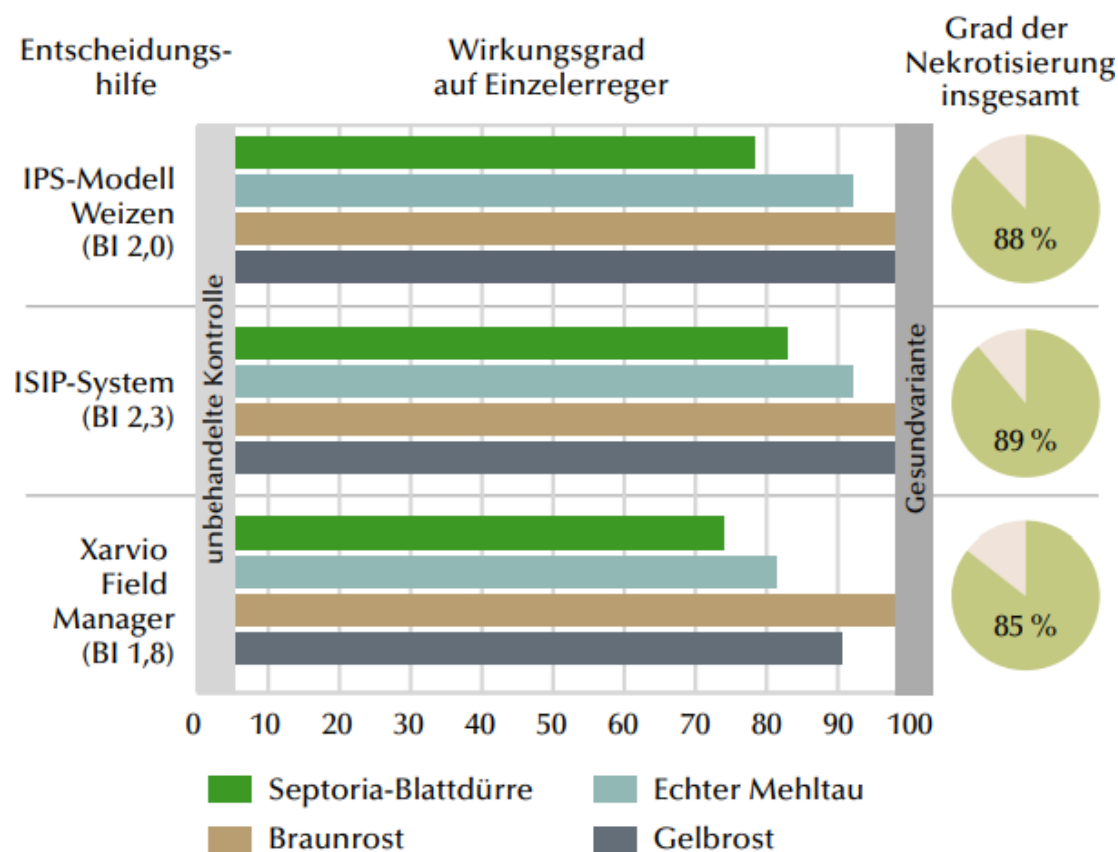
²⁰ <https://agracheck.de/>

► Wirkung

Nach Herstellerangaben führt die Anwendung des FIELD MANAGERS bei trockenen bis normalen Wetterbedingungen zu einem höheren Deckungsbetrag pro Hektar (im Durchschnitt 32 Euro) durch einen höheren Ertrag und die Fungizideinsparung von bis zu 30 Prozent im Vergleich zur Standardstrategie.

Die Universität Kiel hat in Schleswig-Holstein 2019 und 2020 die Entscheidungshilfen des IPS-Modells Weizen, des ISIP-Systems und des xarvio™ FIELD MANAGERS hinsichtlich Pathogenbefall, Zielindikation, Anwendbarkeit, Effektivität und Ertrag miteinander verglichen. Der Vergleich fand zum einen zwischen den Entscheidungshilfen und zum anderen gegenüber einer unbehandelten Kontrollvariante und einer Gesundvariante (vierfache Applikation nach BBCH-Stadien) statt. Das Fazit der Untersuchungen ist, dass in beiden Versuchsjahren durch alle Entscheidungshilfen ein gutes Ergebnis erzielt und nachgewiesen wurde. Somit stellt die Anwendung von Entscheidungshilfen für den Fungizideinsatz in der Weizenkultur für landwirtschaftliche Betriebe eine gute Möglichkeit dar, Fungizide noch effizienter einzusetzen, ohne dabei auf Ertrag verzichten zu müssen. (vgl. Prah, K. C. (2021)), S. 11).

Abbildung 42: Wirkungsgrad der getesteten Entscheidungshilfen gegen Hauptschaderreger (Prozent)



Quelle: Prah, K.C. (2021), S. 10

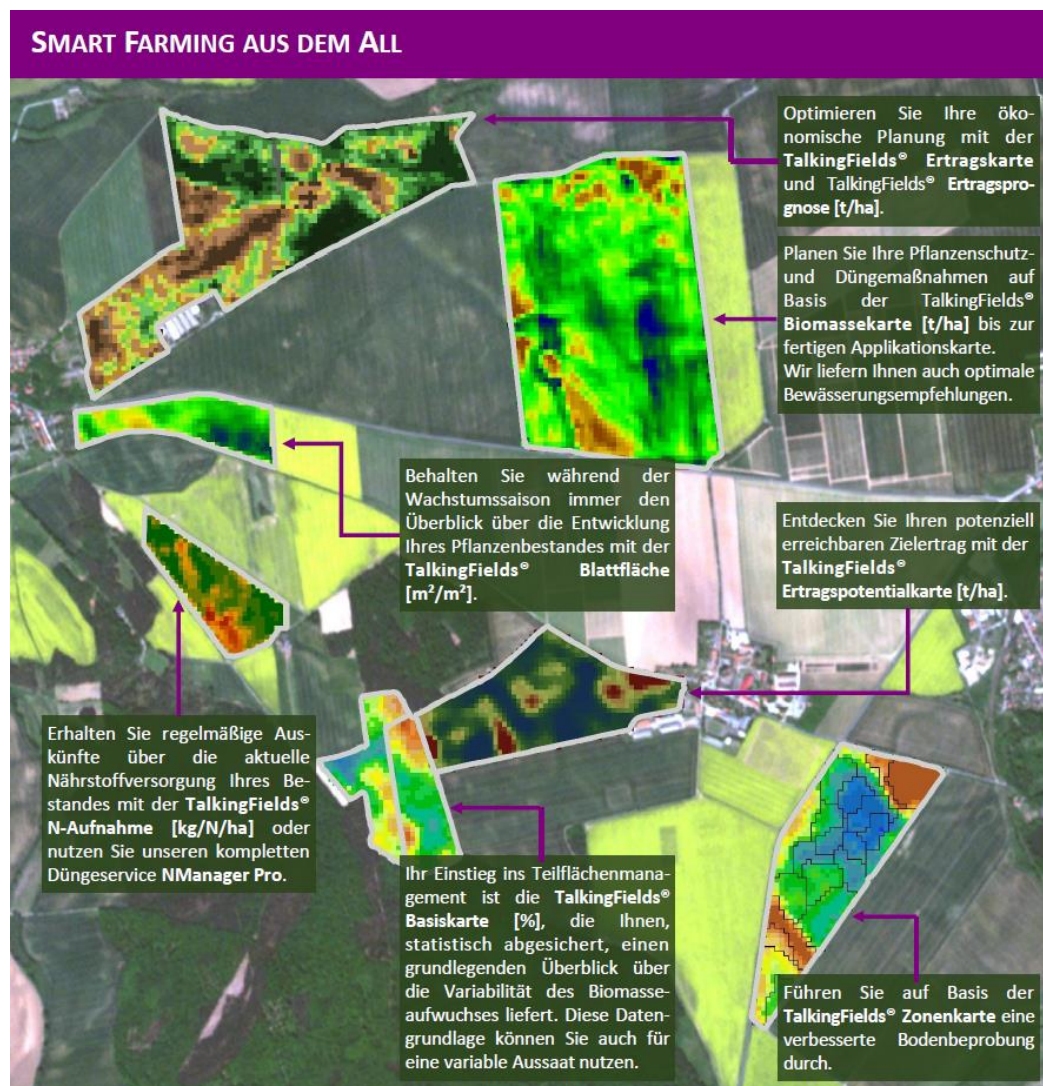
Bezüglich der zeitlichen Insektizidoptimierung im Raps und einer potentiellen Einsparung gab der Hersteller auf Nachfrage an, dass aktuell im Raps keine Kleinparzellenversuche mit Insektiziden mehr durchgeführt werden. Obwohl das Potential für Einsparungen definitiv auch

durch das Modell gegeben sei, konzentriere sich der Hersteller bei der Modellbewertung auf das verbesserte Timing im Vergleich zur gängigen Praxis in Data Collection Versuchen. Im Prinzip führe dies zu effektiveren Behandlungen. Dadurch würde das Timing verbessert, aber auch in vielen Fällen Applikationen eingespart, etwa weil bis zu einem bestimmten BBCH-Stadium ab dem der Schädling dann nicht mehr gefährlich ist, keine Zuflugsbedingungen errechnet werden und dann auch keine Warnung mehr ausgegeben wird. (vgl. Xarvio Kundenservice (2022)).

3.6.1.2 Talking Fields von VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH

Laut Herstellerangaben auf der Webseite kann mit den Talking Fields Biomassekarten die Struktur und Dichte im Bestand schnell erkannt, die eingesetzte Menge an Pflanzenschutzmitteln optimiert und der Pflanzenbestand effektiv und umweltschonend geschützt werden. (vgl. VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2019)) Konkret kann durch die TF Biomassekarten beispielsweise das höhere Krankheitsrisiko von bestandsstarken Teilflächen bei der Erstellung von Applikationskarten für Pflanzenschutzmaßnahmen berücksichtigt werden. (vgl. VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2019a)) „Die Applikationskarte stellt die vom Landwirt selbst erzeugte Auswertung, bzw. Ableitung der geplanten Maßnahmen (Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz) dar. Mit ihr werden die geplanten teilflächenspezifischen Maßnahmen auf die Maschine übertragen und ausgeführt.“ (VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2021))

Abbildung 43: Talking Fields



Quelle: VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2019b)

„Die TalkingFields Biomassekarte zeigt die gesamte oberirdische trockene Biomasse auf dem Feld zu einem spezifischen Zeitpunkt in t/ha. So kann das Pflanzenwachstum innerhalb der laufenden Vegetationsperiode überwacht werden, um gegebenenfalls regulierend einwirken zu können. Ausgeliefert werden über die Wachstumsperiode hinweg vier TalkingFields Biomassekarten zu frei gewählten Zeitpunkten. Zumeist werden Termine kurz vor oder am Tag einer geplanten Maßnahme (z.B. Düngung) verwendet. Für die Erstellung der TalkingFields Biomassekarte werden aktuelle Satellitendaten mit einem Pflanzenwachstumsmodell (PROMET) kombiniert. Dadurch ist es möglich, Karten auch zu Zeitpunkten zu erstellen, zu denen keine qualitativ hochwertige Satellitenaufnahme vorliegt.“ (VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2019))

► Anwendungskulturen

Geliefert werden kann die TalkingFields Biomassekarte derzeit für die Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Raps, Mais und Zuckerrübe. (vgl. VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2019a))

► Wirkung

Nach Rückfrage beim Hersteller liegt der Fokus der Pflanzenschutzanwendungen derzeit bei Empfehlungen für Wachstumsregler. „Unsere Pflanzenschutz-Anwendungen beziehen sich derzeit auf die Verteil-Empfehlung von Wachstumsregler in der Fläche. Versuche zur räumlich optimierten Verteilung von Wachstumsregler und Düngemittel auf Grundlage der TalkingFields Karten gegenüber homogener Verteilung der gleichen Mengen zeigen eine Steigerung von Ertrag und insbesondere der Qualität bei Weizen, während die Standfestigkeit erhalten bleibt. Fokus liegt hierbei auf einer optimierten Verteilung, nicht auf einer Reduktion der Applikationsmengen.“ (Herstellerauskunft via E-Mail, 11.1.2024).

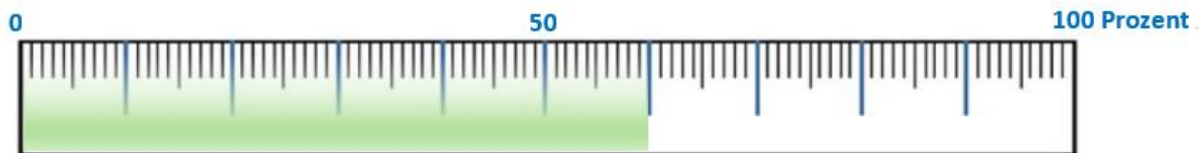
3.6.2 Akteur*innen, Stakeholder*innen und Zielgruppen

Die Innovation kann grundsätzlich bei allen konventionellen Betrieben eingesetzt werden. Voraussetzung ist eine gute digitale Infrastruktur.

3.6.3 Bewertungs-Index

► Reifegrad

Abbildung 44: Bewertungs-Index Reifegrad Entscheidungshilfesysteme in Prozent



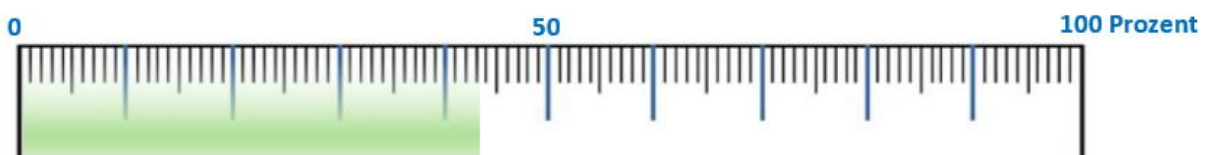
Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Im Bereich Reifegrad erreichen die Entscheidungshilfesysteme einen Wert von 60 Prozent. Die Systeme sind getestet und validiert, allerdings können Prognosen nicht für alle Kulturen und Schaderreger gemacht werden. Die Systeme sind bisher nur von einer marginalen Gruppe eingesetzt und auch akzeptiert. Ein Grund hierfür könnte sein, dass mit kostenfreien bzw. kostengünstigen Systemen wie dem oben erwähnten ISIP-System sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Entscheidungshilfesysteme können grundsätzlich auf jedem Betrieb mit den entsprechenden angebauten Kulturen integriert werden, sofern die erforderliche Netzabdeckung vorhanden ist.

Regulatorische Anpassungen sind nach Aussagen der Expert*innen erforderlich, beispielsweise sollten digital erfasste Nachweise zur Einhaltung gesetzlicher Regelungen bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln im Falle eines unabhängigen Qualitätsnachweises auch behördlich anerkannt werden. Dies schaffe Rechtssicherheit für Landwirt*innen und erhöhe den Nutzen digitaler Anwendungen in der Praxis.

► Umweltentlastung

Abbildung 45: Bewertungs-Index Umweltentlastung Entscheidungshilfesysteme in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Im Bereich der Umweltentlastung ist es schwierig eine pauschale Aussage zu treffen, da das Einsparpotential an Pflanzenschutzmitteln zum einen vom Befallsdruck und zum anderen von der Risikoaffinität bzw. -aversion und der exakten Anwendung der Landwirt*innen abhängig ist. Hier wird ein Wert von 43 Prozent errechnet.

Von Herstellenden werden Fungizideinsparungen bis zu ca. 30 Prozent angegeben. Die Einsparung beschränkt sich aktuell auf Fungizide, wobei hier laut JKI auch grundsätzlich das größte Optimierungspotential in Bezug auf die richtige Aufwandmenge besteht. Auf Nachfrage beim Hersteller, worin sich der xarvio FIELD MANAGER von kostenfreien Systemen unterscheidet, wurde insbesondere die feldspezifische Empfehlung gegenüber einer regionalen hervorgehoben: „Daher spiegeln die agronomischen Modelle im Vergleich zu regionalen Entscheidungssystemen ein präziseres Krankheitsrisiko auf der Fläche wider. Durch die genaueren Empfehlungen steigt das Einsparpotential für Landwirt*innen. Für die feldspezifischen Prognosen geben Landwirt*innen vor der Saison 6 Feldinformationen (Kultur, Aussaattermin, Sorte, Ertragserwartung, Bodenbearbeitung, Vorfrucht) an. Auf Basis dieser Daten und den lokalen Wetterbedingungen werden die Applikationstermine durch die agronomischen Modelle optimiert.“

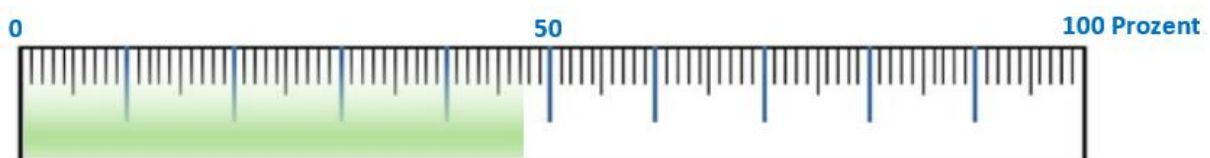
Da sich die Art der Applikation nicht ändert, werden keine Effekte auf die Bodenstruktur erwartet. Die Mitteleinsparungen haben keinen Effekt auf die Biodiversität, werden aber Niedrigertragszonen in Blühstreifen umgewandelt, können hier positive Effekte entstehen. Diese wiederum haben positive Effekte auf die Biodiversität am Feldrand und in Gewässern.

Es wird von keinem Effekt auf die CO₂-Emissionen oder in Bezug auf Substitutionseffekte gegenüber einer herkömmlichen Applikation ausgegangen. Durch die Einsparungen von Fungiziden können Emissionen bei der Herstellung eingespart werden, auf der anderen Seite entstehen durch die Verwendung der Software (z.B. Serverleistung etc.) wiederum CO₂-Emissionen.

Durch die Einsparung von Fungiziden werden weniger Pflanzenschutzmittelrückstände auf Lebensmitteln erwartet.

► Erreichung politischer Ziele

Abbildung 46: Bewertungs-Index Erreichung politischer Ziele Entscheidungshilfesysteme in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

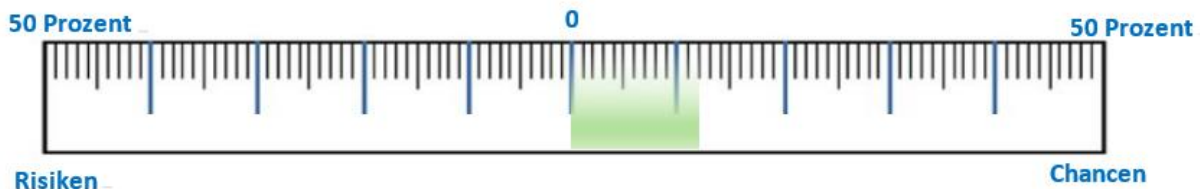
Bei der Erreichung der politischen Ziele wird hier ein Wert von 47 Prozent errechnet. Die Systeme können also einen Beitrag zu den hier bewerteten Zielen erbringen.

Entscheidungshilfesysteme leisten einen Beitrag zur Produktion nachhaltiger Lebensmittel sowie zur Ernährungssicherheit, weil durch die Hinweise der Entscheidungshilfesysteme die richtigen Anwendungszeitpunkte gefunden und somit Ertragseinbußen minimiert werden

können. Durch die Mitteleinsparungen und verminderten Ertragseinbußen könnten die Lebensmittel günstiger werden. Somit können Entscheidungshilfesysteme zur Einkommensabsicherung von Landwirt*innen beitragen.

► Chancen-Risiken-Verhältnis

Abbildung 47: Bewertungs-Index Chancen-Risiken-Verhältnis Entscheidungshilfesysteme in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Bei den Chancen und Risiken erreichen die Entscheidungshilfesysteme einen positiven Wert von +4 (12 Prozent „Chancen“).

Die vergleichsweise geringen Investitions- und laufenden Kosten können durch die Mitteleinsparungen schnell amortisiert werden. Hinzukommen verringerte Ertragseinbußen und ein möglicher besserer Absatzmarkt für nachhaltigere Lebensmittel.

Bei den Aspekten der Abhängigkeit gegenüber Pflanzenschutzmitteln oder Saisonarbeitskräften und eines verbesserten Anwenderschutzes werden keine Effekte gegenüber einer herkömmlichen Praxis erwartet.

Wie bei den anderen Technologien, werden in Bezug auf die Digitalisierung im ländlichen Raum keine positiven Effekte durch die Entscheidungshilfesysteme entstehen. Die Systeme werden sich hingegen in Regionen mit schlechter Netzabdeckung nicht durchsetzen können.

Aufgrund der geringen Kosten wird kein Strukturwandel hin zu größeren Betrieben erwartet. Ebenso zeichnet sich aktuell keine Konzentration auf dem Markt ab.

Es werden keine Zielkonflikte oder rechtliche Probleme erwartet. In Bezug auf die Datenhoheit und Datenschutz wird bei den betrachteten Systemen auf Sicherheit geachtet, grundsätzlich kann es hier aber zu Datenmissbrauch kommen.

Das Anlegen der Applikationskarten, die richtige Datenauswertung und die Bedienung werden als eher komplex eingestuft, wodurch aber auch das Potential von attraktiveren Arbeitsplätzen durch eine höhere Qualifikation entstehen kann.

Zudem tragen die Systeme zu einer Arbeitserleichterung bei, weil sie – nach der Startphase – eine Zeitersparnis beim Monitoring und bei der Dokumentation erbringen können.

3.6.4 Schlussfolgerungen

Damit Entscheidungshilfesysteme breiter genutzt werden, könnte es förderlich sein, dass digitale Anwendungen bezuschusst oder gefördert werden. So stellt Andreas Schweikert vom Digitalverband Bitkom in einem Interview heraus, dass es derzeit Zuschüsse für den Kauf einer Maschine, nicht aber für die Software gebe. „Das ist, als würde man ein Navigationsgerät fördern, nicht aber das Kartenmaterial. Wichtig ist, dass wir KI-Anwendungen in möglichst vielen Betrieben zum Einsatz bringen. Das muss nicht immer kostspielig sein. Bei sogenannten Pay-

per-use-Modellen bezahlen Landwirte nur die tatsächliche Anwendung, ohne gleich die ganze Maschine kaufen zu müssen. In Zukunft sollten auch solche Modelle von der Förderung abgedeckt sein.“ (Redaktion Agrarzeitung (2021))

Auch für die Anforderungen bei der Dokumentation und Kontrolle von Pflanzenschutzmaßnahmen könnten Entscheidungshilfesysteme einen Beitrag leisten, indem die Anwendungen direkt in den Applikationskarten vermerkt und behördlich anerkannt werden.

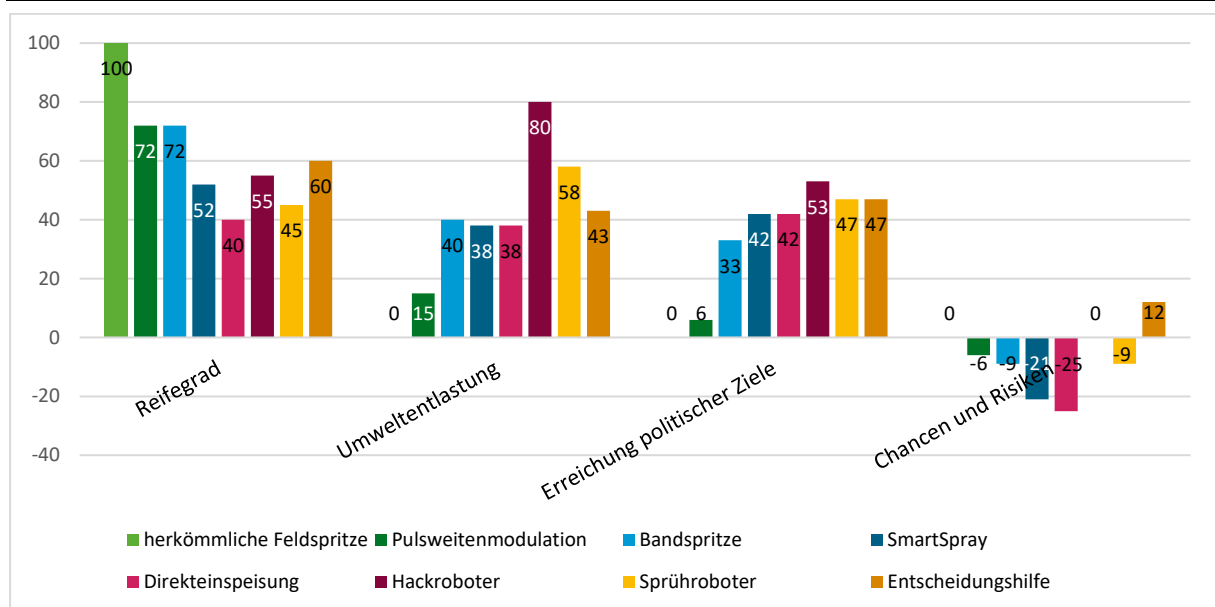
3.7 Zusammenfassung der Analysen der Fallstudien

Im Arbeitspaket 2 dieser Studie wurden konkrete Fallbeispiele aus den in Arbeitspaket 1 erarbeiteten Innovationen herausgegriffen und detailliert betrachtet. Sowohl die einzelnen konkreten Geräte wurden detailliert beschrieben als auch ein Bewertungs-Index zum Vergleich der Technologien entwickelt und erarbeitet. Die Ergebnisse zeigen, dass es schwierig ist, pauschale Aussagen zu den einzelnen Punkten im Fragenkatalog zu treffen, da insbesondere die Bereiche Umweltentlastung, Erreichung der politischen Ziele sowie die Abwägung der Chancen gegenüber den Risiken für den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb sehr unterschiedlich ausfallen können.

Zudem handelt es sich um eine Momentaufnahme. Die Bewertungen können sich nicht nur nach Entwicklungsgrad der Technologie, sondern auch nach wirtschaftlichen Bedingungen wie z.B. der Entwicklung der Preise von Pflanzenschutzmitteln, den Ergebnissen in der Umweltforschung und auch nach politischen Entscheidungen sehr schnell ändern.

Trotzdem können grundsätzliche Aussagen zu den Fallbeispielen getroffen werden, welche an dieser Stelle kurz zusammengefasst werden und in Abbildung 50 dargestellt sind.

Abbildung 48: Übersicht Bewertungs-Index für alle Fallbeispiele in Prozent



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Im Teilbereich **Reifegrad** zeigt der Bewertungs-Index, dass bei den vorgestellten Technologien grundsätzlich marktreife Produkte verfügbar sind. Ebenso sind potentielle Märkte vorhanden, die aber noch nicht in der Breite ausgeschöpft werden. Bei einzelnen Technologien fehlt es noch an gesetzlichen Rahmenbedingungen wie beispielsweise beim autonomen Fahren oder zu Aspekten des Datenschutzes oder der Datenhoheit bzw. zu einzelnen Zulassungsverfahren. Weiterer technischer Entwicklungsbedarf besteht insbesondere im Bereich Sensorik zur Erkennung von Unkräutern, aber auch Pflanzenkrankheiten sowie einer umfangreichen Aufarbeitung von Daten in den Programmen und Modellen.

Wichtig für die Studie war die Einordnung von Konsequenzen auf den Integrierten Pflanzenschutz durch den Einsatz der untersuchten Technologien. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass digitale Lösungen den Integrierten Pflanzenschutz beispielsweise durch die Möglichkeit einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung unterstützen können. Die vorgestellten Technologien sind primär keine Lösungen, die im präventiven Pflanzenschutz ansetzen, wobei Entscheidungshilfesysteme in Kombination mit Robotik dabei unterstützen kann, kleinteiligere Anbausysteme zu fördern. Zudem können Entscheidungshilfesysteme bei der Risikoanalyse und dem Monitoring Vorteile bringen. Die weiteren vorgestellten Technologien sind alle dem kurativen Pflanzenschutz zuzuordnen: Die Hackroboter als physikalische, die Sprühroboter und verschiedenen Feldspritzen als chemische Methoden, die dem Prinzip „das notwendige Maß“ folgen.

Zusammenfassend haben alle vorgestellten Technologien das Potential der **Umweltentlastung** in Bezug auf Pflanzenschutzmittel und auch das Potential, einen Beitrag zum **Erreichen der politischen Ziele** in diesem Bereich zu leisten, stets im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze als Referenzmethode.

Im Hinblick auf die Umweltentlastung müssen Herbizide, Insektizide und Fungizide unterschiedlich betrachtet werden. Hackgeräte können ausschließlich im Bereich der Herbizide für eine geringere Umweltwirkung sorgen, ebenso der SmartSprayer, weil die Sensoren nur Unkräuter erkennen können. Der FIELD MANAGER hingegen kann aktuell nur im Bereich der Fungizide eingesetzt werden. In Bezug auf Insektizide hat keine der vorgestellten Technologien einen konkreten Einsatzbereich.

Bei einer Abwägung der Chancen und Risiken gegeneinander schneiden die Entscheidungshilfesysteme positiv ab, d.h. die Systeme bieten mehr **Chancen als Risiken**. Die Hackroboter haben auf konventionellen Betrieben gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze ein ähnliches Chancen-Risiken-Verhältnis, wobei diese bei den einzelnen Punkten unterschiedlich verteilt sind und je nach Betrieb unterschiedlich ausfallen können. Bei Ökobetrieben bieten Hackroboter in den hier betrachteten Punkten mehr Chancen als Risiken. Hier muss allerdings beachtet werden, dass der Vergleich nicht gegenüber einer Feldspritze, sondern gegenüber manuellem Hacken erfolgte. Die anderen betrachteten Technologien bieten aktuell mehr Risiken als Chancen und finden sich somit im negativen Bereich wieder.

Entscheidende Risiken aus Sicht der Landwirt*innen sind in erster Linie ökonomischer Natur (z.B. Investitionskosten, Wirtschaftlichkeit) verbunden mit Unsicherheiten in der Wirksamkeit und somit dem Risiko einer Ertragsminderung. Ein weiteres Hemmnis ist die teilweise eingeschränkte Anwendungsmöglichkeit der einzelnen Technologien, die zudem eine Bereitschaft erfordert, die herkömmliche Pflanzenschutzstrategie zu verändern. Unabhängige Forschungsergebnisse sowie umfangreiche Beratung könnten helfen, diese Hindernisse zu überwinden. Dabei sollte der Pflanzenschutz nicht isoliert betrachtet, sondern die teilflächenspezifische Bewirtschaftung auch beispielsweise im Bereich der Düngung oder Bewässerung mitgedacht werden, weil damit z.B. eine Umstellung der gesamten technischen Ausstattung auf dem Betrieb rentabler werden könnte.

Abbildung 55 fasst die PSM-Einsparpotentiale und die möglichen Einsatzbereiche, wie sie in den vorherigen Kapiteln zu den Fallbeispielen beschrieben wurden, zusammen.

Abbildung 49: Einsatzmöglichkeiten und Einsparpotential der betrachteten Technologien

Technologie	Frucht	PSM-Einsparung	PSM-Art
herkömmliche Feldspritze	alle	0	alle
Pulsweitenmodulation	alle	< 10 %	alle
Bandspritze	Hackfrüchte	< 65 %	Herbizide
SmartSprayer	alle - außer Weizen	< 30 %	Herbizide
Direkteinspeisung mit Entscheidungshilfe	_____	_____	_____
Hackroboter	Hackfrüchte, Gemüse, Kräuter (je nach Software)	< 100 %	Herbizide
Sprühroboter	Reihenkulturen, Feldgemüseanbau, Grünland	< 95 %	Herbizide
Entscheidungshilfe	Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrübe, Kartoffel	< 30 %	Fungizide

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

3.8 Entwicklungen im Pflanzenschutz und Synergien mit digitalen Technologien

In der Entwicklung im Pflanzenschutz kann zunächst festgehalten werden, dass in Zukunft weniger Wirkstoffe im Pflanzenschutz zugelassen werden und somit Schwierigkeiten im Resistenzmanagement entstehen können. Deswegen müssen im Pflanzenschutz vorbeugende Maßnahmen – wie es im Integrierten Pflanzenschutz vorgesehen ist – eine größere Bedeutung bekommen.

Neben dieser Entwicklung läuft parallel die Digitalisierung aller Lebensbereiche und somit auch im Pflanzenschutz. Dabei wird in erster Linie digitale Landtechnik in den Blick genommen. Alle ausgewählten und ausführlich beschriebenen Praxisbeispiele können grundsätzlich in bestehende Anbaustrategien integriert werden und entsprechen in den verschiedenen Bereichen dem Integrierten Pflanzenschutz bzw. den Leitlinien des Pflanzenschutzes. Diese besagen, dass mechanische Unkrautbekämpfung, wenn möglich, vorzuziehen ist. Zudem sollten Entscheidungshilfesysteme genutzt – und wenn Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden, sollten diese auf das notwendige Maß und nach Möglichkeit auf Teilflächen begrenzt – werden. (vgl. Deutscher Bauernverband (Hg.) (2021)) An diesen Punkten setzen die Hackroboter, die beschriebenen Applikationstechniken sowie die Entscheidungshilfesysteme an.

„Werden die Unkräuter im kamerabasierten Ansatz erkannt und in Arten unterschieden, können diese – theoretisch – individuell behandelt werden. Dies ermöglicht neue Ansätze zur

Förderung der Biodiversität in Agrarlandschaften oder die angepasste Behandlung von resistenten Unkräutern.“ Paulus, S.; Streit, S. (2022))

Synergien mit digitalen Agrartechnologien können sich im Bereich der Sorten ergeben, die durch Züchtung oder auch biotechnologische Verfahren geschaffen werden. Hier könnten gezielt Pflanzeigenschaften gefördert werden, die in der Wuchsform oder der Wechselwirkung für Spot Farming oder Mischkulturen geeignet sind. (vgl. Wilhelm, R. u. a. (2021))

Neben diesen Innovationen gibt es auch noch weitere Neuerungen im Pflanzenschutz, durch die sich ggf. Vernetzungen und Schnittstellen mit der digitalen Landtechnik ergeben könnten:

Zum einen gibt es den Bereich des biologischen Pflanzenschutzes: Neben Nützlingen könnten in Zukunft auch Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Pilze), von denen laut JKI viele Low-Risk-Substanzen sind, zur Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden. (vgl. Jehle, J.A. (2019), S. 11). Auch sogenannte Biostimulanzien, die auch als Beizmittel eingesetzt werden können, müssen beachtet werden (vgl. Rohlmann, A.K. (2021)). Der Marktzugang für solche Produkte soll auch auf europäischer Ebene erleichtert werden: „Im Rahmen der Strategie „Vom Hof auf den Tisch“ hat die Kommission vier Verordnungsentwürfe zu Datenanforderungen, Genehmigungskriterien und Bewertungsgrundsätzen für Wirkstoffe, die Mikroorganismen sind, und die sie enthaltenden Pflanzenschutzmittel ausgearbeitet mit dem Ziel, den Marktzugang alternativer Produkte zu chemischen Pestiziden zu erleichtern. Diese Entwürfe werden im Herbst 2022 angenommen und in Kraft treten. Hierdurch soll es Landwirten ermöglicht werden, chemische Pflanzenschutzmittel zu ersetzen. Durch das vereinfachte Inverkehrbringen solcher biologischen Pflanzenschutzmittel werden den Landwirten – auch den Öko-Landwirten – mehr Alternativen für einen nachhaltigen Pflanzenschutz zur Verfügung stehen.“ (Europäische Kommission(2022a), S. 5)

Darüber hinaus werden neuartige Pflanzenschutzmittel durch die Methode der RNA-Interferenzen zur Abwehr von Krankheitserregern und Schädlingen durch „Gene Silencing“ (Genstummschaltung) (vgl. Ordon, F. (2021), S. 17) entwickelt und ggf. zugelassen.²¹ Diese neuen Pflanzenschutzwirkstoffe haben eine andere Wirkungsweise als chemische Pflanzenschutzmittel und erfordern eine veränderte Risikoanalyse in Bezug auf die Umweltwirkung und Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Möglicherweise könnten digitale Technologien für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung hier ein Brückenglied für neue Regulierungsstandards und die Risikoanalyse sein, wie folgendes Beispiel es beschreibt.

„Die ARGE NORD e.V. hat beispielsweise 2021 Versuche zur Bandapplikation von Conviso One, also dem Herbizid aus dem Conviso-Smart-System, durchgeführt. Dieses System hat zur Zulassung sehr komplexe Anwendungsaufgaben erhalten, die unter anderem Bandapplikationen, kombiniert mit mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahmen zwischen den Pflanzenreihen, erfordern. Die Grundidee des Systems besteht darin, eine ALS-tolerante Zuckerrübensorte anzubauen und die Unkrautregulierung mit einem Herbizid (Conviso One) aus der Klasse der ALS-Inhibitoren durchzuführen. Vorangegangene Versuchsserien haben gezeigt, dass die ursprünglich für die Zulassung geplante flächige Applikation von 1 l/ha oder zweimal 0,5 l/ha gute Bekämpfungserfolge

21 „Spritzmittel mit Wirkstoffen auf RNAi-Basis stellen eine neue Klasse von Pflanzenschutzmitteln dar, die für eine nachhaltigere Landwirtschaft große Potenziale aufweist. Die Entwicklung solcher Wirkstoffe findet an der Schnittstelle molekularbiologischer Verfahren und konventioneller PSM-Anwendung (Pflanzenschutzmittel) statt und ist ein sich dynamisch entwickelnder Sektor (MAT JALALUDDIN et al., 2019). Erste Zulassungen für PSM mit diesen Wirkstoffen werden in den nächsten Jahren erwartet. Das Potenzial dieser Mittel für eine nachhaltigere Landwirtschaft liegt in der hohen Spezifität gegenüber den Schaderregern und der geringeren Auswirkungen auf die Umwelt (OECD, 2020). Dem gegenüber steht meist eine geringere und verzögerte Wirksamkeit im Vergleich zu konventionellen Spritzmitteln und offene Fragen hinsichtlich der Formulierung der PSM in Bezug auf die Zulassung solcher Mittel (SCHENKEL & GATHMANN, 2021; DIETZ-PFEILSTETTER et al., 2021). (Wilhelm, R., Bartsch, D., Consmüller, N., de Witte, T., u. a. (2021), S. 49)

gegen die wichtigsten Unkrautarten ermöglicht. Für die flächige Applikation sind diese Mengen aktuell nicht zugelassen. Lediglich in Reihenapplikation mit diversen Zusatzaufgaben, wie bspw. die Beschränkung auf nicht drainierte Flächen. Auf drainierten Flächen im Bandspritzverfahren ist aktuell unter bestimmten Bedingungen die zweimalige Anwendung von 0,25 l/ha zugelassen. Das heißt, die zugelassene Herbizidmenge wurde im Vergleich zur geplanten Zulassungsmenge deutlich reduziert. Deshalb sollte in Kleinparzellenversuchen mit umgerüsteter Parzellenbandspritzung und nachfolgender betrieblicher Hacktechnik die Wirkung des Verfahrens bei reduzierten Aufwandmengen ermittelt werden.“ (Baumgarten, S; Hahnkemeyer, T. (2022), S. 15)

Für solche Fälle könnten punktgenaue Sprühsysteme (Sprühroboter oder Smart Spraying-Feldspritzen) die exakte Einhaltung definierter Kriterien für die Applikation von Pflanzenschutzmitteln ermöglichen und zudem einen georeferenzierten Nachweis über die gesetzeskonforme Ausbringung bringen.

4 Workshop und Stakeholder*innen-Dialog (AP 3)

Ein wichtiger Aspekt der Studie war die Identifikation von Stakeholder*innen und Akteur*innen im Bereich der aktuellen, praxisnahen Entwicklungen digitaler Technologien im Pflanzenschutz. Dabei sollte ein Dialog aufgebaut werden, um den aktuellen Stand und weitere Entwicklungen zu diskutieren. Im Zuge der in AP 1 durchgeführten Literaturrecherche wurden aus diesem Grund neben den technologischen Entwicklungen auch deren Treiber und Hemmnisse sowie die entsprechenden beteiligten und betroffenen Stakeholder*innen identifiziert.

Als erste Interessengruppe sind Landwirt*innen, Maschinenringe sowie Lohnunternehmen zu nennen.

Eine weitere Interessengruppe bilden Landtechnikherstellende und die digitale Industrie: „Neben Start-ups, den öffentlichen Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen und innovativen Landwirt/innen sind es vor allem die großen Agrarkonzerne (Landtechnikhersteller und Betriebsmittelproduzenten), welche die Innovationsdynamik im Bereich der Digitalisierung maßgeblich antreiben. Zusätzlich drängen neue, teils auch branchenfremde Dienstleister mit datenbasierten Geschäftsmodellen auf den Markt.“ (Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), S. 216)

Als weitere Gruppen gibt es den Lebensmittelhandel sowie Verbraucher*innen und Nicht-Regierungs-Organisationen. (vgl. Ehlers, M.-H.; Finger, R.; El Benni, N.; Gocht, A.; u. a. (2022)): „Darüber hinaus werden Möglichkeiten diskutiert, mittels digitaler Technologien die verschiedenen vor- und nachgelagerten Stufen entlang der agrarischen Wertschöpfungskette (inklusive Landmaschinen- und sonstige Produktionsmittelhersteller, Lebensmittel verarbeitende Unternehmen, Groß- und Einzelhandel) stärker untereinander zu verzahnen, mit dem Ziel, den gesamten Prozess der Lebensmittelproduktion transparenter auszugestalten und somit letztlich flexibler an gesellschaftlichen Erwartungen auszurichten.“ (Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021), S. 215)

Als wichtige Stakeholder*innen sind Pflanzenschutzmittelherstellende zu nennen, die durch die Reduktion von Wirkstoffen im Pflanzenschutz stark betroffen sind. „Bereits seit Jahren bereiten sich viele Hersteller auf diese Situation vor. Sie entwickeln den integrierten Pflanzenschutz weiter, der acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen kombiniert, oder schadsschwellenkonforme Lösungen wie etwa selektive Herbizide.“ (Deininger, O. (o.D.))

Mit den identifizierten Stakeholder*innen wurde ein Dialogprozess gestartet, um gemeinsam über einen zielgerichteten Einsatz der digitalen Technologien diskutieren zu können und gemeinsam Herausforderungen im Pflanzenschutz begegnen zu können. Der Startschuss für den Dialog war ein Workshop, in dem zunächst die bisherigen Studienergebnisse aus AP1 und AP2 vorgestellt und diskutiert und dann gemeinsam nach Lösungsansätzen gesucht werden sollte. Der Online-Workshop fand am 17. und 18. Oktober 2022 jeweils einen halben Tag statt. Von den eingeladenen Stakeholder*innen aus den oben beschriebenen Bereichen nahmen ca. 50 Personen an der Online-Veranstaltung teil. Der Dialog wird von Seiten des Umweltbundesamtes durch weitere Online-Meetings fortgesetzt werden.

Die Diskussionen im Rahmen des Stakeholder*innen-Workshop hatten zum Ziel, die verschiedenen Standpunkte zu erläutern. Sie zeigten auf, dass es unterschiedliche Prioritäten der verschiedenen Stakeholder*innen gibt, aber das gemeinsame Ziel eines umweltgerechten Pflanzenschutzes vorhanden ist. Als gemeinsames Ergebnis des Workshops lässt sich festhalten, dass die Digitalisierung der Landwirtschaft große Chancen zur Umweltentlastung bietet, diese sich aber nicht automatisch durch die Implementierung digitaler Technologien in der Praxis einstellen. Kontrovers diskutiert wurden hierzu Aspekte der Kontrolle und der

Dokumentationspflicht und mögliche Nachweise der Anwendungen im Hinblick auf eine Umweltentlastung, an die wiederum eine finanzielle Förderung geknüpft werden könnte.

Eine Zusammenfassung des und die Präsentationen zum Workshop können auf folgender Seite des Umweltbundesamtes eingesehen werden: [Online-Workshop – Digitalisierung der Landwirtschaft](https://www.umweltbundesamt.de/service/termine/online-workshop-digitalisierung-der-landwirtschaft)²²

²² <https://www.umweltbundesamt.de/service/termine/online-workshop-digitalisierung-der-landwirtschaft>

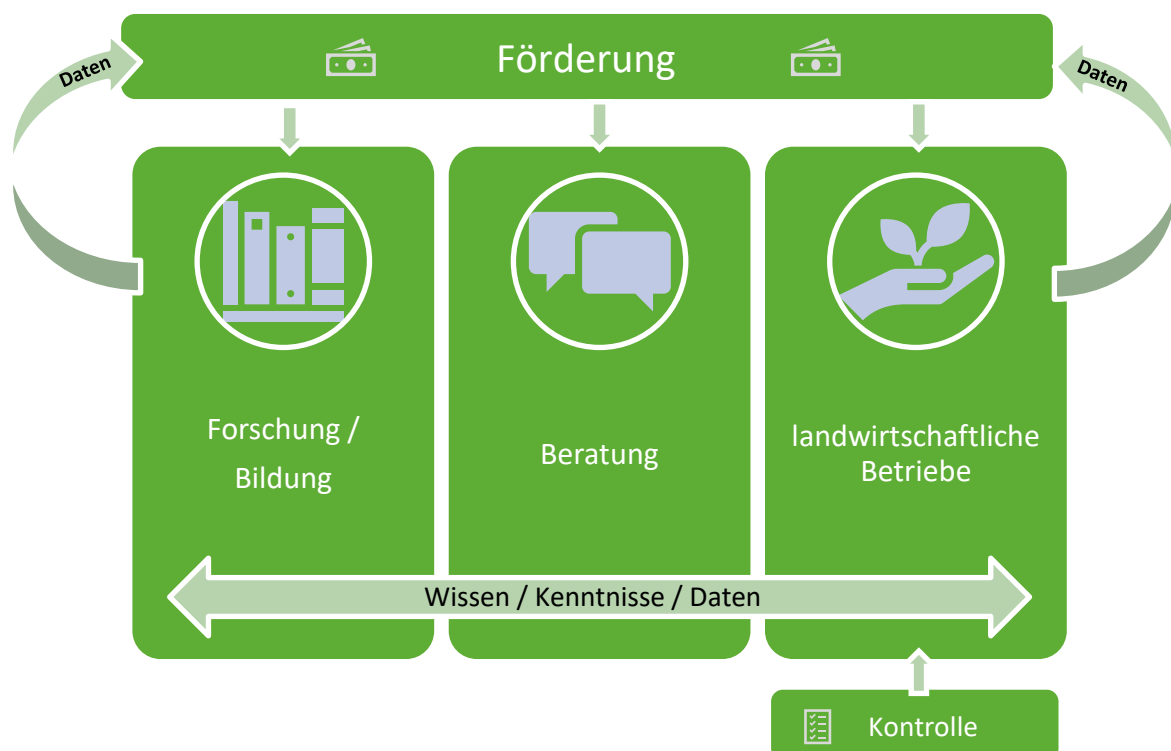
5 Handlungsempfehlungen (AP 4)

Anhand der Literaturrecherche, der Interviews, der detaillierten Betrachtung der Fallbeispiele sowie des Stakeholder*innen-Dialoges sollten Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Im Fokus stehen dabei die Förderung der Digitalisierung der Landwirtschaft bei gleichzeitiger Verbesserung des Pflanzenschutzmanagements mit Blick auf die notwendige Reduzierung von Mitteln. Es wurden vier Bereiche als entscheidend identifiziert, in denen es zusätzlicher Entwicklungen bzw. Veränderungen bedarf: Forschung, Förderung, Beratung und Kontrolle.

Weitere Anstrengungen sind notwendig in der grundlagen- als auch anwendungsorientierten Forschung, hinsichtlich einer allgemeinen und strukturierten Beratung für alle Beteiligten und Betroffenen, bei der zielgerechten finanziellen Förderung und hinsichtlich dezidierter Kontrollmechanismen.

Die vier Handlungsbereiche sind miteinander verzahnt und beeinflussen sich gegenseitig. Finanzielle Förderung braucht es sowohl für die Betriebe, die die neue Technik anschafft als auch im Bereich der Forschung sowie der Beratung. Die Ergebnisse aus der Forschung fließen dann wiederum in die Weiterentwicklung der Technologien und Anwendungen sowie in die Weiterbildung der Landwirt*innen als auch in die Beratung ein. Auch können wissenschaftliche Erkenntnisse Grundlage für gezielte finanzielle Förderungen sein. Daten der Landwirt*innen, über die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln, können dann wieder zurück in die Forschung fließen, um das Eintreten der gewünschten Effekte zu überprüfen. Dies kann wiederum die Basis für weitere Entwicklungen sein.

Abbildung 50: Handlungsbereiche



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

5.1 Handlungsbereich „Forschung“

Die detaillierte Bewertung der betrachteten Technologien nach dem entwickelten Fragenkatalog hat insbesondere weiteren Forschungsbedarf offengelegt. Zum einen müssen alle Technologien hinsichtlich der Marktreife verbessert werden. Zum anderen fehlt es an einer ausreichend breiten Datenbasis, um sowohl die Wirkung unter unterschiedlichen Umweltbedingungen, als auch die direkten und längerfristigen ökologischen Effekte gesichert abschätzen zu können. Dies ist besonders im Zusammenhang mit der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln von Bedeutung. Mangelnde Kenntnisse und Unsicherheiten sind – verbunden mit ökonomischen Risiken – die größten Hemmnisse bei der breiten Umsetzung der Technologien. Konkret bedarf es:

- ▶ Forschung zur technischen Weiterentwicklung (z.B. Erkennungstechnologien, Erkennungsalgorithmen, Präzision etc.)
- ▶ Forschung zu Anwendungen: Welche Technologie kann unter welchen Bedingungen (Boden, Fruchtfolge, Wetter usw.) mit welcher Wirkung angewendet werden? Welche Effekte hat die Anwendung auf die Umwelt? Welche Zielkonflikte gibt es – vor allem auch auf dem einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb?
- ▶ Gibt es möglicherweise eine Verringerung der Ernteerträge? Welche langfristigen Effekte haben die neuen Technologien bei mehrjähriger Anwendung auf die Agrarökosysteme? (z.B. Wie verändert sich, der vermeintliche Zielkonflikt ökologischer Maßnahmen auf die Erträge?).
- ▶ Modell- und Demonstrationsbetriebe: Best-practice-Beispiele erarbeiten und verbreiten.

Ein Vorschlag für eine praktische Umsetzung in Modell- und Demonstrationsverfahren wird hier aufgezeigt:

„Eine große Schwachstelle der bisherigen Strategien zur Verbesserung des integrierten Pflanzenschutzes liegt darin, dass Praxisbeispiele des „Funktionierens“ transformierter Anbausysteme, gestützt durch wissenschaftliche Evidenz, fehlen. Für eine rasche Etablierung der Praxiserfahrung und Förderung der Akzeptanz neuer Praktiken und Maßnahmen erscheint es sinnvoll, Landwirte und Landwirtinnen selbst in die Rolle von Entwicklern und Experimentatoren zu versetzen (MacMillan & Benton 2014). Gemeinsam mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern können sie in transdisziplinären Forschungsverbünden ihr innovatives Potenzial entfalten, sofern sie durch den Projektrahmen von bürokratischen Hemmnissen und dem ökonomischen Lock-in befreit werden (MacMillan & Benton 2014). Hierfür geeignet sind sogenannte Living Labs, „nutzerzentrierte Innovationsökosysteme, die zur praxisnahen Entwicklung von Innovationen reale Anwendungskontexte, Nutzer und weitere Stakeholder integrieren“ (Erdmann et al. 2018). Im Kontext des G20 Treffens der Agricultural Chief Scientists (MACS) wurde ein spezieller Rahmen für „agroecosystem living laboratories“ erarbeitet.“ (Isermeyer, F.; Nieberg, H.; u. a. (2020), S. 47)

Die Forschungsergebnisse sollten dann in die Bildung bzw. Ausbildung von Landwirt*innen und zugleich auch bei beratenden Stellen einfließen. „Ein wichtiger Gesichtspunkt in diesem Zusammenhang ist die Aus- und Weiterbildung der Landwirt*innen. Die Lerninhalte des sogenannten Sachkundenachweises für den Erwerb und die Anwendung von Pestiziden reichen nicht aus, um den Anwendern grundlegendes ökologisches und ökotoxikologisches Wissen für einen möglichst umweltverträglichen Pestizideinsatz zu vermitteln. Notwendig ist eine Überarbeitung der Lerndokumente, damit die Anwender die Vorgaben auf den Beipackzetteln

besser beurteilen können und entsprechende Fehlanwendungen vermieden werden. Die Broschüren der Hersteller sind in der Ausbildung an Landwirtschaftsschulen und Universitäten im kritischen Diskurs zu verwenden.“ (Schäffer, A.; Filser, J.; Frische, T.; u. a. (2018), S. 38)

5.2 Handlungsbereich „Förderung“

Finanzielle Förderung bedarf es in verschiedenen Bereichen. Zum einen muss weiterhin im Bereich der Forschung investiert werden, um die Technologien weiterzuentwickeln und Wissenslücken zu schließen. Zugleich können fundierte Kenntnisse zum Erfolg bestimmter Maßnahmen auch Grundlage für gezielte Förderungen sein. Zudem können Daten aus staatlich geförderten Projekten, anders als bei Unternehmensdaten, der Allgemeinheit und den Behörden für Monitoringaufgaben zur Verfügung gestellt werden.

Daneben bedürfen auch Landwirt*innen einer Förderung und gezielter Anreize, um die Innovationen in der Breite einsetzen zu können. Eine reine Marktlösung, bei der die Finanzierung alleine bei den landwirtschaftlichen Betrieben oder der Zahlungsbereitschaft der nachgelagerten Industrie (Handel) oder gar bei Endverbraucher*innen angesetzt wird, scheint auch laut der Zukunftskommission Landwirtschaft in ihrem Abschlussbericht nicht möglich. (vgl.: Zukunftskommission Landwirtschaft (Hg.) (2021), S. 123) Deshalb schlägt sie „(...) für einen Übergangszeitraum eine finanzielle Unterstützung vor allem kleinerer und mittlerer Betriebe bei der Anschaffung neuer, präziser und digital gesteuerter Sensor- und Ausbringtechnik“ vor. (vgl.: Zukunftskommission Landwirtschaft (Hg.) (2021), S. 112)

Die hohe Bedeutung einer finanziellen Unterstützung wurde auch im Workshop von allen Stakeholder*innen herausgestellt. Bei der konkreten Ausgestaltung gibt es allerdings noch Diskussionsbedarf. Zum einen muss die Frage geklärt werden, woher die finanziellen Mittel kommen und zum anderen, ob eine Investitions- oder eine Anwendungsförderung eher zum Erfolg führt. Eine vom Industrieverband Agrar (IVA) in Auftrag gegebene Umfrage zur Pflanzenschutztechnik unter Landwirt*innen ergab, dass kleinere Betriebe eher eine Anwendungsförderung bevorzugen, während größere Betriebe zur Investitionsförderung tendieren (vgl. Schaal, R. 2022). Eine Kombination aus Investitions- und Anwendungsförderung scheint sinnvoll. Bei einer reinen Investitionsförderung besteht die Gefahr, dass die technischen Möglichkeiten nicht für die ökologischen Ziele ausgeschöpft werden, während bei einer reinen Anwendungsförderung die Mittel für die Anfangsinvestition fehlen.

Im Stakeholder*innen-Workshop wurde eine Vielzahl an Förderprogrammen für Landwirt*innen angesprochen, deren Ansprüche und Ziele sich jedoch fortwährend verändern und die Beantragung aufwendig ist. Deswegen sei an dieser Stelle ein Punkt aufgegriffen: Die Förderung der neuen Technologien bzw. die Maßnahmen sollten sinnvoll in bestehende Förderung integriert werden, damit es nicht zu einer weiteren bürokratischen Hürde durch mehrfache Antragsverfahren kommt.

Für die Förderperiode ab 2023 der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) sollten alle EU-Mitgliedsstaaten einen „Nationalen Strategieplan für die 1. und die 2. Säule der GAP“ vorlegen. Insbesondere die neuen Öko-Regelungen der 1. Säule als freiwillige Maßnahmen der Landwirt*innen sollen dabei die Transformation der Landwirtschaft voranbringen und könnten in Zukunft auch ein geeignetes Mittel sein, um teilflächenspezifische Bewirtschaftung zu fördern. Die aktuelle Ausgestaltung der „erweiterten Konditionalität“ oder der Öko-Regelungen sieht eine solche Förderung nicht vor. Einzig die Öko-Regelung 6 „Bewirtschaftung von Acker- oder Dauerkulturflächen des Betriebes ohne Verwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln“ könnte als zukünftige „Maßnahmenförderung“ gesehen werden (vgl.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2022), S. 27), die beispielsweise durch den Einsatz von Hackrobotern erreicht werden könnten.

In der 2. Säule wird im deutschen GAP-Strategieplan explizit die Präzisionslandwirtschaft zum Schutz der Gewässer als Teilintervention von elf tier- und flächenbezogenen ELER-Interventionen benannt (vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2022), S. 31). Zudem könnten verschiedene Maßnahmen der investiven Interventionen zur Förderung der Digitalisierung genutzt werden, wie beispielsweise Investitionen zur Modernisierung der Betriebe oder der Infrastruktur (vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2022), S. 31-32). Neben diesen EU-Mitteln können Landwirt*innen Fördermittel des Bundes und der Länder, wie zum Beispiel Investitionszuschüsse oder Zahlungen aus weiteren Agrarumweltprogrammen beantragen, die teilweise aus der 2. Säule der GAP oder aus anderen Förderprogrammen gespeist werden. Einzelne Förderprogramme können dabei kombiniert werden.

Erwähnt sei an dieser Stelle als Investitionsförderung die „Richtlinie zur Förderung von Innovation und Zusammenarbeit in der Landwirtschaft und in ländlichen Gebieten sowie der Digitalisierung in der Landwirtschaft“ des Bundeslandes Hessen, das aus ELER-Mitteln finanziert wird. Durch das Programm kann beispielsweise der Erwerb von Agrarsoftware oder digitaler Hack- und Pflanzenschutztechnik zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes finanziell unterstützt werden, wie Feldroboter, vollautomatische Geräte, die zwischen und innerhalb der Pflanzreihen nicht-chemisch Beikraut bekämpfen oder elektronische Reihenführungen für Geräte, die zwischen den Pflanzreihen nicht-chemisch Beikraut bekämpfen und Pflanzenschutzgeräte, die Zielpflanzen bzw. -flächen oder den Befall mit Krankheits- oder Schaderregern erkennen und nur auf diese Pflanzenschutzmittel ausbringen. (vgl. Hedtrich, J. (2022)). Ein weiteres Beispiel ist das „Bayerisches Sonderprogramm Landwirtschaft Digital (BaySL Digital)“, in dem zum einen Agrarsoftware sowie digitale Hack- und Pflanzenschutztechnik gefördert wurden. (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.) (o.D.))

Da es für die nächste Förderperiode eine Umstrukturierung der GAP gibt und auch bereits Förderprogramme existieren, mit denen gezielt digitale Technologien gefördert werden können, ist hier für die kommenden Jahre eine Evaluation sinnvoll, ob die Förderung bzw. die Mittel ausreichend waren und auch, ob die Programme zum gewünschten Erfolg, insbesondere zu einem positiven ökologischen Effekt geführt haben.

Neben der Förderung von Forschung und der Technologien bzw. der Maßnahmen, sollte auch eine gezielte Beratung finanziell unterstützt werden. Hierfür sind im GAP-Strategieplan in den investiven Interventionen der 2. Säule Mittel vorgesehen (vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2022), S. 32) und es wird rückblickend zu klären sein, ob diese ausreichend sind.

5.3 Handlungsbereich „Unabhängige Beratung“

Die landwirtschaftliche Beratung ist in Deutschland sehr unterschiedlich auf Länderebene organisiert und erfolgt teilweise von staatlichen und nichtstaatlichen Institutionen und Organisationen. Während erstere meist kostenfrei für die Betriebe angeboten wird, wird bei der nichtstaatlichen Beratung die Leistung abgerechnet. Auch die Beratung privatwirtschaftlicher Unternehmen kann teilweise staatlich unterstützt werden (vgl. Knierim, A.; Thomas, A.; Schmitt, S. (2017), S. 29). Zudem gibt es z.B. in Bayern die sogenannte „Verbundberatung“, bei der sich die staatlichen Stellen mit den nichtstaatlichen Berater*innen vernetzen und somit ein umfassenderes Angebot bei niedrigen Kosten für den Betrieb anbieten können. Daneben gibt es

eine Beratung durch Herstellende, Industrie und Handel, bei der eine spezifische Produkt- bzw. Verkaufsberatung im Vordergrund stehen.

Die Zukunftskommission Landwirtschaft hat auch diesen Bereich in Ihrem Abschlussbericht erwähnt und stellt fest: „Flankiert werden muss der Einsatz neuer Technologien durch wirksame Beratung hinsichtlich einer energie-, ressourcen- und biodiversitätsschonenden Anwendung. Neue Technologien müssen Bestandteil der Ausbildung von Landwirt:innen werden.“ (Zukunftskommission Landwirtschaft (Hg.) (2021), S. 112) Darüber hinaus schlägt die Zukunftskommission eine Nachhaltigkeitsberatung vor:

„Nachhaltigkeits-, Biodiversitäts-, Klima- und Tierwohlchecks sowie Nachhaltigkeitsbewertungssysteme sind ein wichtiges Instrument, um Schwachstellen und Entwicklungspotenziale in den Betrieben im Hinblick auf die zuvor genannten Themen zu identifizieren, und bieten damit einen Startpunkt für Nachhaltigkeitsberatungen. Diese ‚checks‘ werden in der Praxis bisher jedoch nur in geringem Umfang genutzt. Um das mit diesen ‚checks‘ (ggf. plus Beratung) verbundene Nachhaltigkeitspotenzial zu realisieren, erscheint die Förderung solcher Maßnahmen sinnvoll. Die Kosten variieren je nach Größe und Komplexität des Betriebes und in Abhängigkeit davon, ob vor-Ort-Begehungen damit verbunden sind (300 bis 3000 Euro). Bei durchschnittlichen Kosten von 1500 Euro je Betrieb und einer Teilnahme von einem Drittel der Betriebe pro Jahr (Teilnahme im dreijährlichen Rhythmus) ergibt sich ein Mittelbedarf in Höhe von rund 133 Millionen Euro pro Jahr.“
(Zukunftskommission Landwirtschaft (Hg.) (2021), S. 120)

Es sollte demnach flächendeckend eine unabhängige Beratung geben, die finanzierbar ist und die Forschungskenntnisse zu den neuen Technologien einbringt, bei denen Umwelt- und Naturschutzaspekte in die pflanzenbauliche sowie technische Beratung bereits integriert sind.

5.4 Handlungsbereich „Kontrolle“

Die aktuellen Probleme in der Praxis und die Diskussion um „gläserne Landwirt*innen“ zeigen, dass die Umsetzung und Akzeptanz der Kontrolle große politische Herausforderungen sind.:

„Das politische Bekenntnis zum integrierten Pflanzenschutz existiert bereits seit Jahrzehnten. In der praktischen Politik ist es jedoch sehr schwierig, Indikatoren festzulegen, an denen der Integrierte Pflanzenschutz gemessen und bewertet werden kann. Grundsätzlich wäre dies über Kennzahlen (z. B. Höchstanteile krankheitsanfälliger Sorten, Mindestanteile in Fruchtfolgen oder Behandlungsindizes bezüglich des Pflanzenschutzmitteleinsatzes) möglich. Eine einzelbetriebliche Kontrolle bzw. ein Monitoring könnte über eine Onlineerfassung von Ackerschlagkarteien erfolgen, in die Landwirte sämtliche Maßnahmen einpflegen müssten. Alternativ könnten zusätzliche Daten im Rahmen der Antragsstellung für die EU-Direktzahlungen abgefragt und in den InVeKoS-Daten ergänzt werden. Allerdings wird die Ausprägung der Indikatoren stark von regionalen Standortgegebenheiten oder der jährlichen Witterung beeinflusst, was eine einheitliche Bewertung und Sanktionierung kaum möglich macht – ganz abgesehen davon, dass die Angaben in vielen Betrieben digital nicht verfügbar und auch kaum zu kontrollieren sind.“ (Isermeyer, F.; Nieberg, H.; u. a. (2020), S. 46)

Hier könnte der von der aktuellen Regierung angestrebte (vgl. Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN, Freien Demokraten (FDP) (Hg.) (2021), S. 46) und zum Teil bereits gestartete Prozess den Integrierten Pflanzenschutz zu stärken und den

Nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) weiterzuentwickeln eine Chance bieten, geeignete Indikatoren festzulegen, um den Erfolg der Maßnahmen durch digitale Technologien validieren zu können (vgl. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Hg.) (2022)).

Eine weitere wichtige aktuelle Entwicklung in diesem Bereich ist der „Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über die nachhaltige Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und zur Änderung der Verordnung (EU) 2011/2115“, mit der die „Richtlinie zur nachhaltigen Verwendung von Pestiziden“ ersetzt werden soll, weil erstere in Bezug auf die Reduktion von Pflanzenschutzmitteln nicht effektiv genug war (vgl. Europäische Kommission (2022a)). Mit der Verordnung sollen verbindliche Reduktionsziele in den Mitgliedstaaten festgelegt werden, deren Fortschritte mit einer einheitlichen Berechnungsmethode erfolgen soll (vgl. Europäische Kommission (2022b)).

Diese Verordnung könnte ein Treiber sein, um die Forderung umzusetzen, Daten zu Pestizideinsätzen schlagspezifisch digital zu erfassen, zu veröffentlichen und auszuwerten. Dies wird sowohl von europäischen (vgl. Mesnage, R., Straw, E.A., Antoniou, M.N. u. a. (2021)) als auch nationalen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen sowie Umweltschutzverbänden (vgl. Holzheid, F; Baumert, V. (2022)) postuliert. Ein Schritt in diese Richtung ist die EU-Verordnung 2022/2379 über Statistiken zu landwirtschaftlichen Betriebsmitteln und zur landwirtschaftlichen Erzeugung (SAIO), die 2025 in Kraft tritt. Demnach sollen ab 2028 alle Mitgliedsstaaten jährlich Daten über den Pestizideinsatz in einheitlicher und digitaler Form an die EU-Statistikbehörde Eurostat schicken. Ab dem Jahr 2030 sollen diese Daten dann auch veröffentlicht werden (vgl. Europäische Kommission 2023). Im Koalitionsvertrag der aktuellen Regierung ist ein „digitales Herkunfts- und Identifikationssystem für Nährstoff- und Pflanzenschutz“ geplant (vgl. Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN, Freien Demokraten (FDP) (Hg.) (2021), S. 46). Bisher wurde hierzu noch kein Konzept vorgelegt.

Weiterhin ist in diesem Bereich neben den „technischen“ Umsetzungsproblemen auch Widerstand von der „Landwirtschaftsseite“ zu erwarten, was auch im Stakeholder*innen-Workshop deutlich wurde. Die Sorge der Skandalisierung einzelner Anwendungen wurde hier beispielsweise genannt. Vertrauensbildende Maßnahmen könnten hier den Konflikt, der sich auch im Diskursüberblick zeigte, entschärfen.

Handlungsempfehlungen

- ▶ Wissenslücken schließen und Wissen vermitteln (Beratung und Bildung)
- ▶ Dezidierte und zielgenaue Forschungsförderung
- ▶ Förderung von Maßnahmen und Investitionen in die bestehenden Förderstrukturen integrieren und stärken
- ▶ Evaluation bestehender Maßnahmen
- ▶ Flächendeckend neutrale Beratung aufbauen und Finanzierung für jeden Betrieb ermöglichen
- ▶ Digitale Erfassung aller Maßnahmen auf Betriebsebene (z.B. in Ackerschlagkarteien)
- ▶ Identifikation geeigneter (ökologischer) Indikatoren
- ▶ Vertrauensbildende Maßnahmen, um den Konflikt „Umwelt versus Landwirtschaft“ zu entschärfen

6 Quellenverzeichnis

- AgriFac Deutschland (Hg.) (2021): Pulse-width modulation (PWM) spraying, <https://www.agrifac.com/de/optionale-technologien/strictsprayplus/>, (29.6.2022).
- Agrotech Valley Forum e. V. (Hg.) (o.D.): Beikrautregulierung am Beispiel "Spotspraying" im Experimentierfeld Agro-Nordwest, <https://www.agro-nordwest.de/blog/beikrautregulierung-am-beispiel-spotspraying/>, (29.6.2022).
- AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG (Hg.) (2021a): Amazone UX SmartSprayer - Spot Farming auf höchstem Niveau im Praxiseinsatz, Pressemeldung, <https://www.amazone.de/de/service-support/fuer-medien/pressemeldungen/aktuell/amazone-ux-smartsprayer-spot-farming-auf-hoechstem-niveau-im-praxiseinsatz-965712>, (29.6.2022).
- AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG (Hg.) (2021b): Amazone UX SmartSprayer, <https://amazone.net/de/agritechnica/unsere-agritechnica-neuheiten-2022/neuheiten-details/amazone-ux-smartsprayer-975158>, (29.6.2022).
- Ammich, M. (2021): Den Hackroboter nach vier Jahren abbezahlt, <https://www.wochenblatt-dlv.de/regionen/schwaben/hackroboter-vier-jahren-abbezahlt-565807>, (31.5.2022).
- BASF Digital Farming GmbH (Hg.) (o.D.): Field Manager Funktion. Pflanzenschutz, <https://www.xarvio.com/de/de/products/field-manager/protection.html>, (1.7.2022).
- BASF Digital Farming GmbH (Hg.) (o.D.a): FAQs, https://fm.xarvio.com/docs/faq/de_at.html, (1.7.2022).
- BASF Digital Farming GmbH (Hg.) (o.D.b): HEALTHY FIELDS für Landwirte. Pflanzenschutz optimiert. Blattgesundheit garantiert, <https://www.xarvio.com/de/de/products/healthy-fields/healthy-fields-for-farmers.html>, (28.7.2022).
- Baumgarten, S; Hahnkemeyer, T. (2022): Unkrautbekämpfung. Mehr Technik, weniger Chemie: In: DLG-Mitteilungen, Sonderheft: Die Zukunft der Zuckerrübe, https://www.dlg-mitteilungen.de/fileadmin/img/content/Sonderhefte/KWSHorsch0422_internet.pdf, (22.06.2022).
- Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) (Hg.) (2021): Veranstaltungsbericht: Autonome Hackgeräte im Gemüsebau, <https://www.lwg.bayern.de/gartenbau/gemuesebau/284266/index.php>, (30.5.2022).
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.) (o.D.): Bayerisches Sonderprogramm Landwirtschaft Digital (BaySL Digital), <https://www.stmelf.bayern.de/agrarpolitik/foerderung/200529/index.php>, (15.11.2022).
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.) (o.D.a): Beratung in der Land- und Forstwirtschaft, <https://www.stmelf.bayern.de/landwirtschaft/unternehmensfuehrung/003303/>, (15.11.2022).
- BayWa AG (Hg.) (o. D.): NAÏO Dino, Jo, Orio, Oz und Ted Elektrische Roboter für die mechanische Unkrautbekämpfung <https://www.baywa.de/de/i/entdecken/robotics/uebersicht/>, (29.6.2022).
- Bhutani, A.; Wadhwani, P. (2019): Precision Farming Market | 2019-2025 Statistics Report, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/precision-farming-market> (27.10.2021).
- Bitkom e.V. (Hg.) (2022): High-Tech im Stall, KI auf dem Acker: Digitalisierung sichert Zukunft der Landwirtschaft, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitalisierung-sichert-Zukunft-der-Landwirtschaft>, (30.6.2022).
- Bitkom Research (2022): <https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-05/Bitkom-Charts%20Landwirtschaft.pdf>, (30.5.2022).

- Bockholt, K. (2019): Pulsweiten anpassen beim Spritzen: So funktioniert die Technik, <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/pulsweiten-anpassen-beim-spritzen-so-funktioniert-technik-563107> (27.10.2021).
- Böhrnsen, A. (2021): Hackroboter Naïo Dino: Roboter für's Gemüsebeet, <https://www.profi.de/technisch/elektronik/hackroboter-Naïo-dino-roboter-fuer-s-gemuesebeet-12583059.html>, (30.5.2022).
- Böhrnsen, A. (2022): Sä- und Hackroboter FarmDroid FD20: Der Droide gegen Unkraut, <https://www.profi.de/technisch/elektronik/sae-und-hackroboter-FarmDroid-fd20-der-droide-gegen-unkraut-12398612.html>, (30.5.2022).
- Bremmer, J., u. a. (2021): Impact assessment of EC 2030 Green Deal Targets for sustainable crop production. (Report / Wageningen Economic Research; No. 2021-150). Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/558517>.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Hg.) (2022): Weiterentwicklung des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz. Positionen von Institutionen und Verbänden. Online-Veranstaltung des BMEL am 1. Juni 2022, https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Bilder/Ueber_den_Aktionsplan/Dokumentation_Positionen_NAP_1.6.2022.pdf, (6.12.2022).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2021): Stellungnahmen zur Ackerbaustrategie 2035, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/ackerbaustrategie-stellungnahmen-verbaende.pdf?__blob=publicationFile&v=5, (17.8.2022).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2022): Den Wandel gestalten! Zusammenfassung zum GAP-Strategieplan 2023 – 2027 (Stand: 30. September 2022), https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/EU-Agrarpolitik-Foerderung/gap-strategieplan-kurzueberblick.pdf?__blob=publicationFile&v=4, (15.11.2022).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (o.D.): Deutscher Pflanzenschutzindex, <https://www.nap-pflanzenschutz.de/indikatorenforschung/indikatoren-und-deutscher-pflanzenschutzindex/>, (5.8.2022).
- Büro zur Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (Hg.) (2022): Auf dem Weg zu einer digital vernetzten Landwirtschaft?, <https://www.tab-beim-bundestag.de/news-2022-02-16-auf-dem-weg-zur-digital-vernetzten-landwirtschaft.php>, (28.6.2022).
- Büro zur Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (Hg.) (2021a): TAB-Fokus Nr. 31, Digitalisierung der Landwirtschaft: technologischer Stand und Perspektiven, https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_digitalisierung-der-landwirtschaft.php, (30.6.2022).
- de Witte, T. u. a. (2016): Stellungnahme für Referat 514 BMEL, Folgenabschätzung Digitalisierung Landwirtschaft, Thünen-Institut für Betriebswirtschaft.
- Deiningner, O. (o.D.): Die neuen digitalen Öko-Systeme Pflanzenschutz- und Landtechnik-Unternehmen arbeiten an neuen Geschäftsmodellen, <http://whitepaper.agrarzeitung.de/technik-report/die-neuen-digitalen-ko-systeme/>, (30.6.2022).
- Deter, A. (2021): Smart-Spraying-Lösung von Bosch und BASF für effizienten Herbizideinsatz, <https://www.topagrar.com/technik/news/smart-spraying-loesung-von-bosch-und-basf-fuer-effizienten-herbizideinsatz-12713276.html>, (31.5.2022).
- Deutscher Bauernverband (Hg.) (2021): Leitlinie zum Integrierten Pflanzenschutz im Getreidebau, https://www.bauernverband.de/fileadmin/user_upload/dbv/positionen/2021/Leitlinie_Pflanzenschutz/Leitlinie_IPS_Getreidebau_DBV.pdf, (30.6.2022).

Deutsche Vernetzungsstelle ländliche Räume (2021): EPI und AKIS, <https://www.netzwerk-laendlicher-raum.de/agrar-umwelt/eip-agri/eip-und-akis/>, (23.11.2022).

Dierauer, H. (2020): FarmDroid: Roboter sät und hackt Biorüben völlig autonom, <https://www.fibl.org/de/infotek/meldung/framdroid-roboter-saet-und-hackt-biorueben-voellig-autonom>, (4.7.2022).

DIN e.V. (Hg.) (2022): Positionspapier - Globale Standards für Smart Farming. DINs Beitrag für eine digitale, nachhaltige Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion, <https://www.din.de/resource/blob/792166/2b3525e982f934caeda194c812949bb6/22-02-din-positionspapier-smart-farming-data.pdf>, (1.7.2022).

DLG Ausschuss für Öko-Landbau; DLG-Ausschuss für Technik in der Pflanzenproduktion; Köller, K.H.; Vinzent, B.; Demmel, M. (2019): Mechanische Unkrautregulierung – Technik für die Praxis, DLG- Merkblatt 449, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_449.pdf, (22.06.2022).

DLG e. V. (Hg.) (2019): Mechanische Unkrautregulierung – Technik für die Praxis, DLG-Merkblatt 449, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_449.pdf, (30.6.2022).

DLG e.V. (Hg.) (2016): DLG-Nachhaltigkeitsbericht 2016, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/Nachhaltigkeit/DLG_Nachhaltigkeitsbericht_2016.pdf, (30.5.2022).

DLG e.V. (Hg.) (2019): DLG-Merkblatt 449 Mechanische Unkrautregulierung – Technik für die Praxis, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_449.pdf, (26.10.2021).

DLG e.V. (Hg.) (2020): Roboter übernehmen das Unkrautjäten, <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2020/28/roboter-uebernehmen-das-unkrautjaeten>, (31.5.2022).

DLG e.V. (Hg.) (2022): DLG-Parcours 2: Pflanzenschutzspritzen im Praxisvergleich, <https://www.dlg-feldtage.de/de/programm/maschinenvorfuehrungen/dlg-parcours-2>, (31.5.2022).

EcoRobotix SA (Hg.) (o.D.): Avo, <https://ecoRobotix.com/de/avo/>, (30.6.2022).

Ehlers, M.-H.; Finger, R.; El Benni, N.; Gocht, A.; u. a. (2022): Scenarios for European agricultural policymaking in the era of digitalisation. In: Agricultural Systems 196, S. 103318. DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103318.

Elles, A.; Waltmann, M. (2021): Digitalisierung: Investitionsfelder und Prozessoptimierung, In: Best Practice. Für eine zukunftsfähige Landwirtschaft. Ein Whitepaper der agrarzeitung in Kooperation mit der AFC Consulting Group, https://afc.net/fileadmin/downloads/AFC-RCC/Downloads/Whitepaper_Best-Practice.pdf, (30.5.2022).

Eppenberger media GmbH (Hg.) (2020): Autopilot darf noch nicht alleine fahren, <https://www.eppenberger-media.ch/autopilot-darf-noch-nicht-alleine-fahren/>, (31.5.2022).

Europäische Kommission (2023): Verordnung (EU) 2022/2379 über Statistiken zu landwirtschaftlichen Betriebsmitteln und zur landwirtschaftlichen Erzeugung, <https://eur-lex.europa.eu/DE/legal-content/summary/statistics-on-the-inputs-and-outputs-of-agricultural-activities.html>, (26.4.2023).

Europäische Kommission (2022a): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über die nachhaltige Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und zur Änderung der Verordnung (EU) 2021/2115, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:78120cfb-f5e4-11ec-b976-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF, (7.7.2022)

Europäische Kommission (2022b): Anhänge des Vorschlages für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über die nachhaltige Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und zur Änderung der Verordnung (EU) 2021/2115, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:78120cfb-f5e4-11ec-b976-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_2&format=PDF, (7.7.2022).

Europäische Kommission (Hg.) (2020): Entscheidungshilfe mindert Schädlinge, beflügelt Pflanzenleistung und steigert wirtschaftlichen Ertrag, <https://cordis.europa.eu/article/id/413366-decision-support-tool-reduces-pesticides-boosts-crop-performance-and-yields-economic-gains/de>, (1.7.2022).

European Commission (Hg.) (o.D.): Life Smart Sprayer - Demonstration of an agronomy-integrated see & spray technology for a more sustainable use of pesticide in agriculture, <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/details/5724#>, (29.6.2022).

FarmDroid ApS (2020): Vorteile, <https://FarmDroid.dk/de/vorteile/>, (5.7.2022).

FarmDroid ApS. (Hg.) (2021): Product. FarmDroid, <https://FarmDroid.dk/en/product/>, (29.6.2022)

FarmDroid ApS. (Hg.) (2022): FarmDroid ApS - Økologisk og CO₂ neutral autonomy markrobot. FarmDroid, <https://FarmDroid.dk/de/willkommen/>, (29.6.2022).

Farming Revolution GmbH (Hg.) (o.D.): Farming GT – Weeding Robot, <https://farming-revolution.com/>, (29.6.2022).

Forschungsinformationssystem Agrar und Ernährung (Hg.) (o.D.): Verbundprojekt: Optimierung und Praxiserprobung eines Assistenzsystems zur Applikation von Pflanzenschutzmitteln - Teilprojekt A (OPAL), (29.6.2022).

Forum Moderne Landwirtschaft e.V. (Hg.) (2020): Roboter in der Landwirtschaft Feldroboter „Dino“ und die moderne Landwirtschaft, <https://blog.moderne-landwirtschaft.de/feldroboter-dino-und-die-moderne-landwirtschaft>, (31.5.2022)

FarmDroid ApS. (2021a): Südzucker, Amazone und FarmDroid testen innovative Lösung zur Unkrautbekämpfung, <https://FarmDroid.dk/de/suedzucker-amazone-und-FarmDroid-testen-innovative-loesung-zur-unkrautbekaempfung/>, (30.6.2022).

Gabriel, A. (LfL) (2021): Datenblätter zur Nutzung digitaler Technologien in der bayerischen Landwirtschaft, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/datenbl%C3%A4tter_web_n16_mai2021.pdf, (27.10.2021).

Gansberger, M. (2022): Vortrag: Praxisbericht – Einsatz von Feldrobotern, Veranstaltung von Bayern Innovativ und der LfL: Autonom, sicher und nachhaltig. Was können Feldroboter?, <https://www.bayern-innovativ.de/de/veranstaltung/smar-te-helfer-auf-bayerns-feldern#!rueckblick>, (7.12.2022).

Göggerle, T. (2021): Wie gut bekämpfen Feldroboter Unkraut in Zuckerrüben?, <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/gut-bekaempfen-feldroboter-unkraut-zuckerrueben-580112> (30.5.2022).

Gummert, A.; Ladewig, E.; Varrelmann, M.; Kenter, C.; Märländer, B. (o.D.): Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau, https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/IPS/Integrierter_Pflanzenschutz/Leitlinien_IPS/Leitlinie_IPS_zuckerruebe.pdf, (1.7.2022).

Hampe, M. (2021): Unkrautpflanzen gezielter treffen, In: DLG-Mitteilungen, Sonderheft: Pflanzenschutz. Digital und intelligent, https://www.dlg-mitteilungen.de/fileadmin/img/content/Sonderhefte/BASF_12_2021.pdf, (31.5.2022).

Handler, F.; Blumauer, E. (2012): Automatische Teilbreitenschaltung – Section Control, <https://www.landwirt.com/Automatische-Teilbreitenschaltung---Section-Control,,11549,,Bericht.html>, (26.10.2021).

HBLFA Francisco Josephinum Wieselburg (Hg.) (2018): Geo-Informations-Systeme für teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmethoden zur Effizienzsteigerung und Ökologisierung in der österreichischen Landwirtschaft, <https://www.josephinum.at/forschung-und-pruefung/agrartechnik/projekte/gis-ela.html> (27.10.2021).

Hedtrich, J. (2022): Förderung der Digitalisierung in der Landwirtschaft, <https://llh.hessen.de/unternehmen/agrarpolitik-und-foerderung/foerderung-der-digitalisierung-in-der-landwirtschaft/>, (6.7.2022).

Herchenbach, M. (2021): In der Mitte der Betriebe angekommen, <https://www.agrarzeitung.de/nachrichten/wirtschaft/smart-farming-in-der-mitte-der-betriebe-angekommen-96295> (19.6.2021).

Herrmann, D.; Dillschneider, E.-M.; Niemann, J.-U.; Tomforde, M.; Wegener, J. K. (2022): Innovationen in der Pflanzenschutztechnik. Jahrbuch Agrartechnik 2021, vol. 33. DOI: 10.24355/DBBS.084-2022030954-0.

Herrmann, M.; Federle, C.; Röhrig, M.; Kleinhenz, B. (2021): Teilflächenspezifisches Prognosemodell zur räumlichen Verteilung von Fusarium-Halmbasisverbräunung. 131-139 Seiten / Journal für Kulturpflanzen, Bd. 73 Nr. 5-6 (2021): Themenheft: Assistenzsysteme für den Pflanzenschutz / Journal für Kulturpflanzen, Bd. 73 Nr. 5-6 (2021): Themenheft: Assistenzsysteme für den Pflanzenschutz. DOI: 10.5073/JFK.2021.05-06.05.

HFFA Research GmbH (Hg.) (2022): Technologische und politikbedingte Reduktionspotenziale für Pflanzenschutz- und Düngemittel sowie deren Kosten für Landwirtschaft und Gesellschaft. Eine Analyse zur Relevanz und Bedeutung für ausgewählte Bestimmungsfaktoren und Deutschland. https://www.iva.de/sites/default/files/2022-03/Studie_HFFA%20Research.pdf, (30.5.2022).

Hinterholzer, N. (2021): RSD. HERBERT DAMMANN GmbH. <https://www.dammann-technik.de/blog/rsd/>, (22.6.2022).

Holzhammer, A. (2021): Farm der Zukunft: LfL erhält Fördergelder für Forschungsprojekt, <https://www.topagrar.com/suedplus/news/farm-der-zukunft-lfl-erhaelt-foerdergelder-fuer-forschungsprojekt-12630281.html> (27.10.2021).

Holzheid, F; Baumert, V. (2022): Offener Brief. Nur Transparenz bei Pestizideinsätzen ermöglicht evidenzbasierte Debatte und effektiven Umwelt und Gesundheitsschutz, https://www.umweltinstitut.org/wp-content/uploads/2022/11/20220427_UIM_Offener-Brief_Pestizidanwendungen-offenlegen-BMEL.pdf, (6.12.2022).

Höner, G. (2020): Neuheit: Wie funktioniert die Pulsweitenmodulation bei Feldspritzen?, <https://www.topagrar.com/technik/news/neuheit-wie-funktioniert-die-pulsweitenmodulation-bei-feldspritzen-12076216.html>, (31.5.2022).

Höner, G. (2020): Neuheit: Wie funktioniert die Pulsweitenmodulation bei Feldspritzen?, <https://www.topagrar.com/technik/news/neuheit-wie-funktioniert-die-pulsweitenmodulation-bei-feldspritzen-12076216.html> (27.10.2021).

Höner, G. (2021): Hersteller wollen Bandspritzung in Reihenkulturen wieder populär machen, <https://www.topagrar.com/technik/news/hersteller-wollen-bandspritzung-in-reihenkulturen-wieder-populaer-machen-12568649.html>, (31.5.2022).

Industrieverband Agrar e.V. (Hg.) (2017): Pflanzenschutz-Prognosemodelle: Machen sie das geschulte Auge überflüssig? Interview mit Dr. Benno Kleinhenz, Geschäftsführer der Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP), <https://www.iva.de/iva-magazin/forschung-technik/pflanzenschutz-prognosemodelle-machen-sie-das-geschulte-auge>, (7.4.2022).

Industrieverband Agrar e.V. (Hg.) (2020): Autonom und präzise: Was Feldroboter im Pflanzenschutz leisten können, <https://www.die-pflanzenschuetzer.de/autonom-und-praezise-was-feldroboter-im-pflanzenschutz-leisten-koennen/>, (5.7.2022).

Isermeyer, F.; Nieberg, H.; u. a. (2020): Auswirkungen aktueller Politikstrategien (Green Deal, Farm-to-Fork, Biodiversitätsstrategie 2030; Aktionsprogramm Insektenschutz) auf Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei, https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn062661.pdf (27.10.2021).

Jehle, J.A. (2019): Neue Entwicklungen im Biologischen Pflanzenschutz, Vortrag des Julius Kühn-Institut auf dem NAP-Forum am 6./7.2.2019 in Bonn, https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Bilder/Forum_NAP/Forum_Feb_2019/27_TOP10_BiologischerPS_Jehle.pdf, (30.6.2019).

Jensen, D. (2020): Kollege Roboter. Der solarbetriebene FarmDroid, https://www.bioland.de/fileadmin/user_upload/Erzeuger/Fachinfos/Dokumente_Fachmagazin/bioland_05_20_20_Kollege_Roboter.pdf, (31.5.2022).

John Deere (Hg.) (o.D.): See & Spray Ultimate, <https://www.deere.com/en/sprayers/see-spray-ultimate/>, (21.7.2022).

Julius Kühn-Institut (2021): Abdriftminderung, <https://www.julius-kuehn.de/at/ab/abdrift-und-risikominderung/abdriftminderung/> (27.10.2021).

Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021): Digitalisierung der Landwirtschaft: gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte, Teil II des Endberichts zum TA-Projekt, Arbeitsbericht Nr. 194, https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_digitalisierung-der-landwirtschaft.php; (29.6.2022).

Kiefer, S. (2021): Zukunftsszenarien des (digitalen) Pflanzenschutzes, eigene Präsentation.

Kliem, L. u.a (2022): Digitalisierung der Landwirtschaft Chancen und Risiken für den Natur- und Umweltschutz, In: IÖW-Schriftenreihe 222/22, https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/OEW_SR_222_Digitalisierung_der_Landwirtschaft.pdf, (31.5.2022).

Knierim, A.; Thomas, A.; Schmitt, S. (2017): Agrarberatung im Wandel, In: B&B Agrar 4-2017, S. 27-32, https://www.bildungsserveragrar.de/fileadmin/Redaktion/Fachzeitschrift/2017-4/BB_Agrar_04_2017_Agrarberatung_im_Wandel.pdf, (26.4.2023).

Kopfinger, S.; Vinzent, B. (2021): Erprobung und Bewertung eines autonomen Feldroboters. In: Meyer-Aurich, A., Gandorfer, M., Hoffmann, C., Weltzien, C., Bellingrath-Kimura, S. & Floto, H. (Hrsg.), 41. GIL-Jahrestagung, Informations- und Kommunikationstechnologie in kritischen Zeiten. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. (S. 175-180).

Kopfinger, S. (o.D.): Interview von Bayern Innovativ, Titel: Autonome Helfer auf dem Feld. Roboter halten immer mehr Einzug in die Landwirtschaft, <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/autonome-helfer-auf-dem-feld>, (7.12.2022).

Kramer, H. (2020): Pulsweitenmodulation im Pflanzenschutz. Was bringt die Technik wirklich?, Video, <https://www.dlg-feldtage.de/de/feldtage-digital/dlg-feldtage-live/#c5669>, (27.6.2022).

KWS SAAT SE & Co. KGaA (Hg.) (2021): Pressemitteilung: Testergebnisse mit Unkrautrobotern zeigen Perspektiven für eine nachhaltigere und profitablere Landwirtschaft, <https://www.kws.com/de/de/media-innovation/presse/press-corner/testergebnisse-mit-unkrautrobotern/>, (31.5.2022).

Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2021): Pressemitteilung - Innovationsnetzwerk mit LfL, Siemens und EIT food sucht digitale, nachhaltige Agrar-Lösungen für Europa, <https://lfl.bayern.de/verschiedenes/presse/pms/2021/283947/index.php> (27.10.2021)

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) (2021): Abdrift – unterschätzte Fehlerquelle im Pflanzenschutz, <https://llh.hessen.de/pflanze/pflanzenschutz/anwendungshinweise-fuer-pflanzenschutzmittel/abdrift-unterschaetzte-fehlerquelle-im-pflanzenschutz/>, (26.4.2023).

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (Hg.) (2021): Die allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes. Hilfe zu Umsetzung und Dokumentation, [https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/71d722c50f66ecc3c12581210042df58/358e2bb9b944d657c12586920049259e/\\$FILE/Leitlinie%20_allgemeine%20Grunds%C3%A4tze%20des%20IPS_Stand%20Februar%202021.pdf](https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/71d722c50f66ecc3c12581210042df58/358e2bb9b944d657c12586920049259e/$FILE/Leitlinie%20_allgemeine%20Grunds%C3%A4tze%20des%20IPS_Stand%20Februar%202021.pdf) (28.10.2021).

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hg.) (2020): Erfahrungen aus 5 Jahren Modellbetrieben der Wasserrahmenrichtlinie in Nordrhein-Westfalen, <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/wasserschutz/pdf/wrrl-5-jahre-modellbetriebe.pdf>, (27.7.2022).

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Hg.) (o.D.): Integrierter Pflanzenschutz, <https://www.lksh.de/landwirtschaft/pflanzenschutzdienst/integrierter-pflanzenschutz/>, (16.11.2022).

Lang, C.; Becker, C. (2022): Perspektiven. 2035 – ein Blick in die Glaskugel, In: DLG-Mitteilungen. Sonderheft: Die Zukunft der Zuckerrübe, https://www.dlg-mitteilungen.de/fileadmin/img/content/Sonderhefte/KWSHorsch0422_internet.pdf, (5.7.2022).

Lieder, S.; Schröter-Schlaack, C. (2021): Smart Farming Technologies in Arable Farming: Towards a Holistic Assessment of Opportunities and Risks. In: *Sustainability*, 13, 6783. <https://doi.org/10.3390/su13126783> (30.5.2022).

Lowenberg-DeBoer, J.; Behrendt, K.; Canavari, M.; Ehlers, M.-H.; Gabriel, A.; Huang, I. et al. (2021): 85. The impact of regulation on autonomous crop equipment in Europe. In: John Stafford (Hg.): Precision agriculture '21. Papers presented at the 13th European Conference on Precision Agriculture. 13th European Conference on Precision Agriculture. Budapest, Hungary, 19-22 July, 2021. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, S. 711–717.

Lowenberg-DeBoer, J.; Behrendt, K.; u. a. (2022): Lessons to be learned in adoption of autonomous equipment for field crops. In: *Applied Economic Perspectives and Policy* 44 (2), S. 848–864. DOI: 10.1002/aepp.13177.

Mattiuzzo, C.; Vock, S.; Mössner, T.; Voß, S. (2021): Sichere Maschinen mit - oder trotz - künstlicher Intelligenz. in: *Arbeitsschutz in Recht und Praxis*, Volume 2, Ausgabe 6 2021. Seiten 188-192, Projektnummer: F 2497.

Mayer, C. (2021): Spritzen mit Puls: Bald komplett erlaubt?, <https://www.agrarheute.com/traction/tests-technik/spritzen-puls-bald-komplett-erlaubt-582895>, (31.5.2022).

Mayring, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken. 12. Auflage, Beltz, Weinheim/Basel.

McFadden, J.; u. a. (2022): The digitalisation of agriculture: A literature review and emerging policy issues", OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 176, <https://doi.org/10.1787/285cc27d-en>.

Mesnage, R., Straw, E.A., Antoniou, M.N. u. a. (2021): Improving pesticide-use data for the EU. *Nat Ecol Evol* 5, 1560. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01574-1>

Michels, M. u. a. (2020): Understanding the adoption of smartphone apps in crop Protection, In: *Precision Agriculture* 21, S. 1209–1226, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/%20s11119-020-09715-5.pdf,%20S.%201223-1224>, (31.5.2022).

Naïo Technologies (Hg.) (o.D.): DINO vegetable weeding robot for large-scale vegetable farms, <https://www.Naïo-technologies.com/en/dino/>, (29.6.2022).

Naïo Technologies (Hg.) (o.D.a): Un nouvel enjambeur débarque chez Naïo Technologies : Orio, <https://www.Naïo-technologies.com/actualite/un-nouvel-enjambeur-debarque-chez-Naïo-technologies-orio/>, (1.7.2022).

Ordon, F. (2021): Innovationen im Pflanzenschutz – Herausforderungen gemeinsam meistern, Vortrag des Julius Kühn-Instituts auf dem 21. BfR-Forum Verbraucherschutz „Pflanzenschutzmittel – ein Anlass zur Sorge?“

am 9./10.6.2021,

https://www.bfr.bund.de/cm/343/innovationen_im_pflanzenschutz_herausforderungen_gemeinsam_meistern.pdf, (30.6.2022).

Paulus, S.; Streit, S. (2022): Hackroboter – die digitale Alternative zur Handhacke,

<https://www.farmerspace.uni-goettingen.de/2022/03/30/hackroboter-die-digitale-alternative-zur-handhacke/>, (30.5.2022).

Pionke, S. (2020): Digitalisierung statt ‚Wirkstoff rein und fertig‘,

<https://www.agrarzeitung.de/nachrichten/wirtschaft/5.-agrargespraech-digitalisierung-versus-wirkstoff-rein-und-fertig-92978>, (31.5.2022).

Plank, A. (2022): Beitrag in Podiumsdiskussion, Veranstaltung von Bayern Innovativ und der LfL: Autonom, sicher und nachhaltig. Was können Feldroboter?, <https://www.bayern-innovativ.de/de/veranstaltung/smartehelfer-auf-bayerns-feldern#!rueckblick>, (7.12.2022).

Pohl, JP., Rautmann, D., Nordmeyer, H. u. a. (2019): Direkteinspeisung im Präzisionspflanzenschutz – Teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln. Gesunde Pflanzen 71, 51–55,

<https://doi.org/10.1007/s10343-019-00452-y>.

Pohl, JP.; Dunekacke, H.; Bargaen, F.; Hörsten, D.; Wegener, JK. (2021): Direkteinspeisung an Feldspritzgeräten zur situationsgerechten und teilflächenspezifischen Applikation. 116-120 Seiten / Journal für Kulturpflanzen, Bd. 73 Nr. 5-6 (2021): Themenheft: Assistenzsysteme für den Pflanzenschutz. DOI: 10.5073/JFK.2021.05-06.03.

Pohl, JP.; Jahncke, D.; Feise, D.; Hörsten, D.; Wegener, JK. (2021): Digitales Assistenzsystem als ganzheitliche Lösung für den teilflächenspezifischen und ressourcenschonenden Pflanzenschutz. 110-115 Seiten / Journal für Kulturpflanzen, Bd. 73 Nr. 5-6 (2021): Themenheft: Assistenzsysteme für den Pflanzenschutz. DOI: 10.5073/JFK.2021.05-06.02.

Posekany, C. (2021): "Farm to Fork": Uni Wageningen sieht negative Folgen für Pflanzenbau,

<https://www.lko.at/farm-to-fork-uni-wageningen-sieht-negative-folgen-f%C3%BCr-pflanzenbau+2400+3505934>, (5.7.2022).

Prahl, K. C. (2021): Pflanzenschutz Praxis. Entscheidungsmodelle. Wie gut sind die Prognosen? In: DLG-

Mitteilungen, Sonderheft: Pflanzenschutz. Digital und intelligent, https://www.dlg-mitteilungen.de/fileadmin/img/content/Sonderhefte/BASF_12_2021.pdf, (31.5.2022).

Preuße, T. (2021): Aus Digitalisierung wird Automatisierung, In: DLG-Mitteilungen, Sonderheft: Pflanzenschutz.

Digital und intelligent, https://www.dlg-mitteilungen.de/fileadmin/img/content/Sonderhefte/BASF_12_2021.pdf, (31.5.2022).

Preuße, T. (2022): Punktgenau auf die Zielfläche, <https://www.agritechnica.com/de/news/punktgenau-auf-die-zielflaeche>, (27.6.2022).

PwC - PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (Hg.) (2016): Quo vadis, agricola?,

<https://www.pwc.de/de/handel-und-konsumguter/assets/smart-farming-studie-2016.pdf>, (26.10.2021).

Redaktion Agrarzeitung (2020): Blühstreifen. Schritte zu mehr Biodiversität.

<https://www.agrarzeitung.de/nachrichten/politik/bluehstreifen-schritte-zu-mehr-biodiversitaet-90817>, (31.5.2022).

Redaktion Agrarzeitung (2021): Zukunft der Landwirtschaft. Pionierfeld Künstliche Intelligenz,

<https://www.agrarzeitung.de/technik/nachrichten/zukunft-der-landwirtschaft-pionierfeld-kuenstliche-intelligenz-96035>, (31.5.2022).

Reichel, C., u. a. (2021): 4.1 Agrarökologische Auswirkungen. In R. W. Scholz, E. Albrecht, D. Marx, M. Mißler-Behr, O. Renn, & V. Van ZylBulitta (Hrsg.), *Supplementarische Informationen zum DiDaT Weißbuch* (S. 156–163), <https://doi.org/10.5771/9783748912125-SI4-1>.

Robert Bosch GmbH (Hg.) (o.D.): Smart Spraying – Punktgenauer Einsatz von Herbiziden, [https://www.bosch.com/de/forschung/know-how/erfolgsgeschichten/smart-spraying-punktgenauer-einsatz-von-herbiziden/#:~:text=Smart%20Spraying%20E2%80%93%20Punktgenauer%20Einsatz%20von%20Herbiziden.%20Herbizide,Herbizide%20nur%20dorthin%2C%20wo%20sie%20tats%C3%A4chlich%20ben%C3%B6tigt%20werden,\(29.6.2022\)](https://www.bosch.com/de/forschung/know-how/erfolgsgeschichten/smart-spraying-punktgenauer-einsatz-von-herbiziden/#:~:text=Smart%20Spraying%20E2%80%93%20Punktgenauer%20Einsatz%20von%20Herbiziden.%20Herbizide,Herbizide%20nur%20dorthin%2C%20wo%20sie%20tats%C3%A4chlich%20ben%C3%B6tigt%20werden,(29.6.2022)).

Robert, A. (2020): „Agritech“ macht sich in Frankreich breit, <https://www.euractiv.de/section/landwirtschaft-und-ernahrung/news/agritech-macht-sich-in-frankreich-breit/> (27.10.2021).

Rohleder, B.; Krüsken, B. (2016): Digitalisierung in der Landwirtschaft, <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/Bitkom-Pressekonferenz-Digitalisierung-in-der-Landwirtschaft-02-11-2016-Praesentation.pdf>, (27.10.2021).

Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020): Digitalisierung in der Landwirtschaft 2020, https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.bitkom.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2021-04%2F200427_digitalisierung-in-der-landwirtschaft-2020.pptx&wdOrigin=BROWSELINK, (27.10.2021).

Rohlmann, A.K. (2021): Wie sieht der Pflanzenschutz der Zukunft aus?, <https://www.topagrar.com/acker/news/wie-sieht-der-pflanzenschutz-der-zukunft-aus-12747908.html>, (30.6.2022).

Roßmadl, A. (2022): Autonome Robotersysteme in der Landwirtschaft - Wirtschaftlichkeitsrechnung eines Systems zur mechanischen Unkrautregulierung. Masterarbeit. Hochschule München. Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen.

Rutt, K. (2020): Teilflächenbewirtschaftung. Bringen neue Ansätze den Durchbruch?, In: DLG-Mitteilungen, Sonderheft: Digitalisierung. Risiken abwägen, Chancen nutzen, S. 26-28, https://www.dlg-mitteilungen.de/fileadmin/img/content/Sonderhefte/DLG120_Sonderheft_JD.pdf, (31.5.2022).

Rübcke von Veltheim, F.; Theuvsen, L.; Heise, H. (2022): German farmers' intention to use autonomous field robots: a PLS-analysis. *Precision Agric* 23, 670–697, <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09854-3>.

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hg.) (2021): Erhebungen, Prognosen und Entscheidungshilfen, ISIP, <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/erhebungen-prognosen-und-entscheidungshilfen-isip-16715.html> (26.10.2021).

Schaal, R. (2022): Der Stand der Technik im Pflanzenschutz, <https://www.agrarzeitung.de/technik/nachrichten/digitalisierung-der-stand-der-technik-im-pflanzenschutz-102100>, (12.7.2022).

Schäffer, A.; Filser, J.; Frische, T.; u. a. (2018): Der stumme Frühling – Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes. Diskussion Nr. 16., Nationale Akademie der Wissenschaften - Leopoldina, Halle (Saale). Der stumme Frühling Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes. Available from: https://www.researchgate.net/publication/325250905_Der_stumme_Fruhling_Zur_Notwendigkeit_eines_umweltvertraglichen_Pflanzenschutzes. (23.11. 2022).

Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN, Freien Demokraten (FDP) (Hg.) (2021): Koalitionsvertrag 2021-2025,

<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>, (6.12.2022).

Spinnarke, S. (2022): Mehr Ertrag, weniger Fläche. Land- und Forsttechnik unter Innovationsdruck, <https://www.fluid.de/anwendungen/land-und-forsttechnik-unter-innovationsdruck-276.html>.

Spykman, O.; Gabriel, A.; Ptacek, M.; Gandorfer, M. (2021): Farmers' perspectives on field crop robots – Evidence from Bavaria, Germany. In: Computers and Electronics in Agriculture 186, S. 106176. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106176.

Statista (Hg.) (2017): Prognostizierte Umsatzverteilung im globalen Markt mit Digital Farming nach Anwendungsbereich, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/763202/umfrage/globales-marktpotenzial-von-smart-farming-nach-anwendungsbereich/> (27.10.2021).

Statista (Hg.) (2018): Forecasted market value of precision farming worldwide in 2018 and 2023, <https://www.statista.com/statistics/721921/forecasted-market-value-of-precision-farming-worldwide/> (27.10.2021).

Statista (Hg.) (2019): Durchschnittliche genutzte landwirtschaftliche Fläche pro Betrieb nach Bundesland in Deutschland 2019, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173089/umfrage/betriebsgroesse-von-agrarbetrieben-2010/> (27.10.2021).

Steinmann, H.-H. (2020): Unkrautmanagement im Zeichen von Biodiversität, Glyphosatkrise und knappen Ressourcen – Versuch einer Zwischenbilanz. 22 Seiten / Julius-Kühn-Archiv, Nr. 464 (2020): Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und - bekämpfung, 3. - 5. März 2020, Braunschweig. In: JKA (464), S. 22. DOI: 10.5073/jka.2020.464.002.

Strotmann, K. (2019): Abdriftmindernde Düsen: Darauf sollten Sie beim Kauf achten, <https://www.agrarheute.com/pflanze/abdriftmindernde-duesen-darauf-sollten-beim-kauf-achten-550879> (26.10.2021).

Süss, H. (2020): Dino gegen Unkraut – Agrarroboter im Einsatz, <https://www.bauernzeitung.de/agrarpraxis/landtechnik/agrarroboter-dino-gegen-unkraut/#:~:text=Bei%20autonomen%20Maschinen%20spielt%20der%20Sicherheitsaspekt%20eine%20entscheidende,Personen%20oder%20Hindernisse%2C%20kommt%20der%20Roboter%20zum%20Stillstand,> (1.7.2022).

Swiss Academic Software GmbH (Hg.) (2020): Citavi 6: Handbuch, https://www1.citavi.com/sub/manual6/de/index.html?citavi-picker_overview.html (27.10.2021)

Taube, F.; Kelm, M. (Hg.) (2007): Wissen, wo man steht. Landwirtschaftliche Produktionssysteme in Schleswig-Holstein: Leistungen und ökologische Effekte. Ergebnisse des Projektes Compass, <https://www.uni-kiel.de/phytomed/pdf/COMPASS%20Ergebnisse.pdf>, (4.7.2022).

Tausendpfund, M. (2020): Fortgeschrittene Analyseverfahren in den Sozialwissenschaften. Grundwissen Politik. Springer VS, Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-30237-5>.

Umann, U. (2021): Digitale Landwirtschaft ist in den USA weit fortgeschritten, <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/branchenbericht/usa/digitale-landwirtschaft-ist-in-den-usa-weit-fortgeschritten-607404> (27.10.2021).

United States Department of Agriculture (Hg.) (2017): Census of Agriculture 2017, https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/Full_Report/Volume_1,_Chapter_1_US/usv1.pdf (27.10.2021).

Verein zur Förderung qualitativer Forschung – Association for Supporting Qualitative Research ASQ (Hg.): QCAmapp 2020, <https://qualitative-content-analysis.org/de/software-2/qcamap-2020/> (27.10.2021).

- Vik, J. u. a. (2021): Balanced readiness level assessment (BRLa): A tool for exploring new and emerging technologies. In: Technological Forecasting and Social Change, Volume 169, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120854>, (30.5.2022).
- VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2019): Pflanzenschutz smart! Risiken bewerten, <https://www.talkingfields.de/alle-produkte/psm-smart/>, (1.7.2022).
- VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2019a): TalkingFields – Produktübersicht, https://www.talkingfields.de/wp-content/uploads/2019/04/TalkingFields_Prodktblatt_DEU.pdf, (1.7.2022).
- VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2019b): TalkingFields – Downloads, <https://www.talkingfields.de/downloads/>, (1.7.2022).
- VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hg.) (2021): Demoprodukte - TalkingFields, <https://www.talkingfields.de/demoprodukte/>, (1.7.2022).
- von dem Berge, B. (2020): Teilstandardisierte Experteninterviews. In: Tausendpfund M. (eds) Fortgeschrittene Analyseverfahren in den Sozialwissenschaften. Grundwissen Politik. Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-30237-5_9.
- Wegener, J. K. (2021): Entwicklungen im Bereich der Anwendungstechnik im Pflanzenschutz gestern, heute und morgen. In: Journal für Kulturpflanzen, 73 (7-8). S. 276–283, https://ojs.openagrar.de/volltexte/Kulturpflanzenjournal/2021/Heft7-8/12_jfk_2021_07-08_wegener_ojs15801/jfk_2021_07-08_wegener.html.
- Wegener, J. K.; Hörsten, D. von; Urso, L.-M. (2018): Mit Spot Farming zur nachhaltigen Intensivierung in der Pflanzenproduktion. 194 KB / Julius-Kühn-Archiv 458 / Julius-Kühn-Archiv 458. DOI: 10.5073/JKA.2018.458.002.
- Wegener, J. K. (2017): Neue technische Lösungen für die präzise und sichere Anwendung von Pflanzenschutzmitteln / New technical solutions for precise and safe application of plant protection products, https://www.researchgate.net/publication/323906439_Neue_technische_Losungen_fur_die_prazise_und_sichere_Anwendung_von_Pflanzenschutzmitteln_New_technical_solutions_for_precise_and_safe_application_of_plant_protection_products (14.05.2021).
- Wegener, J.K.; Krebs, M.; Rautmann, D.; , Nordmeyer, H. (2016): Teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln – Stand der Technik und aktuelle Herausforderungen, https://www.researchgate.net/publication/295076334_Teilflachenspezifische_Applikation_von_Pflanzenschutzmitteln_-_Stand_der_Technik_und_aktuelle_Herausforderungen_Site_specific_application_of_pesticides_-_state_of_the_art_and_actual_challenges , (22.06.2022).
- Wilhelm, R. u. a. (2021): Bericht zu möglichen Synergien der Nutzung neuer molekularbiologischer Techniken für eine nachhaltige Landwirtschaft. Braunschweig, Deutschland: Julius Kühn-Institut, https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00076505, (31.5.2022).
- Witzke, K., Herchenbach, M. (2022): Technik im Pflanzenschutz bei Landwirten in Deutschland. Ergebnisbericht einer Befragung, https://www.iva.de/sites/default/files/2022-07/Technik%20im%20Pflanzenschutz_Ergebnisbericht_220722.pdf, (3.8.2022).
- Wolff, C.; Hoffmann, B. (2018): Schadinsektor – Entscheidungsunterstützung im Pflanzenschutz durch Schädlingserkennung mittels UAV, https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00010555/2018_0047.pdf, (1.7.2022)
- Xarvio Kundenservice (2022): Stellungnahme zu Nachfragen zum Xarvio Field Manager, Email vom 16.8.2022, Bearbeiterin Bärm, Paulina.

Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP) (Hg.) (o.D.): AssSys - Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln, <http://zepp.info/proj/lp/223-asssys>, (29.6.2022).

Zukunftskommission Landwirtschaft (Hg.) (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/zkl_abschlussbericht_bf.pdf, (15.11.2022).

A Anhang: Interviewleitfaden

A.1.1 Leitfaden für Forschende/Behörden/Redaktion

Hallo,

mein Name ist Maria Lippl. Ich arbeite für das Forschungsinstitut GreenSurvey. Ich würde heute gerne mit Ihnen ein Interview zum Bereich „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ und die Möglichkeiten zur Pflanzenschutzmittelreduktion sprechen. Ziel des Interviews ist es, die aktuellen Entwicklungen und Möglichkeiten bzw. Hemmnisse in diesem Themenbereich zu beleuchten.

Wir werden die Interviews für ein Gutachten des Umweltbundesamtes auswerten. Dieses Gutachten wird auch öffentlich zugänglich sein. Ihre Antworten werden allerdings nicht mit Ihrer Person in Verbindung gebracht, da eine anonyme und agglomerierte Datenauswertung über mehrere Interviews stattfindet.

- ▶ Sind sie damit einverstanden, dass ich das Interview aufzeichne?
- ▶ Können Sie mir kurz Ihren Tätigkeitsbereich beschreiben?
- ▶ Welche innovativen Technologien, die Pflanzenschutzmittel einsparen, kennen Sie?

Wenn einzelne dieser Technologien nicht genannt werden, gezielt nachfragen, ob diese Technologie bekannt ist und was die Meinung dazu ist:

- Pulsweitenmodulation
 - Bandspritzung: Unkrautbekämpfung in Reienkulturen – Herbizid in der Reihe, mechanische Maßnahmen zwischen den Reihen
 - Automatische Teilbreitenschaltung
 - Teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln (Vom Schlag bis zur einzelnen Pflanze): Chemische Unkraut- bzw. Schädlingsbekämpfung: Feldspritzen gekoppelt mit Bilderkennung oder Applikationskarten oder Roboter
 - Mechanische Unkrautbekämpfung (mit Pflanzenerkennung, Applikationskarten oder GPS) Hacken, Strom, Laser,... und mechanische Schädlingsbekämpfung (Bilderkennung, z.B. Schneckenroboter)
 - Entscheidungshilfesysteme (Prognosemodellen, z.B. Berechnung von Schädlingsbekämpfungsterminen oder gekoppelt mit Applikationskarten)
-
- ▶ Welche Technologien befinden sich Ihrer Kenntnis nach in der Praxis bereits im Einsatz?
 - ▶ Warum diese und warum andere (noch) nicht?
 - ▶ Können Sie mir konkrete Zahlen nennen, wie viel Pflanzenschutzmittel durch die jeweilige Technologie eingespart werden können?
 - ▶ Was motiviert Ihrer Meinung nach Landwirt*innen, sich dieser Technologien zu bedienen?
 - ▶ Was hemmt die Anwendung dieser Technologien?

- ▶ Ggf. gezielt nach einzelnen Faktoren nachfragen: Welche Rolle spielen Ihrer Meinung nach...
 - Ökonomische Vorteile (Mittelleinsparungen, höhere Erträge...)
 - Ökologischer Nutzen
 - Anpassung an Klimawandel
 - Hohe Anschaffungskosten (monetär, in Bezug auf Wissen)
 - Rechtliche Probleme / Unklarheiten bezüglich Automatisierung
 - Datenschutzprobleme, „Überwachung“
 - Situation der zugelassenen Pflanzenschutzmittel

- ▶ Kennen Sie die Methode der RNA-Interferenzen bei Pflanzenschutzmitteln?
 - Wenn ja, welche Erfahrungen bzw. Kenntnisse haben Sie zu dem Thema?
 - Wenn ja, wie sehen Sie die Entwicklung dieser Pflanzenschutzmittel?

- ▶ Eine letzte Frage: Was ist Ihre Prognose für die nächsten 10-20 Jahre: Wohin entwickeln sich digitale Technologien insbesondere zur Pflanzenschutzmittelreduktion? Welcher Technologie geben Sie die größte Chance der Umsetzung und warum?

- ▶ Zusammenfassend nehme ich aus dem Gespräch mit:

Ich danke Ihnen, dass Sie sich Zeit für das Interview genommen haben.

Haben Sie noch Fragen?

B Anhang: Bewertungsindex

B.1 Fragenkatalog

Liebe Teilnehmerin,

lieber Teilnehmer,

herzlich Willkommen und vielen Dank, dass Sie sich für unseren Fragebogen Zeit nehmen.

Wir möchten mit Hilfe Ihrer Expertise einen Bewertungsindex für verschiedene digitale Technologien zur Pflanzenschutzmittelreduktion bilden.

Der Bewertungsindex fließt in ein Gutachten für das Umweltbundesamt ein, welches Ende 2023 veröffentlicht wird.

In diesem Fragebogen interessieren wir uns für Ihre Kenntnisse und Einschätzung zur *jeweiligen Technologie* im Ackerbau.

Die Bearbeitung des Fragebogens dauert etwa 30 Minuten.

Ihre Daten werden anonym erfasst und nur für wissenschaftliche Forschungszwecke im Rahmen dieses Gutachtens verwendet.

Die Auswertung erfolgt unter Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften des Datenschutzes.

Wenn Sie Fragen zu der Umfrage haben, senden Sie gerne eine E-Mail an: lippl@green-survey.de

Herzliche Grüße

Dr. Maria Lippl

GreenSurvey - Institut für Marktforschung Prof. Dr. Menrad GmbH

In dieser Umfrage sind 42 Fragen enthalten.

Reifegrad

Zunächst bitten wir Sie, Fragen zum Reifegrad in Bezug auf die Technologie, die Marktchancen, regulatorische oder organisatorische Anpassungen sowie die soziale Akzeptanz der Innovation zu beantworten.

1. Zu welchem Grad ist die Innovation technisch voll entwickelt und einsatzbereit?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ voll entwickelt und einsatzbereit
- ▶ getestet und validiert
- ▶ Prototyp getestet und validiert

- ▶ Konzept erstellt und/oder einzelne Komponenten getestet
- ▶ als Idee formuliert

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

2. Zu welchem Grad ist für die Innovation ein Geschäftsmodell am Markt etabliert?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ stabile und wachsende Nachfrage
- ▶ Produkt wird regelmäßig nachgefragt
- ▶ Produkt wird in kleinen Mengen nachgefragt
- ▶ Nachfrage wurde ermittelt, technische Lösung noch nicht erarbeitet
- ▶ Idee eines Bedarfs und einer technischen Lösung wurde formuliert

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

3. Zu welchem Grad sind für die Innovation regulatorische oder gesetzgeberische Anforderungen erfüllt?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ regelmäßiger Gebrauch und Produktion erfüllen generelle Anforderungen
- ▶ Zulassungen und Genehmigungen werden bald erteilt
- ▶ regulatorische Anpassungen sind nötig, aber noch nicht erteilt
- ▶ gesetzgeberische Veränderungen sind nötig, aber noch nicht gemacht
- ▶ regulatorische und gesetzgeberische Aspekte sind nicht abschätzbar

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

4. Zu welchem Grad ist der Einsatz der Innovation von einer breiten Mehrheit unter den Landwirt*innen akzeptiert?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ breit akzeptiert
- ▶ von einer großen Gruppe akzeptiert
- ▶ von einer kleinen Gruppe akzeptiert
- ▶ von wenigen akzeptiert
- ▶ nicht akzeptiert/ illegitim eingestuft

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

5. Zu welchem Grad kann die Technologie in bestehende Arbeitsprozesse integriert werden?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kann reibungslos mit bestehenden Technologien kombiniert werden

- ▶ geringe Anpassungen sind notwendig
- ▶ moderate Anpassungen sind notwendig
- ▶ große Anpassungen sind notwendig
- ▶ fundamentaler Bruch mit bestehenden Arbeitsprozessen

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

Umweltentlastung

Bei diesen Fragen bitten wir Sie einzuschätzen, wie hoch die Umweltentlastung der Innovation gegenüber einer "herkömmlichen" Feldspritze ist.

1. Zu welchem Grad führt die Anwendung zu einer Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

2. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Bodenstruktur (z.B. keine Bodenverdichtung)?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

3. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Verminderung von Pestizideinträgen in das Grundwasser?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt

- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

4. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Luft (Abgase, Aerosole, Dämpfe, Geruchsstoffe, Pestizide)?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

5. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) auf den Feldern?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

6. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) am Feldrand?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

7. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) in Gewässern?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

8. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf CO₂-Emissionen beim Ackerbau?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

9. Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf Pflanzenschutzmittel-Rückstände auf Lebensmitteln?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

10. Zu welchem Grad sind durch die Anwendung der Innovation Substitutionseffekte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, häufigere Überfahrten) zu erwarten?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

Erreichung der politischen Ziele

Hier wird insbesondere auf den Green Deal, die Farm-to-Fork-Strategie, den Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz und die Pflanzenschutz-Rahmenrichtlinie Bezug genommen.

1. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

2. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung von Ernährungssicherheit?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

3. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, bis 2030 den Einsatz und das Risiko chemischer Pestizide um 50 Prozent zu verringern und die Verwendung gefährlicherer Pestizide um 50 Prozent zu reduzieren?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

4. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, einen weltweiten Übergang zu wettbewerbsgerechter Nachhaltigkeit, d.h. dass die nachhaltigsten Lebensmittel die erschwinglichsten sind, einzuläuten?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

5. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, 25 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 2030 mit biologischer Landwirtschaft zu bewirtschaften?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

6. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, den ökologischen und klimatischen Fußabdruck des EU-Lebensmittelsystems zu verringern?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

7. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel zur Einkommensabsicherung von Landwirt*innen beizutragen?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt

- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

8. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (gemäß der Europäischen Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung und des Pflanzenschutzgesetzes)?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

9. Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen)?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ▶ kein Effekt
- ▶ geringer Effekt
- ▶ moderater Effekt
- ▶ großer Effekt
- ▶ sehr großer Effekt

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

Chancen und Risiken

Im letzten Fragenkomplex bitten wir Sie, verschiedene Fragen zu Chancen und Risiken der Innovation für Landwirt*innen zu beantworten.

1. Zu welchem Grad führt die Innovation bei Neuanschaffung zu einer Erhöhung des Betriebseinkommens innerhalb der nächsten fünf Jahre?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Minderung Betriebseinkommen	-2	-1	0	1	2	Erhöhung Betriebseinkommen
--------------------------------	----	----	---	---	---	-------------------------------

2. Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit gegenüber der Zulassung bzw. dem Wegfallen von Wirkstoffen im Pflanzenschutz?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Abhängigkeit	-2	-1	0	1	2	Unabhängigkeit
--------------	----	----	---	---	---	----------------

3. Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit des landwirtschaftlichen Betriebs gegenüber Saisonarbeitskräften?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Abhängigkeit	-2	-1	0	1	2	Unabhängigkeit
--------------	----	----	---	---	---	----------------

4. Zu welchem Grad trägt die Innovation zu einer Arbeitserleichterung bei (körperlich oder auch bürokratisch)?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Arbeitserschwerung	-2	-1	0	1	2	Arbeitserleichterung
--------------------	----	----	---	---	---	----------------------

5. Wie sehr befördert die Innovation die Herstellung von Lebensmitteln, die wenig Rückstände von Pflanzenschutzmitteln aufweisen?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

hohe Rückstände	-2	-1	0	1	2	keine Rückstände
-----------------	----	----	---	---	---	------------------

6. Zu welchem Grad bietet die Innovation einen An Schub der Digitalisierung im ländlichen Raum?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Rückschritt Digitalisierung	-2	-1	0	1	2	Anschub Digitalisierung
-----------------------------	----	----	---	---	---	-------------------------

7. Zu welchem Grad sorgt die Innovation für attraktivere Arbeitsplätze im Landbau?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

unattraktive Arbeitsplätze	-2	-1	0	1	2	attraktive Arbeitsplätze
----------------------------	----	----	---	---	---	--------------------------

8. Zu welchem Grad bietet die Innovation einen guten oder schlechten Anwenderschutz?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

schlechter Anwenderschutz	-2	-1	0	1	2	guter Anwenderschutz
------------------------------	----	----	---	---	---	-------------------------

9. Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung weniger, aber größere Betriebe?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Beschleunigung Strukturwandel	-2	-1	0	1	2	Verlangsamung Strukturwandel
----------------------------------	----	----	---	---	---	---------------------------------

10. Wie komplex wird die Bedienung der Innovation eingestuft?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

komplexe Bedienung	-2	-1	0	1	2	einfache Bedienung
-----------------------	----	----	---	---	---	--------------------

11. Wie hoch werden die laufenden Kosten (z.B. Reparatur, Betriebsmittel, Wartung) für die Innovation eingeschätzt?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

hohe laufende Kosten	-2	-1	0	1	2	geringe laufende Kosten
-------------------------	----	----	---	---	---	----------------------------

12. Wie wird der Aspekt "Datenschutz" und "Datenhoheit" bei der Innovation eingeschätzt?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

problematisch	-2	-1	0	1	2	unproblematisch
---------------	----	----	---	---	---	-----------------

13. Wie werden mögliche rechtliche Probleme bei der Innovation eingeschätzt?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

problematisch	-2	-1	0	1	2	unproblematisch
---------------	----	----	---	---	---	-----------------

14. Wie wird sich durch die Innovation die Bearbeitungszeit der Fläche ändern?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

lange Bearbeitungszeit	-2	-1	0	1	2	kurze Bearbeitungszeit
---------------------------	----	----	---	---	---	---------------------------

15. Wie hoch wird die Funktionssicherheit der Innovation eingeschätzt?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

geringe Funktionssicherheit	-2	-1	0	1	2	hohe Funktionssicherheit
--------------------------------	----	----	---	---	---	-----------------------------

16. Wie stark sind durch den Einsatz der Innovation Zielkonflikte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, Bodenverdichtung etc.) zu erwarten?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

viele Zielkonflikte	-2	-1	0	1	2	keine Zielkonflikte
---------------------	----	----	---	---	---	---------------------

17. Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung Konzentration des Landwirtschaftsmarkts?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Förderung Marktkonzentration	-2	-1	0	1	2	Minderung Marktkonzentration
---------------------------------	----	----	---	---	---	---------------------------------

Hier haben Sie die Möglichkeit, Ihre Antworten zu kommentieren oder zu begründen.

Wir bedanken uns herzlich, dass Sie sich die Zeit genommen haben, unsere Fragen zu beantworten!

Im Herbst 2022 werden wir unseren Bewertungsindex in einem Workshop diskutieren. Hierzu werden Sie eine gesonderte Einladung erhalten.

Herzliche Grüße

Maria Lippl

C Anhang: Detaillierte Auswertung des Bewertungs-Index

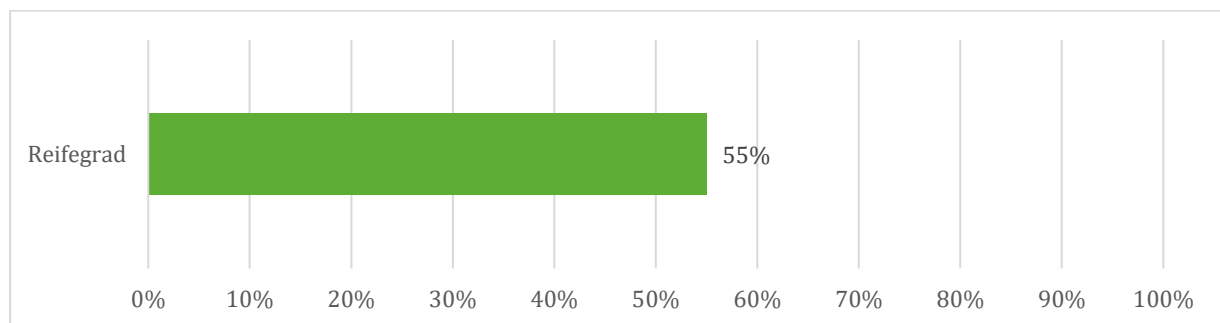
In den folgenden Tabellen wurden die Fragen des Fragenkatalogs beantwortet und begründet sowie ein Punktwert von 0 bis 4 vergeben. Die Bewertung und Begründung erfolgten durch das Konsortium der Auftragnehmer und Expert*innenbefragungen. Zudem wurden bei der Begründung Veröffentlichungen herangezogen und wenn vorhanden als Zitate angegeben. Wenn kein Zitat gefunden werden konnte, wurde die Begründung des Konsortiums bzw. der befragten Expert*innen angegeben.

Das Balkendiagramm gibt jeweils den erreichten Prozentsatz aus der Summe der Antwortpunkte in der jeweiligen Kategorie an, welche dann den Index-Wert bilde.

C.1 Hackroboter

C.1.1 Reifegrad

Abbildung 51: Index-Wert "Reifegrad" - Hackroboter



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 6: Fragenkatalog „Reifegrad“ - Hackroboter

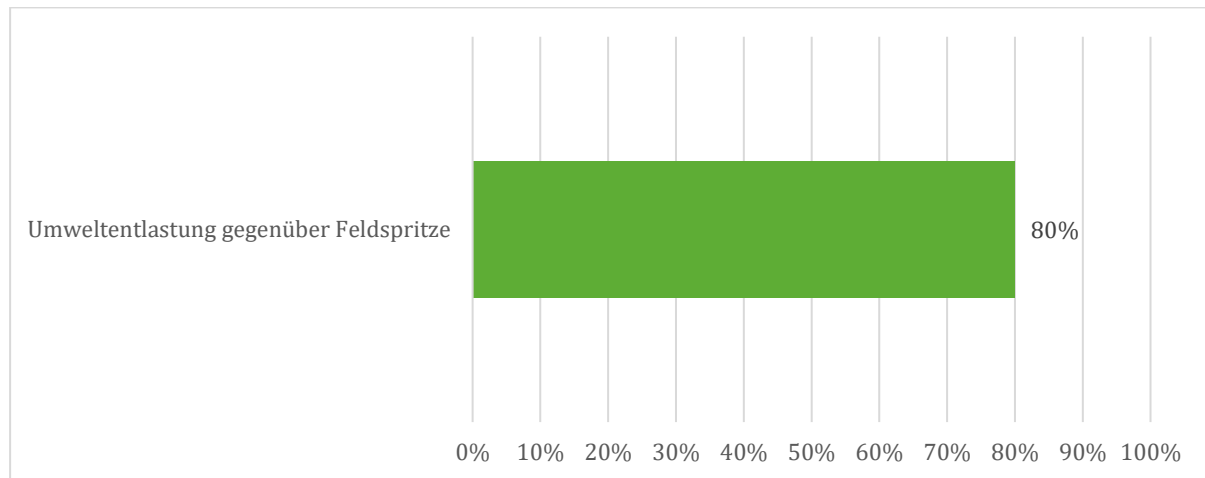
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad ist die Innovation technisch voll entwickelt und einsatzbereit?	getestet und validiert	3	Es stehen marktreife Geräte zur Verfügung. Allerdings werden von Anwendern Probleme berichtet bezüglich verschiedener Böden oder Hangneigungen: „Voraussetzung für den Einsatz eines Hackroboters ist ein ebenes Feld“, erklärt der Biobauer.“ (Ammich, M. (2021)) oder „Bisher ist der Roboter erst in Dänemark auf quadratischen Parzellen mit eher leichten, sandigen Böden ohne jegliche Steigungen geprüft.“ (Dierauer, H. (2020))
Zu welchem Grad ist für die Innovation ein Geschäftsmodell am Markt etabliert?	Produkt wird in kleinen Mengen nachgefragt	2	„Mit den Robotern „Dino“ und „Oz“ unseres Partners Naïo Technologies bieten wir unseren Kunden schon heute erste autonome Lösungen an. Jetzt, am Anfang, sind Pioniere gefragt, die eine gewisse Affinität zu neuen zukunftsweisenden Technologien mitbringen und bereit sind zu investieren. Bis Roboter den breiten Markt erobert haben, werden sicher noch ein paar Jahre vergehen.“

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
			„Das Thema „Robotik in der Landtechnik“ steht aktuell noch ganz am Anfang. Wir als BayWa sehen die Robotik als wichtiges Zukunftsthema und fördern sie deshalb schon heute – so sammeln wir bereits jetzt Erfahrungen mit dieser zukunftsweisenden Technologie.“ (Forum Moderne Landwirtschaft e.V. (Hg.) (2020))
Zu welchem Grad sind für die Innovation regulatorische oder gesetzgeberische Anforderungen erfüllt?	regulatorische Anpassungen sind nötig, aber noch nicht erteilt	2	„In Deutschland fehlt derzeit noch ein konkreter Leitfaden und auch auf EU-Ebene gibt es noch keine rechtlichen Rahmenbedingungen. Wichtig, um das Potenzial der Roboter ausschöpfen zu können, sind außerdem Vorgaben zum Datenschutz, zur Haftung und zur Verantwortung sowie eine gute Mobilfunk-Netzabdeckung nötig.“ (Forum Moderne Landwirtschaft e.V. (Hg.) (2020))
Zu welchem Grad ist der Einsatz der Innovation von einer breiten Mehrheit unter den Landwirt*innen akzeptiert?	Von einer großen Gruppe akzeptiert	3	„After analysing the descriptive results (see Table 3 in the appendix) of the survey (n = 500) based on the extended UTAUT model, it was found that the respondents are positive about AFR (Lippl: autonomous field robots), although the use of AFR on their own farms is not currently planned by the respondents. This was reflected in specific by performance expectancy and the resulting intention of farmers to use AFR.“ (Rübcke von Veltheim, F.; Theuvsen, L.; Heise, H. (2022))
Zu welchem Grad kann die Technologie in bestehende Arbeitsprozesse integriert werden?	große Anpassungen sind notwendig	1	„Man muss zunächst eine neue Umgebung schaffen, eine neue Welt, in der wir mit diesen Systemen arbeiten können und in die der Mensch integriert ist. Da stellt sich also zunächst die Frage nach einer Infrastruktur: Wie wird der Roboter auf dem Betrieb integriert, wie sehen die Betriebe in der Zukunft aus? Was macht der Landwirt, um das Ganze zu betreiben? Außerdem sind noch viele Rechtsfragen offen. Wie ist das mit dem Service, wie ist das mit der Sicherheit und wie ist die Prozessüberwachung? Es gibt zusätzlich noch ungeklärte Zulassungs- und Logistikfragen. Ein weiterer noch ungelöster Aspekt ist die Langzeit-Autonomie. Wie lange können diese Roboter störungsfrei im Einsatz sein? Wie werden die Maschinen gewartet? Es gibt noch viel Forschungsbedarf, aber auch noch sehr viel Praxisbedarf.“ (Industrieverband Agrar e.V. (Hg.) (2020))

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.1.2 Umweltentlastung

Abbildung 52: Index-Wert "Umweltentlastung" - Hackroboter



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 7: Fragenkatalog „Umweltentlastung“ - Hackroboter

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad führt die Anwendung zu einer Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes?	großer Effekt	3	<p>Durch das Hacken können Herbizide bis zu 100 Prozent, aber keine Fungizide und Insektizide eingespart werden.</p> <p>Hackfrüchte sind für Biobetriebe durch Hackroboter rentabler und somit besteht ein höheres Produktionspotential im Ökolandbau. „Für seine Bio-Zuckerrüben kalkuliert der Landwirt mit einem Preis von 10,50 €/dt und mit einem Ertrag von 80 dt/ha. Das sind nur 10 dt weniger, als die konventionellen Rüben im Rainer Anbaubereich durchschnittlich leisten.“ (Ammich, M. (2021))</p>
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Bodenstruktur (z.B. keine Bodenverdichtung)?	moderater Effekt	2	<p>„Hinzu kommt, dass die Automatisierung kleinere autonome Maschinenkonzepte mit positiven Umweltwirkungen wie einer geringeren Bodenbelastung oder kleinteiligeren Anbaustrukturen mit einer erhöhten Biodiversität ermöglichen.“ (de Witte, T. u. a. (2016), S. 35)</p> <p>„Das geringe Gewicht von 800 kg verhindert Bodenverdichtung – im Gegensatz zu der Belastung durch die immer größeren Maschinen in der Landwirtschaft.“ (FarmDroid ApS (2020))</p> <p>Bodenerosion wird nur in Hanglagen als problematisch gesehen. In der Ebene ist Hacken überwiegend positiv. Vorteilhaft wirkt sich die bessere Nährstoffverfügbarkeit durch das Hacken des Bodens aus.</p>
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Verminderung	großer Effekt	3	<p>Durch das Hacken können Herbizide bis zu 100 Prozent, aber keine Fungizide und Insektizide eingespart werden.</p> <p>Ein Komplettverzicht auf Herbizide im konventionellen Bereich muss vermutlich über mehrere Jahre aufgebaut werden und wird auch nicht jedes Jahr erreicht werden.</p>

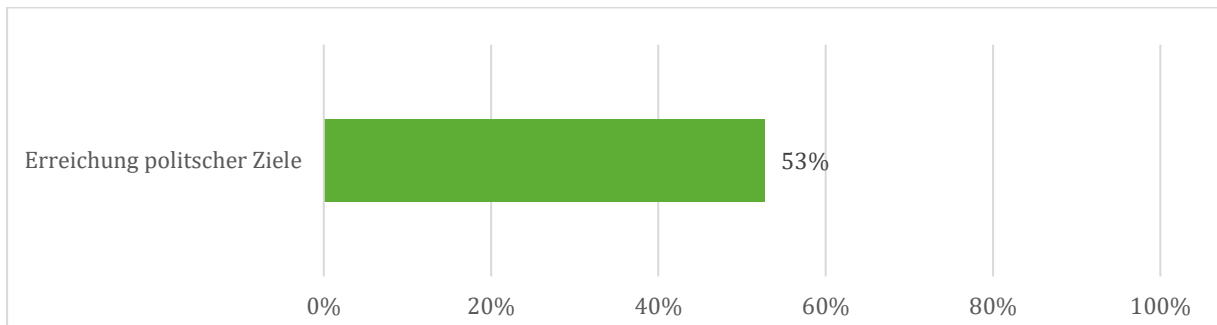
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
von Pestizeinträgen in das Grundwasser?			
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Luft (Abgase, Aerosole, Dämpfe, Geruchsstoffe, Pestizide)?	sehr großer Effekt	4	Die ausgewählten Fallbeispiele sind elektrisch betrieben. Bei anderen Systemen, die auf fossilen Brennstoffen basieren, ergibt sich hier ein anderer Wert.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) auf den Feldern?	großer Effekt	3	<p>Durch das Hacken können Herbizide bis zu 100 Prozent, aber keine Fungizide und Insektizide eingespart werden. Ein Komplettverzicht auf Herbizide im konventionellen Bereich muss vermutlich über mehrere Jahre aufgebaut werden und wird auch nicht jedes Jahr erreicht werden.</p> <p>„Leider erkennt der Roboter keine Wiesenbrütergelege oder liegende Rehkitze“, bedauert Mayerle. „Aber beim Pflügen und Striegeln verhält es sich auch nicht anders. Das ist der Preis von Bio.“ (Ammich, M. (2021))</p> <p>„So sind beispielsweise Zuckerrübenfelder bisher ein Rückzugsort für selten gewordene Bodenbrüter wie Feldlerche oder Kiebitz. Wenn aber Hackroboter Tag und Nacht die Felder von Unkraut befreien und zwischen den Reihen keinen Halm unversehrt lassen, kann die Aufzucht der Bodenbrüter nicht mehr gelingen. Ob der Schutz von Bodenbrütern durch Streifen ermöglicht werden kann, die nicht bearbeitet werden oder mit biodiversitätsfördernden Pflanzen bestellt sind, muss erst noch bewiesen werden.“ (Lang, C.; Becker, C. (2022), S. 10)</p> <p>„Werden die Unkräuter im kamerabasierten Ansatz erkannt und in Arten unterschieden, können diese – theoretisch – individuell behandelt werden. Dies ermöglicht neue Ansätze zur Förderung der Biodiversität in Agrarlandschaften oder die angepasste Behandlung von resistenten Unkräutern.“ (Paulus, S.; Streit, S. (2022))</p>
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) am Feldrand?	großer Effekt	3	<p>Durch das Hacken können ausschließlich Herbizide, aber keine Fungizide und Insektizide eingespart werden.</p> <p>Ein Komplettverzicht auf Herbizide im konventionellen Bereich muss vermutlich über mehrere Jahre aufgebaut werden und wird auch nicht jedes Jahr erreicht werden.</p>

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) in Gewässern?	großer Effekt	3	Durch das Hacken können Herbizide bis zu 100 Prozent, aber keine Fungizide und Insektizide eingespart werden. Ein Komplettverzicht auf Herbizide im konventionellen Bereich muss vermutlich über mehrere Jahre aufgebaut werden und wird auch nicht jedes Jahr erreicht werden.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf CO ₂ -Emissionen beim Ackerbau?	sehr großer Effekt	4	Die ausgewählten Fallbeispiele sind elektrisch betrieben. Bei anderen Systemen die auf fossilen Brennstoffen basieren, ergibt sich hier ein anderer Wert. „Ein positiver Nebeneffekt des FarmDroid FD20 ist, dass er vollkommen energieautark mit nachhaltiger Sonnenenergie betrieben wird. Jedoch werden für die Transportfahrten sowie die Fahrten zur Störungsbehebung fossile Kraftstoffe verbraucht. Die tatsächliche Einsparung lässt sich anhand einer Modifizierung des Berechnungsmodells bestimmen (siehe Abschnitt 3.3.2.4). In Tabelle 18 sind die eingesparten CO ₂ -Emissionen für eine MSO-Feld Entfernung von 5 km in Abhängigkeit des Flächeneinsatzes dargestellt. So wird beispielsweise bei einem Flächeneinsatz von 20 Hektar eine Tonne CO ₂ -Emissionen pro Jahr eingespart. Bei einem Flächeneinsatz von 25 Hektar bis zu 1,4 Tonnen.“ (Roßmadl, A. (2022), S. 74-75)
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf Pflanzenschutzmittel-Rückstände auf Lebensmitteln?	großer Effekt	3	Durch das Hacken können Herbizide zu 100 Prozent, aber keine Fungizide und Insektizide eingespart werden. Ein Komplettverzicht auf Herbizide im konventionellen Bereich muss vermutlich über mehrere Jahre aufgebaut werden und wird auch nicht jedes Jahr erreicht werden.
Zu welchem Grad sind durch die Anwendung der Innovation Substitutionseffekte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, häufigere Überfahrten) zu erwarten?	kein Effekt	4	Keine Daten zum Gesamtenergieverbrauch gegenüber Diesel bei häufigen Überfahrten. Ggf. Einsparungen bei Herstellung und Logistik von Pflanzenschutzmitteln.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.1.3 Erreichung politischer Ziele

Abbildung 53: Index-Wert "Erreichung politischer Ziele" - Hackroboter



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 8: Fragenkatalog „Erreichung politischer Ziele“ - Hackroboter

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion?	großer Effekt	3	Durch das Hacken können Herbizide zu 100 Prozent, aber keine Fungizide und Insektizide eingespart werden.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung von Ernährungssicherheit?	kein Effekt	0	<p>„Bei voller Umsetzung von F2F- und Biodiversitätsstrategie drohten Produktionsrückgänge bei einzelnen Kulturen bis zu 30 Prozent - bei Weizen um 18 Prozent bei nur 3 Prozent Preisanstieg - sowie starke Preisanstiege, etwa bei Wein. Die Produktion mehrjähriger Kulturen, wie von Äpfeln oder Zitrusfrüchten, breche besonders signifikant ein. Die Wissenschaftler untersuchten verschiedene Szenarien der Produktionsbeschränkungen und deren Auswirkungen auf ein- und mehrjährige Pflanzen. Laut Bremmer habe das Szenario der Umsetzung der "Farm to Fork"- und der Biodiversitätsstrategie "negative Auswirkungen auf Erträge im Pflanzenbau und auf die landwirtschaftliche Produktion. Die Erzeugung gehe demnach im Durchschnitt um 10 bis 20 Prozent zurück, bei einigen Kulturen sogar bis 30 Prozent, während andere, wie Zuckerrüben, weniger litten.“ (Posekany, C. (2021))</p> <p>Hackroboter können die beschriebenen Ertragseinbußen als Alternative zu chemischem Pflanzenschutz verhindern. Sie steigern die Erträge im Vergleich zu einer Feldspritze nicht.</p>
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, bis 2030 den Einsatz und das Risiko chemischer Pestizide um 50 Prozent zu	großer Effekt	3	Durch das Hacken können Herbizide zu 100 Prozent, aber keine Fungizide und Insektizide eingespart werden.

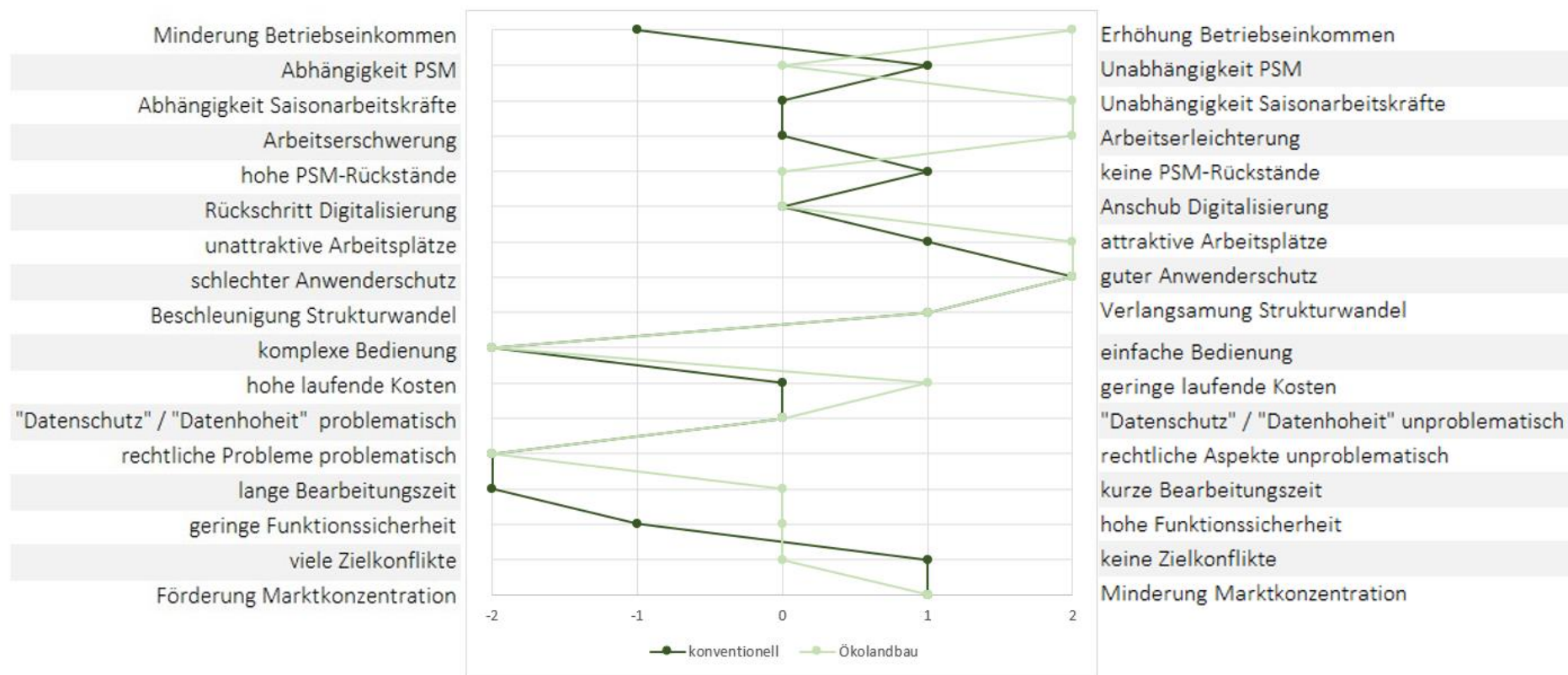
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
verringern und die Verwendung gefährlicherer Pestizide um 50 Prozent zu reduzieren?			
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, einen weltweiten Übergang zu wettbewerbsgerechter Nachhaltigkeit, d.h. dass die nachhaltigsten Lebensmittel die erschwinglichsten sind, einzuläuten?	moderater Effekt	2	<p>Schnellere Mineralisation durch Nährstofffreigabe durch das Hacken plus weniger PSM machen die Lebensmittel nachhaltiger.</p> <p>Im Ökolandbau wirtschaftliche Vorteile durch Einsparung der Handarbeit und somit auch Potential für geringere Preise.</p> <p>Im Hinblick auf aktuelle Preissteigerungen durch Krisen wie die Corona-Pandemie oder den Ukrainekrieg könnten Hackroboter zukünftig mehr wirtschaftliche Vorteile bieten.</p> <p>„Aufgrund der sehr jungen Technologie und geringen Verbreitung der Roboter sind viele Landwirte momentan noch sehr zurückhaltend hinsichtlich einer Investition,“ erklärt Rapp. Doch mit steigendem Mindestlohn und immer strengeren Vorgaben in Bezug auf den Einsatz von Schutzmitteln, gewinnt die Technik an Attraktivität.“ (Spinnarke, S. (2022))</p>
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, 25 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 2030 mit biologischer Landwirtschaft zu bewirtschaften?	moderater Effekt	2	<p>Hackfrüchte sind für Biobetriebe durch Hackroboter rentabler und somit besteht das Potential, von konventionellen Betrieben auf Ökolandbau umzusteigen.</p> <p>„Für seine Bio-Zuckerrüben kalkuliert der Landwirt mit einem Preis von 10,50 €/dt und mit einem Ertrag von 80 dt/ha. Das sind nur 10 dt weniger, als die konventionellen Rüben im Rainer Anbaugebiet durchschnittlich leisten.“ (Ammich, M. (2021))</p>
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, den ökologischen und klimatischen Fußabdruck des EU-Lebensmittelsystems zu verringern?	großer Effekt	3	Die ausgewählten Fallbeispiele sind elektrisch betrieben. Bei anderen Systemen mit fossilen Treibstoffen ergibt sich hier ein anderer Wert.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel zur Einkommensabsicherung von Landwirt*innen beizutragen?	moderater Effekt	2	<p>Wenn Richtlinien vom Gesetzgeber oder auch vom Handel bezüglich nachhaltigerer Produktion (z.B. kein Einsatz von Round-up, Goldsteig) verschärft werden und somit Lieferprobleme entstehen können, trägt die Technologie sehr stark zu einer Einkommensabsicherung bei.</p> <p>Zudem sorgt eine größere Unabhängigkeit gegenüber PSM sowie Arbeitskräften und</p>

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
			Lohsteigerungen für eine Einkommensabsicherung.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (gemäß der Europäischen Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung und des Pflanzenschutzgesetzes)?	sehr großer Effekt	4	Die Transparenz entsteht dadurch, dass es zu einer genaueren Dokumentation kommt, aber die Landwirt*innen können hier genau nachweisen, wie viele Herbizidanwendungen durch das Hacken ersetzt wurden. (z.B. normalerweise habe ich 4 Herbizidanwendungen und nun nur noch 2). Ist leichter nachzuweisen als weniger Liter und geringere Konzentration von PSM.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen)?	moderater Effekt	2	„Hinzu kommt, dass die Automatisierung kleinere autonome Maschinenkonzepte mit positiven Umweltwirkungen wie einer geringeren Bodenbelastung oder kleinteiligeren Anbaustrukturen mit einer erhöhten Biodiversität ermöglichen.“ (de Witte, T. u. a. (2016), S. 35)

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.1.4 Chancen und Risiken

Abbildung 54: Bipolare Skala „Risiken und Chancen“ - Hackrobotern



Quelle: Eigene Darstellung, GreenSurvey GmbH

Tabelle 9: Fragenkatalog "Risiken und Chancen" - Hackroboter

Frage	Antwort (konv)	Antwort (Öko)	Begründung
Zu welchem Grad führt die Innovation bei Neuanschaffung zu einer Erhöhung des Betriebseinkommens innerhalb der nächsten fünf Jahre? [Minderung Betriebseinkommen Erhöhung Betriebseinkommen]	-1	2	<p>Die Lohnaufwandsersparnis wird hier nach Betriebsgröße berechnet. Die Ersparnis ist größer, je kleiner der Betrieb ist und liegt bei 80 Prozent bei 41 ha und bei 50 Prozent bei 65 ha. (Elles, A.; Waltmann, M. (2021), S. 23)</p> <p>„Die Rechnung ist schnell gemacht: Der Hackroboter des dänischen Herstellers FarmDroid kostete 87 000 €, die zu 40 Prozent über einen Zuschuss des Bayerischen Sonderprogramms Landwirtschaft Digital (BaySL Digital) abgedeckt werden konnten. Die Bindungsfrist beläuft sich auf fünf Jahre. Rechnet man für einen Hektar Bio-Zuckerrüben mit 100 Stunden händisches Hacken zu einem Stundenlohn von 12 €, dann kommen für 14 ha insgesamt rund 17 000 € zusammen. Der Eigenanteil der Mayerles am Hackroboter beläuft sich auf 52 000 €, das sind 3700 € pro Hektar Rübenfläche. Spätestens nach vier Jahren ist das Roboterhacken also wirtschaftlicher als das händische Hacken durch Fremdarbeitskräfte.“ (Ammich, M. (2021))</p> <p>„Sieben Hektar und mehr sind ein mögliches Szenario“, sagte Jørgensen. „Die Investition amortisiert sich in weniger als zwei Jahren in einem typischen Fall, wenn der Landwirt den Roboter beispielsweise im Frühjahr für Bio-Zuckerrüben und dann noch einmal im Herbst für Raps oder andere ähnliche Aussaaten nutzt“, fügte Jørgensen hinzu. „Der FarmDroid-Roboter lässt sich mit einem Traktor leicht auf ein anderes Feld umsetzen. Werden mehr Hektar mit einem Roboter abgedeckt, rechnet er sich noch mehr“, ergänzte er. (DLG e.V. (Hg.) (2020))</p> <p>„Für bayerische Landwirte wird die Anschaffung von Agrarrobotik zusätzlich mit der BaySL Digital Förderung um bis zu 40 Prozent bezuschusst. Dadurch erhöht sich die Wirtschaftlichkeit nochmal erheblich. Eine Anschaffung ist hier bereits ab einem Flächeneinsatz von 5 Hektar wirtschaftlich rentabel. Ab einem Flächeneinsatz von 17 Hektar amortisiert sich eine Investition bereits im ersten Jahr. Dieser Umstand führt dazu, dass eine Investition in einen FarmDroid FD20 für bayerische Landwirte risikoarm ist. Sie kann daher selbst bei geringeren Auslastungen in Betracht gezogen werden. Bei der Maximalauslastung von 25 Hektar besteht mit einem NPV von 358.704 € erhebliches Gewinnpotential.“ (Roßmadl, A. (2022), S. 79)</p> <p>„So könnten Geräte mit Pflanzenerkennung Vorteile gegenüber den georeferenzierten Systemen bieten. Durch eine exakte Lokalisierung der Unkräuter könnten</p>

Frage	Antwort (konv)	Antwort (Öko)	Begründung
			<p>beispielweise höhere Unkrautregulierungs-Genauigkeiten erzielt werden, höhere Flächenleistungen könnten durch höhere Fahrtgeschwindigkeiten denkbar sein, zudem könnten so auch Flächen gehackt werden, welche nicht vom Gerät gesät wurden. Dem gegenüber würden aber voraussichtlich höhere Anschaffungskosten auf Grund kostenintensivem technischen Equipment stehen. Ein wirtschaftlicher Vergleich ist bei der gegebenen Datenlage rein spekulativ. Für Roboter mit sensorgestützter Pflanzenerkennung gibt es noch keine verlässlichen Daten, um einen wirtschaftlichen Vergleich zu ziehen.“ (Roßmadl, A. (2022), S. 81)</p> <p>Gegenüber einer bestehenden Feldspritze ist die Amortisierungszeit für den Hackroboter länger.</p>
Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit gegenüber der Zulassung bzw. dem Wegfallen von Wirkstoffen im Pflanzenschutz? [Abhängigkeit] Unabhängigkeit]	1	0	Es kommt zu Einsparungen und damit auch zu einer Unabhängigkeit gegenüber PSM. Beim Hacken werden ausschließlich Herbizide, keine Fungizide und Insektizide eingespart.
Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit des landwirtschaftlichen Betriebs gegenüber Saisonarbeitskräften? [Abhängigkeit] Unabhängigkeit]	0	2	<p>"Der Roboter soll den Landwirt besonders bei arbeitsintensiven Tätigkeiten wie der Unkrautbekämpfung unterstützen, für die künftig immer weniger Arbeitskräfte zur Verfügung stehen werden. Das Personal auf dem Betrieb kann für andere Tätigkeiten eingesetzt werden, die zu einer höheren Wertschöpfung beitragen. Dabei darf man auch nicht vergessen, dass in der Landwirtschaft schon jetzt Arbeitskräftemangel herrscht, der sich in den nächsten Jahren noch verschärfen wird. Für die Erdbeer- und Spargelernte beispielsweise fehlen so viele Arbeitskräfte, dass teilweise die Ernte nicht komplett eingefahren werden kann und auf den Feldern verrottet." (Forum Moderne Landwirtschaft e.V. (Hg.) (2020))</p> <p>„Erste Praxiseinsätze zum Beispiel im biologischen Zuckerrübenanbau zeigen, dass die Handarbeitszeit zur Unkrautbekämpfung im Optimalfall von 100 auf 20 Stunden pro Hektar reduziert werden könnte.“ (Wilhelm, R. u. a. (2021), S. 51)</p> <p>„Auf der anderen Seite entstand durch die zweimalige Bearbeitung mit der Handhacke mit insgesamt 144 h pro ha eine beachtliche Humanarbeitszeit in der Vergleichsvariante, die in der Robotikvariante eingespart wurde.“ (Kopfinger, S.; Vinzent, B. (2021), S. 179)</p>

Frage	Antwort (konv)	Antwort (Öko)	Begründung
Zu welchem Grad trägt die Innovation zu einer Arbeitserleichterung bei (körperlich oder auch bürokratisch)? [Arbeiterschwerung Arbeitserleichterung]	0	2	Im Ökolandbau ist es eine Erleichterung gegenüber der manuellen Arbeit. Gegenüber der Verwendung einer Feldspritze ist der Einsatz von Robotern keine Arbeitserleichterung. "Autonome Systeme können den Landwirt vielfach unterstützen und entlasten: Sie schaffen Arbeitserleichterung und Komfortgewinn und tragen zur nachhaltigen Flächenbewirtschaftung bei, indem sie die Böden schonen und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduzieren. Agrarroboter sind ein wichtiger Baustein für eine effizientere und ressourcenschonende Landwirtschaft." ((Forum Moderne Landwirtschaft e.V. (Hg.) (2020))
Wie sehr befördert die Innovation die Herstellung von Lebensmitteln, die wenig Rückstände von Pflanzenschutzmitteln aufweisen? [hohe Rückstände keine Rückstände]	1	0	Es werden Herbizide eingespart, weshalb mit weniger Rückständen gerechnet werden kann. Es werden keine Fungizide und Insektizide eingespart.
Zu welchem Grad bietet die Innovation einen An Schub der Digitalisierung im ländlichen Raum? [Rückschritt Digitalisierung Anschub Digitalisierung]	0	0	Es ist davon auszugehen, dass digitale Technologien den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern eher das Problem besteht, dass in Gegenden, in denen das Netz noch immer schlecht ist, diese Technologien nicht eingesetzt werden.
Zu welchem Grad sorgt die Innovation für attraktivere Arbeitsplätze im Landbau? [unattraktive Arbeitsplätze attraktive Arbeitsplätze]	1	2	„Der Bedarf niedrig qualifizierter Arbeitskräfte wird durch die Automatisierung sinken, weil einfache Routinearbeiten automatisiert werden. Insbesondere im Sonderkulturbereich und der Milchviehhaltung wird aufgrund der Automatisierung der Arbeitskräftebedarf sinken. Dafür steigen insgesamt die Qualifikationsanforderungen an die Betriebsleiter und die Arbeitnehmer auf den landwirtschaftlichen Betrieben, sodass die Arbeitsplätze in der Landwirtschaft insgesamt attraktiver werden. Als Folge muss die Aus- und Weiterbildung angepasst werden. Bei einer zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung reicht die reine fachspezifische Ausbildung nicht mehr aus. Sie muss vielmehr zunehmend durch Kenntnisse im Bereich der Datenverarbeitung ergänzt werden. Weiterhin wird die Chance gesehen, dass in den zahlreichen Landtechnik- und Chemieunternehmen in Deutschland eine Vielzahl Hightech-Arbeitsplätze im vorgelagerten Bereich entstehen könnten. Sollte die Entwicklung „verschlafen“ werden, droht allerdings eine Abwanderung der Arbeitsplätze. Weiterhin ist es sehr wahrscheinlich, dass künftig die Arbeit von Agronomen, wie beispielsweise im Feldversuchswesen

Frage	Antwort (konv)	Antwort (Öko)	Begründung
			<p>oder in der Außendienstberatung von IT-Experten übernommen wird, die Daten aus der Praxis auswerten.“ (de Witte, T. u. a. (2016), S. 35)</p> <p>„Für zukünftige Forschungsvorhaben könnte eine kombinierte Unkrautregulierung aus FarmDroid FD20 und weiteren Unkrautregulierungsverfahren wie Striegel oder Handhacke – jedoch mit reduzierten Arbeitsstunden pro ha – eine sinnvolle Strategie darstellen, um die Verunkrautung weiter zu reduzieren. Eine Handarbeitskraft, die auf die Bedienung des Roboters geschult ist und Managementaufgaben hinsichtlich des Roboters übernimmt, könnte außerdem noch weitere arbeitswirtschaftliche Vorteile bringen.“ (Kopfinger, S.; Vinzent, B. (2021), S. 180)</p>
<p>Zu welchem Grad bietet die Innovation einen guten oder schlechten Anwenderschutz? [schlechter Anwenderschutz guter Anwenderschutz]</p>	2	2	<p>„Health benefits from field crop robots for farmers and farm employees specifically due to the replacement of repetitive manual tasks like weeding are also conceivable. Certain crops, particularly in organic cultivation, require extensive amounts of hand weeding, which increases production costs (Sørensen et al., 2005) and puts physical strain on workers. Prevalent health issues in agriculture may also be associated with stress (Reissig, 2017), agrochemical exposure, or accidents with large machinery. Although conclusive studies on health benefits from the implementation of field crop robotics are lacking, the related time savings (Sørensen et al., 2005) may reduce workload and increase leisure time on family farms (Redhead et al., 2015; Strauss et al., 2014), thus counteracting stress-related illnesses. However, results from an Austrian survey also indicate that farmers operating farms with higher levels of automation face more difficulty finding a vacation replacement (Strauss et al., 2014), possibly generating a new source of stress. The available research on the relationship between robotics and farmer health thus remains inconclusive.“ (Spykman, O.; Gabriel, A.; Ptacek, M.; Gandorfer, M. (2021), S. 2)</p> <p>„Bei autonomen Fahrzeugen spielt die Sicherheit natürlich eine wichtige Rolle. Deshalb ist der „Dino“ mit verschiedenen Sicherheitssystemen ausgestattet. An den Ecken sind sogenannte LIDAR-Sensoren angebracht, die optisch mit Laserstrahlen das Umfeld des Roboters erfassen. Kommen Personen oder Gegenstände dem Roboter gefährlich nah, kommt er zum Stillstand. Vor jedem Rad sind zusätzlich drucksensitive Taster angebaut, die bei einer Berührung den Roboter ebenfalls sofort stoppen. Um zu verhindern, dass der Roboter seine Spurlinien oder das Feld verlässt, stoppt der Roboter, wenn kein GPS-Signal mehr empfangen wird. Seine Fahrt setzt er erst</p>

Frage	Antwort (konv)	Antwort (Öko)	Begründung
			fort, wenn wieder ein zuverlässiges GPS-Signal zur Verfügung steht.“ (Forum Moderne Landwirtschaft e.V. (Hg.) (2020))
Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung weniger, aber größere Betriebe? [Beschleunigung Strukturwandel Verlangsamung Strukturwandel]	1	1	<p>„Es erscheint nach bisherigem Kenntnisstand eher unwahrscheinlich, dass diese Innovationen in den nächsten 10 bis 15 Jahren den Strukturwandel in Bezug auf die Anzahl an landwirtschaftlichen Betrieben sowie Betriebs- und Bestandsgrößen systematisch verändern werden. Der anhaltende Rückgang an landwirtschaftlichen Betrieben um durchschnittlich rund drei Prozent pro Jahr in den letzten 20 Jahren, mit einer stärkeren Dynamik in der Tierhaltung, dürfte in Zukunft c. p. in einer ähnlichen Größenordnung weiterlaufen. Theoretische Überlegungen sowie die Einschätzungen der Expert*innen haben keinen Hinweis darauf ergeben, dass die genannten Innovationen mit starken Kostendegressionseffekten einhergehen werden. Teilweise erscheint es sogar plausibel anzunehmen, dass diese neuen Technologien die Wettbewerbsfähigkeit von kleineren Betrieben verbessern. Außerdem wirken die Haupttreiber des Strukturwandels auch in Zukunft. Nach wie vor ist für eine Vielzahl von Betrieben die Hofnachfolge ungesichert. Hinzu kommt, dass die außerlandwirtschaftliche Beschäftigungslage vergleichsweise günstig ist und das stark angestiegene Pachtpreinsniveau einen Anreiz für ausscheidende Betriebe bietet, ihre Flächen zu verpachten (Nieberg und Forstner, 2013).“ (de Witte, T. u. a. (2016), S. 34 und 39)</p> <p>Hackroboter sind insbesondere auf kleinen Schlägen rentabel, weshalb sie einem Strukturwandel sogar entgegenwirken können.</p>
Wie komplex wird die Bedienung der Innovation eingestuft? [komplexe Bedienung einfache Bedienung]	-2	-2	<p>„Wer zu digitalen Geräten, ob nun Smartphone oder anderen Instrumenten, keine Verbindung und gar keine Erfahrungen damit hat, der sollte die Finger lieber vom Roboter lassen.“ Denn es sollte klar sein, dass auch ein Roboter kein Perpetuum mobile ist, sondern auch Arbeit macht und Know-how braucht.“ (Jensen, D. (2020), S. 27)</p> <p>„Die zeitliche Zusatzbelastung des Maschinenbedieners ist eine wesentliche Erkenntnis. Der vom Hersteller beworbene vollautonome Betrieb des Roboters suggeriert eine zeitliche Entlastung. Tatsächlich bedeutet der Betrieb des FD20 jedoch eine zeitliche Zusatzbelastung.“ (Roßmadl, A. (2022), S. 80)</p> <p>„Durch ein effizientes Übersetzen von Schlag zu Schlag, bei den Rüstzeiten zu Beginn und bei den Wendezeiten bestehen hier Verbesserungspotentiale der</p>

Frage	Antwort (konv)	Antwort (Öko)	Begründung
			Arbeitszeiten.“ (vgl. Gansberger, M. (2022), Video: 1:15:57)
Wie hoch werden die laufenden Kosten (z.B. Reparatur, Betriebsmittel, Wartung) für die Innovation eingeschätzt? [hohe laufende Kosten geringe laufende Kosten]	0	1	<p>„Auf der anderen Seite entstand durch die zweimalige Bearbeitung mit der Handhacke mit insgesamt 144 h pro ha eine beachtliche Humanarbeitszeit in der Vergleichsvariante, die in der Robotikvariante eingespart wurde. Der finanzielle Vorteil dieser Einsparung ist hoch, wobei hier noch nicht einmal ein Totalausfall von Handhackkräften berücksichtigt wurde. Für den Einsatz der traktorgebundenen Hacke wurde ebenfalls – wenn auch im weit geringeren Umfang – Humanarbeitszeit benötigt, welche in der Robotikvariante eingespart wurde. Dazu kamen noch Kosten für Treibstoff und Verschleiß. Da der Roboter seine Energie selbst erzeugt und der Werkzeugverschleiß durch die geringe Arbeitsgeschwindigkeit minimal ist, sind hier auch die nutzungsabhängigen Kosten verschwindend gering.“ (Kopfinger, S.; Vinzent, B. (2021), S. 179)</p> <p>Zu den laufenden Kosten gegenüber einer Feldspritze wurden keine Daten gefunden, sie werden aber als in etwa gleich zum Hackroboter eingestuft.</p>
Wie wird der Aspekt "Datenschutz" und "Datenhoheit" bei der Innovation eingeschätzt? [problematisch unproblematisch]	0	0	Beim Framdroid: „Die gesammelten Daten tummeln sich übrigens nur auf dem Bordcomputer des FarmDroids, nicht auf Servern von Hersteller oder Landwirt.“ ((Jensen, D. (2020), S. 28))
Wie werden mögliche rechtliche Probleme bei der Innovation eingeschätzt? [problematisch unproblematisch]	-2	-2	„Doch es gibt noch viele offene Fragen zu Diebstahl, Versicherung, Sicherheit und auch zum Datenschutz.“ ((Jensen, D. (2020), S. 28))
Wie wird sich durch die Innovation die Bearbeitungszeit der Fläche ändern? [lange Bearbeitungszeit kurze Bearbeitungszeit]	-2	0	<p>„Während aktuell die Unkrautbehandlung an einzelnen Terminen mit hoher Flächenleistung durchgeführt wird, sind automatisiert arbeitende Roboter in der Lage, die Arbeit auch in der Nacht zu verrichten und so ihre geringere Flächenleistung (durch die wiederholte Überfahrt des Feldes) auszugleichen. Dieses permanente Behandeln der Unkräuter ermöglicht - im Vergleich zur aktuell gängigen Praxis - die Nutzung kleinerer Hackwerkzeuge, da die Zielpflanzen schon im recht jungen Stadium gehackt werden.“ (Paulus, S.; Streit, S. (2022))</p> <p>„Durch die langsame Arbeitsgeschwindigkeit hat der Roboter auch eine deutlich geringere Flächenleistung gegenüber traktorgebundenen Geräten. In Jahren mit geringen möglichen Feldarbeitstagen können vor allem ausdauernde Unkräuter dem System davonwachsen.</p>

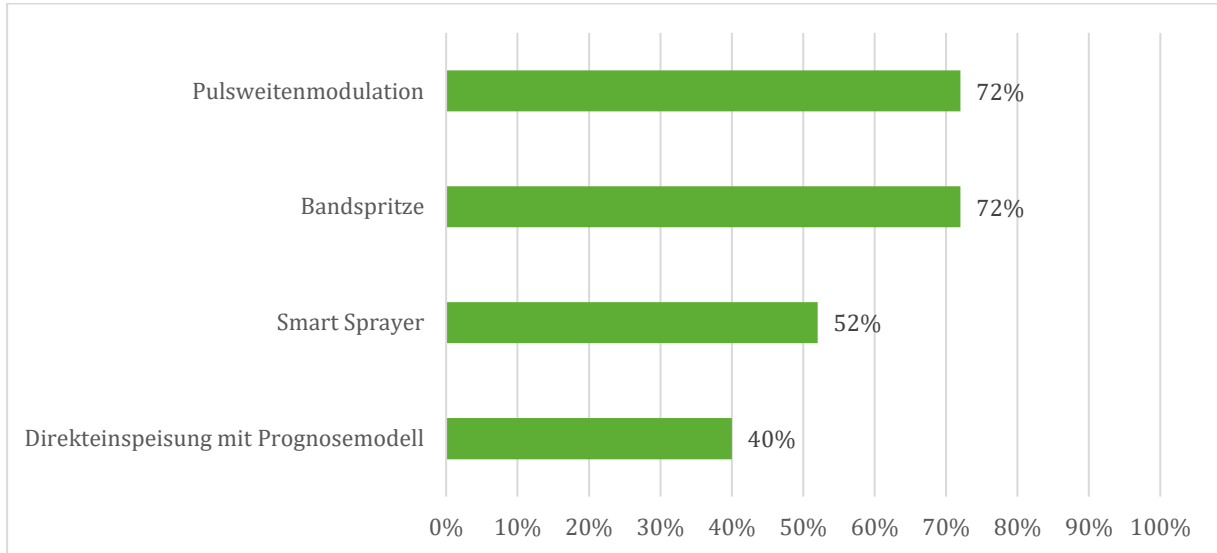
Frage	Antwort (konv)	Antwort (Öko)	Begründung
			Berücksichtigt werden muss auch der organisatorische Aufwand, der dadurch entsteht, dass der Roboter aufgrund seiner Breite von knapp 3,7 m nur mit einem Tieflader über öffentliche Straßen bewegt werden kann. Somit entsteht eine leicht erhöhte Rüstzeit im Vergleich zu einer traktorgebundenen Hacke.“ (Kopfinger, S.; Vinzent, B. (2021), S. 179)
Wie hoch wird die Funktionssicherheit der Innovation eingeschätzt? [geringe Funktionssicherheit hohe Funktionssicherheit]	-1	0	Hier besteht noch Verbesserungsbedarf, z.B. bei Hanglagen häufigere Ausfälle etc. Gegenüber der manuellen Arbeitskraft besteht in gewissem Maß mehr Sicherheit: „Farm labor is scarce almost everywhere and that scarcity has been highlighted particularly in Europe and North America by the COVID-19 pandemic. In industrialized countries, farms use recent immigrants or seasonal migrants for much of the routine work, but pandemic travel restrictions and political backlash is making it more difficult for migrant workers to travel (Charlton & Castillo, 2021; FAO, 2020).“ (Lowenberg-DeBoer, J.; Behrendt, K.; u. a. (2022), S. 849)
Wie stark sind durch den Einsatz der Innovation Zielkonflikte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, Bodenverdichtung etc.) zu erwarten? [viele Zielkonflikte keine Zielkonflikte]	1	0	Weniger Energieverbrauch, geringe Bodenverdichtung, bessere Mineralisation, kein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln versus Bodenerosion
Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung Konzentration des Landwirtschaftsmarkts? [Förderung Marktkonzentration Minderung Marktkonzentration]	1	1	„Die meisten auf dem Markt verfügbaren Roboter sind tatsächlich von Start-ups. Aber auch die großen herstellenden Unternehmen, sowohl für Traktoren als auch für die Landtechnik, bauen Prototypen oder Vorserien. Daneben haben viele Unis Forschungsprojekte, wo Roboter in Studenten-Teams gebaut, sowie auf dem Feld erprobt und verbessert werden. Was momentan käuflich zu erwerben ist, ist allerdings eher von jungen Firmen.“ (Kopfinger, S. (o.D.)
SUMME	0	9	

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.2 Feldspritzen

C.2.1 Reifegrad

Abbildung 55: Index-Wert "Reifegrad" - Feldspritzen



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 10: Fragenkatalog "Reifegrad" – Feldspritzen

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad ist die Innovation technisch voll entwickelt und einsatzbereit?			
Pulsweitenmodulation	voll entwickelt und einsatzbereit	4	Das JKI hat mittlerweile mehrere Düsen/ PWM-System Kombinationen geprüft und anerkannt (AT, 2019).“ (Wegener, J.K. (2021), S. 3)
Bandspritze	voll entwickelt und einsatzbereit	4	Es gibt „einfache“ Systeme, die manuell eingestellt bzw. gesteuert werden. Kamerabasierte oder RTK-GPS-basierte Systeme sind auch marktreif. „Das Verfahren wird bereits nachgefragt: Kunden werden „vertröstet“, bis die Erprobung komplett durchlaufen wurde.“ (Hinterholzer, N. (2021))
SmartSprayer	getestet und validiert	3	„In der Frühjahrssaison 2021 ging AMAZONE mit der Anhängfeldspritze UX 5201 SmartSprayer mit 36 Meter Arbeitsbreite in den Praxiseinsatz. (...) Mit Bosch und BASF Digital Farming hat AMAZONE vielfältige Forschungsaktivitäten zusammen durchgeführt und mit ihrem interdisziplinären Know-how zu einem marktfähigen Produkt umgesetzt. In den kommenden Jahren wird die schrittweise Markteinführung dieser

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
			zukunftsweisenden SmartSprayer-Technologie erfolgen, die in ihren technischen Möglichkeiten und ihrem Systemansatz weltweit einmalig ist.“ (AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG (Hg.) (2021b))
Direkteinspeisung	getestet und validiert	3	<p>„Im Jahr 2017 konnte das Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung zur Serienreife weiterentwickelt werden. Des Weiteren erfolgte 2018 die JKI-Anerkennung zum geprüften Pflanzenschutzgerät.“ (Pohl, JP.; Dunekacke, H.; Barga, F.; Hörsten, D.; Wegener, JK. (2021), S. 119)</p> <p>„Geräte mit Direkteinspeisung sind seit 2017 marktverfügbar (z.B. von der Fa. Dammann). Um die Direkteinspeisung jedoch vollumfänglich einsetzen zu können, mangelt es derzeit immer noch an einer digitalen Infrastruktur zur Einsatzplanung und Durchführung (hier werden demnächst Produkte marktverfügbar) sowie an geeigneten Sensoren zur Detektion von Unkräutern, Schädlingen, Pilzen etc. Bei Unkräutern und Pilzen ist damit zu rechnen, dass in den nächsten zwei Jahren marktfähige Produkte kommen werden.“</p>
Zu welchem Grad ist für die Innovation ein Geschäftsmodell am Markt etabliert?			
Pulsweitenmodulation	Produkt wird regelmäßig nachgefragt	3	„Lösungen, die technisch mit einem gewissen Aufwand schon möglich, aber (noch?) nicht Standard sind. Darunter fallen z.B. die Pulsweitenmodulation (PWM), aber auch der gesamte Bereich der Kombinationen von Hacken und Bandspritzung oder die geschlossenen Befüllsysteme.“ (Preuß, T. (2022))
Bandspritze	Produkt wird regelmäßig nachgefragt	3	„Lösungen, die technisch mit einem gewissen Aufwand schon möglich, aber (noch?) nicht Standard sind. Darunter fallen z.B. die Pulsweitenmodulation (PWM), aber auch der gesamte Bereich der Kombinationen von Hacken und Bandspritzung oder die geschlossenen Befüllsysteme.“ (Preuß, T. (2022))
SmartSprayer	Produkt wird in kleinen Mengen nachgefragt	2	„Bosch BASF Smart Farming plant, die Smart-Spraying-Lösung zu Beginn des Jahres 2022 in begrenzten Stückzahlen auf den Markt zu bringen.“ (Deter, A. (2021))
Direkteinspeisung	Nachfrage wurde ermittelt, technische	1	„Die Systeme zur Direkteinspeisung werden bislang nur bedingt nachgefragt - oftmals von sehr spezialisierten Betrieben - da die volle

Feldsprizentyp	Antwort	Punkte	Begründung
	Lösung noch nicht erarbeitet		Leistungsfähigkeit der teilflächenspezifischen Applikation aufgrund der fehlenden digitalen Infrastruktur und der fehlenden Sensorik nur begrenzt abgerufen werden kann. Außerdem gibt es kaum praktische Erfahrung wie Pflanzenschutzstrategien für eine teilflächenspezifische Behandlung über das mehrjährige Fruchtfolgegeschehen aussehen kann.“

Zu welchem Grad sind für die Innovation regulatorische oder gesetzgeberische Anforderungen erfüllt?

Pulsweitenmodulation	regelmäßiger Gebrauch und Produktion erfüllen generelle Anforderungen	4	JKI hat noch nicht viele PWM zugelassen. "Darf man die PWM überhaupt schon einsetzen? Jein. Unser System heißt PrecisionSpray und ist vom Julius-Kühn-Institut (JKI) anerkannt. Bei den anerkannten Abdriftklassen der Düsen wird es allerdings komplizierter. Manche sind bereits mit 90 Prozent eingetragen, aber immer nur für das PWM-System eines bestimmten Herstellers." (Mayer, C. (2021))
Bandspritze	regelmäßiger Gebrauch und Produktion erfüllen generelle Anforderungen	4	Zugelassene Geräte sind verfügbar.
SmartSprayer	regelmäßiger Gebrauch und Produktion erfüllen generelle Anforderungen	4	Zugelassene Geräte sind verfügbar.
Direkteinspeisung	regulatorische und gesetzgeberische Aspekte sind nicht abschätzbar	0	„Aus technischer Sicht erfüllen Geräte zur Direkteinspeisung alle Vorgaben. Ob gesonderte Richtlinien zur Prüfung erarbeitet werden müssen, kann erst abgeschätzt werden, wenn mehr Geräte marktverfügbar und die Einsatzszenarien bekannt sind.“

Zu welchem Grad ist der Einsatz der Innovation von einer breiten gesellschaftlichen Mehrheit akzeptiert?

Pulsweitenmodulation	von einer großen Gruppe akzeptiert	3	„Aus den genannten Gründen gewinnen Düsenbeleuchtung und automatische Düsenüberwachung ebenso schnell weiter an Bedeutung, wie Systeme zur automatisierten Lenkung, Gestängeführung und Teilbreiten- bzw. Einzeldüsen-schaltung bis hin zur Pulsweitenmodulation.“ (DLG e.V. (Hg.) (2022))
----------------------	------------------------------------	---	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Feldsprizentyp	Antwort	Punkte	Begründung
Bandspritze	von einer großen Gruppe akzeptiert	3	„Dies ist die große Hoffnung aller, die weniger chemischen Pflanzenschutz erreichen wollen, ohne das Ertragsniveau zu gefährden.“ (Preuße, T. (2022)) Das Prinzip ist sehr gut nachvollziehbar und verhältnismäßig einfach umzusetzen.
SmartSprayer	von einer kleinen Gruppe akzeptiert	2	Unter den aktuellen Bedingungen (unklarer Einsatzbereich) wird der Einsatz, insbesondere mit Blick auf die hohen Anschaffungskosten, eher skeptisch betrachtet. Auch muss noch Vertrauen bei den Landwirt*innen in die Bilderkennungssoftware geschaffen werden.
Direkteinspeisung	von einer kleinen Gruppe akzeptiert	2	Es muss die Bereitschaft und das Wissen zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung vorhanden sein. Zudem ist die Technik sehr kostenintensiv.

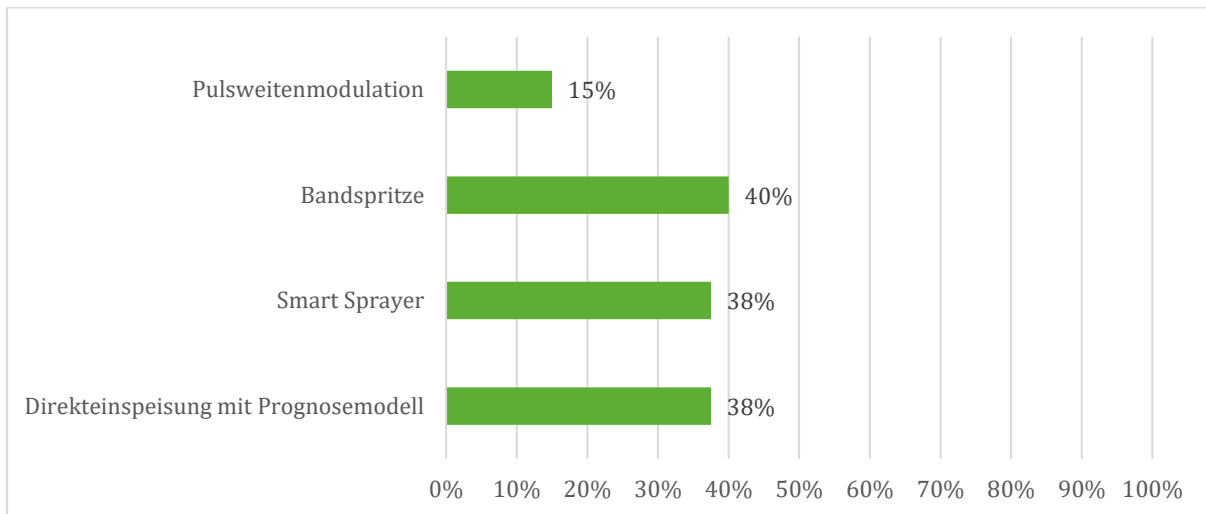
Zu welchem Grad kann die Technologie in bestehende Arbeitsprozesse integriert werden?

Pulsweitenmodulation	kann reibungslos mit bestehenden Technologien kombiniert werden	4	Da bereits auf Kenntnisse und Erfahrungen mit Feldspritzen zurückgegriffen werden kann, ist nur eine geringe Umstellung notwendig.
Bandspritze	kann reibungslos mit bestehenden Technologien kombiniert werden	4	Da bereits auf Kenntnisse und Erfahrungen mit Feldspritzen zurückgegriffen werden kann, ist nur eine geringe Umstellung notwendig.
SmartSprayer	kann reibungslos mit bestehenden Technologien kombiniert werden	4	Da bereits auf Kenntnisse und Erfahrungen mit Feldspritzen zurückgegriffen werden kann, ist nur eine geringe Umstellung notwendig.
Direkteinspeisung	kann reibungslos mit bestehenden Technologien kombiniert werden	4	Da bereits auf Kenntnisse und Erfahrungen mit Feldspritzen zurückgegriffen werden kann, ist nur eine geringe Umstellung notwendig.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.2.2 Umweltentlastung

Abbildung 56: Index-Wert "Umweltentlastung" - Feldspritzen



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 11: Fragenkatalog „Umweltentlastung“ - Feldspritzen

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad führt die Anwendung zu einer Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes?			
Pulsweitenmodulation	geringer Effekt	1	Die Einsparung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze ist gering.
Bandspritze	großer Effekt	3	<p>„Es wird ein erhebliches Einsparpotenzial geben. Wie hoch es sich prozentual auswirkt, werden die anvisierten Versuchsläufe zeigen.“ (Hinterholzer, N. (2021))</p> <p>„Dadurch sind abhängig von der Spritzbandbreite schnell Pflanzenschutzmittelreduzierungen von 50 Prozent und mehr möglich. Zwischen den Pflanzenreihen kann die Unkrautregulierung dann mechanisch erfolgen.“ (Baumgarten, S; Hahnkemeyer, T. (2022), S. 15)</p>
SmartSprayer	moderater Effekt	2	<p>„Feldversuche hätten gezeigt, dass Herbizidvolumeneinsparungen von bis zu 70 Prozent möglich seien, abhängig von den vorherrschenden Bedingungen und dem Unkrautdruck einzelner Felder.“ (Deter, A. (2021))</p> <p>„Smart Spraying lässt sich natürlich nur mit Blattherbiziden realisieren: Ein Unkraut, und sei es noch so klein, muss erst einmal vorhanden sein. Das entspricht der Logik, nicht vorbeugend und wenn, dann nach Schadensschwellen zu behandeln. In der Realität des mitteleuropäischen Ackerbaues wird sich das kaum »lupenrein« umsetzen lassen, weiß auch Stefan Kiefer von Amazone. So sei in Zuckerrüben eine erste Flächenspritzung »Pflicht«. Die weiteren Behandlungen lassen sich allerdings mehr als bisher auf das konkrete Unkrautvorkommen beziehen. Auch beim Mais, wo Bodenherbizide eine große Rolle spielen, ergeben sich</p>

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
Direkteinspeisung	moderater Effekt	2	Anwendungseinschränkungen bzw. ist eine Kombination aus Flächen- und Spot Spritzung nötig. “ (Preuße, T. (2021), S. 22) „In welchem Umfang Einsparungen im Praxiseinsatz möglich sind, hängt von der jeweiligen Schaderregersituation auf dem Schlag ab. Insgesamt zeigen die erzielten Resultate, dass Feldspritzgeräte mit verzögerungsfreien Direkteinspeisung möglich sind und damit PSM zielgenau und teilflächenspezifisch angewendet werden können.“ (Pohl, JP.; Dunekacke, H.; Barga, F.; Hörsten, D.; Wegener, JK. (2021), S. 119)

Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Bodenstruktur (z.B. keine Bodenverdichtung)?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze keine Änderung, da nach wie vor die komplette Fläche abgefahren wird.
Bandspritze	kein Effekt	0	Im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze keine Änderung, da nach wie vor die komplette Fläche abgefahren wird.
SmartSprayer	kein Effekt	0	Im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze keine Änderung, da nach wie vor die komplette Fläche abgefahren wird.
Direkteinspeisung	kein Effekt	0	Im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze keine Änderung, da nach wie vor die komplette Fläche abgefahren wird.

Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Verminderung von Pestizideinträgen in das Grundwasser?

Pulsweitenmodulation	geringer Effekt	1	Abhängig von Unkrautdruck und Bedingungen auf dem Feld.
Bandspritze	großer Effekt	3	Es werden bis zu 60 Prozent Herbizide gegenüber einer Feldspritze eingespart.
SmartSprayer	moderater Effekt	2	Abhängig von Unkrautdruck und Bedingungen auf dem Feld.
Direkteinspeisung	moderater Effekt	2	Abhängig von Unkrautdruck und Bedingungen auf dem Feld.

Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Luft (Abgase, Aerosole, Dämpfe, Geruchsstoffe, Pestizide)?

Pulsweitenmodulation	geringer Effekt	0	Kein Unterschied zur herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	geringer Effekt	1	Hier ist ein geringer Effekt durch die grundsätzliche Mitteleinsparung zu erwarten.
SmartSprayer	geringer Effekt	1	Hier ist ein geringer Effekt durch die grundsätzliche Mitteleinsparung zu erwarten.

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
Direkteinspeisung	geringer Effekt	1	Hier ist ein geringer Effekt durch die grundsätzliche Mitteleinsparung zu erwarten.

Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) auf den Feldern?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Kein Unterschied zur herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	geringer Effekt	1	Je nach Einstellung des Systems und Risikoaffinität des Anwenders.
SmartSprayer	moderater Effekt	2	Je nach Einstellung des Systems und Risikoaffinität des Anwenders.
Direkteinspeisung	moderater Effekt	2	Je nach Einstellung des Systems und Risikoaffinität des Anwenders.

Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) am Feldrand?

Pulsweitenmodulation	Kein Effekt	0	Kein Unterschied zur herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	geringer Effekt	1	Hier ist ein geringer Effekt durch die grundsätzliche Mitteleinsparung zu erwarten.
SmartSprayer	geringer Effekt	1	Hier ist ein geringer Effekt durch die grundsätzliche Mitteleinsparung zu erwarten.
Direkteinspeisung	geringer Effekt	1	„Hier gelten auch die üblichen Abstandsaufgaben zum Schutz der Nicht-Zielflächen. Effekte nur über Minimierung der behandelten Fläche.“ (Expert*innenaussage)

Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) in Gewässern?

Pulsweitenmodulation	geringer Effekt	0	Kein Unterschied zur herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	geringer Effekt	1	Hier ist ein geringer Effekt durch die grundsätzliche Mitteleinsparung zu erwarten.
SmartSprayer	geringer Effekt	1	Hier ist ein geringer Effekt durch die grundsätzliche Mitteleinsparung zu erwarten.
Direkteinspeisung	geringer Effekt	1	Hier ist ein geringer Effekt durch die grundsätzliche Mitteleinsparung zu erwarten.

Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf CO₂-Emissionen beim Ackerbau?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze keine Änderung, da nach wie vor, die komplette Fläche abgefahren wird.
Bandspritze	geringer Effekt	1	Da noch zusätzlich gehackt werden muss, braucht es zusätzliche Überfahrten. Durch die Einsparung von PSM kann CO ₂ bei der Herstellung von PSM gespart werden.

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
SmartSprayer	geringer Effekt	1	Im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze keine Änderung, da nach wie vor, die komplette Fläche abgefahren wird. „Einsparungen sind in der Logistikkette zu erwarten, weil man mit einer Tankfüllung - je nach Szenario - eine höhere Reichweite haben kann.“ (Expert*inaussage) Zudem kann durch die Einsparung von PSM CO ₂ bei der Herstellung von PSM gespart werden.
Direkteinspeisung	geringer Effekt	1	Im Vergleich zu einer herkömmlichen Feldspritze keine Änderung, da nach wie vor, die komplette Fläche abgefahren wird. „Einsparungen sind in der Logistikkette zu erwarten, weil man mit einer Tankfüllung - je nach Szenario - eine höhere Reichweite haben kann.“ (Expert*inaussage) Zudem kann durch die Einsparung CO ₂ bei der Herstellung von PSM gespart werden.

Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf Pflanzenschutzmittel-Rückstände auf Lebensmitteln?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Kein Unterschied zur herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	moderater Effekt	2	Es werden weniger Pflanzenschutzmittel ausgebracht und somit verringern sich die Rückstände auf Lebensmitteln. Diese sind aber ohnehin in den meisten Fällen innerhalb der Grenzwerte.
SmartSprayer	moderater Effekt	2	Effekt ist abhängig von den PSM-Einsparungen.
Direkteinspeisung	moderater Effekt	2	„Der Effekt ist abhängig von der Größe der nicht-behandelten Bereiche.“ (Expert*inaussage)

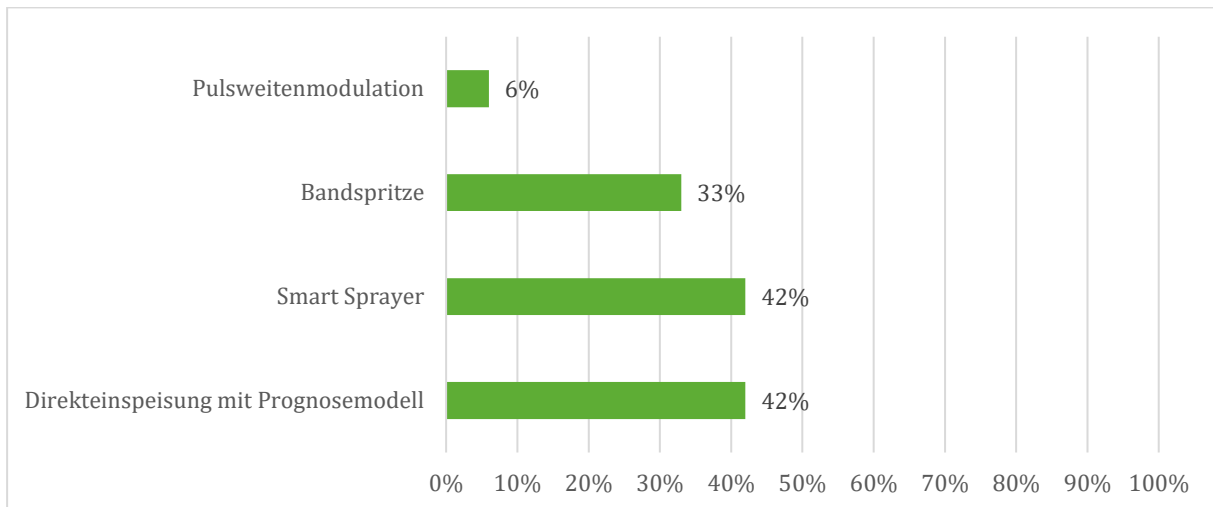
Zu welchem Grad sind durch die Anwendung der Innovation Substitutionseffekte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, häufigere Überfahrten) zu erwarten?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	4	Kein Unterschied zur herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	kein Effekt	4	Ggf. eine Überfahrt mehr bei absetzigem Verfahren. Allerdings auch Einsparungen bei Herstellung und Logistik von Pflanzenschutzmitteln durch geringeren Verbrauch.
SmartSprayer	kein Effekt	4	„ggf. eine Überfahrt mehr durch neue Spritzstrategie mit mehr reaktiver Vorgehensweise - nicht proaktiv mit Bodenherbiziden“ (Expert*inaussage)
Direkteinspeisung	kein Effekt	4	Ggf. mehr Überfahrten durch veränderte Spritzstrategie, bei gleichzeitiger Einsparung bei Herstellung und Logistik von Pflanzenschutzmitteln durch geringeren Verbrauch.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.2.3 Erreichung politischer Ziele

Abbildung 57: Index-Wert "Erreichung politischer Ziele" - Feldspritzen



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 12: Fragenkatalog "Erreichung politischer Ziele" - Feldspritzen

Feldsprizentyp	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion?			
Pulsweitenmodulation	geringer Effekt	1	Nur geringere Nachhaltigkeit gegenüber herkömmlicher Feldspritze
Bandspritze	großer Effekt	3	Mehr Nachhaltigkeit durch geringeren Einsatz von PSM.
SmartSprayer	großer Effekt	3	Mehr Nachhaltigkeit durch geringeren Einsatz von PSM.
Direkteinspeisung	großer Effekt	3	Mehr Nachhaltigkeit durch geringeren Einsatz von PSM.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung von Ernährungssicherheit?			
Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Kein Effekt gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
Bandspritze	kein Effekt	0	Kein Effekt gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
SmartSprayer	kein Effekt	0	Kein Effekt gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
Direkteinspeisung	kein Effekt	0	Kein Effekt gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, bis 2030 den Einsatz und das Risiko chemischer Pestizide um 50 Prozent zu verringern und die Verwendung gefährlicherer Pestizide um 50 Prozent zu reduzieren?			
Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Minimale Einsparmöglichkeit
Bandspritze	großer Effekt	3	Mit dieser Technologie kann zuverlässig bei jeder Anwendung bis zu 50 Prozent PSM gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze eingespart werden.

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
			„Anstatt das Mittel flächig auszubringen und gerade in den jungen Beständen zwangsläufig auch den unbewachsenen Boden zu treffen, konzentriert sich die Behandlung nur auf die Kulturpflanzen. Die mögliche Mitteleinsparung hängt dann von dem Reihenabstand ab.“ (Höner, G. (2021))
SmartSprayer	moderater Effekt	2	„In Abhängigkeit von Unkrautdruck und Frucht moderater bis großer Effekt“ (Expert*inaussage) Es können nur Herbizide eingespart werden.
Direkteinspeisung	moderater Effekt	2	„Die teilflächenspezifische Applikation kann dabei helfen, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren. Die Höhe ist abhängig von der Befallsart (Unkräuter, Pilze, Schädlinge etc.) und dem Befallsdruck.“ (Expert*inaussage)

Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, einen weltweiten Übergang zu wettbewerbsgerechter Nachhaltigkeit, d.h. dass die nachhaltigsten Lebensmittel die erschwinglichsten sind, einzuläuten?

Pulsweitenmodulation	geringer Effekt	1	Nur geringere Nachhaltigkeit gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
Bandspritze	moderater Effekt	2	Durch die Herbizideinsparung könnten die Produkte günstiger werden.
SmartSprayer	moderater Effekt	2	„Der Pflanzenschutz wird insgesamt kaum billiger - die Einsparung der Kosten für PSM wird durch den hohen technischen Aufwand "aufgefressen". Je nach Klimaraum sehr unterschiedlich (Trockengebiete +++)" (Expert*inaussage)
Direkteinspeisung	moderater Effekt	2	„Da sich der Einsatz des teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes im Ackerbau durchaus rechnet und amortisiert - trotz der teuren Technik - kann es einen Beitrag leisten.“ (Expert*inaussage)

Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, 25 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 2030 mit biologischer Landwirtschaft zu bewirtschaften?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Chemischer Pflanzenschutz trägt nicht zu diesem Ziel bei.
Bandspritze	kein Effekt	0	Chemischer Pflanzenschutz trägt nicht zu diesem Ziel bei.
SmartSprayer	kein Effekt	0	Chemischer Pflanzenschutz trägt nicht zu diesem Ziel bei.
Direkteinspeisung	kein Effekt	0	Chemischer Pflanzenschutz trägt nicht zu diesem Ziel bei.

Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, den ökologischen und klimatischen Fußabdruck des EU-Lebensmittelsystems zu verringern?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Keine Veränderung gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
----------------------	-------------	---	--------------------------------------------------------

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
Bandspritze	geringer Effekt	1	Es werden Herbizide eingespart, aber bei verschiedenen Anwendungszeitpunkten von Hacke und Bandspritze braucht es zwei Überfahrten, was die CO ₂ -Emissionen erhöht.
SmartSprayer	geringer Effekt	1	Abhängig von der Menge der Einsparungen.
Direkteinspeisung	geringer Effekt	1	„Abhängig von den erzielbaren Einsparraten.“ (Expert*inaussage)

Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel zur Einkommensabsicherung von Landwirt*innen beizutragen?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Kein Effekt gegenüber herkömmlicher Feldspritze
Bandspritze	geringer Effekt	1	Wenn Anforderungen an und Nachfrage nach nachhaltigen Lebensmitteln steigt, entsteht ein Vorteil gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
SmartSprayer	geringer Effekt	1	Wenn Anforderungen an und Nachfrage nach nachhaltigen Lebensmitteln steigt, entsteht ein Vorteil gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
Direkteinspeisung	geringer Effekt	1	Wenn Anforderungen an und Nachfrage nach nachhaltigen Lebensmitteln steigt, entsteht ein Vorteil gegenüber herkömmlicher Feldspritze.

Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (gemäß der Europäischen Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung und des Pflanzenschutzgesetzes)?

Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	„Die Dokumentation ist bereits heute für Flächenspritzen mittels ISOBUS verfügbar“ (Kommentar Fragebogen)
Bandspritze	kein Effekt	0	Gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung in der Transparenz.
SmartSprayer	sehr großer Effekt	4	Georeferenzierte Dokumentation möglich, nicht nur Gesamtmenge, sondern Spot-genau
Direkteinspeisung	sehr großer Effekt	4	„Mit der digitalen Infrastruktur ist jeder Einsatz mit allen Einsatzparametern georeferenziert dokumentiert.“ (Prof. Wegener, Fragebogen)

Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen)?

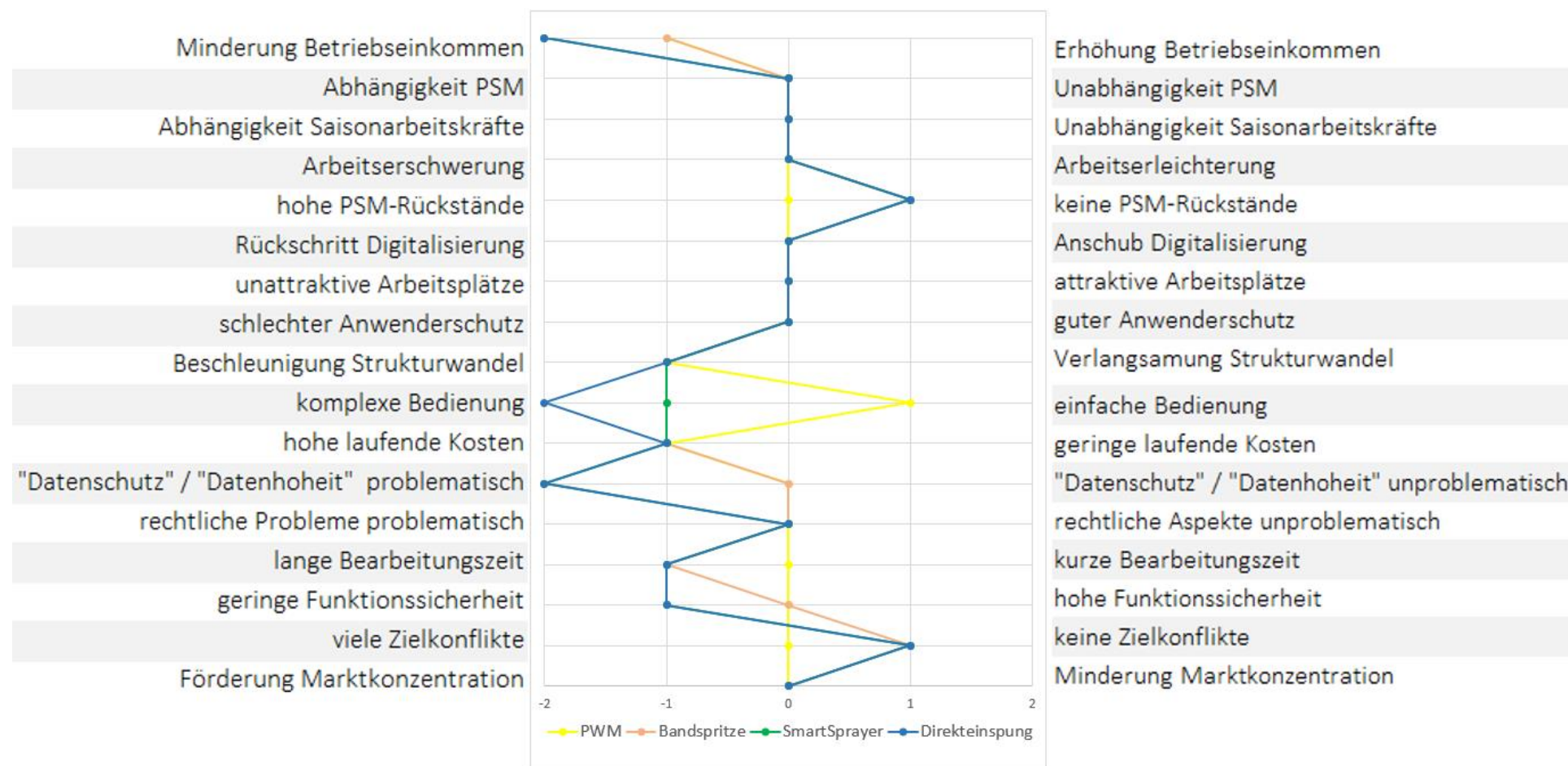
Pulsweitenmodulation	kein Effekt	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	moderater Effekt	2	Kommt dem Grundsatz „So viel wie nötig, so wenig wie möglich“ näher als eine herkömmliche Feldspritze, verfolgt aber grundsätzlich eine 0-Toleranz-Strategie.
SmartSprayer	moderater Effekt	2	„Mit welcher feldspezifischen Einstellung und mit welcher empfohlenen Herbizidmischung das

Feldspritzentyp	Antwort	Punkte	Begründung
			<p>SmartSpraying-System wann am besten eingesetzt wird, basiert dabei auf der erweiterten xarvio™ agronomic decision-making engine (ADE) von BASF Digital Farming. Dabei werden in Anlehnung an die gute fachliche Praxis des integrierten Pflanzenschutzes diverse Parameter, wie Anbaukultur, Unkrautspektrum, Wetterbedingungen automatisiert aus dem xarvio™ FIELD MANAGER herangezogen, zu einer Entscheidung verarbeitet und an das SmartSpraying-System übertragen. Die UX 5201 SmartSprayer appliziert durch die Nutzung von Schadschwellen nur dort, wo Unkräuter einen negativen Einfluss auf die Qualität des Unkrautmanagements haben. So werden bei gleichem Ergebnis höhere Herbizideinsparungen als bei herkömmlichen Systemen erreicht. Den Arbeitsalltag verbessert darüber hinaus xarvio™ durch die pflanzenbaulichen Empfehlungen. In den Versuchen hat sich herausgestellt, dass gerade diese Kombination des Know-hows den erfolgreichen Einsatz der UX 5201 SmartSprayer sicherstellt und das System besonders praxistauglich macht.“ (AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG (Hg.) (2021b))</p>
Direkteinspeisung	moderater Effekt	2	Teilflächen werden nach Prognosen und Schadschwellen identifiziert.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.2.4 Chancen und Risiken

Abbildung 58: Bipolare Skala "Chancen-Risiken" - Feldspritzen



Quelle: Eigene Darstellung, GreenSurvey GmbH

Tabelle 13: Fragenkatalog "Chancen und Risiken" - Feldspritzen

Feldsprizentyp	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad führt die Innovation bei Neuanschaffung zu einer Erhöhung des Betriebseinkommens innerhalb der nächsten fünf Jahre? [Minderung Betriebseinkommen Erhöhung Betriebseinkommen]		
Pulsweitenmodulation	-1	„ca. 800 Euro pro laufenden Meter“, (Kramer, H. (2020), Minute 39)
Bandspritze	-1	„In schwierigen Jahren behandelt man die gesamte Fläche. Auch in Keilen, wo die Hacke passen muss, wechselt der Fahrer auf die flächige Behandlung. Damit sich der Effekt zur Reduktion des Mitteleinsatzes in der Bilanz niederschlägt, sollten nicht einzelne Jahre, sondern längere Zeiträume (z. B. fünf Jahre) bilanziert werden. (...) Keine Frage, mit der Bandspritzung lassen sich erhebliche Aufwandsmengen einsparen. Einfacher und günstiger wird der Spritzeneinsatz dadurch allerdings nicht.“ (Höner, G. (2021))
SmartSprayer	-2	Technik ist sehr kostenintensiv.
Direkteinspeisung	-2	Technik ist sehr kostenintensiv.
Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit gegenüber der Zulassung bzw. dem Wegfallen von Wirkstoffen im Pflanzenschutz? [Abhängigkeit Unabhängigkeit]		
Pulsweitenmodulation	0	Wenn auch in geringerem Maß, werden weiterhin PSM eingesetzt.
Bandspritze	0	Wenn auch in geringerem Maß, werden weiterhin PSM eingesetzt.
SmartSprayer	0	Wenn auch in geringerem Maß, werden weiterhin PSM eingesetzt.
Direkteinspeisung	0	Wenn auch in geringerem Maß, werden weiterhin PSM eingesetzt.
Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit des landwirtschaftlichen Betriebs gegenüber Saisonarbeitskräften? [Abhängigkeit Unabhängigkeit]		
Pulsweitenmodulation	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Bandspritze	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
SmartSprayer	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Direkteinspeisung	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Zu welchem Grad trägt die Innovation zu einer Arbeitserleichterung bei (körperlich oder auch bürokratisch)? [Arbeitserschwerung Arbeitserleichterung]		
Pulsweitenmodulation	0	Es entsteht keine zusätzliche körperliche Arbeit. Die Dokumentation verändert sich nicht.

Feldspritzentyp	Punkte	Begründung
Bandspritze	0	Es entsteht keine zusätzliche körperliche Arbeit. Die Dokumentation verändert sich nicht.
SmartSprayer	0	Es entsteht keine zusätzliche körperliche Arbeit. Die Dokumentation verändert sich nicht.
Direkteinspeisung	0	Es entsteht keine zusätzliche körperliche Arbeit. Die Dokumentation verändert sich nicht.

Wie sehr befördert die Innovation die Herstellung von Lebensmitteln, die wenig Rückstände von Pflanzenschutzmitteln aufweisen? [hohe Rückstände | keine Rückstände]

Pulsweitenmodulation	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Bandspritze	1	Es wird weniger PSM in die Umwelt ausgebracht, das die Pflanze aufnehmen kann.
SmartSprayer	1	Es wird weniger PSM in die Umwelt ausgebracht, das die Pflanze aufnehmen kann.
Direkteinspeisung	1	Es wird weniger PSM in die Umwelt ausgebracht, das die Pflanze aufnehmen kann.

Zu welchem Grad bietet die Innovation einen An Schub der Digitalisierung im ländlichen Raum? [Rückschritt Digitalisierung | An Schub Digitalisierung]

Pulsweitenmodulation	0	Es ist davon auszugehen, dass digitale Technologien den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern eher das Problem besteht, dass in Gegenden, in denen das Netz noch immer schlecht ist, diese Technologien nicht eingesetzt werden.
Bandspritze	0	Es ist davon auszugehen, dass digitale Technologien den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern eher das Problem besteht, dass in Gegenden, in denen das Netz noch immer schlecht ist, diese Technologien nicht eingesetzt werden.
SmartSprayer	0	Es ist davon auszugehen, dass digitale Technologien den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern eher das Problem besteht, dass in Gegenden, in denen das Netz noch immer schlecht ist, diese Technologien nicht eingesetzt werden.
Direkteinspeisung	0	Es ist davon auszugehen, dass digitale Technologien den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern eher das Problem besteht, dass in Gegenden, in denen das Netz noch immer schlecht ist, diese Technologien nicht eingesetzt werden.

Zu welchem Grad sorgt die Innovation für attraktivere Arbeitsplätze im Landbau? [unattraktive Arbeitsplätze | attraktive Arbeitsplätze]

Pulsweitenmodulation	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Bandspritze	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
SmartSprayer	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.

Feldspritzentyp	Punkte	Begründung
Direkteinspeisung	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Zu welchem Grad bietet die Innovation einen guten oder schlechten Anwenderschutz? [schlechter Anwenderschutz guter Anwenderschutz]		
Pulsweitenmodulation	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Bandspritze	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
SmartSprayer	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Direkteinspeisung	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.

Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung weniger, aber größere Betriebe? [Beschleunigung Strukturwandel|Verlangsamung Strukturwandel]

Pulsweitenmodulation	-1	„Gerade im Pflanzenschutz wird die Praxis diese teuren Maschinen sehr „schlank“ auf möglichst viel Fläche verteilen müssen. Es besteht durchaus die Gefahr einer „Zweiklassen-Gesellschaft“. Etliche Betriebe werden dem künftig geforderten Niveau nicht mehr folgen können und den Pflanzenschutz den Profis überlassen.“ (Preuße, T. (2022))
Bandspritze	-1	„Gerade im Pflanzenschutz wird die Praxis diese teuren Maschinen sehr „schlank“ auf möglichst viel Fläche verteilen müssen. Es besteht durchaus die Gefahr einer „Zweiklassen-Gesellschaft“. Etliche Betriebe werden dem künftig geforderten Niveau nicht mehr folgen können und den Pflanzenschutz den Profis überlassen.“ (Preuße, T. (2022))
SmartSprayer	-1	„Gerade im Pflanzenschutz wird die Praxis diese teuren Maschinen sehr „schlank“ auf möglichst viel Fläche verteilen müssen. Es besteht durchaus die Gefahr einer „Zweiklassen-Gesellschaft“. Etliche Betriebe werden dem künftig geforderten Niveau nicht mehr folgen können und den Pflanzenschutz den Profis überlassen.“ (Preuße, T. (2022))
Direkteinspeisung	-1	„Gerade im Pflanzenschutz wird die Praxis diese teuren Maschinen sehr „schlank“ auf möglichst viel Fläche verteilen müssen. Es besteht durchaus die Gefahr einer „Zweiklassen-Gesellschaft“. Etliche Betriebe werden dem künftig geforderten Niveau nicht mehr folgen können und den Pflanzenschutz den Profis überlassen.“ (Preuße, T. (2022))

Wie komplex wird die Bedienung der Innovation eingestuft? [komplexe Bedienung|einfache Bedienung]

Pulsweitenmodulation	1	„Wie kompliziert ist die PWM für den Anwender? Sie ist wesentlich einfacher als ein druckreguliertes System zu handhaben, da sie mit konstantem Druck arbeitet und sich so der Geschwindigkeitsbereich, in dem ich mit einer Düse arbeiten kann, verdreifacht. Zudem arbeitet man mit größeren Düsenkalibern. Verstopfungen auf dem Feld kommen nicht mehr vor.“ (Mayer, C. (2021))
----------------------	---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Feldspritzentyp	Punkte	Begründung
Bandspritze	-1	Im Gegensatz zur Behandlung mit einer herkömmlichen Feldspritze, wird zusätzlich die Bearbeitung mit der Hacke erforderlich. Dazu muss eine Einarbeitung in die Technik erfolgen und es müssen auch geeignete Anwendungszeitpunkte gefunden werden.
SmartSprayer	-1	Da die Maschine die Prozesse grundsätzlich selbstständig übernimmt, besteht nach einer ersten Einarbeitungsphase keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze. Allerdings muss die Pflanzenschutzstrategie angepasst werden.
Direkteinspeisung	-2	„die Geräte sind im Vergleich komplizierter zu bedienen als herkömmliche Pflanzenschutzgeräte. Man muss sich intensiv mit der Materie auseinandersetzen.“ (Expert*inaussage)

Wie hoch werden die laufenden Kosten (z.B. Reparatur, Betriebsmittel, Wartung) für die Innovation eingeschätzt? [hohe laufende Kosten | geringe laufende Kosten]

Pulsweitenmodulation	-1	Keine Daten gefunden. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten mit der Komplexität der Technik zunehmen.
Bandspritze	-1	Keine Daten gefunden. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten mit der Komplexität der Technik zunehmen.
SmartSprayer	-1	Keine Daten gefunden. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten mit der Komplexität der Technik zunehmen.
Direkteinspeisung	-1	Keine Daten gefunden. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten mit der Komplexität der Technik zunehmen.

Wie wird der Aspekt "Datenschutz" und "Datenhoheit" bei der Innovation eingeschätzt? [problematisch | unproblematisch]

Pulsweitenmodulation	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
SmartSprayer	-2	Wenn georeferenzierte Daten auf externen Servern und nicht nur beim Landwirt*innen gespeichert werden, wird der Aspekt als sehr problematisch eingestuft.
Direkteinspeisung	-2	Wenn georeferenzierte Daten auf externen Servern und nicht nur beim Landwirt*innen gespeichert werden, wird der Aspekt als sehr problematisch eingestuft.

Wie werden mögliche rechtliche Probleme bei der Innovation eingeschätzt? [problematisch | unproblematisch]

Pulsweitenmodulation	0	Wenn die Geräte zugelassen sind, sind keine rechtlichen Probleme zu erwarten.
Bandspritze	0	Wenn die Geräte zugelassen sind, sind keine rechtlichen Probleme zu erwarten.
SmartSprayer	0	Wenn die Geräte zugelassen sind, sind keine rechtlichen Probleme zu erwarten.
Direkteinspeisung	0	Wenn die Geräte zugelassen sind, sind keine rechtlichen Probleme zu erwarten.

Feldspritzentyp	Punkte	Begründung
Wie wird sich durch die Innovation die Bearbeitungszeit der Fläche ändern? [lange Bearbeitungszeit kurze Bearbeitungszeit]		
Pulsweitenmodulation	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	-1	Durch das Hacken zu einem anderen Zeitpunkt entstehen zusätzliche Überfahrten.
SmartSprayer	-1	Möglicherweise zusätzliche Überfahrten durch reaktives Applizieren.
Direkteinspeisung	-1	Möglicherweise zusätzliche Überfahrten durch reaktives Applizieren.
Wie hoch wird die Funktionssicherheit der Innovation eingeschätzt? [geringe Funktionssicherheit hohe Funktionssicherheit]		
Pulsweitenmodulation	0	Keine Daten dazu vorhanden. Es wird davon ausgegangen, dass es keine Veränderungen gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze gibt.
Bandspritze	0	Keine Daten dazu vorhanden. Es wird davon ausgegangen, dass es keine Veränderungen gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze gibt.
SmartSprayer	-1	Es ist davon auszugehen, dass mit der Komplexität der Technik die Funktionssicherheit abnimmt.
Direkteinspeisung	-1	Es ist davon auszugehen, dass mit der Komplexität der Technik die Funktionssicherheit abnimmt.
Wie stark sind durch den Einsatz der Innovation Zielkonflikte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, Bodenverdichtung etc.) zu erwarten? [viele Zielkonflikte keine Zielkonflikte]		
Pulsweitenmodulation	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	1	Bodenerosion versus PSM-Einsparung und bessere Mineralisation (vgl. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hg.) (2020), S. 50); ggf. höhere CO ₂ -Emissionen durch häufigere Überfahrten
SmartSprayer	1	ggf. häufigere Überfahrten, aber auch PSM-Einsparung.
Direkteinspeisung	1	ggf. häufigere Überfahrten, aber auch PSM-Einsparung.
Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung Konzentration des Landwirtschaftsmarkts? [Förderung Marktkonzentration Minderung Marktkonzentration]		
Pulsweitenmodulation	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
Bandspritze	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
SmartSprayer	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
Direkteinspeisung	0	Keine Veränderung gegenüber einer herkömmlichen Feldspritze.
SUMME		
Pulsweitenmodulation	- 2	
Bandspritze	- 3	

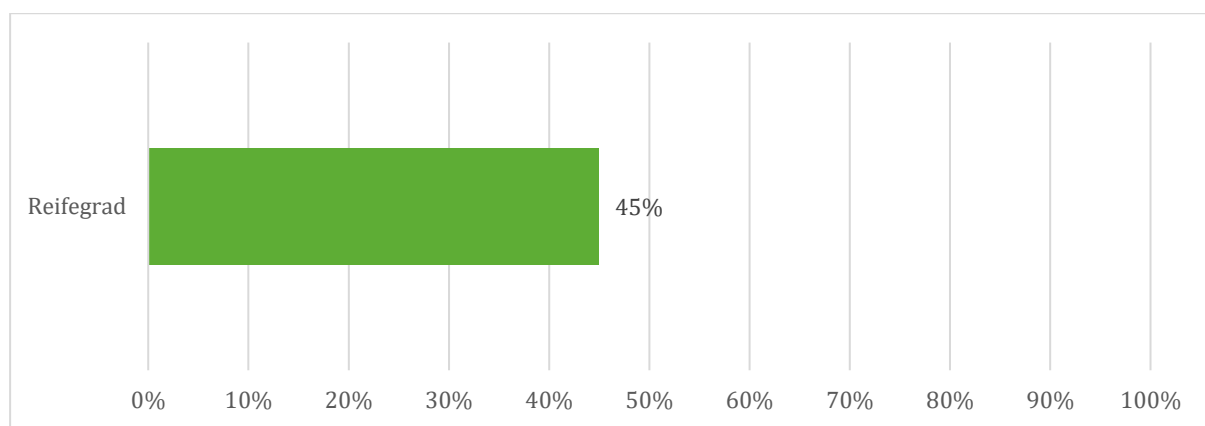
Feldspritzentyp	Punkte	Begründung
SmartSprayer	- 7	
Direkteinspeisung	- 8	

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.3 Sprühroboter

C.3.1 Reifegrad

Abbildung 59: Index-Wert "Reifegrad" - Sprühroboter



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 14: Fragenkatalog „Reifegrad“ - Sprühroboter

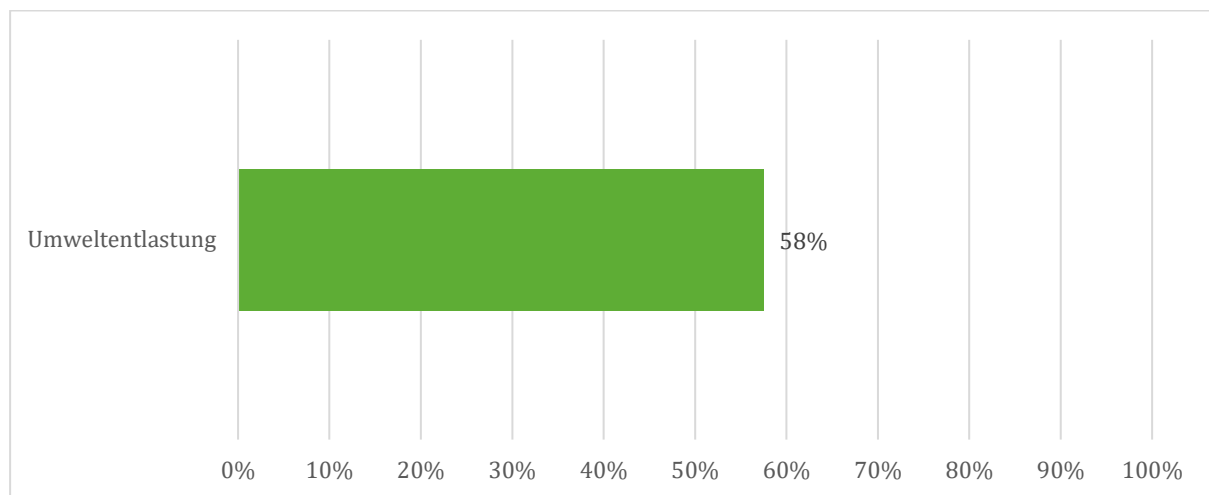
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad ist die Innovation technisch voll entwickelt und einsatzbereit?	Prototyp getestet und validiert	2	Marktreife Produkte sind noch nicht entwickelt.
Zu welchem Grad ist für die Innovation ein Geschäftsmodell am Markt etabliert?	Nachfrage ermittelt, technische Lösung noch nicht erarbeitet	1	Da die Sprühroboter noch in der Entwicklung sind, werden sie noch nicht vertrieben.
Zu welchem Grad sind für die Innovation regulatorische oder gesetzgeberische Anforderungen erfüllt?	regulatorische Anpassungen sind nötig, aber noch nicht erteilt	2	Im Bereich Robotik sind noch rechtliche Fragen z.B. bezüglich des autonomen Fahrens und der Versicherung zu klären.
Zu welchem Grad ist der Einsatz der Innovation von einer breiten Mehrheit unter	von einer kleinen Gruppe akzeptiert	2	„Der Traum von völlig selbständig arbeitenden Agrarroboter auf den Feldern wird nur langsam wahr. Neben technischen Schwierigkeiten fehlt es vor allem an griffigen gesetzlichen

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
den Landwirt*innen akzeptiert?			Rahmenbedingungen, welche das autonome Fahren regeln. So lautet das Fazit des vierten internationalen Forums für Agrarroboter (FIRA), das im Dezember in Toulouse stattfand.“ (Eppenberger media GmbH (Hg.) (2020))
Zu welchem Grad kann die Technologie in bestehende Arbeitsprozesse integriert werden?	große Anpassungen sind notwendig	2	Ähnlich wie bei den Hackrobotern, muss man zunächst eine Umgebung schaffen, in der der Roboter arbeiten kann.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.3.2 Umweltentlastung

Abbildung 60: Index-Wert "Umweltentlastung" - Sprühroboter



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 15: Fragenkatalog „Umweltentlastung“ - Sprühroboter

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad führt die Anwendung zu einer Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes?	moderater Effekt	2	„Durch das punktuelle Präzisionsspritzen wurde zudem nur ein Fünftel der Menge an Herbiziden benötigt, im Vergleich zu konventionellen Applikationen.“ (KWS SAAT SE & Co. KGaA (Hg.) (2021)) Ähnlich wie beim spot spraying mit einer Feldspritze wird auch hier davon ausgegangen, dass es zunächst einer ersten Flächenspritzung bedarf und erst danach der Sprühroboter zum Einsatz kommt. (vgl. Preuße, T. (2021), S. 22)
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen	moderater Effekt	2	„AVO wiegt nur 750 kg, um Bodenlebewesen zu schonen und Bodenverdichtung zu verhindern.“ (EcoRobotix SA (Hg.) (o.D.))

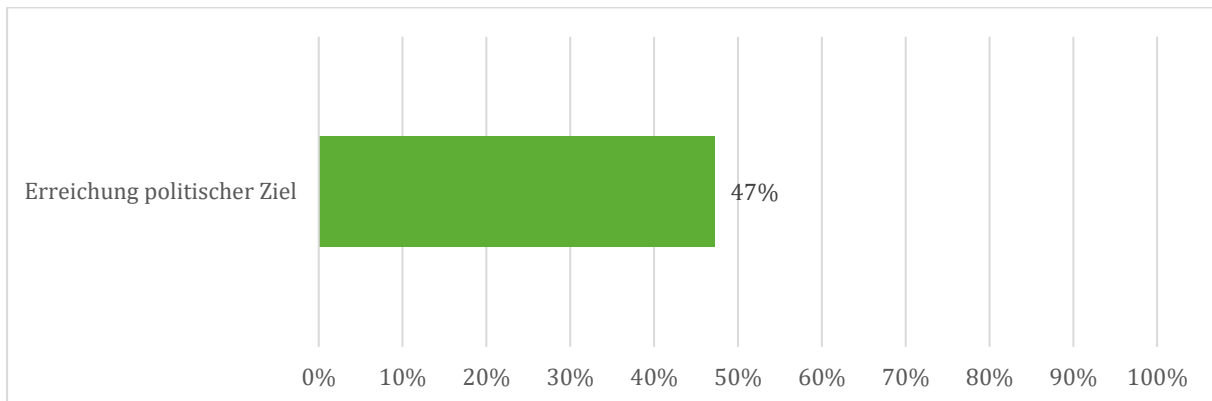
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
positiven Effekt auf die Bodenstruktur (z.B. keine Bodenverdichtung)?			
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Verminderung von Pestizideinträgen in das Grundwasser?	moderater Effekt	2	Abhängig vom Unkraut- oder Befallsdruck. Es können nur Herbizide eingespart werden.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Luft (Abgase, Aerosole, Dämpfe, Geruchsstoffe, Pestizide)?	großer Effekt	3	Wenig Abgase durch elektrischen Antrieb. Durch geringe Geschwindigkeit und geringe Spritzhöhe wenig Abdrift.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) auf den Feldern?	geringer Effekt	2	Abhängig vom Unkraut- oder Befallsdruck. Es können nur Herbizide eingespart werden.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) am Feldrand?	moderater Effekt	2	Abhängig vom Unkraut- oder Befallsdruck. Es können nur Herbizide eingespart werden. Durch geringe Geschwindigkeit und geringe Spritzhöhe wenig Abdrift.
Zu welchem Grad hat die	moderater Effekt	2	Abhängig vom Unkraut- oder Befallsdruck. Es können nur Herbizide eingespart werden.

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) in Gewässern?			Durch geringe Geschwindigkeit und geringe Spritzhöhe wenig Abdrift.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf CO ₂ -Emissionen beim Ackerbau?	großer Effekt	3	„Ein Vorteil chemischer Unkrautbekämpfung ist der geringe Energieaufwand, da nur eine Flüssigkeit versprüht wird. Somit ist der Energiebedarf deutlich geringer als bspw. bei der mechanischen Unkrautbekämpfung. Dies ist insbesondere für leichte und zumeist batteriebetriebene Feldroboter von Vorteil, da längere Laufzeiten möglich sind. Häufig werden diese Geräte zusätzlich mit Solarzellen kombiniert, um einen Teil ihrer benötigten Energie selbst zu erzeugen.“ (Herrmann, D.; Dillschneider, E.-M.; Niemann, J.-U.; Tomforde, M.; Wegener, J. K. (2022), S. 9)
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf Pflanzenschutzmittel-Rückstände auf Lebensmitteln?	moderater Effekt	2	Abhängig vom Unkraut- oder Befallsdruck. Es können nur Herbizide eingespart werden.
Zu welchem Grad sind durch die Anwendung der Innovation Substitutionseffekte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, häufigere Überfahrten) zu erwarten?	kein Effekt	4	Hier werden keine Effekte erwartet.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.4 Erreichung politischer Ziele

Abbildung 61: Index-Wert "Erreichung politischer Ziele" - Sprühroboter



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 16: Fragenkatalog „Erreichung politischer Ziele“ - Sprühroboter

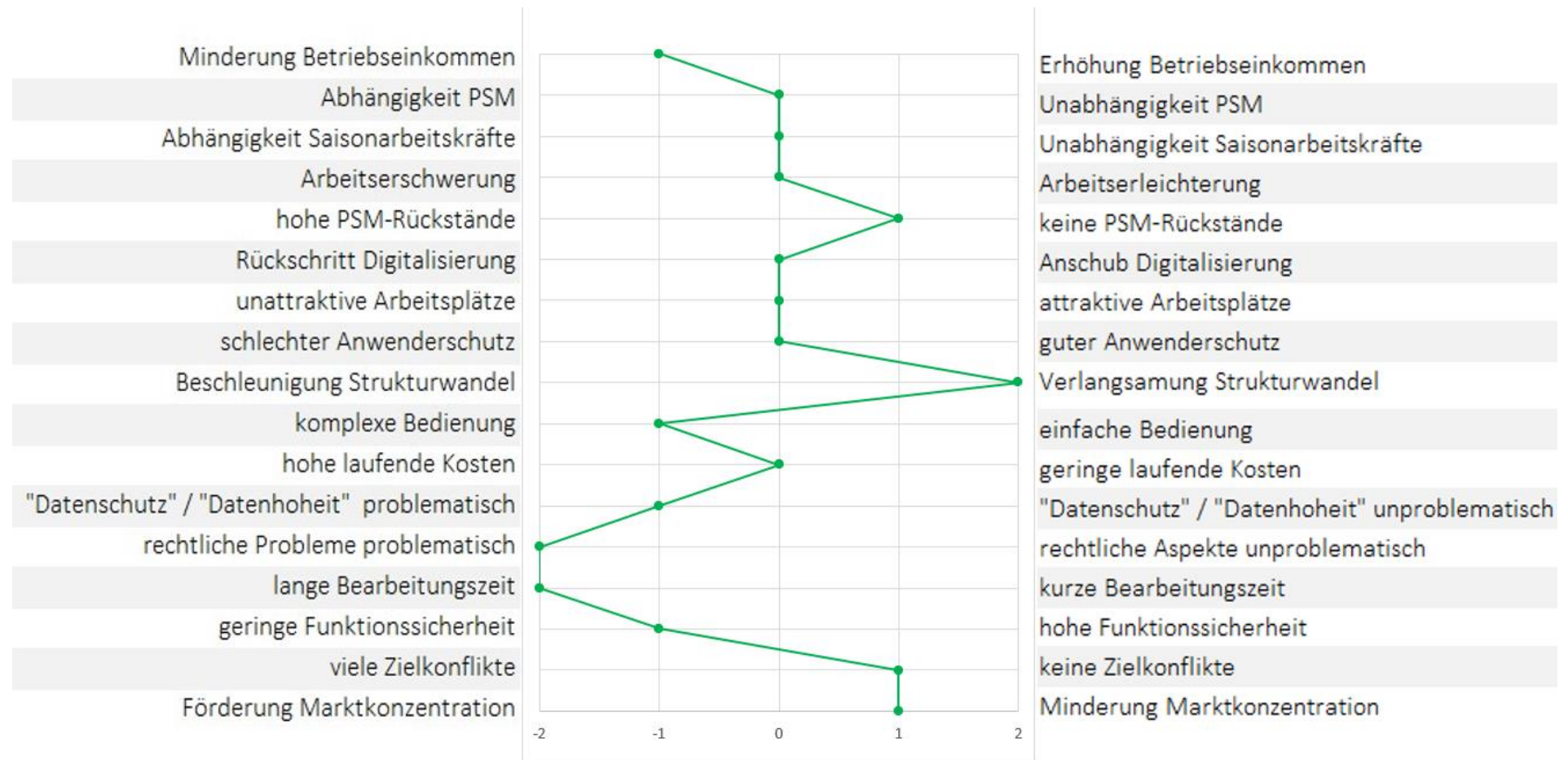
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion?	großer Effekt	3	Mehr Nachhaltigkeit durch geringeren Einsatz von Herbiziden. Es werden keine fossilen Brennstoffe benötigt.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung von Ernährungssicherheit?	kein Effekt	0	Kein Effekt gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, bis 2030 den Einsatz und das Risiko chemischer Pestizide um 50 Prozent zu verringern und die Verwendung gefährlicherer Pestizide um 50 Prozent zu reduzieren?	moderater Effekt	2	Abhängig vom Unkraut- oder Befallsdruck. Es können nur Herbizide eingespart werden.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, einen weltweiten Übergang zu wettbewerbsgerechter Nachhaltigkeit, d.h. dass die nachhaltigsten Lebensmittel die erschwinglichsten sind, einzuläuten?	moderater Effekt	2	Durch die Einsparung von PSM könnten die Lebensmittel günstiger werden.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, 25 Prozent der landwirtschaftlichen	kein Effekt	0	Chemischer Pflanzenschutz trägt nicht zu diesem Ziel bei.

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Nutzfläche bis 2030 mit biologischer Landwirtschaft zu bewirtschaften?			
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, den ökologischen und klimatischen Fußabdruck des EU-Lebensmittelsystems zu verringern?	großer Effekt	3	Elektrischer Antrieb verkleinert den Fußabdruck.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel zur Einkommensabsicherung von Landwirt*innen beizutragen?	geringer Effekt	1	Wenn Anforderungen an und Nachfrage nach nachhaltigen Lebensmitteln steigt, entsteht ein Vorteil gegenüber herkömmlicher Feldspritze.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (gemäß der Europäischen Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung und des Pflanzenschutzgesetzes)?	sehr großer Effekt	4	Georeferenzierte Dokumentation möglich, nicht nur Gesamtmenge, sondern Spot-genau.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen)?	moderater Effekt	2	Hängt von der Pflanzenschutzstrategie des Anwenders oder der Anwenderin ab, ob er oder sie eine Null-Toleranz-Strategie verfolgt oder Teilflächen nach Prognosemodellen und Schadschwellen bestimmt.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.4.1 Chancen und Risiken

Abbildung 62: Bipolare Skala "Chancen-Risiken" - Sprühroboter



Quelle: Eigene Darstellung, GreenSurvey GmbH

Tabelle 17: Fragenkatalog "Risiken und Chancen" - Sprühroboter

Frage	Antwort	Begründung
Zu welchem Grad führt die Innovation bei Neuanschaffung zu einer Erhöhung des Betriebseinkommens innerhalb der nächsten fünf Jahre? [Minderung Betriebseinkommen Erhöhung Betriebseinkommen]	-1	Es ist davon auszugehen, dass die Investitionskosten nicht über die Mitteleinsparung gedeckt werden.
Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit gegenüber der Zulassung bzw. dem Wegfallen von Wirkstoffen im Pflanzenschutz? [Abhängigkeit Unabhängigkeit]	0	Wenn auch in geringerem Maß, werden weiterhin PSM eingesetzt.
Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit des landwirtschaftlichen Betriebs gegenüber Saisonarbeitskräften? [Abhängigkeit Unabhängigkeit]	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Zu welchem Grad trägt die Innovation zu einer Arbeitserleichterung bei (körperlich oder auch bürokratisch)? [Arbeitserschwerung Arbeitserleichterung]	0	Die körperliche Arbeit wird nicht verringert. Die Dokumentation verändert sich nicht.
Wie sehr befördert die Innovation die Herstellung von Lebensmitteln, die wenig Rückstände von Pflanzenschutzmitteln aufweisen? [hohe Rückstände keine Rückstände]	1	Auf den Nutzpflanzen wird tendenziell weniger PSM appliziert.
Zu welchem Grad bietet die Innovation einen An Schub der Digitalisierung im ländlichen Raum? [Rückschritt Digitalisierung An Schub Digitalisierung]	0	Es ist davon auszugehen, dass digitale Technologien den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern eher das Problem besteht, dass in Gegenden, in denen das Netz noch immer schlecht ist, diese Technologien nicht eingesetzt werden.
Zu welchem Grad sorgt die Innovation für attraktivere Arbeitsplätze im Landbau? [unattraktive Arbeitsplätze attraktive Arbeitsplätze]	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Zu welchem Grad bietet die Innovation einen guten oder schlechten Anwenderschutz? [schlechter Anwenderschutz guter Anwenderschutz]	0	Im Gegensatz zur Anwendung einer herkömmlichen Feldspritze keine Veränderung.
Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung weniger, aber größere Betriebe? [Beschleunigung Strukturwandel Verlangsamung Strukturwandel]	2	„Die Automatisierung könnte neue Maschinenkonzepte mit kleineren Landmaschinen ermöglichen. Dies könnte den bisherigen Strukturwandel mit der Wirkrichtung größerer Flächen mit größeren Maschinen, die zu besseren Kostenstrukturen führen, durchbrechen.“ (de Witte, T. u. a. (2016), S. 34)

Frage	Antwort	Begründung
Wie komplex wird die Bedienung der Innovation eingestuft? [komplexe Bedienung einfache Bedienung]	-1	Die eingebettete Software ermöglicht es AVO, verschiedenste Kulturen zu bearbeiten. Die Steuerung und der Betrieb der Maschine erfolgen intuitiv über ein Tablet oder eine mobile App. (EcoRobotix SA (Hg.) (o.D.)) Auch wenn der Hersteller eine einfache Bedienung beschreibt, ist davon auszugehen, dass es sich hier ähnlich wie beim Hackroboter verhält und eine zeitliche Zusatzbelastung entsteht.
Wie hoch werden die laufenden Kosten (z.B. Reparatur, Betriebsmittel, Wartung) für die Innovation eingeschätzt? [hohe laufende Kosten geringe laufende Kosten]	0	Zu den laufenden Kosten gegenüber einer Feldspritze wurden keine Daten gefunden, sie werden aber als in etwa gleich eingestuft.
Wie wird der Aspekt "Datenschutz" und "Datenhoheit" bei der Innovation eingeschätzt? [problematisch unproblematisch]	-1	Daten werden auf dem ecoRobotix-Server gespeichert.
Wie werden mögliche rechtliche Probleme bei der Innovation eingeschätzt? [problematisch unproblematisch]	-2	Hier werden dieselben Probleme, die bei den Hackrobotern bezüglich Diebstahl, Sicherheit und Versicherung ergeben, erwartet.
Wie wird sich durch die Innovation die Bearbeitungszeit der Fläche ändern? [lange Bearbeitungszeit kurze Bearbeitungszeit]	-2	Mit seinem Solarantrieb und austauschbaren Batterien kann AVO bis zu 10 Hektar pro Tag behandeln. (EcoRobotix SA (Hg.) (o.D.)) „Das Robotersystem kann auf kleineren Flächen dazu beitragen, die Menge an Herbiziden deutlich zu reduzieren. Für den effizienten großflächigen Einsatz hat der Roboter mit einer Arbeitsbreite von 2 Metern jedoch nicht die notwendige Flächenleistung“, erklärt Stefan Meldau. ecoRobotix hat auf diese Ergebnisse bereits reagiert, mittlerweile werden auch konventionelle Spritzsysteme mit deutlich größeren Arbeitsbreiten angeboten.“ (KWS SAAT SE & Co. KGaA (Hg.) (2021))
Wie hoch wird die Funktionssicherheit der Innovation eingeschätzt? [geringe Funktionssicherheit hohe Funktionssicherheit]	-1	Es wurden keine Daten gefunden. Es ist davon auszugehen, dass gerade bei Einführung der Technologie Funktionsunsicherheiten auftreten.
Wie stark sind durch den Einsatz der Innovation Zielkonflikte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, Bodenverdichtung etc.) zu erwarten? [viele Zielkonflikte keine Zielkonflikte]	1	Geringer Energieverbrauch, keine Bodenverdichtung, geringerer Pflanzenschutzmitteleinsatz, keine Bodenerosion versus geringe Flächenleistung.
Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung Konzentration des Landwirtschaftsmarkts? [Förderung]	1	Aktuell sind es eher Start-ups, die sich bei der Entwicklung durchsetzen, weil die etablierten Player in zu großen Dimensionen denken und bauen.

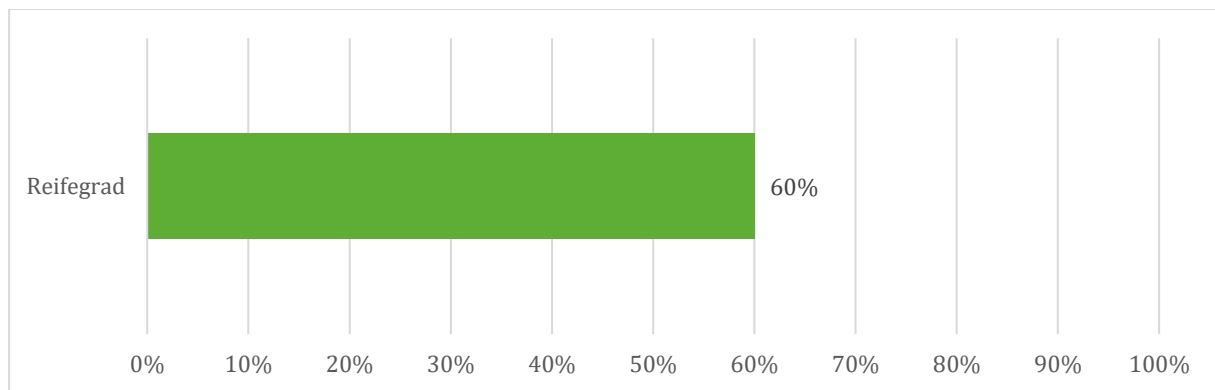
Frage	Antwort	Begründung
Marktkonzentration Minderung Marktkonzentration]		
SUMME	- 3	

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.5 Komplexe Entscheidungshilfesysteme

C.5.1 Reifegrad

Abbildung 63: Index-Wert "Reifegrad" - Entscheidungshilfesystem



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 18: Fragenkatalog „Reifegrad“ - Entscheidungshilfesysteme

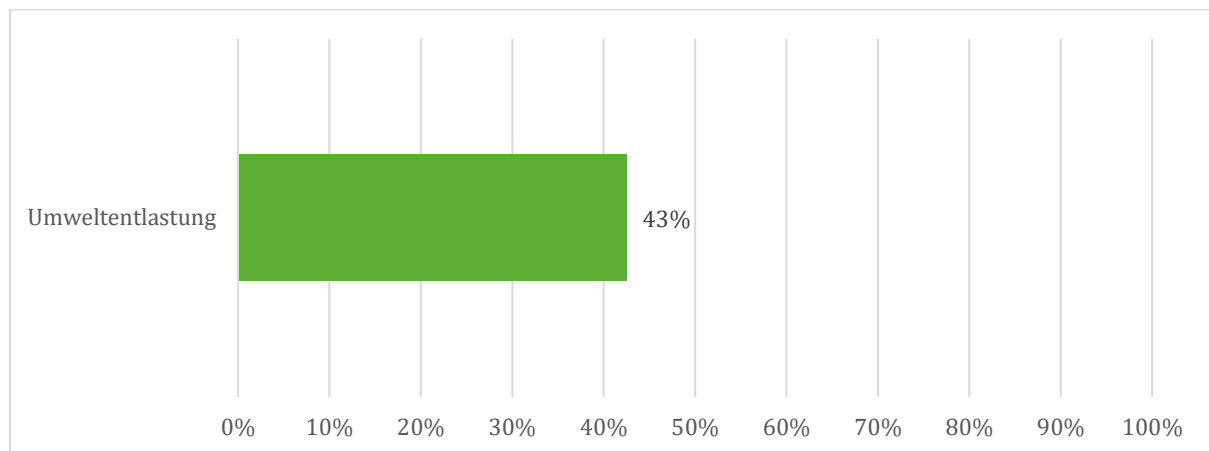
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad ist die Innovation technisch voll entwickelt und einsatzbereit?	getestet und validiert	3	Grundsätzlich sind die Systeme einsatzbereit. Inhaltlich müssen/können die Systeme noch erweitert werden: Daten sind nur für bestimmte Kulturen und Schaderreger vorhanden.
Zu welchem Grad ist für die Innovation ein Geschäftsmodell am Markt etabliert?	Produkt wird in kleinen Mengen nachgefragt	2	Marius Michels u. a. haben im Jahr 2019 eine Befragung unter 207 deutschen Landwirt*innen zu deren Nutzerverhalten von Smart-Farming-Apps in Bezug auf Pflanzenschutz durchgeführt. Die Analysen zeigen, dass verschiedene Funktionen von Apps als von einem Großteil der Befragten als nützlich eingestuft werden, aber von einem weit geringeren Teil auch tatsächlich genutzt werden. Insbesondere Wettervorhersagen, Schädlingsuche und -befall sowie Unterstützung bei der Dokumentation wurden als hilfreich eingestuft. Während noch 83 Prozent der Befragten Wettervorhersage-Apps und 52 Prozent Apps zur Schädlingsuche nutzen, werden die

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
			weiteren Funktionen von einem geringeren Teil der Befragten genutzt. Smart-Spraying-Funktionen werden nur von 10 Prozent der Befragten benutzt. (vgl.: Michels, M. u. a. (2020), S. 1217)
Zu welchem Grad sind für die Innovation regulatorische oder gesetzgeberische Anforderungen erfüllt?	regulatorische Anpassungen sind nötig, aber noch nicht erteilt	2	„In Deutschland fehlt derzeit noch ein konkreter Leitfaden und auch auf EU-Ebene gibt es noch keine rechtlichen Rahmenbedingungen. Wichtig, um das Potenzial der Roboter ausschöpfen zu können, sind außerdem Vorgaben zum Datenschutz, zur Haftung und zur Verantwortung sowie eine gute Mobilfunk-Netzabdeckung nötig.“ (Forum Moderne Landwirtschaft e.V. (Hg.) (2020))
Zu welchem Grad ist der Einsatz der Innovation von einer breiten Mehrheit unter den Landwirt*innen akzeptiert?	von einer kleinen Gruppe akzeptiert	2	<p>„Im zweiten Schritt bieten wir sie allen registrierten Nutzer an. Interessanterweise sind das sehr häufig Profibetriebe mit großen Flächen. Häufig aus den östlichen und nördlichen Bundesländern. Unsere Modelle decken besonders Schaderreger aus dem Ackerbau ab, weil sie in Summe wirtschaftlich bedeutender sind als die flächenmäßig deutlich schwächer vertretenen Sonderkulturen. Und man muss sagen, dass es bei Obst und Gemüse vielfach eine Nulltoleranz für Schaderreger gibt. Befindet sich eine Apfelwicklerraupe in einem Apfel, ist die Ware unverkäuflich. Dem Anbauer reicht also selbst eine 99-prozentige Trefferquote nicht aus.“ (Industrieverband Agrar (Hg.) (2017))</p> <p>„Ein wichtiger Faktor für die Akzeptanz von Entscheidungshilfen in Praxisbetrieben ist der mit ihrer Anwendung einhergehende Arbeitsaufwand. Hier zeigte sich, dass alle Entscheidungshilfen mit einem grundsätzlich sehr geringen Arbeitsaufwand betrieben werden können, allerdings gab es zwischen den Entscheidungshilfen Unterschiede in der Anwendung. (...) Beim xarvio™ FIELD MANAGER muss grundsätzlich eine Anmeldung sowie Registrierung erfolgen, zudem ist dieser im Versuch auch die einzige kostenpflichtige Entscheidungshilfe.“ (Prah, K.C. (2021), S. 11)</p>
Zu welchem Grad kann die Technologie in bestehende Arbeitsprozesse integriert werden?	geringe Anpassungen sind notwendig	3	Kann in jedem Betrieb integriert werden. Allerdings müssen die Applikationskarten eingerichtet werden.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.5.2 Umweltentlastung

Abbildung 64: Index-Wert "Umweltentlastung" - Entscheidungshilfesystem



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 19: Fragenkatalog „Umweltentlastung“ - Entscheidungshilfesysteme

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad führt die Anwendung zu einer Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes?	moderater Effekt	2	<p>„Etwa 89 Prozent des PS-Einsatzes entsprechen nach Untersuchungen des Julius Kühn-Instituts (JKI) heute schon dem notwendigen Maß und somit auch dem NAP. Bei differenzierter Betrachtung der einzelnen Wirkstoffgruppen der Herbizide, Fungizide und Insektizide, die zusammen etwa 90 Prozent des Inlandsabsatzes ausmachen, wird aber auch deutlich: Das JKI beurteilt weniger die Herbizide, bei denen etwa 6 Prozent der Wirkstoffmengen fehlerhaft eingesetzt werden, als nicht angemessen. Vielmehr sind es die Fungizide und Insektizide, bei denen etwa 13 Prozent bzw. 30 Prozent der eingesetzten Wirkstoffmengen fehlerhaft angewendet werden. Unter Berücksichtigung der Anteile der Wirkstoffgruppen am Gesamtinlandsumsatz (Herbizide: 53 Prozent, Fungizide: 33 Prozent, Insektizide: 3 Prozent) ergibt sich für Fungizide das größte Optimierungspotential. Zur weiteren Verbesserung der Fungizidanwendung stehen Landwirten Entscheidungshilfen für den Einsatz zur Verfügung. Durch Anpassung der Applikationen an die Epidemiologie der Erreger sollen fehlerhafte Anwendungen minimiert werden, ohne dabei die Erträge nennenswert zu mindern.“ (Prahl, K. C. (2021), S. 8)</p> <p>Bei durchschnittlichem und trockenem Wetter Einsparungen von ca. 30 Prozent Fungizid möglich.</p> <p>„Daher spiegeln die agronomischen Modelle im Vergleich zu regionalen Entscheidungssystemen ein präziseres Krankheitsrisiko auf der Fläche wider. Durch die genaueren Empfehlungen steigt das Einsparpotential für den Landwirt. Für die feldspezifischen Prognosen gibt der Landwirt vor der Saison 6 Feldinformationen (Kultur, Aussattermin, Sorte, Ertragserwartung, Bodenbearbeitung, Vorfrucht) an. Auf Basis dieser Daten und den lokalen</p>

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
			<p>Wetterbedingungen werden die Applikationstermine durch die agronomischen Modelle optimiert.“ (Xarvio Kundenservice (2022))</p> <p>Der FIELD MANAGER kann nur bei Fungiziden, nicht aber bei Herbiziden eingesetzt werden.</p> <p>Über die Einsparung von Insektiziden im Raps kann aktuell keine Auskunft gegeben werden. „Aktuell führen wir im Raps keine Kleinparzellenversuche mit Insektiziden mehr durch. Obwohl das Potential für Einsparungen definitiv auch durch unsere Modelle gegeben ist, konzentrieren wir uns bei der Modellbewertung auf das verbesserte Timing im Vergleich zur gängigen Praxis in Data Collection Versuchen. Im Prinzip führt dies zu effektiveren Behandlungen. Dadurch wird das Timing verbessert, aber auch in vielen Fällen Applikationen eingespart, etwa weil wir bis zu einem bestimmten BBCH - Stadium ab dem der Schädling dann nicht mehr gefährlich ist, keine Zuflugsbedingungen errechnen und dann auch keine Warnung mehr ausgeben.“ (Xarvio Kundenservice (2022))</p>
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Bodenstruktur (z.B. keine Bodenverdichtung)?	kein Effekt	0	Keine Veränderung gegenüber der herkömmlichen Praxis.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Verminderung von Pestizideinträgen in das Grundwasser?	moderater Effekt	2	Durch die Fungizideinsparungen weniger Einträge in Grundwasser.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Luft (Abgase, Aerosole, Dämpfe, Geruchsstoffe, Pestizide)?	moderater Effekt	2	Durch die Fungizideinsparungen weniger Einträge in die Luft.

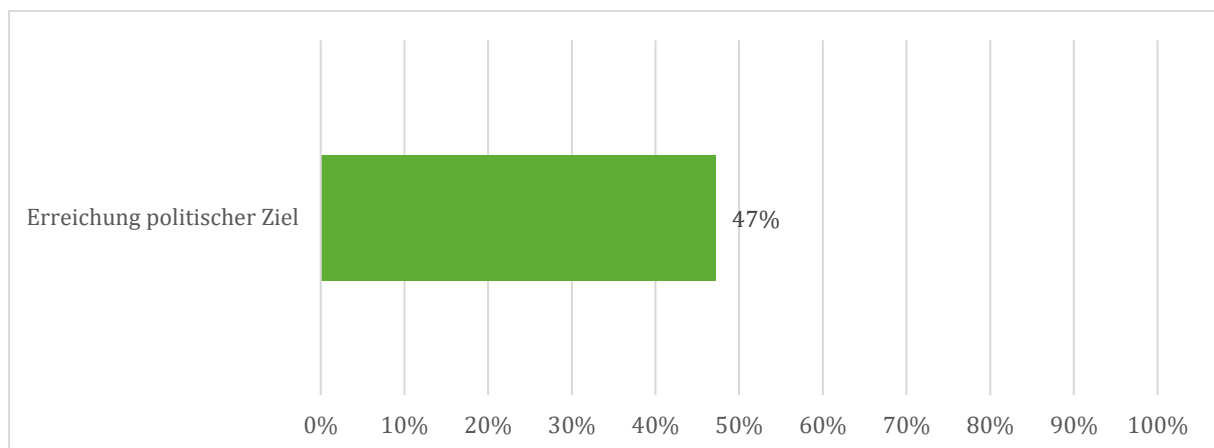
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) auf den Feldern?	geringer Effekt	1	<p>„Die satellitengestützte Betrachtung eines Ackers ermöglicht es, zwischen Hohertragszonen und ertragsschwachen Teilstücken zu unterscheiden. Erstere wird er intensiv bewirtschaften, während der Landwirt auf den Niedrigertragszonen Betriebsmittel reduziert. Doch auch hier, auf diesen ackerbaulich unattraktiven Flächen, kann ein Mehrwert geschaffen werden: Mit dem Anlegen von Blühstreifen wird ökologisch im Sinne der Artenvielfalt gehandelt und gleichzeitig wirtschaftlicher Nutzen generiert.</p> <p>Eine Grundlage für die teilflächenspezifische Aussaat von Blühstreifen ist zum Beispiel die Talking-Fields-Basiskarte, die von der Baywa Tochter Vista GmbH bereitgestellt wird. Sie visualisiert die unterschiedlichen Ertragszonen eines Ackerschlags sowie auch Waldgebiete und ausgewiesene Schutzgebiete. Dies ist besonders hilfreich. Denn Niedrigertragszonen, die an ökologisch wertvolle Flächen angrenzen, sind prädestiniert für den Anbau von Blühstreifen. Hinter dieser Basiskarte steht eine fundierte Analyse der Biomasseentwicklung auf dem Ackerschlag. Hier greifen Langzeitbeobachtungen per Satellit von mindestens fünf Jahren, oftmals mehr als hundert Aufnahmen. Basierend auf der Auswertung dieser Informationsfülle werden die unterschiedlichen Zonen innerhalb eines Ackers kartiert. Flächen, die sich besonders für Blühstreifen eignen, sind entsprechend definiert und gekennzeichnet.“ (Redaktion Agrarzeitung (2020))</p>
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) am Feldrand?	geringer Effekt	1	Durch die Maßnahmen oben, positiver Effekt zu erwarten.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf die Erhaltung der Biodiversität (Flora, Fauna, Pilze) in Gewässern?	geringer Effekt	1	Durch die Fungizideinsparungen und die Maßnahmen oben möglicherweise leicht positiver Effekt auf die Biodiversität.
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf CO ₂ -Emissionen beim Ackerbau?	kein Effekt	0	<p>Es wird von keinem positiven Effekt auf die Biodiversität gegenüber einer herkömmlichen Applikation ausgegangen.</p> <p>Ggf. geringere CO₂-Emissionen durch die Einsparungen von Fungiziden bei der Herstellung, aber durch die Verwendung der Software (Serverleistung etc.) entstehen wiederum CO₂-Emissionen.</p>

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad hat die Anwendung der Innovation einen positiven Effekt auf Pflanzenschutzmittel-Rückstände auf Lebensmitteln?	moderater Effekt	2	Durch die Einsparung von Fungiziden, weniger Pflanzenschutzmittelrückstände.
Zu welchem Grad sind durch die Anwendung der Innovation Substitutionseffekte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, häufigere Überfahrten) zu erwarten?	kein Effekt	4	Keine Effekte gegenüber der herkömmlichen Praxis erwartet.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.5.3 Erreichung politischer Ziele

Abbildung 65: Index-Wert "Erreichung politischer Ziele" - Entscheidungshilfesysteme



Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

Tabelle 20: Fragenkatalog „Erreichung politischer Ziele“ - Entscheidungshilfesysteme

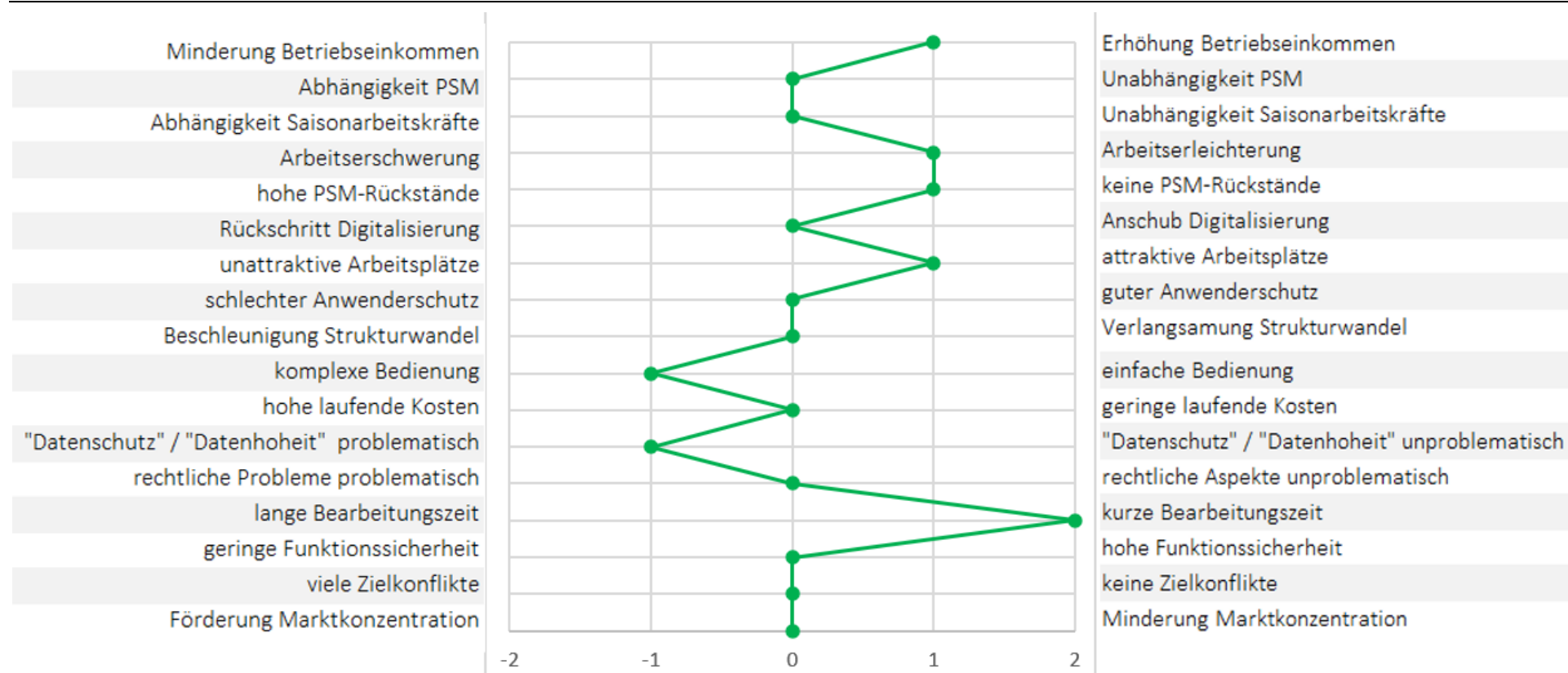
Frage	Antwort	Punkte	Begründung
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion?	moderater Effekt	2	Durch die Fungizideinsparungen werden die Produkte nachhaltiger.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf die Gewährleistung von Ernährungssicherheit?	großer Effekt	3	„In den durchgeführten Versuchen resultierte der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Praxisvariante) vergleichend zur unbehandelten Kontrolle in einer Ertragssteigerung um 20 Prozent. Dies war jedoch nur bei termingerechtem Pflanzenschutzmitteleinsatz möglich. Bei einem ungünstigen Einsatz, insbesondere bei zu spätem Fungizideinsatz nach einer Infektion, konnten die Krankheitserreger nicht ausreichend reduziert werden, um Ertragsverluste zu minimieren. Daraus lässt sich ableiten, dass hohe Anbauintensitäten einen höheren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erfordern, und der Pflanzenschutzmitteleinsatz nur bei optimaler Terminierung erfolgreich ist. Modelle wie das Integrierte Pflanzenschutzsystem (IPS) Weizen geben bei der Entscheidungsfindung bezüglich des optimalen Anwendungstermins wertvolle Hinweise.“ (Taube, F.; Kelm, M. (Hg.) (2007), S. 57)
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, bis 2030 den Einsatz und das Risiko chemischer Pestizide um 50 Prozent zu verringern und die Verwendung gefährlicherer Pestizide um 50 Prozent zu reduzieren?	geringer Effekt	2	Es werden nur Fungizide, aber keine Herbizide oder Insektizide eingespart.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, einen weltweiten Übergang zu wettbewerbsgerechter Nachhaltigkeit, d.h. dass die nachhaltigsten Lebensmittel die erschwinglichsten sind, einzuläuten?	geringer Effekt	1	Durch die Mitteleinsparungen könnten die Produkte auch minimal günstiger werden.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, 25 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 2030 mit	kein Effekt	0	Die vorgestellten Systeme tragen nicht zu diesem Ziel bei.

Frage	Antwort	Punkte	Begründung
biologischer Landwirtschaft zu bewirtschaften?			
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel, den ökologischen und klimatischen Fußabdruck des EU-Lebensmittelsystems zu verringern?	geringer Effekt	1	Durch die Einsparungen von Fungiziden kann der Fußabdruck leicht verringert werden.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf das Ziel zur Einkommensabsicherung von Landwirt*innen beizutragen?	moderater Effekt	2	Durch die Produktion nachhaltiger Lebensmittel und eine Sicherung der Ernte durch richtige Anwendungszeitpunkte der Fungizide.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Transparenz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (gemäß der Europäischen Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung und des Pflanzenschutzgesetzes)?	großer Effekt	3	Wenn die Applikation im System dokumentiert wird.
Zu welchem Grad hat die Innovation einen Effekt auf eine verbesserte Anwendung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (z.B. pflanzenbauliche Maßnahmen, Prognose, Schadschwellen)?	großer Effekt	3	Wenn die Entscheidungshilfesysteme Vorschläge im Sinne des IPS machen und diese auch befolgt werden.

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)

C.6 Chancen und Risiken

Abbildung 66: Bipolare Skala "Chancen-Risiken" - Entscheidungshilfesysteme



Quelle: Eigene Darstellung, GreenSurvey GmbH

Tabelle 21: Fragenkatalog "Chancen und Risiken" – Entscheidungshilfesysteme

Frage Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)	Antwort	Begründung
Zu welchem Grad führt die Innovation bei Neuanschaffung zu einer Erhöhung des Betriebseinkommens innerhalb der nächsten fünf Jahre? [Minderung Betriebseinkommen Erhöhung Betriebseinkommen]	1	Kosten für den xarvio™ FIELD MANAGER: 0 – 500 Euro pro Jahr „Unterm Strich sind die hohen Kosten für ein Sensorsystem nach wie vor eine Hemmschwelle für viele Betriebsleiter. Hier bieten die neuen Satellitendienste deutlich preisgünstigere Alternativen. Vor allem Landwirten, die neu in die Teilschlagbewirtschaftung einsteigen wollen, raten Sven Borchert, Karsten Twietmeyer, Dr. Hans Georg Brunn und Christoph von Breitenbuch daher, sich mit Satellitendiensten an das Thema »heranzutasten«. Bei der richtigen Vorgehensweise können sie die gleichen Ergebnisse erzielen wie mit einem Sensorsystem.“ (Rutt, K. (2020), S. 28)
Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit gegenüber der Zulassung bzw. dem Wegfallen von Wirkstoffen im Pflanzenschutz? [Abhängigkeit Unabhängigkeit]	0	Da PSM eingesetzt werden, keine Veränderung zu herkömmlicher Praxis.
Zu welchem Grad führt die Innovation zu einer Unabhängigkeit des landwirtschaftlichen Betriebs gegenüber Saisonarbeitskräften? [Abhängigkeit Unabhängigkeit]	0	Keine Veränderung zu herkömmlicher Praxis
Zu welchem Grad trägt die Innovation zu einer Arbeitserleichterung bei (körperlich oder auch bürokratisch)? [Arbeiterschwerung Arbeitserleichterung]	1	Beispiel Blühstreifen: „Der Vorteil: Nach der Aussaat kann der Landwirt die Daten zur Aussaat direkt vom Terminal oder per App in seine Schlagkartei laden, um sie als Nachweise für seinen Mehrfachtantrag (IBALIS) zu verwenden.“ (Redaktion Agrarzeitung (2020))
Wie sehr befördert die Innovation die Herstellung von Lebensmitteln, die wenig Rückstände von Pflanzenschutzmitteln aufweisen? [hohe Rückstände keine Rückstände]	1	Durch die Einsparung von PSM ist davon auszugehen, dass die Rückstände geringer sind.
Zu welchem Grad bietet die Innovation einen An Schub der Digitalisierung im ländlichen Raum? [Rückschritt Digitalisierung An Schub Digitalisierung]	0	Es ist davon auszugehen, dass digitale Technologien den Netzausbau nicht vorantreiben, sondern eher das Problem besteht, dass in Gegenden, in denen das Netz noch immer schlecht ist, diese Technologien nicht eingesetzt werden.
Zu welchem Grad sorgt die Innovation für attraktivere Arbeitsplätze im Landbau?	1	Das Einrichten und die Verwendung der Applikationskarten erfordert viel Wissen,

Frage Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)	Antwort	Begründung
[unattraktive Arbeitsplätze attraktive Arbeitsplätze]		wodurch eine höhere Qualifikation entsteht. (vgl. Pionke, S. (2020))
Zu welchem Grad bietet die Innovation einen guten oder schlechten Anwenderschutz? [schlechter Anwenderschutz guter Anwenderschutz]	0	Keine Veränderung zur herkömmlichen Praxis.
Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung weniger, aber größere Betriebe? [Beschleunigung Strukturwandel Verlangsamung Strukturwandel]	0	„Die Größe eines Betriebs ist für Angermair indessen kein Kriterium dafür, ob digitale Anwendungen wie die teilflächenspezifische Ausbringung von Pflanzenschutz oder Dünger zum Einsatz kommen können. Zwar seien entsprechend ausgerüstete Landmaschinen groß und auf weite Flächen ausgelegt. Aber: „Überbetriebliche Maschinennutzung ist hierfür eine Lösung.“ Katharina Au, die in leitender Position bei Bayer Cropscience für die Plattform Climate Field View tätig ist, ergänzt: „Die teilflächenspezifische Ausbringung von Betriebsmitteln ist nur eine Anwendung aus dem großen Bereich der digitalen Tools. Dokumentationsangebote etwa können ohne weiteres auch von kleinen Betrieben genutzt werden.““ (Pionke, S. (2020))
Wie komplex wird die Bedienung der Innovation eingestuft? [komplexe Bedienung einfache Bedienung]	-1	„Dass das Einrichten von Applikationskarten viel Know-how erfordert, räumte auch Dr. Wolfgang Angermair, Geschäftsführer der Vista – Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, ein. Die Vista GmbH ist eine Beteiligung der Baywa AG und bietet Landwirten unter anderem Feldanalysen mit Hilfe von Satellitendaten an. „Wir bieten Werkzeuge zum Erstellen von Applikationskarten an, aber das können wir nicht komplett automatisieren“, so Angermair. Der Grund: Landwirtschaftliche Betriebe seien in ihren Voraussetzungen und Ausrichtungen zu vielfältig. Da sei schon das Wissen des jeweiligen Betriebsleiters gefragt.“ (Pionke, S. (2020))
Wie hoch werden die laufenden Kosten (z.B. Reparatur, Betriebsmittel, Wartung) für die Innovation eingeschätzt? [hohe laufende Kosten geringe laufende Kosten]	0	Es wird vermutet, dass geringe jährliche Kosten für die Softwareaktualisierung entstehen.
Wie wird der Aspekt "Datenschutz" und "Datenhoheit" bei der Innovation eingeschätzt? [problematisch unproblematisch]	-1	„Die Datenhoheit liegt vollumfänglich bei den Landwirten und ist die Grundvoraussetzung für die Nutzung digitaler Technologien. xarvio™ Digital Farming Solutions setzt die besten technischen Standards für die Datensicherung mit modernen, leistungsstarken Servern und zertifizierten Dienstleistern um, damit ein hohes Maß an Datensicherheit gewährleistet werden

Frage Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)	Antwort	Begründung
		<p>kann. Der Schutz der Privatsphäre und der Daten hat für uns hohe Priorität. Aus diesem Grund arbeiten wir nur mit ISO-zertifizierten Lieferanten zusammen. Unser Cloud-Service-Anbieter ist beispielsweise nach ISO 9001, 27001, 27017 und 27018 zertifiziert, um eine herausragende Datensicherheit zu gewährleisten. Die Cloud-Server befinden sich in Frankfurt.“ (Xarvio Kundenservice (2022))</p> <p>„Beim Thema Datenschutz kommt es nach Ansicht der Experten darauf an, den Mehrwert, den das Teilen von Daten für den Landwirt bringt, mit Fragen der Datenhoheit in ein passendes Gleichgewicht zu bringen. Zwar würde die EU-Datenschutzgrundverordnung DSGVO nur personenbezogene Daten regeln, bei Smart-Farming-Angeboten aber auch Betriebsdaten in Frage stehen, die „noch viel interessanter sind“, wie Angermair erläutert. Aber für den Vista-Geschäftsführer steht eines außer Frage: „Bei uns liegen die Daten auf einem zentralen, europäischen Server, der unter europäisches Recht fällt. Und eines ist ganz elementar: Der Landwirt hat die Hoheit über die Daten.““ (Pionke, S. (2020))</p>
Wie werden mögliche rechtliche Probleme bei der Innovation eingeschätzt? [problematisch unproblematisch]	0	Hier werden keine Probleme erwartet.
Wie wird sich durch die Innovation die Bearbeitungszeit der Fläche ändern? [lange Bearbeitungszeit kurze Bearbeitungszeit]	2	„Sie können viel Zeit sparen und Pflanzenschutzmittel gezielter einsetzen.“ (Industrieverband Agrar (Hg.) (2017))
Wie hoch wird die Funktionssicherheit der Innovation eingeschätzt? [geringe Funktionssicherheit hohe Funktionssicherheit]	0	
Wie stark sind durch den Einsatz der Innovation Zielkonflikte (z.B. vermehrter Energieverbrauch, Bodenverdichtung etc.) zu erwarten? [viele Zielkonflikte keine Zielkonflikte]	0	Es werden keine Zielkonflikte erwartet.
Wie sehr befördert die Innovation einen weiteren Strukturwandel in Richtung Konzentration des Landwirtschaftsmarkts? [Förderung Marktkonzentration Minderung Marktkonzentration]	0	Da es auch kostenfreie Angebote und kleinere Unternehmen gibt, ist keine starke Monopolisierung zu erwarten.
SUMME	4	

Quelle: eigene Darstellung (GreenSurvey GmbH)