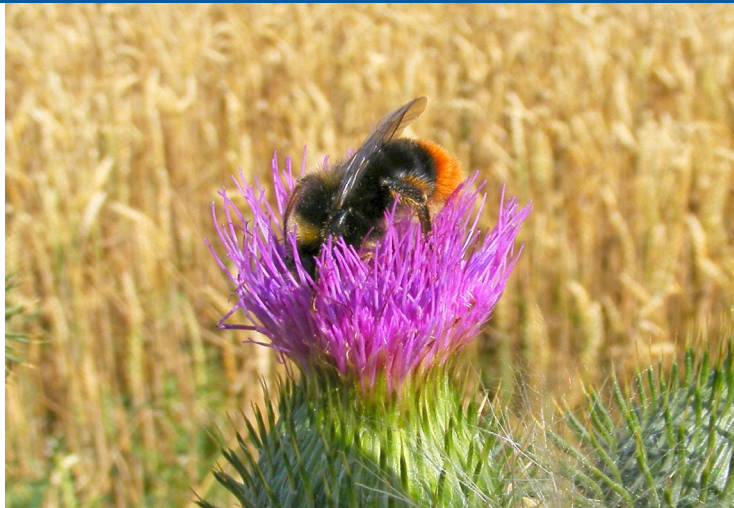


Artenschutz im Licht modernisierter Landtechniken

**Auswirkungen von modernisierter Agrartechnik auf ausgewählte,
im Ackerland vorkommende Arten(-gruppen) sowie Entwicklung
potentieller Vermeidungsmaßnahmen
– Ergebnisse einer Literatur- und Internetrecherche**

Margret Binot-Hafke, Cornelia Andersohn, Claudio Zettel,
Katrin Drastig, Jana Käthner, Karuna Koch, Heike Nitsch, Ulrich
Sander und Cornelia Weltzien





Artenschutz im Licht modernisierter Landtechniken

**Auswirkungen von modernisierter Agrartechnik auf ausge-
wählte, im Ackerland vorkommende Arten(-gruppen) sowie
Entwicklung potentieller Vermeidungsmaßnahmen
– Ergebnisse einer Literatur- und Internetrecherche**

Margret Binot-Hafke, Cornelia Andersohn, Claudio Zettel,
Katrin Drastig, Jana Käthner, Karuna Koch, Heike Nitsch,
Ulrich Sander und Cornelia Weltzien

Impressum

Titelbild: oben links, unten links und unten rechts: Foto U. Sander, oben rechts: Foto: ATB Potsdam

Adressen der Autorinnen und der Autoren:

DLR Projektträger

Dipl. Biol. Margret Binot-Hafke Heinrich-Konen-Str. 1, 53227 Bon
E-Mail: margret.binot-hafke@dlr.de

Dr. Claudio Zettel Heinrich-Konen-Str. 1, 53227 Bon
E-Mail: claudio.zettel@dlr.de

Dr. Cornelia Andersohn Heinrich-Konen-Str. 1, 53227 Bonn
E-Mail: cornelia.andersohn@dlr.de

Institut für ländliche Strukturforschung (IfLS)

Dipl. Geoökol. Heike Nitsch Kurfürstenstr. 49, 60486 Frankfurt/Main
E-Mail: nitsch@ifls.de

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)

Prof. Dr.-Ing. Cornelia Weltzien Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
E-Mail: CWeltzien@atb-potsdam.de

PD Dr. Katrin Drastig Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
E-Mail: kdrastig@atb-potsdam.de

Dr. Jana Käthner Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
E-Mail: jkaethner@atb-potsdam.de

Karuna Koch Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
E-Mail: KKoch@atb-potsdam.de

Dipl. Biol. Ulrich Sander Dollendorfer Allee 16, 53227 Bonn-Oberkassel
E-Mail: ulisander@netcologne.de

Fachbetreuung im BfN:

Hans Christian Stotzem Fachgebiet II 1.1 Zoologischer Artenschutz

Förderhinweis:

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (FKZ: 3521820500). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
Abstract	7
1 Einleitung	8
2 Methodik.....	9
2.1 Forschungsgegenstand.....	9
2.1.1 Modernisierte Agrartechniken.....	10
2.1.2 Auswahl der Arten und Artengruppen.....	11
2.2 Literatur- und Internetrecherche.....	12
2.2.1 Vorgehen zur Identifikation modernisierte Agrartechniken	12
2.2.2 Vorgehen zur Identifikation der Auswirkungen modernisierter Agrartechnik auf ausgewählte Arten und Artengruppen	16
3 Modernisierte Agrartechnik	21
3.1 Darstellung entlang der Bearbeitungsschritte ackerbaulicher Nutzung	21
3.1.1 Übergreifende allgemeine Agrartechnik und Verfahren	22
3.1.2 Bodenbearbeitung	26
3.1.3 Aussaat	30
3.1.4 Bestäubung	32
3.1.5 Pflanzenschutz	34
3.1.6 Düngung	39
3.1.7 Bewässerung	46
3.1.8 Ernte	50
3.2 Modernisierte Agrartechniken in ausgewählten Anbauverfahren.....	54
3.2.1 Ökolandbau	54
3.2.2 Paludikulturen	56
3.2.3 Agroforstsysteme	58
3.2.4 Kurzumtriebsplantagen.....	59
3.3 Modernisierte Agrartechniken in ausgewählten Kulturen	61
3.3.1 Agrartechnik in der Kartoffelproduktion	62
3.3.2 Agrartechnik in der Winterweizenproduktion	65
4 Artenschutzaspekte zu in Ackergebieten vorkommenden Arten.....	68
4.1 Säugetiere (Feldhamster, <i>Cricetus cricetus</i>).....	68
4.2 Feldvögel (Feldlerche, Kiebitz, Rebhuhn).....	69
4.2.1 Kiebitz (<i>Vanellus vanellus</i>).....	72

4.2.2	Rebhuhn (<i>Perdix perdix</i>).....	73
4.2.3	Feldlerche (<i>Alauda arvensis</i>).....	73
4.3	Amphibien (Knoblauchkröte, <i>Pelobates fuscus</i>)	74
4.4	Wildbienen (Anthophila: <i>Andrena</i> -, <i>Halictus</i> -, <i>Melitta</i> -Artenkomplexe).....	75
4.5	Regenwürmer (Lumbricidae)	79
4.6	Laufkäfer (Carabidae).....	81
5	Ergebnisse zu recherchierten Auswirkungen modernisierter Agrartechniken	86
5.1	Übersicht	86
5.2	Detaildarstellungen je Art bzw. Artengruppe	89
5.2.1	Säugetiere (Feldhamster).....	89
5.2.2	Feldvögel (Feldlerche, Kiebitz, Rebhuhn).....	94
5.2.3	Amphibien (Knoblauchkröte)	101
5.2.4	Wildbienen	106
5.2.5	Regenwürmer.....	111
5.2.6	Laufkäfer	117
6	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen und Gesamtbewertung	122
7	Fazit.....	164
8	Ausblick und Danksagung	164
9	Projektkonsortium.....	165
10	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	166
I.	Recherchierte Literatur zu modernisierter Agrartechnik.....	168
II.	Recherchierte Literatur zu Arten/Artengruppen	175
II.1	Literatur zu Säugetieren (Feldhamster)	175
II.2	Literatur zu Feldvögeln (Kiebitz, Feldlerche, Rebhuhn).....	176
II.3	Literatur zu Amphibien (Knoblauchkröte)	178
II.4	Literatur zu Wildbienen.....	179
II.5	Literatur zu Regenwürmern	186
II.6	Literatur zu Laufkäfern	191
III.	Recherchierte FuE-Projekte mit Bezug zu modernisierter Agrartechnik	195
IV.	Recherchierte FuE-Projekte mit Bezug zu den ausgewählten Arten/Artengruppen	213
	Förderdatenbank BLE *).....	216
	Abbildungsverzeichnis	219
	Tabellenverzeichnis	220

Abkürzungsverzeichnis	222
A Anhang	223
A.1 Zuordnung der Technik-Piktogramme	223

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes wurden Literatur- und Internetrecherchen sowohl zu modernisierten Agrartechniken als auch zu deren Auswirkungen auf ausgewählte Arten(-gruppen) durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im Hinblick auf eine Nutzungsmöglichkeit für die Praxis entlang der im Ackerbau erfolgenden Bearbeitungsschritte zusammengestellt. So wurden die Auswirkungen einzelner modernisierter Agrartechniken artspezifisch analysiert und potentielle Vermeidungsmaßnahmen entwickelt. Aus Sicht der Landwirtschaftspraxis erfolgte eine Evaluierung der Vermeidungsmaßnahmen sowie ergänzend Hinweise auf mögliche Synergien bzw. Konflikte mit anderen Maßnahmen zum Schutz von Arten, die im Acker oder am Acker- rand vorkommen können. Als Fazit wird festgehalten, dass die Auswirkungen einzelner Agrartechniken auf Bestände von Arten zwar angenommen bzw. abgeleitet werden können, aber sinnvolle Rückschlüsse für den Artenschutz nur im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Bewirtschaftungsverfahren und dem jeweiligen landschaftlichen Kontext gezogen werden können. Es zeigt sich vereinzelt Forschungsbedarf.

Entscheidend für den Schutz von Arten bleiben konkrete Schutz- und Hilfsmaßnahmen in Verbindung mit schonenden Bewirtschaftungsverfahren des Ackers ohne Pestizideinsatz.

Abstract

Within the framework of the project, a literature and website research were carried out on modernised agricultural techniques as well as on their effects on selected species and species groups. The results were compiled with a view to their possible use in practice along the processing steps in arable farming. The effects of modernised agricultural techniques were analysed species-specificly. Potential prevention measures were developed from the perspective of the farming practice. Additionally information on possible synergies or conflicts with conservation measures of other species occurring on the field or field edges is given. Concluding we state that effects of single agricultural techniques on species stocks can be assumed or rather derived. However, meaningful conclusions for species protection can only be drawn in connection with different management practices and the respective landscape context. There is need for research in some areas. Decisive factors for the conservation of species are rather specific conservation and support measures combined with gentle, less intensive farming management techniques, excluding pesticides.

1 Einleitung

Die Hälfte der Fläche Deutschlands wird landwirtschaftlich genutzt, ca. 70 % hiervon als Ackerland¹. Ein massiver Rückgang sowohl der Artenvielfalt als auch in den Abundanzen ist insbesondere auf intensiv genutzten Agrarflächen zu beobachten (z.B. Beckmann et al. 2019, Niggli et al. 2020, Westrich 2019, Umweltbundesamt 2023). Die Ursachen für den Biodiversitätsverlust und die dadurch bedingte Artenzusammensetzung sind multikausal: Der Einsatz von Pestiziden, die Eutrophierung, die Blüten- und Strukturarmut sowie der Verlust und die Zerschneidung von Lebensräumen sind dabei aber von besonderer Bedeutung (z.B. Zaller & Bühl 2019, Adams et al. 2021, Rote-Liste-Gremium Amphibien und Reptilien 2020). Je nach artspezifischen Lebensraumansprüchen und Verbreitung sind hiervon insbesondere solche Arten betroffen, die im oder am Rand von Ackerland als Offenlandarten auf eine ausreichende Blütenvielfalt (z.B. Neumüller et al. 2020), ausgewählte Pflanzenarten (z.B. Nitsch et al. 2019), Bodenqualität oder Strukturvielfalt (Vegetationshöhe und -bedeckung: z.B. Oelmann et al. 2021, Hoffmann et al. 2018, LfU 2023; Gehölzanteile: Langgemach et al. 2019, Sybertz et al. 2019 etc.) angewiesen sind. Zudem sind von Maßnahmen auf Ackerflächen auch solche Arten betroffen, die als wandernde Arten diese zeitweise queren müssen, um zu weiteren Teilhabitaten (z.B. Gewässer, Gehölzstrukturen) zu gelangen.

Weiterhin sind die in Flächen mit ackerbaulicher Nutzung vorkommenden Arten zudem aufgrund ihrer verschiedenen Entwicklungs- und Aktivitätsphasen und aufgrund ihres Ausbreitungspotentials (z.B. Leeb et al. 2020, Lenhardt et al. 2015) sowohl den oben genannten Gefährdungsursachen entweder als Zielarten (im Rahmen von Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen) oder auch als Nicht-Zielarten direkt als auch indirekt ausgesetzt. Letzteres beispielsweise dadurch, dass ihnen das für das eigene Überleben erforderliche Nahrungsangebot entzogen wird (z.B. Fledermäuse oder Kleinsäuger, vgl. Meinig et al. 2020).

Die unterschiedlichen Anbauverfahren (z.B. intensive oder extensive Bewirtschaftung, Ökolandbau, mit oder ohne an Zielarten oder regionale Leitbilder angepassten Maßnahmen, Aspekte von Auswirkungen von Fruchtfolgen und Feldgrößen berücksichtigend, Agroforstsysteme, Paludikulturen etc.) haben dabei verschiedene Auswirkungen auf die Arten. In zahlreichen Forschungsprojekten, wie z.B. im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt (BfN 2023, Stiftung Rheinische Kulturlandschaft 2023, FINKA-Projekt 2023), aber auch im Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN; BLE 2023, z.B. F.R.A.N.Z.-Projekt), im Programm zur Innovationsförderung sowie weiterer Förderinitiativen und -strategien (Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau², Aktionsprogramm Insektenschutz³) wurden und werden diese Zusammenhänge untersucht – auch mit dem Ziel, die Gefährdungsursachen für die Arten zu reduzieren bzw. die Biodiversität zu fördern. In diesen und weiteren nationalen und internationalen Forschungs- und Umsetzungsprojekten sowie Artenschutz- und -hilfsprogrammen der Bundesländer etc. finden sich somit inzwischen zahlreiche Ergebnisse und Hinweise, aus denen eine an die Belange des Artenschutzes regional angepasste ackerbauliche Bewirtschaftung abgeleitet werden kann (vgl. auch Cole et al. 2020, Gayer et al. 2021, Dieker et al. 2021).

¹ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183734/umfrage/landwirtschaftliche-nutzflaeche-in-deutschland-2010/> (Abruf 16.03.2022)

² BMEL - Ökologischer Landbau - Öko-Landbau stärken: Zukunftsstrategie ökologischer Landbau

³ Aktionsprogramm Insektenschutz | Publikation | BMU

In diesem Forschungsprojekt wird der Einfluss modernisierter Agrartechnik auf die Gefährdungssituation von ausgewählten auf oder im Acker vorkommenden Arten untersucht. Ziel ist auf Basis von Literatur- und Internetrecherchen mögliche Entwicklungen im Bereich der Agrartechnik zu identifizieren und entsprechende Artenschutzmaßnahmen abzuleiten. Die Betrachtung der Grünlandnutzung und des Gartenbaus wurden hierbei ausgeklammert.

Zur Beschreibung der Neuentwicklungen und Veränderungen der Agrartechnik im Hinblick auf eine modernisierte Agrartechnik werden sie den herkömmlich eingesetzten Agrartechniken gegenübergestellt. Auf dieser Grundlage können die technischen Merkmale und Wirkungen in Bezug auf die Arten differenziert betrachtet werden. Ausgehend von dem Ziel einen Katalog mit Vermeidungsmaßnahmen zu entwickeln, der aus Artenschutzsicht konkret in der Praxis angewendet werden kann, folgten die Recherchen und Ergebnisdarstellungen einer einheitlichen Gliederung: Die Bearbeitungsschritte einer ackerbaulichen Nutzung. Diese Gliederung wurde bei der Darstellung der Agrartechniken in der gesamten Bandbreite von extensiven hin zur intensiven Produktionsverfahren beibehalten. Zusätzlich wurden modernisierte Techniken in den ausgewählten Anbauverfahren Paludikulturen, Ökolandbau, Agrarforstsysteme und Kurzumtriebsplantagen beschrieben. Diese wurden jedoch nicht spezifisch auf ihre möglichen Auswirkungen auf den Artenschutz untersucht, da insbesondere Paludikulturen und Kurzumtriebsplantagen Anbauverfahren sind, die sich von der im Vorhaben im Fokus stehenden Ackernutzung sehr stark unterscheiden. Ausgewählte Angaben zur untersuchten Technik, die Hinweise auf bedeutsame verfahrenstechnische Maßnahmen, wie Fruchtfolge, Zwischenfrucht, Sortenwahl und Ackergröße betreffen, wurden ebenfalls mit aufgenommen.

Dem Projekt zugrunde liegt ein interdisziplinäres Konsortium bestehend aus dem DLR Projektträger (DLR-PT), dem Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie in Potsdam (ATB), dem Institut für Ländliche Strukturforchung an der Goethe-Universität Frankfurt am Main (IfLS) und Ulrich Sander als Artexperten. Darüber hinaus wurden weitere Expert*innen und Stakeholder hinzugezogen. In einer 23-köpfigen Expertenrunde wurden die Zwischenergebnisse der Analyse reflektiert und Anregungen aus dem erweiterten Expertenkreis von Sachverständigen der Agrartechnik-Branche und des Artenschutzes hinzugenommen (im Rahmen von Projektarbeitsgruppensitzungen, PAG).

2 Methodik

2.1 Forschungsgegenstand

Ein wesentliches Ziel des Forschungsprojektes war es, diejenigen aktuell und zukünftig eingesetzten Agrartechniken zu identifizieren, zu denen verifizierbare Auswirkungen auf ausgewählte Arten und Artengruppen beobachtet und veröffentlicht wurden. Aufbauend auf diesen Zwischenergebnissen sollten die Auswirkungen insbesondere aus Artenschutzsicht evaluiert werden. Im Fall von festgestellten oder vermuteten negativen Auswirkungen war es weiterhin Projektziel, konkrete Vermeidungsmaßnahmen für die Praxis zu entwickeln.

Die Komplexität von Faktoren, die bei der Anwendung einer bestimmten Technik in sehr unterschiedlicher Weise auf Arten und deren Lebensräume wirken, ist sehr hoch und – aufgrund fehlender statischer Rahmenbedingungen – nicht allein von der eingesetzten Technik abhängig. Hier spielen beispielsweise nicht nur die standörtlichen Bedingungen, Bodenart, Schlaggröße, Witterung, klimatische Aspekte, Bewirtschaftungsart (Anbaufrucht- und -

verfahren, Düngung, eingesetzte Pestizide etc.) eine Rolle. Auch die sehr unterschiedlichen und ebenfalls komplexen Ansprüche von Arten, die Teilhabitate in Ackerrandbereichen besiedeln, den Acker selbst als (Teil-)Lebensraum nutzen oder zeitweise queren, sind hierbei zu berücksichtigen. Für die Untersuchungen zum Einfluss modernisierter Agrartechniken auf Arten, die in und an ackerbaulich genutzten Flächen vorkommen, wurden daher die beiden Themenfelder – modernisierte Agrartechniken einerseits und Arten/Artengruppen andererseits – methodisch zunächst getrennt analysiert (vgl. auch Kap. 3 und Kap. 4):

- a. Welche Agrartechniken sind als „modernisiert“ zu bezeichnen, d.h. welche werden aktuell und zukünftig eingesetzt? Was genau macht die Veränderung gegenüber herkömmlicher Technik aus? Gibt es hierbei erkennbare Trends?
- b. Welche Arten und Artengruppen sind aufgrund ihrer Lebensraumansprüche und bekannter Gefährdungssituation geeignet, die Auswirkungen modernisierter Agrartechniken erkennbar zu machen?

Die Identifikation der zu betrachtenden Agrartechniken und Arten stellte die Grundlage für die anschließende mehrstufige Literatur- und Internetrecherche dar. Die Vorgehensweise der Bewertung der Agrartechniken auf Basis der Recherche-Ergebnisse wird in Kapitel 2.2.2 erläutert.

Die in den jeweiligen Teilarbeitsschritten erzielten (Zwischen-)Ergebnisse (vgl. Kap. 3 und 4) werden in diesem Bericht einheitlich so gegliedert, dass die Agrartechniken den einzelnen ackerbaulichen Bearbeitungsschritten zugeordnet werden.

2.1.1 Modernisierte Agrartechniken

Für eine zielorientierte Eingrenzung der Recherche wurde zunächst ein gemeinsames Verständnis zu den relevanten Begriffen und Themenfeldern erarbeitet, auf das sich sowohl das Projektkonsortium als auch die weiteren Expertinnen und Experten (zu dem einbezogenen Expertenkreis: s. Kap. 8) einigten. Die Ergebnisse zur Definition von 'Agrartechnik' als auch von 'Modernisierter Agrartechnik' (vgl. Kasten 1 und Kasten 2), so wie sie hier im Forschungsprojekt verwendet werden, sind die Grundlage für die im weiteren durchgeführten Recherchen.

Kasten 1: Begriffsverwendung 'Agrartechnik'

Allgemein wird unter dem Begriff 'Technik' eine fertige, realisierte Problemlösung verstanden. Agrartechnik beinhaltet demnach sowohl Maschinentechnik, Sensortechnik, Agronomische Anbau-Technik als auch Anbauverfahren im Agrarbereich. Technologie wird im Gegensatz dazu als die Wissenschaft von der Technik definiert. Während Technik den oben bestimmten Bereich der konkreten Erfahrungswirklichkeit bezeichnet, meint Technologie somit die Menge wissenschaftlich systematisierter Aussagen über jenen Wirklichkeitsbereich (vgl. Ropohl 2009, S. 363).

Kasten 2: Begriffsverwendung `Modernisierte Agrartechnik`

Modernisierte Agrartechnik stellt gegenüber dem bisherigen Stand einer Agrartechnik eine Weiterentwicklung hinsichtlich der technischen Konzeption, Umsetzung oder Anwendung dieser Technik und ihrer Einbettung dar. Eine Modernisierung kann in diesem Sinn auf das einzelne technische Element, z.B. ein Gerät oder eine Maschine, bezogen sein oder auf deren Anwendungsmöglichkeiten (z.B. Bearbeitungsmöglichkeiten zur teilflächenspezifischen oder pflanzenindividuellen Behandlung erweitern; die Kombination nachhaltiger Verfahren, z.B. Entwicklungen zur Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Zwischenfrucht und Sortenwahl, in Bezug auf deren systemische Einbettung ermöglichen). Modernisierte Agrartechnik unterscheidet sich von bisheriger Technik durch zusätzliche Eigenschaften oder Anwendungsverfahren, die den aktuellen Anforderungen an effiziente Ressourcennutzung gerecht werden.

Im vorliegenden Bericht wird der Begriff `Modernisierte Agrartechnik` verwendet, worunter ggf. sowohl agrartechnische als auch agrartechnologische Aspekte subsummiert werden.

Entsprechend dieser Definition von `Modernisierten Agrartechniken` werden die Rechercheergebnisse zu aktuellen und in Entwicklung befindlichen, neuen und zukünftigen Ackerbautechniken verschiedenen Bearbeitungsschritten der ackerbaulichen Nutzung gemäß folgender Gliederung zugeordnet (vgl. auch Kap. 3.1):

- a. Bodenbearbeitung
- b. Aussaat
- c. Bestäubung
- d. Pflanzenschutz
- e. Düngung
- f. Bewässerung
- g. Ernte

Weiterhin erfolgt eine Zuordnung der Agrartechniken zu ausgewählten Anbauverfahren (Ökolandbau, Paludikulturen, Agroforstsysteme, Kurzumtriebsplantagen; vgl. Kap. 3.2).

2.1.2 Auswahl der Arten und Artengruppen

Damit wesentliche Auswirkungen modernisierter Agrartechniken auf Arten erfasst werden können, sind für die Auswahl der Arten und Artengruppen, zu denen potentielle Effekte recherchiert werden sollen, folgende Aspekte relevant:

- (Teil-)Lebensräume **auf dem Acker**;
- (Teil-)Lebensräume in verschiedenen Schichten des **Ackerbodens**;
- Vertreter unterschiedlicher **Trophie-Ebenen** (Konsumenten I. Ordnung, Konsumenten II. Ordnung, Destruenten);
- Spezieller Artenschutz: **Gefährdungs- und Schutzstatus**;
- Artspezifische Ansprüche: u.a. **spezifische Habitatrequisiten**, hohe Bedeutung für **Ökosystemleistung**; **Aktionsradius**; insgesamt **geringe Anpassungsfähigkeit** und/oder **geringes Fluchtpotential**.

Im Ergebnis treffen nicht alle diese Kriterien auf die ausgewählten Arten(-gruppen) zu. So weisen beispielsweise einige Arten, wie z. B. Feldhamster, Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche oder Knoblauchkröte hohe Gefährdungsgrade entsprechend den Roten Listen auf, während dieser Faktor für die Auswahl ganzer Artengruppen, wie z.B. die Regenwürmer, weniger relevant ist. Die Entscheidung, Regenwürmer mit in die Untersuchung aufzunehmen, ist vielmehr auf die Tatsache zurückzuführen, dass diese Arten und ihre Abundanzen gute Indikatoren für eine entsprechende Bodenqualität darstellen. Da sie für die Bodenfruchtbarkeit auch aus landwirtschaftlicher Sicht eine hohe Bedeutung haben, konnte von einer erhöhten Anzahl an Studien zu Auswirkungen auf diese Artengruppe ausgegangen werden.

In Rücksprache auch mit externen Expertinnen und Experten wurden auf der Grundlage der o.g. Kriterien für dieses Projekt sowohl einzelne Arten (Feldhamster, Knoblauchkröte, Feldlerche, Kiebitz, Rebhuhn, div. Wildbienen-Arten) als auch Artengruppen (Regenwürmer, Laufkäfer) für die weitere Recherche und Auswertung festgelegt.

2.2 Literatur- und Internetrecherche

2.2.1 Vorgehen zur Identifikation modernisierte Agrartechniken

Die Recherche nach modernisierten Agrartechniken wurde mehrstufig anhand einer Analyse von Veröffentlichungen (Print und Internet), Identifikation aktueller Forschungsprojekte (Datenbankrecherchen) und über die Einholung von Erfahrungswissen (Expertengespräche) vorgenommen. Die verfügbaren und relevanten Quellen aus einer Zeitspanne von rund 30 Jahren zum Stand der Agrartechnik wurden gesichtet. Im Vordergrund des Untersuchungsgegenstandes nach neue(re)n Techniken standen Ergebnisse aus den jüngsten sieben Jahren.

Im Detail beinhaltet die Literaturrecherche eine Analyse folgender Primärquellen:

- Veröffentlichungskatalog der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (DLG, DLR Prüfberichte);
- Veröffentlichungskatalog des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, LEFL);
- Veröffentlichungskatalog der Max-Eyth Gesellschaft Agrartechnik im Verein Deutscher Ingenieure (VDI);
- Sichtung einschlägiger aktueller Fachzeitschriften (u.a. „Eilbote“, „Landtechnik“);
- Auswertung von Förderdatenbanken nach Forschungs- und Entwicklungsprojekten („Foe-kat“ des Bundes, BLE-, BfN-Datenbank);
- Internetrecherche zu Veröffentlichungen auf den Websites ausgewählter Forschungseinrichtungen zur Land- und Agrartechnik, einzelner Veröffentlichungen einschlägiger Landmaschinenhersteller sowie das Jahrbuch Agrartechnik.

Sofern besondere Gründe für die Berücksichtigung auch älterer Quellen / Literatur sprachen, wurden diese ebenfalls in die Ergebnisse hinzugenommen. Aus den recherchierten Veröffentlichungen in Google Scholar (GS) in Deutsch und in Web of Science (WoS) bzw. Scopus in Englisch (vgl. Tab. 1), die sich mit der Thematik befassen, wurde eine Auswahl für eine vertiefte Sichtung getroffen (vgl. Abb. 1). Alle vorsondierten recherchierten Veröffentlichungen und

FuE-Projekte wurden in einer zweiten Sichtung anhand der Abstracts (in WoS/Scopus, GS) oder ggf. der gesamte Text (in GS) auf ihre Relevanz geprüft.

Tab. 1: Suchstring für die Literaturrecherche zu Agrartechnik.

Google Scholar			Web of Science / Scopus		
Schlagwort	UND	UND	Keywords	UND	UND
Agrartechnik	Bodenbearbeitung	<i>(einzelne Technik, wie z.B. Pflug)</i>	Agricultural technique	Soil tillage	<i>(einzelne Technik, wie z.B. Plough)</i>
Agrartechnik	Saatbettbereitung		Agricultural technique	Seedbed preparation	
Agrartechnik	Aussaat		Agricultural technique	Seeding	
Agrartechnik	Bestäubung		Agricultural technique	Pollination	
Agrartechnik	Düngung		Agricultural technique	Fertilisation	
Agrartechnik	Pflanzenschutz		Agricultural technique	Plant protection	
Agrartechnik	Bewässerung		Agricultural technique	Irrigation	
Agrartechnik	Ernte		Agricultural technique	Harvest	

Gleichzeitig erfolgte die Zuordnung der ermittelten Veröffentlichungen mit relevanten Inhalten zu den gängigen bzw. modernisierten Agrartechniken. Darüber hinaus wurden Informationen und Hinweise zu Trendentwicklungen aufgenommen (s.u.).

Die Literatur- und Internetrecherche sowie Auswertung der Förderdatenbanken / Datensammlungen wurde um das Erfahrungswissen von Expertinnen und Experten aus dem Projektkonsortium und zusätzlich einbezogener Expertise angereichert. Die Hinweise wurden genutzt, um weitere relevante Literatur sowie Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu ermitteln. Die recherchierte und als relevant ausgewertete Literatur werden ebenso wie auch die relevanten FuE-Projekte für die weiteren Auswertungsschritte genutzt. Eine entsprechende Auflistung findet sich im Literatur- und Quellenverzeichnis (Kap. 10).

In Auswertung dessen werden die ermittelten Modernisierungen in der Agrartechnik in diesem Bericht folgendermaßen dargestellt:

1. Agrartechnik bzw. modernisierte Agrartechnik, gegliedert in Bearbeitungsschritte (vgl. Kap. 3.1),
2. Modernisierte Agrartechnik in ausgewählten neuartigen Anbauverfahren (vgl. Kap. 3.2),
3. Modernisierte Agrartechnik in ausgewählten Kulturen (vgl. Kap. 3.3).

Beispielhaft wird die Vorgehensweise der Literaturrecherche für modernisierte Agrartechnik mit Pflug nachfolgend dargestellt:

- Festlegen von Keywords (englisch und deutsch);
- Englisch zur Verwendung für die Recherche bei WoS/Scopus, Deutsch für die Recherche in Google Scholar;
- Datei mit Keywords und Hits erstellen; z.B. bei Google Scholar: „Agrartechnik, Bodenbearbeitung, Pflug“.

Der methodische Rechercheansatz wird am Beispiel der Suche in Google Scholar zu Agrartechniken im Bearbeitungsschritt „Bewässerung“ schematisch erläutert (Abb. 1).

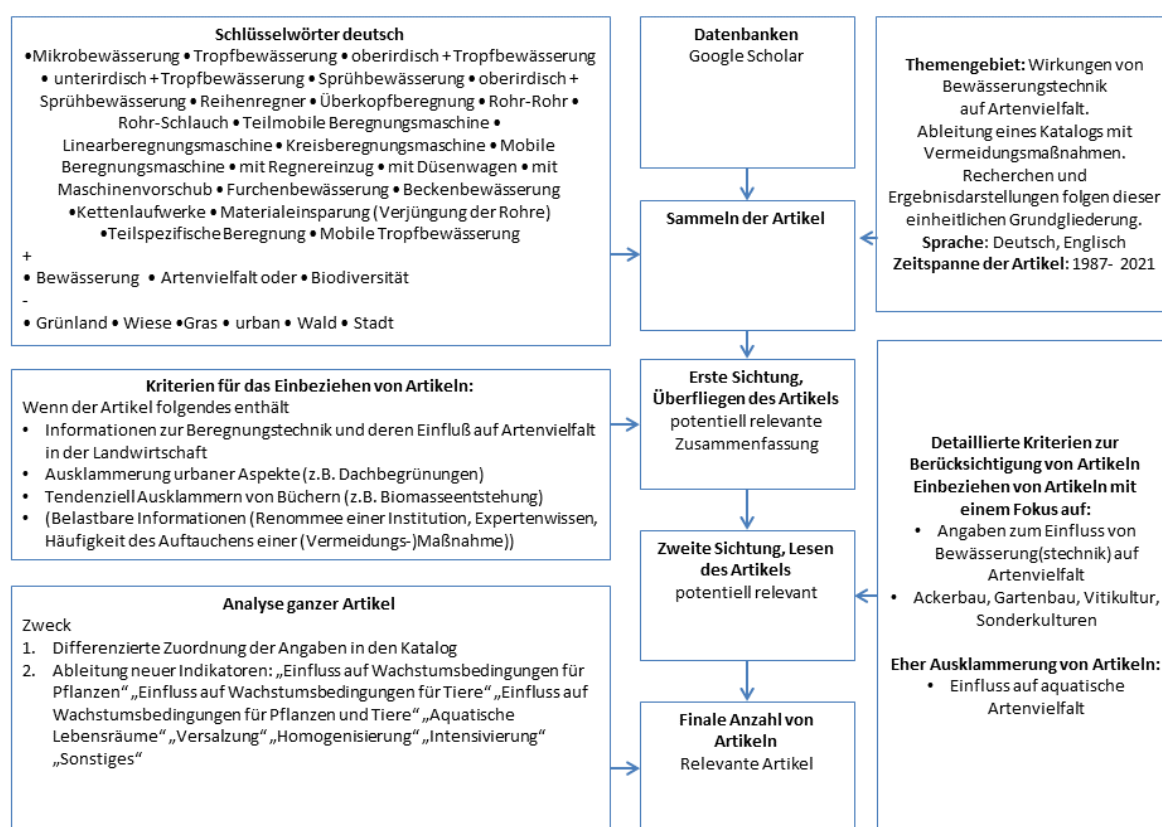


Abb. 1: Methodischer Rechercheansatz am Beispiel der Suche in Google Scholar zu Bewässerung. (Quelle: ATB/DLR-PT 2022).

Für eine Einordnung einer modernisierten Technik als „Trend“ (einer als marktweisend einzu-stufenden aufkommenden Technik) wurde vorausgesetzt, dass mehrere relevante Artikel vor-liegen, aus denen diese Einschätzung ableitbar ist. Hinweise aus Forschungsprojekten sowie aus dem internen Expertenkreis fanden darüber hinaus für die Einstufung als zukünftig rele-vante Agrartechnik Berücksichtigung. Zusätzlich wurde dieses Ergebnis im Rahmen einer pro-jektbegleitenden Arbeitsgruppensitzung (PAG) den teilnehmenden externen Wissenschaftle-rinnen und Wissenschaftlern vorgestellt. Nur nach positiver Bestätigung in allen Phasen wurde die jeweilige Technik als „Trend“ gekennzeichnet. Die Auswertung basiert prioritär auf den identifizierten und analysierten Publikationen und Forschungsprojekten. Hierfür wurden

insgesamt 25.624 Publikationen, von denen 934 als potenziell bedeutend identifiziert und analysiert (Tab. 2, Abb. 2).

Tab. 2: Recherchierte, ausgewertete und als relevant eingestufte Publikationen zu modernisierter Agrartechnik.

Kategorie	Vgl. Kapitel	Recherchierte Artikel u. Webseiten	Analysierte Artikel u. Webseiten	Hinweise auf Trends
Agrartechnik, allg.	3.1.1	1.557	12	5
Bodenbearbeitung u. Saatbettbereitung	3.1.2	2.456	151	39
Aussaat	3.1.3	5.702	206	20
Bestäubung	3.1.4	420	20	0
Pflanzenschutz	3.1.5	2.407	111	10
Düngung	3.1.6	3.294	87	10
Bewässerung	3.1.7	4.094	143	9
Ernte	3.1.8	5.694	204	4
Summe		25.624	934	97

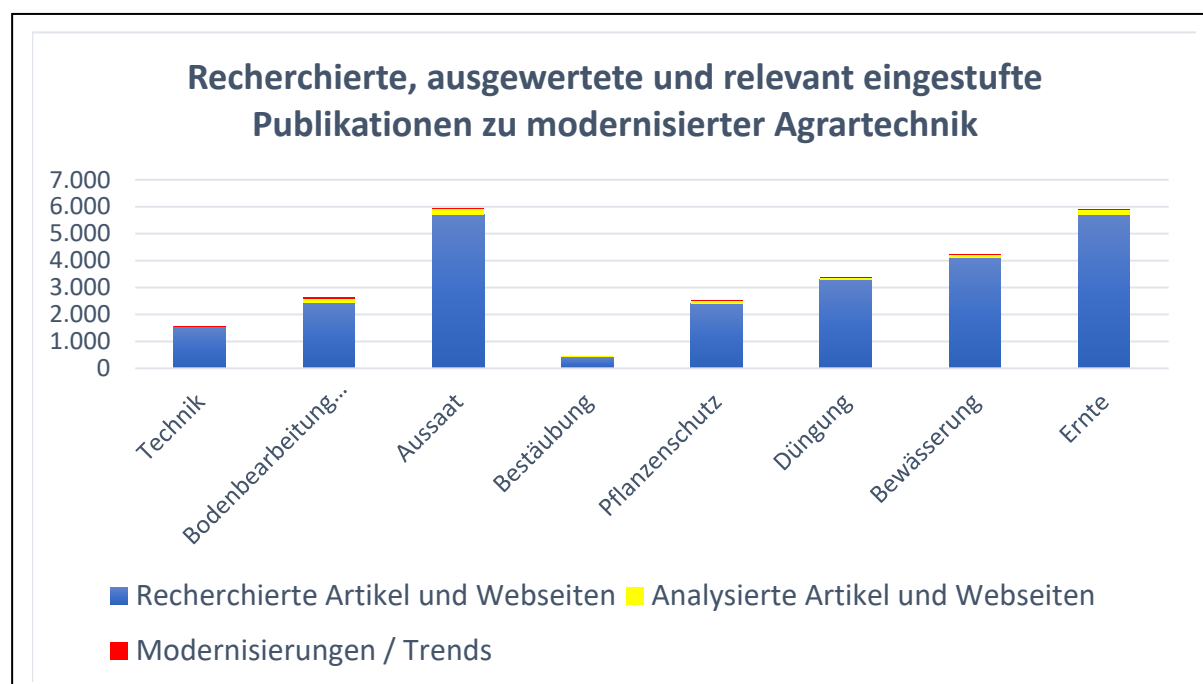


Abb. 2: Verteilung der ausgewerteten Artikel mit Fokus auf Agrartechniken entlang landwirtschaftlicher Bearbeitungsschritte (vgl. Kap. 3.1; n = 25.624; Quelle: ATB/DLR-PT 2022).

Im Ergebnis der Auswertung standen rund 1.000 Publikationen, die den Fokus auf modernisierte Landtechniken legen und vertieft ausgewertet wurden. Diese Publikationen verteilen sich auf die einzelnen Bearbeitungsschritte wie in Abbildung 2 dargestellt.

Zusätzlich wurden Förderdatenbanken auf relevante Forschungsprojekte zur Weiterentwicklung der Landtechnik in Deutschland ausgewertet (s.o.). Die Auswertung der Datenbanken ergab insgesamt 124 aktuell laufende Forschungsprojekte mit Relevanz für den Untersuchungsgegenstand. Die Zuordnung zu den einzelnen Bearbeitungsschritten verdeutlicht Abbildung 3. Die vollständige Liste der recherchierten FuE-Projekte ist dem Literatur- und Quellenverzeichnis beigelegt (s. Anhang).

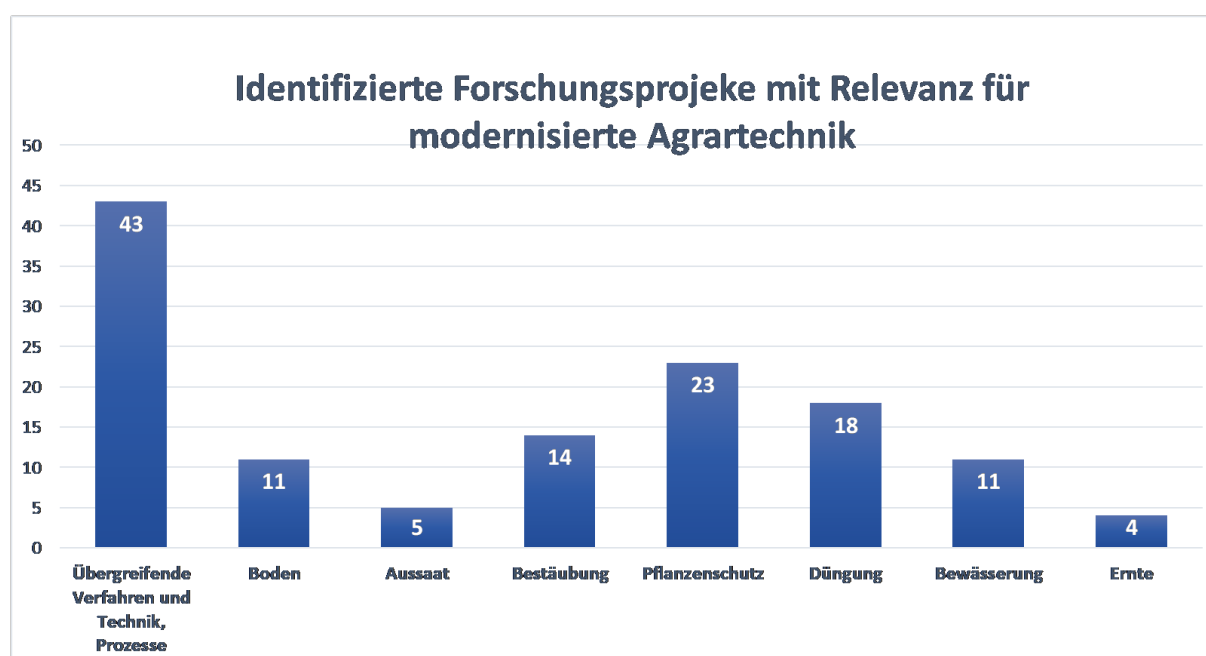


Abb. 3: Verteilung der recherchierten Forschungsprojekte zu modernisierter Agrartechnik in Deutschland entlang der Bearbeitungsschritte (Quelle: DLR-PT 2022; Auswertung der Förderdatenbanken FOEKAT [BMEL, BMBF, BMWK, BMUV], BLE und EIP (Länder); n=124 Projekte; Mehrfachnennung möglich; Stichtag 14.03.2022).

2.2.2 Vorgehen zur Identifikation der Auswirkungen modernisierter Agrartechnik auf ausgewählte Arten und Artengruppen

Die Literatur- und Internetrecherche wurde entlang von Arten(-gruppen) in Kombination mit den im ersten Schritt als „modernisiert“ definierten Agrartechnik vorgenommen.

Um sicherzustellen, dass alle potentiell relevanten Artikel erfasst werden, wurde die Literaturrecherche zweigleisig durchgeführt (vgl. auch Abb. 4):

- a. Zum einen wurde eine Literatur- und Projektrecherche zu den ausgewählten Arten und Artengruppen durchgeführt (Suchkriterium: Name der Art (z.B. field hamster OR cricetus cricetus). Die Treffer wurden thematisch auf potentielle Relevanz untersucht (Kriterien: ‚Acker‘; ‚Auswirkungen von Agrarbewirtschaftungsmethoden auf

die Art'; passende geographische Zuordnung (kühl gemäßigtes Klima).

- b. Zum anderen wurde eine Literatur- und Projektrecherche zu modernisierter Agrartechnik (Suchkriterium: z.B. robot) sowie Agrarbearbeitungsschritt (Suchkriterien: z.B. AND seedbed preparation, seeding, fertilization...) in Kombination mit einer Artengruppe (Suchkriterien: z.B. AND carabidae OR ground beetles) recherchiert. Auch die Treffer dieser Recherche wurden nach den o.g. Kriterien (s. a.) auf ihre thematisch potentielle Relevanz untersucht (Erstdurchsicht).

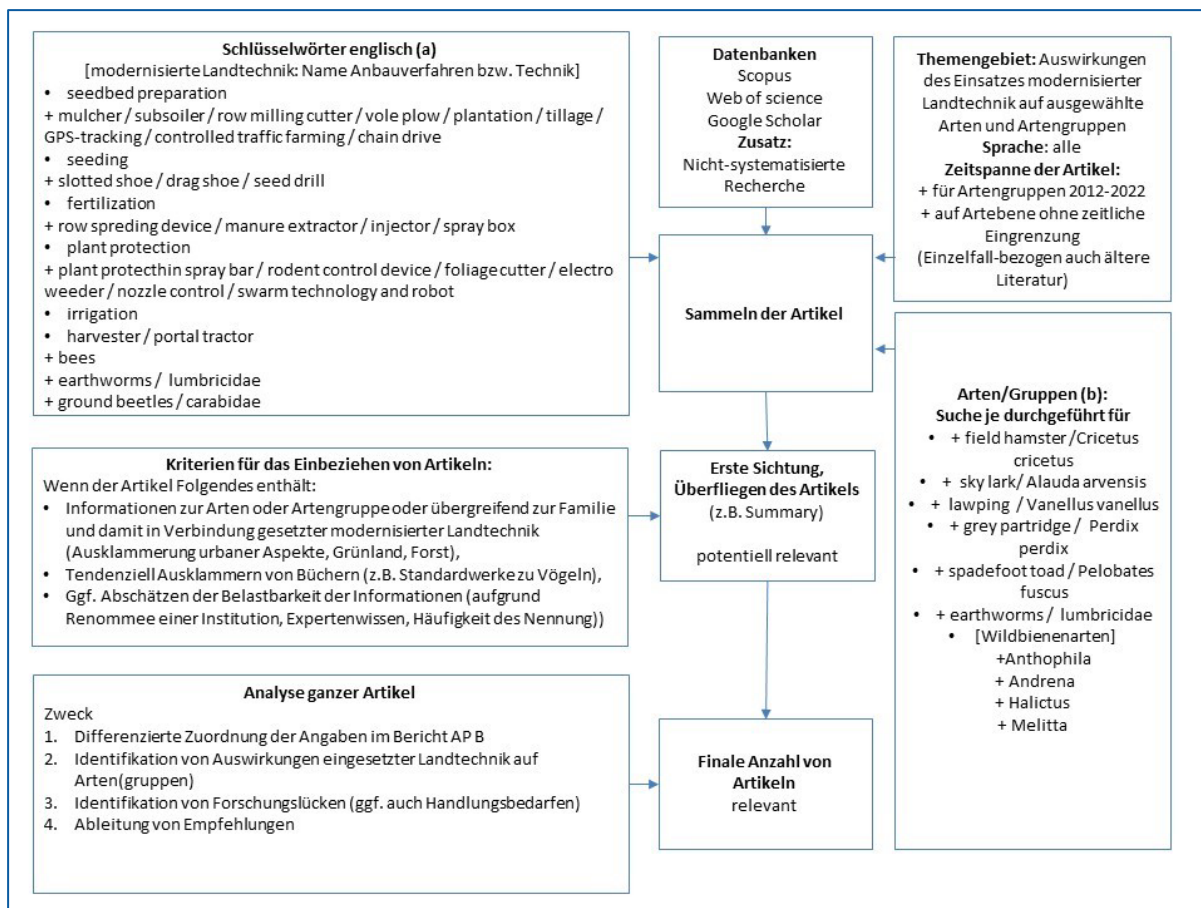


Abb. 4: Methodischer Rechercheansatz für die Literatursuche zu Auswirkungen auf ausgewählte Arten(-gruppen) (Quelle: ATB/DLR-PT 2022).

Aus den mit englischen Schlagworten recherchierten Veröffentlichungen in Google Scholar (GS), Web of Science (WoS) und Scopus, die sich mit der Thematik befassen, wurde eine Auswahl für eine vertiefte Sichtung getroffen. Die Schlagwortsuche erfolgte in englischer Sprache, da alle genutzten Literaturdatenbanken englischsprachig sind und damit Artikel in allen vorhandenen Sprachen erfasst werden, die sämtlich in englischer Sprache verschlagwortet sind. In WoS/Scopus erfolgte dies gegebenenfalls mittels der Abstracts der Beiträge. Die vorsonderten recherchierten Veröffentlichungen und FuE-Projekte wurden auf ihre Relevanz geprüft. Im zweiten Schritt erfolgte das Screening der gesamten Veröffentlichung - sofern die Erstdurchsicht eine potentielle Relevanz ergab. Gleichzeitig erfolgte die Zuordnung der recherchierten Arten und Artengruppen zu den einzelnen (modernisierten) Agrartechniken. Im Fall der Relevanz der Artikel für einzelne modernisierte Agrartechnik nach vertiefter Sichtung wurde die Literatur in die Ergebnisliste aufgenommen und die Hinweise aus den Studien als

referenzierte Auswirkungen dokumentiert. Die zugrunde gelegte Methodik der Recherche ist in Abbildung 4 dargestellt.

Im Detail beinhaltet die Literaturrecherche die Analyse folgender Primärquellen:

- Scopus
- Web of Science
- Google Scholar Science

Zusätzlich zur Suche in den o.g. Datenbanken wurde die individuell und außerhalb der Schlagwortsuche recherchierte Literatur ebenfalls berücksichtigt, d.h. im Fall relevanter Informationen mit in die Gesamtbewertung mitaufgenommen. Die Anzahl solcher Recherchen wurde hierbei nicht dokumentiert.

Auf Basis der Artengruppen-Kenntnisse im Projektteam und weiteres Expertenwissen von zusätzlich einbezogenem Sachverstand konnten die Recherchen gezielt durchgeführt werden. Im Vordergrund des Untersuchungsgegenstandes standen Ergebnisse von Studien, u.U. auch einzelne indirekte Hinweise auf Zusammenhänge zwischen modernisierter Agrartechnik und Arten bzw. Artengruppen aus den jüngsten zehn Jahren, d.h. ab 2012. Für die Recherche auf Artenebene wurde keine Zeiteinschränkung festgelegt, um alle für diese Arten relevanten Artikel zu erfassen.

Tab. 3: Gesamtergebnis der Literaturrecherche zu Auswirkungen von Agrartechnik auf ausgewählte Arten(gruppen) im Überblick.

Arten	Web of Science (WoS)	Nach Erstdurchsicht potentiell relevant	SCOPUS	Nach Erstdurchsicht potentiell relevant	Google Scholar	Nach Erstdurchsicht potentiell relevant	GESAMT (Hits)	Nach Erstdurchsicht potentiell relevant (gesamt)	relevant
Säugetiere: Feldhamster	400	400	473	473	-	-	891	891	19
Feldvögel: Kiebitz, Feldlerche, Rebhuhn	1.708	99	1.300	87	720	-	3.741	199	17
Amphibien: Knoblauchkröte	465	3	-	-	-	-	479	17	16
Wildbienen	6.044	142	-	-	4	-	6.132	226	84
Regenwürmer	623	31	683	91	190	6	1.521	153	58
Laufkäfer	2.849	215	2.145	29	-	-	4.994	244	39
Summe	12.089	890	4.601	680	914	6	17.758	1.730	233

Die Recherche nach relevanter Literatur im Kontext der Projektziele ergab folgendes Ergebnis (s.a. Tab. 3): Insgesamt wurden 17.758 Treffer zu den ausgewählten Arten und Artengruppen ermittelt, von denen nach einer Erstdurchsicht insgesamt 1.730 als tendenziell relevant

eingestuft wurden. Letztlich verblieben 233 Veröffentlichungen als für die Thematik relevant. Diese wurden vertieft ausgewertet. Im Literaturverzeichnis wird diese Literatur ebenso aufgelistet wie die allgemein zur Ergebnisbewertung hinzugezogene Literatur, die als Grundlage für die Identifikation von thematisch relevanten Artenschutz-Aspekten zu den einzelnen Arten(-gruppen) verwendet wurde (s. Literatur- und Quellenverzeichnis, Anhang).

Tab. 4: Suchstring für die FuE-Projektrecherche (Schlagworte und Suchkriterien), hier beispielhaft für den Förderkatalog des Bundes (Foekat).

Suchbereich*)	Suchwort	ODER	Treffer	Projekte mit Relevanz
Säugetiere				
Artebene	Feldhamster	Cricetus cricetus	5	5**)
Vögel				
Übergeordnete Ebene	Feldvogel	Feldvögel	0	0
Artebene	Feldlerche	Alauda arvensis	0	0
Artebene	Kiebitz	Vanellus vanellus	7	2
Artebene	Rebhuhn	Perdix perdix	3	3**)
Amphibien				
Artebene	Knoblauchkröte	Pelobates fuscus	0	0
Wildbienen				
Übergeordnete Ebene	Bienen	Wildbienen	83	16**)
Art-/Gruppenebene (<i>Andrena agillissima</i> -Gruppe (<i>Andrena agillissima</i> , <i>Andrena niveata</i> , <i>Andrena lagopus</i>))	Bienen	Anthophila oder Andrena	0	0
Art-/Gruppenebene <i>Halictus sexcinctus</i> -Gruppe (<i>Halictus sexcinctus</i> , <i>Halictus quadricinctus</i> , <i>Halictus scabiosae</i>)	Bienen	Anthophila oder Halictus	0	0
Art-/Gruppenebene <i>Melitta leporina</i> -Gruppe (<i>Melitta leporina</i> , <i>Rhopitoides canus</i>)	Bienen	Anthophila oder Melitta	0	0
Regenwürmer				
Ebene	Regenwürmer, Regenwurm	Lumbricidae	4	1
Laufkäfer				
Ebene	Laufkäfer	Carabidae oder Coleoptera	17	4

*) Alle Projekte mit Laufzeit innerhalb der vergangenen zehn Jahre, alle Fördergeber, Verbundprojekte wie Einzelprojekte zu den o.g. Stichworten; **) Verbundprojekte bzw. bei Wildbienen teilweise Verbundprojekte.

Tab. 5: Recherchierte FuE-Projekte und als relevant eingestufte Projekte (weitere Erläuterungen: s. Text).

Arten(-gruppe)	FOEKAT	FOEKAT	BLE	BLE	Recherchierte Projekte	Projekte mit Relevanz
	Recherchierte Projekte	Recherchierte Projekte mit Relevanz	Recherchierte Projekte	Recherchierte Projekte mit Relevanz		
Säugetiere (Feldhamster)	5	5	0	0	5	5
Feldvögel (Feldlerche, Kiebitz, Rebhuhn)	10	5	2	0	12	5
Amphibien (Knoblauchkröte)	0	0	1	0	1	0
Wildbienen	83	16	14	8	97	24
Regenwürmer	4	1	10	2	14	3
Laufkäfer	17	4	6	2	23	6
Gesamt	119	31	33	12	152	43

Forschungsprojekte

Zusätzlich zur Literaturrecherche wurden auch relevante Forschungs- und Entwicklungsprojekte als Quelle für (potentiell) relevante Informationen recherchiert.

Dazu wurden (Förder-) Datenbanken genutzt, die einen Erstzugang zu Forschungs- und Entwicklungsprojekten bieten. Die Suchen wurde anhand des Förderkatalogs des Bundes (Foekat: <https://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do?actionMode=list>) und der BLE -Datenbank vorgenommen (https://www.ble.de/DE/Projektfoerderung/Projektsuche/Suche_node.html).

Die Vorgehensweise der Recherche wird beispielhaft in Tabelle 4 aufgezeigt. Eine Übersicht zu den recherchierten FuE-Projekten je Datenbank zeigt Tabelle 5.

Die recherchierten und als relevant ausgewerteten FuE- Projekte sind im Literatur- und Quellenverzeichnis (Kap. 10) aufgelistet.

3 Modernisierte Agrartechnik

3.1 Darstellung entlang der Bearbeitungsschritte ackerbaulicher Nutzung

Im Folgenden werden die Rechercheergebnisse zur Agrartechnik entlang der einzelnen landwirtschaftlichen Bearbeitungsschritte vorgestellt (s. Tab. 6). Zum besseren Verständnis ist zu den Bearbeitungsschritten in der Landwirtschaft in diesem Kapitel jeweils eine Kurzbeschreibung der herkömmlichen Agrartechnik vorangestellt, an die sich die Beschreibung der modernisierten Agrartechnik anschließt. Danach folgen die Rechercheergebnisse zu modernisierten Agrartechniken bei ausgewählten neuartigen Anbauverfahren (Kap. 3.2) sowie in ausgewählten Kulturen (Kap. 3.3).

Tab. 6: Überblick über die Bearbeitungsschritte bei einer ackerbaulichen Nutzung im landwirtschaftlichen Betriebssystem: Kategorisierung entlang einzelner Bearbeitungsschritte und übergeordneter Techniken.

Bearbeitungsschritte einer ackerbaulichen Nutzung im landwirtschaftlichen Betriebssystem						
Grundboden-Bearbeitung, Saatbettbereitung	Aussaat	Pflanzenschutz	Düngung	Bewässerung	Bestäubung	Ernte
Konventionelle BB (wendend)	Säen mit konventioneller BB	Mechanische Verfahren	Wirtschaftsdünger	Bewässerung (DIN 19655:2008)	Direkte Verfahren	Raufutterernte
Pflug	Säen mit konservierender BB	Thermische Verfahren	flüssig	Mikro-Bewässerung	Präventive Verfahren	Mähen
Saatbettbereitung/Stoppelbearbeitung/flache BB	Direktsaat	Biologische Verfahren	fest	Beregnung		Trocknen
Aktive Geräte	Spezialgerät: Strip Till	Weitere physik. Verfahren	Mineraldünger	Stationäre Beregnungsmaschinen		Bergen
Gezogene Geräte	Spezialgerät: Kartoffellegemaschine	Chemische / integrierte Verfahren	flüssig	Teilmobile Beregnungsmaschine		Körnerfruchternte
Konservierende BB (nicht wendend)	Spezialgerät: Pflanzensetzmaschine	Schad-Potential-abhängiger PS	fest	Mobile Beregnungsmaschine		Hackfruchternte
Aktive Geräte				Verfahren aus der DIN 19655:1996-09		Kartoffelerntemaschinen
Gezogene Geräte				Oberflächenbewässerung		Zuckerrübenmaschinen
				Sonstiges		Andere Erntemaschinen

Kategorisierung der Techniken: Ebene I: zusammenfassende Techniken (= hellblau), Ebene II: einzelne Technik (= grau), Ebene III: weitere Gruppierung innerhalb der Bodenbearbeitungskategorien (= weiß); BB = Bodenbearbeitung; PS = Pflanzenschutz.

Die nunmehr folgenden Kapitel zur Agrartechnik folgen dieser grundsätzlichen Einteilung ackerbaulicher Bearbeitungsabschnitte in der Landwirtschaft gem. Gebbers & Adamchuk (2010). Vorangestellt wird ein Kapitel zu übergreifend eingesetzten Verfahren und Techniken.

3.1.1 Übergreifende allgemeine Agrartechnik und Verfahren

3.1.1.1 Herkömmliche Technik und Verfahren

Die Agrartechnik (oder auch Landtechnik) umfasst zum einen die Maschinen, die in der Landwirtschaft zur Bewirtschaftung von Hof, Wiese und Acker eingesetzt werden. Zum anderen sind darunter auch die Verfahren zu verstehen, die in der Landwirtschaft Anwendung finden. Muskelkraft und eingesetzte Tiere waren die traditionellen Treiber, später wurden sie von Wind- und Wasserkraft verstärkt.

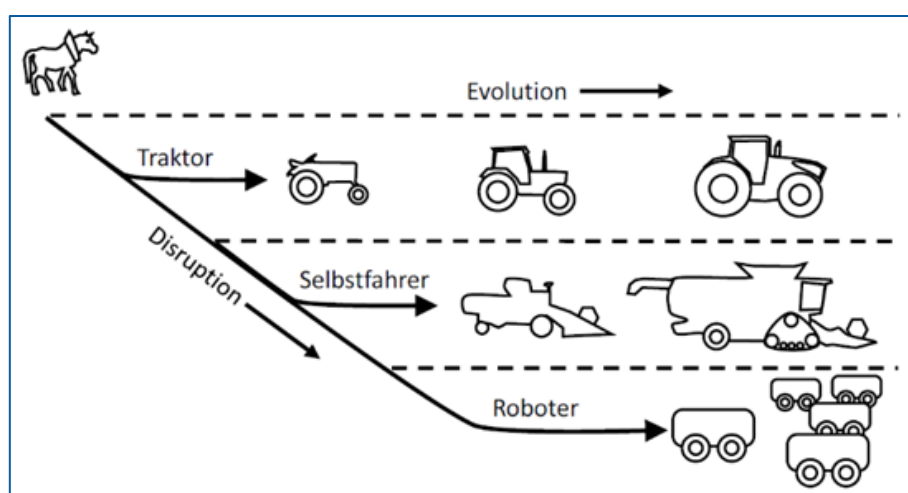


Abb. 5: Schematische Darstellung der Entwicklung der Agrartechnik (nach: Schwich et al. 2021).

Ein fundamentaler Entwicklungsschub fand durch die Dampfkraft und dem Einzug von Verbrennungs- und Elektromotoren (Abb. 5), Traktoren, Mähdrescher und Drillmaschinen statt. Diese sind heute nicht mehr aus der Agrartechnik wegzudenken. Agrartechnik ist damit so alt wie die Landwirtschaft selbst, wenn sich auch die Raffinesse moderner Sensorik sehr von Grabstöcken oder Hakenpflügen unterscheidet. Das Marktvolumen für Agrartechnik in Deutschland ist hoch: Der Wert wird auf rund 5,9 Milliarden Euro - weltweit sind es mehr als 100 Milliarden Euro – geschätzt⁴.

⁴ <https://www.agrarheute.com/tag/agrartechnik>, Abruf 08.03.2022

3.1.1.2 Modernisierte übergreifende Technik und Verfahren

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Technik und Verfahren“

Recherchierte Artikel und Webseiten: 1.557

Analysierte Artikel und Webseiten: 12

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 5

Identifizierte Forschungsprojekte: 43

Digitalisierung

Die Digitalisierung (s.a. Tab. 7) hat sich bereits seit mehreren Jahren als einer der wichtigsten Treiber für die technische Weiterentwicklung der Landtechnik erwiesen (Bitkom Research 2020, Hartl 2017). Neben Präzisionslandwirtschaft und Smart Farming sind noch Landwirtschaft 4.0, die intelligente Vernetzung von Produktionsprozessen, vom landwirtschaftlichen Betrieb bis zur gesamten Wertschöpfungskette (Gandorfer et al. 2017) und der begleitenden prozessorientierten Modernisierung, wie beispielsweise die Digitalisierung von Verwaltungsprozessen, zu nennen. Nach Kliem et al. (2022) sind die zwei aufeinander aufbauenden, zentralen technischen Entwicklungen auf der Ebene der landwirtschaftlichen Betriebssysteme hervorzuheben: Präzisionslandwirtschaft und Smart Farming.

- **Präzisionslandwirtschaft** bezeichnet die präzise, ortsangepasste und bedarfsgerechte Ausbringung von Betriebsmitteln und Ressourcen auf Feldebene. Beispiele für bearbeitungsschrittübergreifende modernisierte Agrartechnik auf Feldebene sind: Global Positioning System (GPS-)Spurführung, GPS-gesteuerte Agrarroboter oder Sensoren, digitale Landmaschinensysteme, Controlled Traffic Farming (CTF), Lenk- und Fahrerassistenzsysteme, Schwarmtechnologie, vernetzte (Boden-) Sensoren, Analysewerkzeuge, künstliche Intelligenz (KI) für komplexe Entscheidungen und höhere Präzision.
- **Smart Farming** geht über Präzisionslandwirtschaft hinaus, indem es den Anwendungsfokus digitaler Lösungen von der flächen- und teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf die Optimierung komplexer Anbausysteme und des gesamten Managements auf Betriebsebene erweitert. Beispiele für bearbeitungsschrittübergreifende modernisierte Agrartechnik auf Betriebsebene sind: Digitalisierung bestehender Bewirtschaftungsmethoden und Verwaltungsprozesse, Farm-Management-Informationen-Systeme und intelligente Datenmanagementsysteme. Hierbei können landwirtschaftliche Prozesse unterstützt und teils automatisiert werden, indem datengenerierende und ausführende Technologien miteinander verknüpft werden.

Eine Umfrage im Auftrag des Digitalverbands Bitkom, des Deutschen Bauernverbandes und der Landwirtschaftlichen Rentenbank ergab, dass bereits 82 % der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland digitale Techniken einsetzen – Tendenz zunehmend. Hierbei ist zu beachten, dass sich im Hinblick auf die heutige Bedeutung der Digitalisierung signifikante Unterschiede zwischen den Bundesregionen Südwest und Nordost zeigen, wobei Betriebe aus dem Südwesten es für weniger bedeutend halten (Gscheidle et al. 2022).

Besonders weit verbreitet sind aktuell GPS-gesteuerte Landmaschinen, die von 45 % der 500 befragten Landwirte genutzt werden. Eine intelligente und teilflächenspezifische Ausbringung

von Pflanzenschutz- oder Düngemitteln ist bereits bei 32 % der Befragten im Einsatz, 28 % nutzen Sensortechnik, etwa zur Messung von Klima-, Boden- und Pflanzendaten. Auf etwas geringerem Niveau bewegt sich bezogen auf alle Betriebsarten der Einsatz von Robotertechnik (12 %). Drohnen werden von 11 % der Befragten genutzt. KI, etwa zur Auswertung großer Datenmengen aus der Bildverarbeitung zur Erkennung von Krankheiten bei Pflanzen, kommen in 9 % der Betriebe zum Einsatz. 40 % der Landwirte arbeiten mit Agrar-Apps für das Smartphone oder Tablet. 40 % steuern ihren Betrieb mithilfe von Farm-Management-Systemen (Bitkom Research 2020).

Mit dem Thema beschäftigen sich eine Vielzahl von Forschungsprojekten. Darunter zum Beispiel: INFIMEDAR, VCFCSAI, ESKIMO, AgriNose und BonaRes (weitere Projekte s. Anhang: Recherchierte FuE-Projekte mit Bezug zu modernisierter Agrartechnik).

Tab. 7: Tabellarische Darstellung der modernisierten Agrartechnik: Übergreifende modernisierte Techniken: Digitalisierung, Traktoren / Reifen.

Modernisierte Agrartechnik: Übergreifend modernisierte Techniken	
Technisch	Verfahrenstechnisch
DIGITALISIERUNG	Zwischenfruchtanbau
<ul style="list-style-type: none"> • Digitalisierung bestehender Bewirtschaftungsmethoden und Verwaltungsprozesse • Wissensbasiert und bedarfsgerecht: Sensoren, Analysewerkzeuge, Farm-Management-Informationssysteme • Höhere Präzision • GPS-Spurführung • GPS-gesteuerte Agrarroboter oder Sensoren • Controlled Traffic Farming (CTF) • Digitale Landmaschinensysteme • Lenk- und Fahrerassistenzsysteme • Roboter und Schwarmtechnologie • Vernetzte (Boden-)Sensoren • Intelligente Datenmanagementsysteme • KI für komplexe Entscheidungen 	
TRAKTOREN / REIFEN	
<ul style="list-style-type: none"> • Alternative Antriebskonzepte (Elektromotoren, Methantraktor, Wasserstofftraktoren) • Portaltraktoren mit vergrößerten Arbeitsbreiten • Einsatz von Kettenlaufwerken • Geringerer Reifeninnendruck 	

Bearbeitungsschrittübergreifende modernisierte Techniken bei Traktoren und Reifen

Die Entwicklungsschwerpunkte von Forschung und Industrie liegen bei der Automatisierung von Feldarbeiten, Digitalisierung, alternativen Antriebssystemen, Ressourceneffizienz und Umweltschutz (Stirnemann & Renius 2021; vgl. auch Abb. 6). Die Automatisierung ist für folgende Bedingungen als positiv zu bewerten: Kleine Einheiten mit weniger Bodendruck und flexibel mit weniger Vorgewende. Grundsätzlich lässt sich so auch die Einhaltung der Strukturelemente wie beispielsweise Blühstreifen gewährleisten. Für autonome Technik ist die rechtliche und technische Lage für einen breiten Einsatz noch lange nicht verfügbar. Die Pioniere in

diesem Bereich benötigen mindestens noch 5 - 10 Jahre um Marktreife zu erlangen. Praktisch ist eine Automatisierung aktuell nur in abgesperrten Bereichen, mit höchster Fahrzeugsicherheit (kontinuierliche Positionsübermittlung des Fahrzeuges, Umfelderkennung sowie einem 'Not-Aus-Schalter'). Dies setzt allerdings eine ununterbrochene, flächendeckende Datenübertragung mit stabilem Funk-/Mobilnetz voraus. Zurzeit ist dies im ländlichen Raum Deutschlands nicht flächendeckend gegeben - es existieren erhebliche Lücken im Funk/Mobilnetz. Autonome Systeme auf aktueller, marktverfügbarer Traktorgröße sind weitaus näher an der landwirtschaftlichen Praxis. Diese lassen sich auf vorhandenen großen Flächen einsetzen. Automatisierung liegt generell weniger an der eingesetzten Technik als an der gewählten Anbaustrategie.

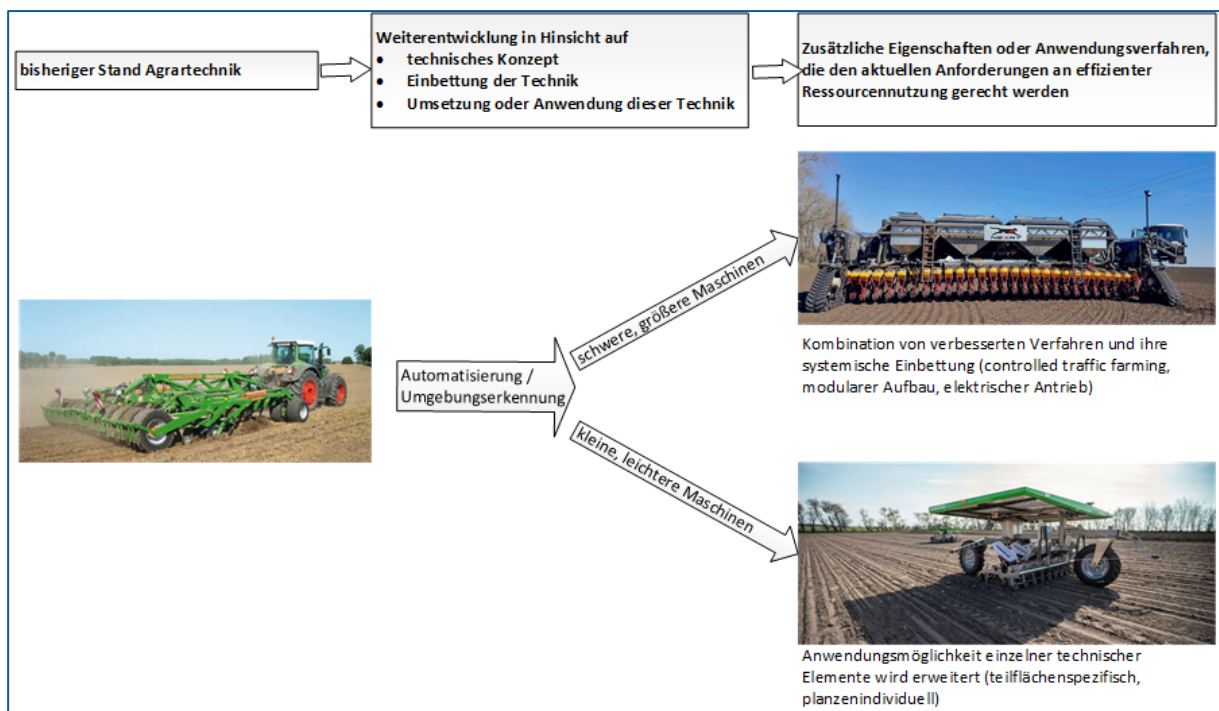


Abb. 6: Modernisierte Agrartechnik – Groß- und Kleintechnik (Quelle: eigene Zusammenstellung nach Amazone 2005, NEXAT 2023, Farmdroid 2023).

In der Traktorentechnik wurde die Motorleistung gesteigert; Premium-Ausstattungsvarianten nahmen ab (vgl. Böttinger 2021b). Alternative Antriebe stehen in Forschung und Industrie stark im Fokus, vor allem bezüglich elektrischer Komponenten. Akkubetriebene Fahrtriebe gibt es noch nicht in Großserie, sie sind aber im unteren Leistungsbereich angekündigt, vorzugsweise mit mechanisch schaltbaren Fahrbereichen. Methantraktoren werden mit einem Gasmotor (CNG-Motor) angetrieben, Emissionswerte sind gegenüber herkömmlichen Antrieben somit deutlich verringert. Antriebe über Wasserstoff werden derzeit untersucht und entwickelt, aber aufgrund der Größe und des Gewichts der Brennstoffzellen wird der Einsatz für Maschinen mit hohem Energieeinsatz als ungeeignet angesehen.

Portaltraktoren werden in Plantagen eingesetzt und können aufgrund ihrer Bauweise mehrere Reihen gleichzeitig bearbeiten. Das Marktangebot an Stufenlosgetrieben wurde signifikant weiter ausgebaut (Stirnemann et al. 2021). Der Einsatz von **Raupenlaufwerken** wird weiterhin stark diskutiert. **Reifendruck**-Regelanlagen finden in der Praxis zunehmend Verbreitung, da

immer mehr Hersteller integrierte Lösungen anbieten. Reifendruck-Regelanlagen ermöglichen eine Verstellung des Reifeninnendrucks während der Fahrt. Das Verstellen des Luftdrucks ist zwar auch von Hand möglich, dazu muss allerdings angehalten werden und es dauert deutlich länger. Der Reifenverschleiß wird mit abnehmendem Luftdruck höher. Die Hersteller von Raupenfahrwerken können durch besondere Kinematiken (Bewegungsmechaniken) Komfort und Bodenschonung positiv beeinflussen (Rudolph 2020; aber auch bereits Thiesing 2016, Geimer & Pohlandt 2014). An dem Kettenfahrwerk eines Traktors wurde gezeigt, dass zwei bis dreimal so hohe Lastspitzen an einzelnen Stützrollen gegenüber dem mittleren Kontaktflächendruck deutlich reduziert werden können (Mударisov et al. 2020). Nach einer theoretischen Analyse der Geometrien des Fahrwerks, der Schwerpunktlage, der vertikalen und horizontalen Kräfte durch das Anbaugerät und mit dem Einsinkwiderstand eines Bodens werden die Stützrollen vertikal so versetzt, dass anstatt einer geraden eine leicht elliptische Kontur des Kettenfahrwerks entsteht. Für die Ermittlung der Befahrbarkeit von Böden, z.B. für die Vorhersage von Traktion, Rollwiderstand und Einsinken von Reifen oder Raupen, werden verschiedene vereinfachte Verfahren vorgeschlagen. Intensive Untersuchungen werden durchgeführt, um mit wenig(er) Aufwand genaue Befahrbarkeitsaussagen treffen zu können.

Zusammenfassend zeichnen sich folgende übergreifende Trends /Modernisierungen ab:

- Zunahme der Präzisionslandwirtschaft
- Smart Farming
- Automatisierung und Digitalisierung von Groß- und Kleingeräten

3.1.2 Bodenbearbeitung

3.1.2.1 Allgemeines Vorgehen und Technik bei der (Grund-)Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung

Das Bodengefüge charakterisiert die räumliche Anordnung der festen Bodenteilchen unter- und zueinander, welches die Grundlage für die Art der Bodenbearbeitung darstellt. Zur besseren Veranschaulichung der Agrartechniken werden diese in Abbildung 7 schematisch dargestellt (weitere Erläuterungen s. Anhang 1). Der Bodenbearbeitung kommen drei wesentliche Aufgaben zu: Erhaltung und Verbesserung von Bodeneigenschaften für die wirtschaftliche Nutzung, Schaffung günstiger Keimungs- und Wachstumsbedingungen für die Kulturpflanzen und Kontrolle konkurrierender Vegetation (Beikraut). Die Bodenbearbeitung beinhaltet Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat, die im vorliegenden Bericht als Bodenbearbeitung bzw. Bodenbearbeitungs- und Bestellsystem zusammengefasst wurden. Diese Zusammenfassung begründet sich daraus, dass viele Verfahren abschnittsübergreifend eingesetzt werden. Die Bearbeitungstiefe variiert von 2 cm (Direktsaat) bis 30 cm (konventionelle Bodenbearbeitung, vgl. Abb. 7). Je nach Intensität der Verfahren vom Pflugeinsatz bis hin zur Direktsaat hat die Bodenbearbeitung unmittelbaren Einfluss auf den Humusaufbau- oder -abbau sowie deren Wirkung auf Bodenverdichtung und Anfälligkeit für Erosion. Laut einer Studie landwirtschaftlicher Betriebe in Sachsen von Lülfs-Baden et al. (2020) stellte die Mehrheit (65,2 %) der befragten Betriebe bei der Grundbodenbearbeitung mit dem Tieflockerer eine Bearbeitungstiefe von über 21 cm ein. Im Durchschnitt lag die Bearbeitungstiefe bei 34,1 cm (Lülfs-Baden et al. 2020). Die erheblichen Unterschiede in der Bearbeitungstiefe je nach

eingesetzter Technik lassen weiterhin vermuten, dass sie einen erheblichen Einfluss auf das Gesamtökosystem nach sich ziehen könnten. Daraus resultiert eine hohe Relevanz der Bodenbearbeitungstechnik für die Entwicklung der Artenvielfalt (vgl. Kap. 4).


























Bodenbearbeitungs- u. Bestellverfahren	Arbeitsabschnitte Grundbodenbearbeitung Saatbettbereitung Saat	Arbeitsgänge	Intensität der Bodenbearbeitung GrundBB / Saatbettbereitung	Wirkung auf den Humusgehalt	Wirkung auf die Bodenverdichtung/ Artenvielfalt
Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug	 oder  oder   oder  oder   oder  oder 	getrennt reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert reduziert alle Arbeitsgänge kombiniert	hoch 30 cm / 5 cm	zehrend	Geringeres Porenvolumen durch Verdichtung der Böden. Geringeres Wildpflanzenaufkommen (Albrecht, 2004)
Konservierende Bodenbearbeitung ohne Pflug mit Lockerung	 oder  oder   oder  oder   oder  oder 	getrennt reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert reduziert alle Arbeitsgänge kombiniert	mittel 10-15 cm / 5 cm	erhaltend	Verringerung der Evaporation durch Abtrennen der Kapillare im Oberboden. Erhöhen der Speicherkapazität durch Humuserhalt. Deutliche Veränderung der Arten, Ansammlung der Samen an der Oberfläche, Zunahme von Pilzen (Albrecht, 2004). Positiver Einfluss auf Laufkäfer (Burmeister, (2016a).
ohne Lockerung	 oder  oder   oder  oder 	reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert	5 cm		
Direktsaat keine Bodenbearbeitung		nur Saat	niedrig 2-5 cm	erhaltend	Erhöhen der Wasserspeicherkapazität durch Humuserhalt. Positiver Einfluss auf Wachstumsbedingungen der Flora (Barabai et al., 2009). Positiver Einfluss auf die Wachstumsbedingungen der Regenwürmer (Burmeister, (2016b).

Abb. 7: Verfahrenstechnische Darstellung unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren. (Legende der Agrartechnik: s. Anhang A.1; Quelle: ATB 2022, modifiziert und ergänzt nach Köller & Hensel [2019]).

Grundbodenbearbeitung

Aufgabe der Grundbodenbearbeitung ist die Lockerung der Ackerkrume überwiegend bis zu einer Tiefe von 30 cm, um Verdichtungen mechanisch zu beseitigen (vgl. Abb. 7). Diese Lockerung kann wendend als **konventionelle Bodenbearbeitung (BB)** mit dem Pflug, oder nicht wendend als **konservierende BB** mit Schichtengrubbern vorgenommen werden. Durch wendende Verfahren wird der gesamte Oberboden mit Pflanzmaterial in den Unterboden verbracht. Das Material gelangt dadurch in eine Tiefe von bis zu 30 cm. Dadurch wird die biochemische Zersetzung älteren pflanzlichen Materials gefördert und gleichzeitig der Boden bis zu einer Tiefe von 30 cm gelockert. Durch das Pflügen werden bestimmte Tiere, die ertragsmindernd wirken können (z.B. Schnecken) oder auch die an den Pflanzenresten anhaftenden Bakterien und Pilze in tiefere Bodenschichten verbracht, wodurch ihr negativer Einfluss verringert wird. Bei den anderen beiden Verfahren (Grubber, Direktsaat) der konservierenden BB verbleiben die Reste oberflächennah. Die resultierende Belüftung sorgt dafür, dass pflanzliche Materialien schneller zersetzt werden und den Kulturpflanzen als Nährstoffe zur Verfügung stehen. Weitere Auswirkungen der konservierenden BB werden in Kapitel 5 dargestellt.

Saatbettbereitung

Die Technik der Saatbettbereitung kann in der **konventionellen BB** und in der **konservierenden BB** gleich sein. Verwendete Geräte sind Grubber, Walzen, Eggen und Pflüge – letztere nur bei der konventionellen BB. Diese können nur für die Saatbettbereitung oder auch kombiniert für die Saatbettbereitung und Aussaat eingesetzt sein.

Die Saatbettbereitung dient dem Einebnen, Lockern, Krümeln und erforderlichen Verdichten des Bodens. Darüber hinaus werden Düngemittel eingearbeitet, konkurrierendes Beikraut vernichtet und die Bodenoberfläche ausgeformt. Die mechanische Beikrautbeseitigung dient

einer verminderten Konkurrenz von Beikräutern um Nährstoffe und Bodenwasser. Für relevante Saatbettparameter liegen fruchtartsspezifische Richtwerte zu Lagerungsdichte und Aggregatgrößenverteilung im Saatbeet vor (Knittel et al. 1975). Gerätekombinationen bewirken einen verbesserten Bearbeitungseffekt und reduzieren die Anzahl von Überfahrten.

3.1.2.2 Modernisierte Agrartechnik und Trends der (Grund-) Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Bodenbearbeitung“

Recherchierte Artikel und Webseiten: 2.456

Analysierte Artikel und Webseiten: 151

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 39

Identifizierte Forschungsprojekte: 11

Eine Modernisierung zeichnet sich in zweierlei Hinsicht ab: Zum einen ist diese in der Bewirtschaftungsmethode und dem systemischen Zusammenwirken bei den eingesetzten Traktoren und Geräten nachweisbar, weniger jedoch bei der Technik der Bearbeitung selbst (z.B. Pflug) (Tab. 8). Die Bearbeitungsschritte einer ackerbaulichen Nutzung im landwirtschaftlichen Betriebssystem bleiben bei dieser Modernisierung weiterhin erhalten. Diese Modernisierung steht im Zusammenhang mit der jeweiligen Kultur wie beispielsweise der Kartoffel, die weiterhin in Deutschland eine vorrangige Feldfrucht ist und die eine Bodenbearbeitung mit Pflug erfordert. Aus agrartechnischer Sicht steht die Weiterentwicklung der Komponenten im eingebetteten System im Fokus, mit der eine **Präzisierung** z.B. hinsichtlich der Bodenbewirtschaftung, Fahrspurenminimierung erreicht werden kann (Müller et al. 2009).

Zum anderen zeichnet sich als weitere Modernisierung ab, dass Arbeiten, die bisher auf mehrere Arbeitsschritte verteilt durchgeführt wurden, nunmehr aufgrund weiterentwickelter Techniken in **einem Arbeitsgang** zusammengeführt werden, d.h. im Gegensatz zur ersten Modernisierung bleiben die Bearbeitungsschritte nicht auf gleiche Weise erhalten. Beispielhaft seien hier die modernisierten Verfahren beim Winterweizen genannt, bei denen Umgraben, Auflockern, Saatbettbereitung und Aussaat kombiniert zu einem Arbeitsschritt (Direktsaatverfahren, vgl. auch 3.1.3.1) und reduzierten Traktorüberfahrten zusammengeführt werden (Köller & Hensel 2019). Ein weiteres Beispiel ist das Rotapull-Prinzip. Dieses basiert auf dem Zusammenwirken von passiven und aktiven Werkzeugen und wurde zur flexiblen Bodenbearbeitung entwickelt, die an verschiedene Boden- oder Bewuchsbedingungen angepasst werden kann. Das neue Wirkprinzip verbindet einfachen Aufbau, hohe Arbeitsintensität und flexible Anpassung an unterschiedliche Bedingungen. Es wird eine tiefere Bodenlockerung mit einer steuerbaren Bearbeitung des Saatbettes erreicht. Nach Huber et al. (2013) ist ein Trend zu verringerter bzw. konservierender Bodenbearbeitung u.a. im Hinblick auf Anpassung an den Klimawandel, Humusaufbau, Erosionsschutz zu berücksichtigen.

Für die Bodenbearbeitung, ob Stoppelbearbeitung, Grundbodenbearbeitung oder Saatbettbereitung, gibt es weiterhin ein umfangreiches Angebot an bewährter Technik, ob Kurzscheibeneggen für die erste flache Bearbeitung nach der Ernte, Grubber als Universalgeräte für die

Stoppelbearbeitung, Pflüge für das Wenden des Bodens oder zapfwellenbetriebene Geräte für die Saatbettbereitung. In sämtlichen Gerätegruppen gibt es eine Vielfalt unterschiedlicher Werkzeuge und Ausführungen für die standortgerechte Bodenbewirtschaftung (Köller & Hensel 2019).

Tab. 8: Tabellarische Darstellung der modernisierten Agrartechnik: Bodenbearbeitung – Aussaat.

Modernisierte Agrartechnik: Bodenbearbeitung - Aussaat	
Technisch	Verfahrenstechnisch
DIGITALISIERUNG / PRÄZISIONSBEARBEITUNG	Zwischenfruchtanbau
<ul style="list-style-type: none"> Wissensbasiert und bedarfsgerecht: Sensoren, Analysewerkzeuge, Farm-Management-Informationen-Systeme Automatisierung und Robotik Roboter und Schwarmtechnologie 	
TEILFLÄCHEN- /ORTSSPEZIFISCH VARIABLE BODENBEARBEITUNG	
<ul style="list-style-type: none"> Höhere Präzision GPS-Spurführung Controlled Traffic Farming (CTF) 	
TEILFLÄCHEN- /ORTSSPEZIFISCH VARIABLE AUSSAAT	
<ul style="list-style-type: none"> Kombinierte Arbeitsgänge, z.B. Lockern und Säen Zusammenwirken von passiven und aktiven Werkzeugen Robotik zur Aussaat Multi-Saatgut-Geräte 	

Die aktuellen Entwicklungen und Tendenzen im Bereich der Bodenbearbeitung sind neben den hohen Ansprüchen an Produktivität und Wirtschaftlichkeit geprägt von gesellschaftlichen und politischen Anforderungen an die Landwirtschaft. Diese bestehen z.B. in der weiteren Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und Nährstoffeinträgen in die Umwelt sowie einer Vermeidung der Freisetzung von CO₂. Bei diesen Themenstellungen nimmt die Bodenbearbeitung eine zentrale Rolle ein. So können durch gezielte Bearbeitungsstrategien und ein geeignetes Ernterestmanagement Beikrautbesatz und Schädlingsaufkommen reduziert werden. Besondere Herausforderungen, auch für den Arbeitsabschnitt Bodenbearbeitung – Aussaat, stellt die Diskussion über die Art und den Einsatzumfang chemischer Pflanzenschutzmittel dar. Sie führen zur anhaltend verstärkten Nachfrage nach flexibel einsetzbaren Systemen zum Ernterest- und Bewuchsmanagement. Große Hersteller reagieren hier mit Entwicklungen im Bereich der **Pflugtechnik**, aber insbesondere mit neuen Konfigurations- und Werkzeuglösungen im Bereich der Grubber- und Grubber-Scheiben-Kombinationen. Kleine Hersteller bedienen **Nischen und Sonderanforderungen** mit Neuentwicklungen (Grubber, Aktivrotoren, Striegelsysteme) im Bereich Bio-Landwirtschaft und Sonderkulturen (Herlitzius et al. 2019).

Prototypische **autonome Maschinensysteme** und **Roboterlösungen** werden im Bereich der Bodenbearbeitung und Einzelpflanzenpflege verstärkt seit etwa acht Jahren vorgestellt (Herlitzius et al. 2019). Das Controlled Traffic Farming (CTF) ist eher in den USA von Relevanz (Befahrung jeweils nur auf einer definierten Spur mit einer kontrollierten Abstimmung unter den

verschiedenen Maschinen). Die GPS **Spurführung** wird in Deutschland vorrangig verwendet (Unterstützende Befahrungshilfe mit einer optional wählbaren Spur für einen Traktor, die digital abgespeichert werden kann). Die Automatisierung einzelner Arbeitsschritte oder des gesamten Verfahrens kann ein gleichbleibend gutes Arbeitsergebnis sicherstellen, zu einer Ressourcenschonung beitragen und die optimale Nutzung der Ackerfläche gewährleisten (Herlitzius et al. 2021).

Hieraus lässt sich übereinstimmend aus allen ausgewerteten Quellen ein Trend ableiten zu einem deutlich höheren Einsatz von komplexeren, digital gestützten Techniken, die einhergehen mit einem Wandel zum „Precision farming“ (mdl. bestätigt bei PAG 1 durch Prof. Pickel, Prof. Meyer, 08.02.2022). Ein eindeutiger Trend in Bezug auf die Größe von eingesetzten Maschinen besteht nicht. In vorläufiger Einschätzung besteht eher eine dichotome Tendenz dazu, dass große Betriebe einen Schwerpunkt auf größere Maschinen setzen, während der Trend bei kleineren Betrieben zum „spot farming“ mit dem Einsatz von kleineren Maschinen in Schwarmsystemen geht (Prof. Hertzberg mdl., 08.02.2022). In Auswertung der durchgeführten Literatur- und Internetanalyse lässt sich insgesamt allerdings auch nachweisen, dass in Deutschland auch heute noch der größte Teil der Ackerflächen konventionell gepflügt wird.

Smartillage und RoBivaL sind beispielhaft laufende Projekte zu diesem Thema (vgl. Anhang: Recherchierte FuE Projekte).

Zusammenfassend zeichnen sich folgende Trends/Modernisierungen bei der Bodenbearbeitung ab:

- Modernisierte Techniken für Teilflächen-/ortsspezifisch variable Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung
- Trend zu kombinierten Arbeitsgängen
- Zunahme autonomer Maschinensysteme und Roboterlösungen

3.1.3 Aussaat

3.1.3.1 Allgemeines Vorgehen und Technik bei der Aussaat

Die Technik der Aussaat kann in der **konventionellen** Bodenbearbeitung (BB, Bearbeitung mit Pflug bis 30 cm) und in der **konservierenden** BB (nicht wendende Bearbeitung bis max. 15 cm, vgl. 7) gleich sein: Bei beiden Verfahren kommen für die Aussaat Sämaschinen zum Einsatz. Diese können nur für die Aussaat oder kombiniert für die Saatbettbereitung und Aussaat eingesetzt werden (vgl. Abb. 7, Tab. 8).

Eine hohe Bestandsdichte der angebauten Kultur wird durch schnelle und lückenlose Entwicklung der Bodenbedeckung und tiefe Durchwurzelung gefördert, die ihrerseits eine auf die Kultur angepasste, feinteilige und damit hochwertige Saatbettbereitung und Aussaat voraussetzt. Verkrustungen der Bodenoberfläche oder eine ungleichmäßige Einsaattiefe führen zu schlechteren Wuchsbedingungen und können zu Lücken im Bestand führen (Passioura 2006).

Wenn zur Aussaat auf Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung verzichtet wird, kann die Saat alternativ mit speziellen Sämaschinen als **Direktsaat** erfolgen (Abb. 7). In der Praxis kommen dabei verschiedene Abstufungen von Bodenbearbeitung und Saatgutbereitung bis hin zu völligem Bodenbearbeitungsverzicht vor.

In Abhängigkeit von der Kornverteilung lassen sich Streifensaat (Drillsaat und Bandsaat), Breitsaat und Einzelkornsaat unterscheiden. Hierbei handelt sich um verschiedene Saatverfahren, die abhängig von dem Saatgut entweder in Streifen oder Bändern in einer bestimmten Tiefe gesät werden. Die Breitbandsaat dient dazu das Saatgut möglichst gleichmäßig in der gesamten Fläche zu verteilen. Die Einzelkornsaat wird eingesetzt, wenn das Saatgut kostspielig ist. Da der Ertrag stark von einem gleichmäßigen Pflanzenabstand auf dem Acker abhängt, ist dies notwendig. Drillsaat wird bei Getreide, Raps, Feldgras und Erbsen verwendet, während Einzelkornsaat bei Mais, Zuckerrüben, Sonnenblumen, Acker- und Sojabohne, Gemüse und verschiedene Sonderkulturen erfolgt. Die Funktion von Sämaschinen liegt in der definierten Ablage von Saatgut im Boden.

3.1.3.2 Modernisierte Agrartechnik und Trends der Aussaat

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Aussaat“

Recherchierte Artikel und Webseiten: 5.702

Analysierte Artikel und Webseiten: 206

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 20

Identifizierte Forschungsprojekte: 5

Entwicklungen in der Sätechnik sind gekennzeichnet durch eine weitere Steigerung der Effizienz und Präzision bei der Applikation hochpreisiger Betriebsmittel (Tab. 8). Bei steigenden Kosten für Saatgut gewinnt präziseres Dosieren und Verteilen zunehmend an Bedeutung. Elektrisch angetriebene Durchflusssensoren in Saatleitungen, GPS gesteuerte Fahrgassenschaltungen, Section Control Systeme (automatisches Öffnen/Schließen der Aussaat je nach Bodenqualität, Einsparungspotenzial von 3-10 % der ausgebrachten Ressourcen) und Mehrtankmaschinen zur gleichzeitigen Ausbringung von zusätzlichen Saatgütern sind mittlerweile Stand der Technik. Die Entwicklung von Einzelkornsämaschinen war in den vergangenen Jahren besonders geprägt durch Verbesserung der Vereinzlungstechnik, die auch bei höheren Arbeitsgeschwindigkeiten eine hohe Ablagegenauigkeit gewährleistet (Köller & Hensel 2019). Landwirte passen ihre Anbaustrategien laufend an die veränderten Rahmenbedingungen für die Pflanzenproduktion an. Daraus resultierende Maßnahmen, wie erweiterte Fruchtfolgen, präzisere Applikation von Startdüngern einschließlich deren Dokumentation oder breitere Anwendung mechanischer Bestandspflege, erhöhen die Anforderungen an die Sätechnik. Neu entwickelte Drillmaschinen bieten den Landwirten z.B. bei der Verstellung von Reihenweiten und **Fahrgassenabständen** flexiblere Anwendungsmöglichkeiten. Mit Multi-Saatgut-Geräten ist seit wenigen Jahren die gleichzeitige Ausbringung mehrerer Saatgüter und Düngerarten möglich; dies sind Geräte zur Ausbringung mehrerer Saatgüter über ein Druckbehältersystem mit mehreren Teilbehältern. Die jeweilige Aussaatdichte der verschiedenen Saatgüter ist individuell dosierbar (Meinel 2021).

Das Kombinieren von Arbeitsgängen, wie z.B. Lockern und Säen sowie das Zusammenwirken von passiven und aktiven Werkzeugen, lässt sich als Trend auf Feldebene darstellen. Das Ende der Neuentwicklungen lässt sich derzeit noch nicht absehen, gerade im Bereich von Einzelkornsämaschinen werden hohe weitere Effizienzsteigerungen gesehen (Meinel 2021).

Portaltraktoren mit vergrößerten Arbeitsbreiten bis derzeit ca. 12 m werden bereits in Deutschland eingesetzt. Durch diesen mehrreihigen Geräteträger ist damit eine präzise Bewirtschaftung unabhängig von der Kultur möglich (Gaus et al. 2017). Einer der Effekte aus dieser Technik – neben unmittelbaren wirtschaftlichen Effekten – ist die Einsparung von Fahrspuren, die sich auf wenige Spuren pro Schlag reduzieren lassen.

Verringerte Nebenarbeitszeiten durch zentrale Saatgutbefüllung steigern die Effizienz ebenso wie der erweiterte Funktionsumfang (z.B. die schnelle Reihenweitenverstellung für verschiedene Fruchtarten oder die Möglichkeit der flexiblen Fahrgassenanlage bei der Maisaussaat; Meinel 2021). Zum Einsatz von Robotik zur Aussaat ist die Forschung noch in einer frühen Entwicklungsphase (Jin et al. 2021). Aktuell wird diese Technik für den breiten Einsatz noch als zu teuer bewertet.

Applikationsdaten werden im ISO-XML-Format zur weiteren Verarbeitung mit einem Farmmanagement-Informationssystem für die Betriebsebene bereitgestellt (Meinel 2021). Auch **Schwarmtechnologien** im Bereich Automatisierung und Robotik liegen im Trend der Forschung und Entwicklung - jedoch wird die Entwicklung für einen weitflächigen Einsatz durch eine unzureichende flächendeckende Abdeckung der erweiterten Internetabdeckung bzw. mobilen Breitbandverbindung (5G) behindert (u.a. Franken et al. 2019).

Eine Empfehlung an der Schnittstelle zwischen Aussaattechniken und dem Wuchs von Wildkräutern greift die durch die Digitalisierung vereinfachten systemischen Möglichkeiten auf: So wird u.a. auf der DLG-Seite der Agritechnica empfohlen, die Beikrautbekämpfung als ganzheitliches System verschiedenster standortangepasster acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen anzusehen (Agritechnica 2022).

Mit dem Thema beschäftigen sich unter anderem die Forschungsprojekte SMART-PTO, E-HERB-RLP und SUSKULT (vgl. Anhang: Recherchierte FuE Projekte).

Zusammenfassend zeichnen sich folgende Trends / Modernisierungen bei der Aussaat ab:

- Entwicklungen in Sätechnik und Drillmaschinen
- Modernisierte Techniken für die Direktsaat

3.1.4 Bestäubung

3.1.4.1 Vorgehen und Technik der Bestäubung

Der Pollentransport für die Bestäubung erfolgt in der Regel durch Insekten oder den Wind. Die Bestäubung sowie Bestäubungstechniken sind für den Ackerbau nachrangig, da es sich bei allen Feldfrüchten um Selbstbestäuber handelt. Getreidearten (wie Hafer, Weizen, Reis, Mais) zählen zu den Süßgräsern (Poaceae/Gramineae), die sich durch Wind verbreiten (Anemophilie) (Tab. 9). Die in Deutschland weit verbreiteten Hülsenfrüchtler (Leguminosen/Fabaceae, wie z.B. Soja, Erbse, Acker-Bohne) werden fremdbestäubt. Sie können sich aber auch selbst befruchten, sodass auch bei diesen keinerlei Agrartechniken für die Bestäubung zur Anwendung kommen⁵. Künstliche Bestäubung ist vorrangig im Obst-, Gemüseanbau unter hohen

⁵ vgl. www.Deutschland-summt.de

begehbaren Schutzabdeckungen einschl. Gewächshäusern von Bedeutung in Form von Pinselbestäubung.

Tab. 9: Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Bestäubung.

Herkömmliche Agrartechnik: Bestäubung	
Direkte Verfahren	Präventive Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Manuelle Bestäubung (Pflanzenzucht) • Bestäubungsdrohnen 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenschutzmaßnahmen • Insektenhaus

3.1.4.2 Modernisierte Agrartechnik und Trends der Bestäubung

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Bestäubung“

Recherchierte Artikel und Webseiten: 420

Analysierte Artikel und Webseiten: 20

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 0 (da keine Relevanz für Ackerbau, Relevanz im Gartenbau evtl. zukünftig vorhanden)

Identifizierte Forschungsprojekte: 13

Für die Bestäubung im Ackerbau gibt es in Deutschland (noch) keine relevante Agrartechnik. In der experimentellen Forschungsphase befinden sich digitale Techniken für **Mini-Applikationen** in Form von Drohnen. Eine mögliche Relevanz wird für sie aufgrund des derzeitigen Forschungs- und Entwicklungsstandes erst mit langfristiger Perspektive gesehen (Jin et al. 2021).

Die größte Optimierung besteht in übereinstimmender Bewertung der Fachliteratur durch die Förderung des Bienenbestands. Größte Ertragssteigerungen sind nachweisbar, wenn Honigbienen (*Apis mellifera*) vorhanden sind, die mit der Bestäubung der Pflanze einen hohen Effekt generieren, der nicht durch Technik zu erzielen wäre. Im Gartenbau werden unter hohen begehbaren Schutzabdeckungen bzw. Gewächshäusern gezielt Hummeln für die Bestäubung der Pflanzen eingesetzt.

Im Vordergrund der recherchierten Literatur standen daher auch Artikel zum Schutz der (Wild-)Bienen und Hummeln, zum Erhalt der Lebensräume sowie zu Appellen zur Einhaltung des Leitfadens „ökologischer Landbau“ in Bezug auf die Bestäubergeräten (Hass 2010; Sanders & Heß 2019). Die Recherche in den Projektdatenbanken zeigen zahlreiche laufenden Projekte zur Erforschung und Verbesserung der Bestäuberleistungen im Ackerbau (z.B. BienABest und OCELL; s. Anhang: Recherchierte FuE Projekte).

Präventive Maßnahmen sind insbesondere allgemeine Maßnahmen zum Schutz von bestäubenden Insekten, Etablierung von Blühstreifen, die vorübergehende Stilllegung von Ackerflächen und -randstreifen, weitere insektenfreundliche Strukturen in der Landschaft (Hecken,

Feldraine etc.), Einrichtung von ökologischen Vorrangflächen⁶, die Anbaudiversifizierung, die Erhaltung von Grünland und der Verzicht auf bienentoxische Pflanzenschutzmittel (PSM).

Zusammenfassend zeichnen sich folgende Trends / Modernisierungen bei der Bestäubung ab:

- Trend zu technischen Neuerungen durch Mini-Applikationen
- Ausweitung der präventiven Maßnahmen (z.B. Anlegen von Blühstreifen, Steinhaufen)

3.1.5 Pflanzenschutz

3.1.5.1 Allgemeines Vorgehen und Technik im Pflanzenschutz

Ziel des Pflanzenschutzes ist generell die Abwehr von Krankheiten, Schädlingen und Beikräutern. Pflanzenschutz ist in Deutschland nach „guter fachlicher Praxis“ durchzuführen. Hierzu gehören laut „Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen“ (PflSchG) im Einklang mit dem Gesetz zum Naturschutz und der Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG, hier § 5) u. a. Vorgaben, die Anwendung und Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß zu beschränken (Deutscher Bundestag 2012). Integrierter Pflanzenschutz ist eine spezifische Strategie innerhalb der guten fachlichen Praxis. Dieser ist laut PflSchG "eine Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel (PSM) auf das notwendige Maß beschränkt wird."

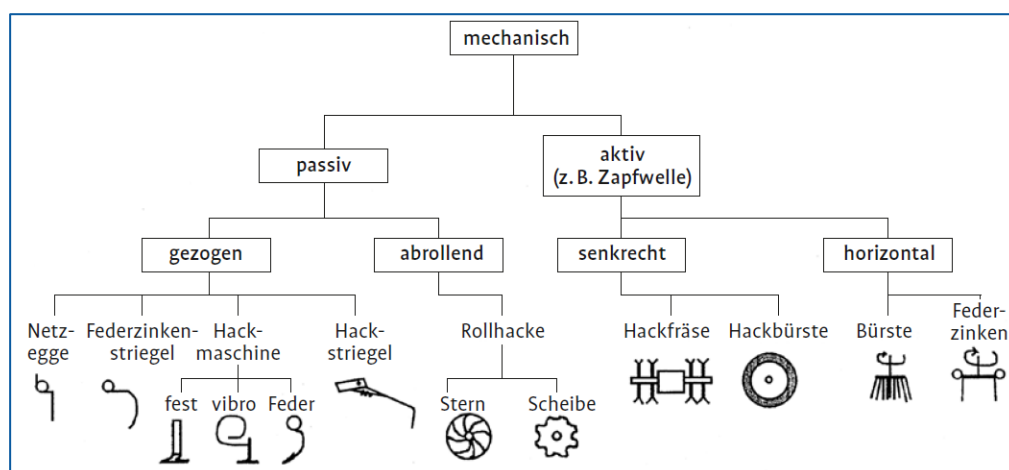


Abb. 8: Werkzeuge der mechanischen Beikrautbekämpfung (Köller & Hensel 2019).

Empfehlungen für die Praxis können beispielsweise jeweils im Frühjahr und Herbst dem Ratgeber der unteren Landwirtschaftsbehörden, wie z.B. der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein entnommen werden (LWK SH 2021; 2022). Hier werden Abstandsauflagen zum Schutz von Wasserorganismen, Abstandsauflagen zum Schutz des Grundwassers,

⁶ Erläuterung: Ökologische Vorrangflächen sind Ziel der GAP-Förderperiode (2014-2020) und umfassen verschiedene Flächentypen mit unterschiedlicher Relevanz für Bestäuber (z.B. Zwischenfrüchte). Ab der neuen Förderperiode (2023-2027) wird es diese Flächentypen in der Form nicht mehr geben.

Abstandsauflagen zum Schutz von Nicht-Zielorganismen, sonstige Auflagen, Beizauflagen und Auflagen zum Schutz von Bienen einzelner PSM gelistet.

Der Integrierte Pflanzenschutz besteht aus indirekten, verfahrenstechnischen Bekämpfungsmaßnahmen (**präventive Maßnahmen**), wie beispielsweise Fruchtfolge, geeignete Standortwahl, Düngung, Bevorzugung resistenter Sorten und geeignete Anbautechniken, sowie **direkten Maßnahmen** (Tab. 10). Die direkte Verfahrenstechnik wird in **biologische Verfahren**, **physikalische Verfahren** - mit mechanischen (Abb. 8) und weiteren **physikalischen Verfahren** (z.B. **mit thermischen Verfahren**) - und **chemische Verfahren** eingeteilt. Biologische Verfahren, wie die Ausbringung von Nützlingen und natürlichen Antagonisten, von Viren, Bakterien und Pilzen gegen Schädlinge finden zunehmenden Einsatz in der Praxis. Die größte Bedeutung bei den nichtchemischen Pflanzenschutzverfahren hat die mechanische Beikrautbekämpfung. Thermische Verfahren werden für die Unkrautkontrolle eingesetzt. Ein Gasbrenner erhitzt Pflanzenteile kurzzeitig auf etwa 50–70°C, so dass es durch Schädigung der Zellproteine zum Absterben des Beikrauts kommt. Erwähnenswert bei den chemischen Verfahren sind die Voraufbauherbizide.

Tab. 10: Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Pflanzenschutz.

Herkömmliche Agrartechnik: Pflanzenschutz				
Mechanische Verfahren	Thermische Verfahren	Biologische Verfahren	Weitere physikal. Verfahren	Chem./integrierte Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Striegel • Hacke • Fräse • Schröpfschnitt gegen Beikräuter • Wühlmauspflug 	<ul style="list-style-type: none"> • Solarisation • Abflammen • Bodendämpfung • Thermotherapie 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzorganismen (Nützlinge) • Verhaltenskontrolle • Induzierte Resistenz 	<ul style="list-style-type: none"> • Exklusion/Barrieren • Verwendung von Staub/Puder • Verwendung von Wasser • Verwendung von Luft 	<ul style="list-style-type: none"> • (Bio-)Pestizide • Abdriftreduzierende Düsen

Diese Voraufbauherbizide (engl. pre-emergence treatment herbicides oder kurz pre-emergence herbicides) werden meist kurz nach dem Einsäen der Kulturpflanzen, aber vor dem Auflaufen der ersten Kulturpflanzen ausgebracht. Sie werden nicht mechanisch in den Boden eingearbeitet. Der Wirkmechanismus beruht darauf, dass die keimende unerwünschte Konkurrenz durch Beikräuter in der Regel aus den obersten Bodenschichten stammen (< 50 mm). Die Kulturpflanzen sind hingegen tiefer eingesät. Durch (leichten) Regen oder Überkopfbewässerung muss das Herbizid in die oberste Bodenschicht eingewaschen werden. Dem gegenüber steht die Nachaufbauanwendung, die erst nach einer Bonitur der Beikräuter und bei einer entsprechenden Befallsdichte zur Anwendung kommen sollte. Für die verschiedenen Einsatzbereiche beim chemischen Pflanzenschutz steht eine Vielzahl von Gerätebauarten zur Verfügung. In Ackerbaukulturen werden Feldspritzgeräte eingesetzt, die sich hinsichtlich Bauart, Behältervolumen, Gestängebreite (des eingesetzten Gerätes) und Ausstattung unterscheiden. Mechanische Hackgeräte kommen prinzipiell in allen Kulturen zur Anwendung, werden aber an spezifische Anbaubedingungen angepasst. Zu unterscheiden sind reihenunabhängig arbeitende Geräte (z.B. Striegel) für Getreide und reihenabhängige Geräte (z.B. Hacke) für Hackfrüchte und Gemüse.

3.1.5.2 Modernisierte Agrartechnik und Trends im Pflanzenschutz

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Pflanzenschutz“

Recherchierte Artikel und Webseiten: 2.407

Analysierte Artikel und Webseiten: 111

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 10

Identifizierte Forschungsprojekte: 23

Übergeordnetes Ziel der Pflanzenschutztechnik ist – und bleibt absehbar – die präzise Applikation möglichst geringer Aufwandmengen chemischer PSM unter Einhaltung geltender gesetzlicher Vorgaben und verbunden mit maximaler biologischer Wirksamkeit. Ein Treiber, um diese Zielvorgaben optimal umzusetzen, besteht im Einsatz von „intelligenter“ Pflanzenschutztechnik (Tab. 11). Diese baut auf maschinenlesbaren Applikationsarten verbunden mit einer elektronischen Dokumentation auf und integriert dadurch unterschiedliche automatisierte Funktionen (vgl. Köller & Hensel 2019). Um Präzisionstechnik zu realisieren, kann Automatisierungs- und Robotertechnik eingesetzt werden. Im Vergleich zu früheren Landmaschinen sind dies relativ kleine Maschinen, die autonom oder teilweise autonom den Pflanzenschutz auf einem Schlag ausführen können. Verschiedene Arten der Erkennung und der Beseitigung von Unkräutern oder Schadorganismen sind möglich (DLG Merkblatt 449).

Eine Separierung der Wirkstoffe kann durch Direkteinspeisung vorgenommen werden. Diese ermöglicht die unabhängige Dosierung verschiedener PSM. Die Mischung von Mitteln und Wasser erfolgt direkt auf dem Feld. Das System ist auch zur Teilflächenbehandlung hilfreich.

Auch neue Ansätze, wie die Fahrgassenschaltung (Zu- und Abschalten von Pflanzreihen, die bewirtschaftet werden sollen) können zu einer (weiteren) Minimierung der notwendigen Menge an Pflanzenschutzmitteln beitragen (Wegener 2020). Seit September 2021 gilt mit der geänderten Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung ein eingeschränkter Einsatz von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln, z.B. in Naturschutzgebieten (Genehmigungen 2023 im Naturschutzgebiet [NSG] nach § 4 Abs. 2 Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung). Zukünftig ist der Einsatz von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln aber noch möglich, wenn in Einzelfällen andere vorbeugende Maßnahmen, wie die Wahl einer geeigneten Fruchtfolge, eines geeigneten Aussaatzeitpunktes, mechanische Maßnahmen im Bestand oder das Anlegen einer Pflugfurche nicht durchgeführt werden können und gleichzeitig andere technische Maßnahmen nicht geeignet oder zumutbar sind (LWK SH 2022).

Mit Hilfe eines Kamerasystems werden die Kulturpflanzenreihen erfasst. Die Position der Düsen der **Bandspritzleitung** kann durch seitliches Verschieben automatisch an die Reihe angepasst werden (Wegener 2020). Einzeldüsen an den Pflanzenschutz-Spritzen werden angesteuert, ein tropfenweises Präzisionssprühen wird ermöglicht (Köller & Hensel 2019).

Die Technik der **Pulsweitenmodulation** (PWM) ermöglicht die Realisierung verschiedener Ausbringungsmengen bei annähernd gleichem Druck und gleicher Tropfengröße mit nur einem Düsenkaliber. Erreicht wird dies durch hochfrequentes An- und Ausschalten der Düsen, wobei die Länge der Einschaltzeit (Pulsweite) die Durchflussmenge bestimmt. Die Anzahl der Systeme zur Pulsweitenmodulation auf dem deutschen Markt nimmt weiter zu und dient als Basis

zur Etablierung von Funktionalitäten wie der Anpassung der Ausbringungsmenge in Kurvenfahrten oder zur teilflächenspezifischen Applikation in der Praxis.

Tab. 11: Tabellarische Darstellung modernisierter Agrartechnik: Pflanzenschutz.

Modernisierte Agrartechnik: Pflanzenschutz			
Technisch			Verfahrenstechnisch
Digitalisierung/Präzisionspflanzenschutz	Mechanische Verfahren	Chemische/integrierte Verfahren	Weitere physikal. Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> Teilflächenbehandlung (Nesterweise, Teilbreiten, Einzelpflanzenbehandlung) Spot Farming Bandspritzung Direkteinspeisung PSM Einzeldüsensteuerung an PS-Spritze, Tropfenweises Präzisionssprühen (Ecorobotics) Präzisionshacken Automatisierung- und Robotertechnik um Präzisionstechnik zu realisieren Sprüh-Drohnen Unkraut-/Schädlings-/Krankheitsdetektion mittels Sensortechnik elektro-weeding 	<ul style="list-style-type: none"> Striegel Hacke Fräse Schröpfschnitt gegen Beikräuter Wühlmauspflug 	<ul style="list-style-type: none"> Abdriftreduzierende Düsen Steigerung der Präzision durch Teilbreiten und Einzeldüsensteuerung Separierung der Wirkstoffe durch Direkteinspeisung Kopplung von chemischen und mechanischen Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> Verringerung des Krankheitsdrucks durch zeitlichen (Fruchtfolgen) und räumlichen Abstand Vermeidung der Ausbreitung Fruchtfolge inkl. Zwischenfruchtanbau Multi-/Intercropping Begleitpflanzen

Weiterhin zu nennen sind **abdriftreduzierende Düsen** bspw. Injektordüsen, bei denen relativ kleine Tropfen von einem Luftstrom umhüllt werden, sodass sie weniger abdriftempfindlich sind (Wegener 2020). Injektordüsen weisen eine abdriftarmen Applikation der PSM auf. Durch eine Luftansaugung der Düse wird eine bläschenartige Tropfenbildung erreicht, mit der eine gezielte Ausbringung von PSM in Verbindung mit einer Abdriftreduzierung von bis zu 90 % möglich ist (Wegener 2020).

Des Weiteren gibt es neue und vielversprechende **Systeme zur digitalen Unterstützung** der Anwender, bei denen der gesamte Prozess im Fokus steht: Sensoren zur Bedarfsermittlung und Zielerfassung und Bedarfs-PS (kranke Pflanzen, Beikraut) (M. Schirrmann, Arbeitsgruppenleiter "Präzises Pflanzenmonitoring" ATB-Potsdam, pers. Komm.). Durch Direkteinspeisung kann ein separater Einsatz der Wirkstoffe erzielt werden (Köller & Hensel 2019) wodurch die unabhängige Dosierung verschiedener PSM ermöglicht wird. Die Mischung von Mitteln und Wasser erfolgt direkt auf dem Feld. Durch die erforderlichen umfangreichen Rechenprozesse ist die praktische Anwendung dieser Technik relativ schwierig, da deswegen eine sehr geringe Fahrgeschwindigkeit erreicht wird.

Sprüh-Drohnen zum chemischen Pflanzenschutz sind derzeit noch in unterschiedlichen Forschungsstadien (Keicher et al. 2021). Basierend auf dem aktuellen Stand wird eine Relevanz für diese Technik nicht gesehen (Keicher et al. 2021).

Auch völlig neue Ansätze wie die **Fahrgassenabschaltung** zeigen, dass die Möglichkeiten zur Pflanzenschutzmitteleinsparung noch nicht ausgereizt sind (Wegener 2020). Eine Steigerung der Präzision durch Teilbreitensteuerung zur Reduzierung der Ausbringungsmenge kann durch eine automatische Teilbreitensteuerungen erzielt werden. Diese schaltet Teilbereiche automatisch aus, wenn diese bereits bearbeitet wurden oder bei Überschreitung von Feldgrenzen bzw. bei ausgeschlossenen Flächen.

Vor dem Hintergrund der „**Wiederentdeckung**“ der **mechanischen Beikrautbekämpfung** in Reihenkulturen wird auch das Thema Bandspritzung wieder aktuell. Üblicherweise wurden dazu in der Vergangenheit die Verfahren Hacken und Spritzen in einer Maschine kombiniert. Weil aber die idealen Einsatzzeitpunkte beim (Präzisions-) Hacken – warm, windig und trocken – im Kontrast zum Spritzen – bedeckt und windstill – differieren, bieten einige Hersteller Lösungen zur Verfahrenstrennung an (Wegener 2020). Das Präzisionshacken steht als Technik bereit, ist aber bisher zu teuer, um wirkliche Relevanz in der Praxis zu haben. Bedingt durch die zu erwartenden Restriktionen und Risiken bei der Zulassung chemischer Wirkstoffe gewinnt die **mechanische Beikrautbekämpfung** zunehmend an Interesse. Auch hier werden traditionelle Werkzeuge durch Sensor- und Kamerasysteme zur Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit und Präzisierung der Geräteführung ergänzt (Köller & Hensel 2019). Zu nennen sind hier Teilflächenbehandlung (Nesterweise, Teilbreiten) und Spot Farming (Einzelpflanzenbehandlung) (Wegener et al. 2017). Teilbreiten sind elektrische Motorventile zur individuellen Zusammenstellung einer Armatur für die Feldspritze. Hierbei können 'Nester' Beikrautnester aus z.B. Kamille und Ackerfuchsschwanz, nasse Bereiche und nicht gekeimte Bereiche sein. Der Schröpfschnitt ist eine Mahd, um schnellwachsende Beikräuter auszubremsen und die Konkurrenzkraft der Kulturpflanzen zu stärken. Der sogenannte Wühlmauspflug beinhaltet die Ablage von Ködern in ca. 10-30 cm Tiefe und Anlage eines Kanals.

Auch **elektro-weeding** (Bekämpfung von Beikräutern durch Stromschlag) ist hier als innovative Technik zu nennen (Lati et al. 2021). Nach wie vor ist das Verfahren im Vergleich zur Herbizidapplikation kostenintensiver, was auf einen hohen einzusetzenden Zeitfaktor (niedrige Betriebsgeschwindigkeit) und hohen Energieverbrauch zugeführt wird (Nolte et al. 2018). Thermische Verfahren werden allerdings derzeit (noch) als zu teuer und aufwändig für den Ackerbau eingestuft.

Insgesamt erfolgen damit im Bereich des Pflanzenschutzes innovative Entwicklungen der „intelligenten“ Pflanzenschutztechnik parallel zu „Wiederentdeckungen“ (verbunden mit Weiterentwicklungen) von mechanischen Verfahren, wie bei der Beikrautbekämpfung. Die parallele Entwicklung muss nicht im Widerspruch stehen, genauso wenig wie auch eine parallele Einführung am Markt. Ob und welche Technik sich dagegen durchsetzen wird, ist derzeit nicht absehbar und auch abhängig von der jeweiligen Kultur. Im Weinbau werden beispielsweise Rollhacke und (Unterstock-)Bürste häufig als Alternative zur chemischen Beikrautbekämpfung genutzt. Auch werden hier sogenannte Recyclingspritzen eingesetzt, die den Sprühnebel von PSM wieder einfangen und somit Abdrift minimieren. Das so eingefangene PSM kann wieder ausgebracht werden, daher macht es den Einsatz von PSM effizienter (M. Brendel, pers. Komm.). Es ist zu erwarten und empfehlen, dass die Forschung zu den verschiedenen Techniken aufgrund der unterschiedlichen Einsatzbereiche parallel fortgeführt wird. Darauf weisen auch mehrere zurzeit laufenden Forschungsprojekten hin wie BETTER-WEEDS, MiteSens, DairyMix, FarmerSpace und MONIQUA sowie PHLIP.

Zusammenfassend zeichnen sich folgende Trends /Modernisierungen beim Pflanzenschutz ab:

- Verbesserungen zur mechanischen Beikrautbekämpfung
- „Intelligente“ Pflanzenschutztechnik, z.B. mit Anpassung der Düsen
- Entwicklung von Sprüh-Drohnen
- Entwicklungen und Tests im Bereich des elektro-weeding

Kasten 3: Modernisierte Agrartechnik zum Pflanzenschutz: Entwicklungen aus Sicht des Artenschutzes

Entwicklungen im Bereich modernisierter Agrartechniken im Pflanzenschutz erfolgen in der Regel zunächst primär vor dem Hintergrund eines wirtschaftlich effizienten und ressourcenschonenden Einsatzes. Eine Relevanzbetrachtung im Hinblick auf Nachhaltigkeit ist damit nicht notwendigerweise verbunden. Aus einer derartigen fehlenden Gesamtbetrachtung heraus entsteht leicht eine Divergenz, bei der eine entwickelte modernisierte Agrartechnik nicht im Übereinklang mit Nachhaltigkeitszielen, wie etwa dem nachhaltigen Pflanzenschutz steht⁷. Tatsächlich finden Relevanzbetrachtungen von vielfach langfristig schädigenden Wirkungen einzelner PSM auf die biotische und abiotische Umgebung (vgl. Kap. 5) und die hierzu stattfindenden Neuzulassungen oder auch Verbote in der Forschung zu weiterentwickelter und verbesserter Agrartechnik (vgl. Definition, Kasten 1 und 2) kaum oder keine Berücksichtigung. Im Rahmen dieses Projektes zur Untersuchung der Auswirkungen modernisierter Agrartechniken aus Sicht des Artenschutzes war damit eine isolierte Betrachtung der Technik und technologischen Entwicklung vor dem Hintergrund der großen Bedeutung von PSM auf Arten nicht sinnvoll (vgl. Kap. 6).

3.1.6 Düngung

3.1.6.1 Allgemeines Vorgehen und Technik in der Düngung

Düngen heißt, die Pflanzen mit den Nährstoffen zu versorgen, die sie ansonsten nicht in optimaler Menge aufnehmen können. Grundsätzlich sollte die Landwirtin bzw. der Landwirt so düngen, dass die Düngegabe zeitlich und mengenmäßig an den Nährstoffbedarf der Pflanzen

⁷ Die EU-Kommission hat am 22. Juni 2022 den Entwurf einer Verordnung zur nachhaltigen Verwendung von Pflanzenschutzmitteln (Sustainable Use Regulation – SUR) veröffentlicht, in der die Ziele der „Farm-to-Fork-Strategie“ und der Biodiversitätsstrategie rechtlich verankert werden sollen. Diese Aktivitäten werden auf nationaler Ebene in dem Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) aufgegriffen (BMEL 2023). Die konkreten Schwerpunkte des NAP betreffen:

- Aktualisierung und Ergänzung der Leitlinien zum integrierten Pflanzenschutz;
- Zusammenstellung alternativer Pflanzenschutzverfahren sowie eine Analyse bestehender Lücken bei der Verfügbarkeit entsprechender Verfahren; Ableitung von Zielen und Maßnahmen;
- Analyse des Sachstands zur Entwicklung und Anwendung digitaler Technologien in der Praxis und Identifikation von Lücken in diesem Bereich; Ableitung von Zielen und Maßnahmen;
- Erarbeitung von Ansätzen zur Weiterentwicklung von Anbausystemen mit geringerer Abhängigkeit von Pflanzenschutzmitteln;
- Anpassung des Zielwerts des NAPs für den Ausbau des ökologischen Landbaus auf 30 %.

angepasst ist und so wenig Umweltbelastungen wie möglich entstehen. Die Düngung darf nur nach „guter fachlicher Praxis“ nach der Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen⁸, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) durchgeführt werden (DÜV 2017; 2020).

Eine wichtige Grundlage bei der Düngung ist das Minimumgesetz von Justus Liebig: Wachstum wird durch die knappste Ressource begrenzt (Abb. 9). Bei Vorliegen eines solchen Mangelfaktors hat es keinen Einfluss auf das Wachstum, wenn eine Ressource hinzugegeben wird, die bereits im benötigten Umfang vorhanden ist. Die Untersuchung des Bodens auf den pH-Wert und die Nährstoffe Phosphat, Kali und Magnesium bildet die Grundlage für eine gezielte Düngung. Die Bodenuntersuchung sollte alle 3 bis 4 Jahre im Rahmen der Fruchtfolge wiederholt werden. Sehr hilfreich bei der Bemessung der Stickstoffdüngung ist die Ermittlung des zu Vegetationsbeginn bereits in verfügbarer Form im Boden enthaltenen mineralischen Stickstoffs durch eine sogenannte Nmin-Untersuchung. In der DüV enthalten ist die Verpflichtung zur jährlichen Ermittlung des Nmin-Gehalts auf jedem Schlag bzw. jeder Bewirtschaftungseinheit (außer auf Dauergrünland) vor der Düngung. Zugelassen sind sowohl Nmin-Untersuchungen von den eigenen Flächen wie auch die Übernahme von Richtwerten der Landwirtschaftskammer (LWK), die zu den relevanten Terminen in den Landwirtschaftszentren der LWK und im Wochenblatt veröffentlicht werden. Vor kurzem wurden Nmin-Richtwerte für die Winterkulturen in 2023 beispielsweise durch die LWK Nordrhein-Westfalen veröffentlicht. Diese dürfen bei der Düngebedarfsermittlung verwendet werden (LWK NRW 2015; 2021).

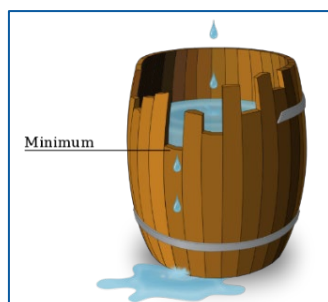


Abb. 9: ¹Minimumgesetz von Justus Liebig: Wachstum wird durch die knappste Ressource begrenzt (Wikipedia 2023).

Der Nährstoff- und damit auch der Wasserbedarf der Pflanzen sind vor allem in der jeweiligen Hauptwachstumszeit der Pflanzen hoch. Bei Getreide ist das der Zeitraum von der Bestockung (Keimpflanze bildet Seitentriebe) bis Ende der Blüte, bei Kartoffeln von der Knospenbildung bis zur Vollblüte, bei Zuckerrüben zur stärksten Blattentwicklung, bei Futterpflanzen und Grünfütter vor dem Schnitt. Für Mais und Getreide zur Grünfütterung können die

⁸ Bodenhilfsstoffe sind Stoffe, die dem Boden zugesetzt werden, um dessen physikalische, chemische oder biologische Eigenschaften zu verbessern. Hierzu gehören beispielsweise Bodenverbesserungsmittel zur Bodenstrukturförderung oder Bodenaktivatoren zur Förderung der Bodenmikroorganismen. Der Einsatz von Bodenhilfsstoffen soll dazu beitragen, den Boden fruchtbarer und widerstandsfähiger gegen Umweltbelastungen zu machen. Eine relativ neue und zunehmend bedeutsame Gruppe sind die Biostimulanzien aus der Gruppe der Bodenhilfsstoffe, zu denen Algenprodukte, Pilze, Bakterien und Mikroorganismen gehören (UBA 2021).

Makrostadien zur Beschreibung der phänologischen Entwicklung der BBCH-Skala herangezogen werden (JKI 2018).

Die Menge der ausgebrachten Düngemittel ist über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen geregelt (DüV 2017; 2020).

Tab. 12: Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Düngung.

Herkömmliche Agrartechnik: Düngung		
WIRTSCHAFTSDÜNGER	MINERALDÜNGER	PRÄVENTIVE VERFAHREN
		<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit • Verbesserung der Nährstoffhaltbarkeit • Steigerung der organischen Masse
Flüssig+B20	Flüssig	
<ul style="list-style-type: none"> • Breitverteiler • Schleppschlauch • Schleppschuh • Schlitzschuh • Injektoren • Strip-Till-Verteiler 	<ul style="list-style-type: none"> • Feldspritze • Injektionsdüngung 	
Fest	Fest	
<ul style="list-style-type: none"> • Miststreuer 	<ul style="list-style-type: none"> • Schleuderstreuer • Pneumatikstreuer • Zentrifugaldüngerstreuer mit Wiegeeinrichtung • Unterfußdüngung 	

Hauptmerkmale der herkömmlichen Düngetechnik sind Geräte zur Ausbringung von **Wirtschaftsdünger** bzw. organischem Dünger und von **Mineraldünger** (Tab. 12). Ein Drittel der Wirtschaftsdünger liegen in fester Form als Festmist verschiedener Tiere vor. Die festen Wirtschaftsdünger werden mit Miststreuern verteilt. Bei den flüssigen Wirtschaftsdüngern handelt es sich um Tiergülle und um Gärresten aus Biogasanlagen. Der exakten Kenntnis der Nährstoffgehalte bei der Dosierung der festen und flüssigen Wirtschaftsdünger kommt eine wichtige Rolle für das Erreichen einer hohen Nährstoffeffizienz und bei der Vermeidung von Umweltschäden zu. Im Fall der flüssigen Wirtschaftsdünger ist darüber hinaus auch die Homogenisierung wichtig. Zur Ausbringung fester mineralischer Dünger kommen primär Zentrifugal-Streuer zum Einsatz. Flüssige Düngemittel werden mit Feldspritzen ausgebracht oder mit Spezialverteilern punktförmig in den Boden eingearbeitet (Injektionsdüngung).

Die Düngung kann durch indirekte, verfahrenstechnische Maßnahmen (präventive Maßnahmen), wie beispielsweise der Steigerung von Bodenfruchtbarkeit durch Verbesserung der Nährstoffhaltbarkeit, durch Zwischensaat mit Leguminosen und über eine Steigerung des Anteils an organischer Substanz unterstützt bzw. ersetzt werden. Diese Vorgehensweise der Bewirtschaftung wird im Rahmen der regenerativen Landwirtschaft praktiziert.

3.1.6.2 Modernisierte Agrartechnik und Trends in der Düngung

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Düngung“

Recherchierte Artikel und Webseiten: 3.294

Analysierte Artikel und Webseiten: 87

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 10

Identifizierte Forschungsprojekte: 18

Entwicklungen in der Düngetechnik sind gekennzeichnet durch die weitere Steigerung von Effizienz und Präzision bei der Applikation hochpreisiger Betriebsmittel (Tab. 13). Bei steigenden Kosten für Mineraldünger sowie steigenden Umwelt- und Wasserschutzauflagen gewinnt präziseres Dosieren und Verteilen zunehmend an Bedeutung auch bei organischen Düngern (Köller & Hensel 2019). Die zielgerichtete Düngung von Till-Flächen (Streifenbearbeitung) anhand des tatsächlichen Pflanzenbedarfs, z.B. durch teilflächenspezifische Stickstoffgaben in Kombination mit N-Sensoren ermöglicht eine teilflächenspezifische Applikation (Wegener et al. 2017). Das breite Angebot preisgünstiger Applikationskarten, die Reglementierung der Düngermengen durch die Düngeverordnung und das Investitions- und Zukunftsprogramm der Bundesregierung fördern den Einsatz teilflächenspezifischer Düngung in der landwirtschaftlichen Praxis (Uppenkamp 2021; Gebbers & Kramer 2017). Dies wird über die Variable Rate Technology (VRT) und generell verschiedene Sensoren ermöglicht (M. Schirrmann, pers. Komm.; Lilienthal et al. 2004; Müller et al. 2009). Applikationskarten unterteilen einen Schlag in verschiedene Zonen, die einen unterschiedlichen Bearbeitungsbedarf aufweisen. Dies dient als Beispiel für die präzise Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. Die kleinräumige Umsetzung von Dünge-Applikationskarten wird durch Entwicklungen in den Bereichen Pneumatikstreuer und Datenaustausch unterstützt (Uppenkamp 2021).

Neue Softwarelösungen stehen im Vordergrund der aktuellen Forschung: Sie helfen bei der Ausbringung von Mischdüngern und beim Streuen in welligem Gelände. Nach technischen Lösungen für die streifenweise Ausbringung von Mineraldünger wird nun auch eine punktuelle, mit der Einzelkornablage synchronisierte Düngerablage angeboten (Uppenkamp 2021; vgl. auch FuE-Projekt DigiAgrar⁹).

Mit elektronischen Steuer- und Regeleinrichtungen, unterstützt durch intelligente Software, lassen sich steigende Anforderungen an die Qualitätssicherung, Rückverfolgbarkeit und Dokumentation erfüllen. Elektrisch angetriebene Dosiersysteme, GPS-gesteuerte Fahrgassenschaltungen, Section Control Systeme¹⁰ und Mehrtankmaschinen zur gleichzeitigen Ausbringung von unterschiedlichen Mineraldüngern sind mittlerweile Stand der Technik (vgl. Kap. 3.1.1).

⁹ https://www.zalf.de/de/forschung_lehre/projekte/Seiten/details.aspx?iddp=2186 (Abruf 10.03.2022)

¹⁰ Vgl. z.B. John Deere (2023): Section Control-Lösungen für die Präzisionslandwirtschaft
<https://www.deere.de/de/smart-farming-losungen/standortspezifische-landwirtschaft/section-control/>

Tab. 13: Tabellarische Darstellung modernisierter Agrartechnik: Düngung.

Modernisierte Agrartechnik: Düngung			
Technisch			Verfahrenstechnisch
DIGITALISIERUNG/ PRÄZISIONSDÜNGUNG	WIRTSCHAFTSDÜNGER	MINERALDÜNGER Flüssig	
<ul style="list-style-type: none"> • Teilflächenspezifische Applikation/höhere Präzision • NIR Sensoren • Dynamische Teilbreitenschaltung (Dynamic Spread Amazone Düngestreuer) • Wissensbasiert und bedarfsabhängig Düngen, variable rate technology (VRT) und Sensoren 	<ul style="list-style-type: none"> • Inhaltsstoffanalyse und Einarbeiten bei Gülle • Schleppschuh • Schlitzschuh • Injektoren • Strip-Till-Verteiler 	<ul style="list-style-type: none"> • Injektionsdüngung 	<ul style="list-style-type: none"> • Zwischenfruchtanbau, N-Fixierung • Bodenverbesserung • Verbesserung der Nährstoffhaltefähigkeit • Steigerung der org. Bodensubstanz

Mittels der neuen dynamischen Teilbreitenschaltung wird zudem ermöglicht, dass die Ausbringung entsprechend eines Tankinhalts und der Menge des auszubringenden Düngers auf dem Acker variiert wird. Gleichmäßiges Dosieren und Verteilen des Düngers sowie präzises Randstreuen an Feldgrenzen unter Beachtung der Vorgaben der neuen Düngeverordnung ist dank GPS, Datenaustausch zwischen Schlepper und Gerät (ISOBUS) sowie gesteuerter Applikationstechnik für technologisch führende Maschinenhersteller bereits heute Stand der Technik – wenn sie auch noch nicht notwendigerweise in der breiten Anwendung erfolgen. Gründe hierfür liegen z.B. in den hohen finanziellen Aufwendungen für die Anschaffung oder unzureichende Netzwerk-Abdeckung.

Bei der Digitalisierung der Landwirtschaft werden Rebound-Effekte befürchtet (Forschungsprojekt DigiAgrar⁹). Techniken der Präzision und Automatisierung könnten primär zur Intensivierung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung genutzt werden. Damit würden Effizienzsteigerungen nicht für eine Reduktion der Inputs, wie etwa Agrochemikalien und Düngemittel, sondern für eine Vergrößerung des Outputs genutzt.

Besonderheiten Wirtschaftsdünger / Organischer Dünger (z.B. Gülle)

In der Düngung mit organischem Dünger ist die Nährstoffbestimmung mittels „**Nahinfrarotspektroskopie (NIR)** – Sensorik“ für Gülle¹¹ bzw. Gärreste beim Befüllen des Güllewagens, beim Aufrühren des Fassinhalts oder bei der Ausbringung heute mit nie dagewesener hoher Präzision möglich (Köller & Hensel 2019, vgl. auch FuE Projekt „Metagülle“¹²). Für die Applikation von Wirtschaftsdünger bieten die neuen Systeme darüber hinaus die Möglichkeit einer gleichzeitigen **Inhaltsstoffanalyse**, deren Ergebnisse in Echtzeit zur Verfügung stehen.

¹¹ UBA und KTBL (2021): <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ammoniakemissionen-in-der-landwirtschaft-mindern>

¹² <https://www.atb-potsdam.de/de/forschung/forschungsprojekte/projektsuche/projekt/projekt/metagulle> (Abfrage 10.03.2022)

Für diese beschriebenen neuen (modernisierten) Düngemethoden gilt allerdings, dass der Einsatz trotz der technischen Möglichkeiten bisher nur punktuell erfolgt. Ein Grund dafür wird in den hohen Anschaffungskosten gesehen. Auch für die (mittelfristige) Zukunft zeichnet sich hierbei keine grundsätzliche Veränderung ab, wobei die Prognose maßgeblich über die parallele Einführung neuer Nutzungs- und Vermarktungskonzepte beeinflusst werden kann (z.B. kollektive Verwendung, anteilige Nutzung mit Verteilung der Kostenlast).

Das Einarbeiten von organischem Dünger bzw. Gülle in den Acker erfolgt im nächsten Arbeitsschritt dann durch Schleppschuh, Injektoren oder Strip-Till-Verteiler. Strip-Till-Verteiler sind eine Sonderbauform der Injektoren zur Ausbringung auf mit Zwischenfrüchten bestandenen Flächen vor der Aussaat. Im Gegensatz zu festen Wirtschaftsdüngern, bei denen es keine Alternative zum klassischen Miststreuer gibt, können moderne Ausbringungstechniken wie Schleppschlauch, Schleppschuh, Schlitzverfahren oder Güllegrubber bei flüssigem Wirtschaftsdünger deutlich dazu beitragen, die NH₃-Emissionen¹³ der Landwirtschaft zu senken – 65 % der flüssigen Wirtschaftsdünger werden mit emissionsmindernder Technik ausgebracht (DBV 2021). Für Techniken in diesem Bereich werden hohe Chancen in der Landwirtschaft gesehen, da bei einer Umstellung unmittelbare finanzielle Vorteile aus dem Einsatz entstehen und eine Amortisierung von vergleichsweise niedrigen Anschaffungskosten in absehbarer Zeit gegeben ist.

Besonderheiten Mineraldünger

Mineraldünger haben einen großen Produktivitätsfortschritt in der Landwirtschaft ermöglicht. Gleichzeitig ist ihr Einsatz aufgrund der energieintensiven Herstellung und der Auswirkungen auf die Umwelt (z.B. Wasser) umstritten. Weiterentwicklungen für die Mineraldüngung beziehen sich vor allem auf neue Applikationsmethoden bei der Flüssigaufbringung oder der **Injektionsdüngung**. Dabei ist vor allem die Injektionsdüngung von hoher Bedeutung, die eine immer präzisere Aufbringung ermöglichen. Bei den alternativen – neuen – Düngeverfahren ist es nunmehr möglich, flüssige nitratfreie Stickstoff- oder Phosphordünger als Depot exakt in die Nähe der Pflanzenwurzeln zu platzieren.

Gepaart ist diese technische Entwicklung mit der Geräteentwicklung, bei der beispielsweise die Verwendung von Sternrohr-Lösungen als sinnvoll beschrieben werden, die es grundsätzlich bereits länger gibt (vgl. Farack & Albert 2011). Das Sternrohr besteht aus einer zentralen Leitung, von der mehrere Arme abzweigen. An jedem Arm ist ein Düsenpaar angebracht, das die Düngemittel in einem bestimmten Muster auf dem Boden ausbringt. Die Verwendung von Sternrohr-Lösungen erhöht die Effizienz der Düngung und ermöglicht eine gezieltere Anwendung von Nährstoffen. Des Weiteren kommen für die Aufbringung vermehrt „Schleppschuhe“ zum Einsatz, eine schuhähnliche Vorrichtung zur Ablage der Wirtschaftsdünger in schmalen Streifen in den angeritzten Boden (beschrieben z.B. in: Köller & Hensel 2019).

¹³ Zur Senkung von NH₃-Emissionen durch diese Techniken s. z.B. UBA und KTBL (2021): <https://www.umwelt-bundesamt.de/publikationen/ammoniakemissionen-in-der-landwirtschaft-mindern>



Abb. 10: Anzahl der Ökologisch wirtschaftenden Betriebe in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt, BLE)

Die Technik ermöglicht zusammenfassend durch Präzisierung eine Reduktion in der Düngung. Die derzeitige Praxis sieht aber so aus: Beim Einsatz von Dünger spielen wirtschaftliche Aspekte eine wichtige Rolle. Beispielsweise trugen die bisher geringen Kosten für Dünger, verbunden mit einem hohen wirtschaftlichen Druck dazu bei, dass eine erhöhte Düngemittelausbringung erfolgte. Sofern ein höherer Output an Ertrag nötig ist, nimmt der Druck auf die Landwirtschaft zu – mehr Dünger wird appliziert. Gleichzeitig ist einzubeziehen, dass die Anzahl von ökologisch wirtschaftenden Betrieben in Deutschland zugenommen hat (s. Abb. 10), die ihrerseits die Einbringung von Dünger möglichst reduzieren.

Für die Zukunft sind damit insgesamt verschiedene Szenarien denkbar. Gerade bei der Düngung steht zu erwarten, dass Technikentwicklung und -einsatz sich stark in Abhängigkeit von politischen Vorgaben entwickeln werden. Die Bundesregierung hatte im Frühjahr 2023 bereits die Regeln zum Düngen von Äckern verschärft. (vgl. European Green Deal¹⁴, Reformierung deutsche Düngeverordnung¹⁵). Es ist davon auszugehen, dass sich durch die noch deutlichere Schwerpunktsetzung auf das Verursacherprinzip im Düngerecht, aber auch weiteren Faktoren wie dem Ukraine-Krieg der (Kosten-)druck auf landwirtschaftliche Betriebe erhöhen wird¹⁶.

Einige Forschungsprojekte, die sich mit diesem Thema beschäftigen, sind zum einen Green-Cycle und SOFI und zum anderen DaLeA und pH BB (s. Anhang).

¹⁴ Mit dem European Green Deal wurde das Ziel gesetzt, den Einsatz von Düngemitteln bis 2030 um mindestens 20 % zu reduzieren, s. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (abgerufen 10.03.2022)

¹⁵ Deutsche Düngeverordnung ab 2017, s. <https://www.buzer.de/s1.htm?g=D%C3%BCV&f=1> (abgerufen 10.03.2022)

¹⁶ Vgl. „Landwirte kaufen wegen Ukraine-Krieg weniger Dünger“, Abruf 03.07.2023, <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Landwirte-kaufen-wegen-Ukraine-Krieg-weniger-Duenger-article24011245.html>

Zusammenfassend zeichnen sich technisch betrachtet folgende Trends /Modernisierungen bei der Düngung ab:

- Modernisierung präventiver Verfahren
- Präzisionsdüngung mit elektronischen Steuer- und Regeleinrichtungen
- Nährstoffbestimmung von organischem Dünger
- Entwicklung der Injektionsdüngung
- Entwicklung von Strip-Till-Verteilern

3.1.7 Bewässerung

3.1.7.1 Allgemeines Vorgehen und Technik Agrartechnik der Bewässerung

Die Bewässerung erfüllt vor allem zwei Hauptaufgaben: Stabilisierung der Erträge sowie Qualität. Grundsätzlich ist Deutschland niederschlagsreich: In Normallagen mit jährlich zwischen 450 und 1.000 mm Niederschlag, in Höhenlagen auch deutlich höheren Werten, und einer grundsätzlich durchgängigen Wasserverfügbarkeit über das gesamte Jahr (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2010). Zu Beginn jeden Frühjahrs konnte bisher fast überall damit gerechnet werden, dass die Böden mit Wasser gesättigt sind. Allerdings nimmt nach dem Deutschen Wetterdienst (DWD 2022) die Frühjahrstrockenheit in Deutschland deutlich zu. Regional kann es im Laufe der folgenden Vegetationsperiode in Abhängigkeit von den Niederschlagsmengen und dem natürlichen Wasserhaltevermögen der Böden jedoch ohne Bewässerungsmaßnahmen zu Trockenschäden kommen (vgl. Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020, BMEL 2021¹⁷; Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2010). Dennoch bestehen starke regionale Unterschiede: Die leichten sandigen Böden Nord- und Ostdeutschlands besitzen etwa ein geringes Wasserhaltevermögen und die Niederschläge reichen nicht oder nicht jedes Jahr aus, um etwa Getreide, Kartoffeln und Gemüse optimal zu versorgen. Die Niederschlagsmengen nehmen von Westen nach Osten deutlich ab. Im Simulationsmodell von Schimmelpfennig et al. (2018) wird deutlich, dass der Bewässerungsbedarf in diesen Regionen um 10 % in 20 Jahren zunimmt und somit direkt mit dem Klimawandel zusammensteht. Auch auf den eher im Süden Deutschlands verbreiteten lehmigen und schluffigen Böden mit höherem Wasserhaltevermögen kann das Wasser bei geringeren Niederschlagsmengen und anspruchsvollen Kulturen wie Zuckerrüben, Kartoffeln und Gemüse knapp werden. Je nach Wahl der Bewässerungstechnik und -steuerung lässt sich in Abhängigkeit von den Standortinformationen die jeweils optimale Wassergabe bestimmen und eine sparsame Verwendung der wertvollen und knappen Wasserressource erreichen.

Die aktuellen Bewässerungstechniken lassen sich nach DIN 19655:2008 (DIN 2008) in fünf Gruppen unterteilen: **Mikrobewässerung** und **Beregnung** mit den Untergruppen stationäre Beregnungsmaschinen, teilmobile Beregnungsmaschine und mobile Beregnungsmaschinen (Tab. 14).

¹⁷ „Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020“, BMEL 2021 (https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ergebnisse-waldzustandserhebung-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=11) (abgerufen 10.03.2022)

Die Verfahrenstechnik der (Mikro-)Bewässerung nach DIN 19655:1996-09 (DIN 1996) ergänzt hierbei um die Oberflächenbewässerung, die in Deutschland in den neuen Bundesländern und in einigen fränkischen Talgründen praktiziert wird.

Tab. 14: Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Bewässerung.

Herkömmliche Agrartechnik: Bewässerung				
Bewässerung (ISO DIN 19655:2008)				Verfahren aus der ISO DIN 19655:1996-09
MIKRO-BEWÄSSERUNG	Beregnung: STATIONÄRE BERECHNUNGSMASCHINEN	Beregnung: TEILMOBILE BERECHNUNGSMASCHINEN	Beregnung: MOBILE BERECHNUNGSMASCHINE	OBERFLÄCHEN-BEWÄSSERUNG
<ul style="list-style-type: none"> • Oberirdisch: Tropfbewässerung • Unterirdisch: Tropfbewässerung 	<ul style="list-style-type: none"> • Reihenregner • Rohr-Rohr • Rohr-Schlauch 	<ul style="list-style-type: none"> • Linearberegnungsmaschinen • Kreisberegnungsmaschinen 	<ul style="list-style-type: none"> • Mit Regnereinzug • Mit Düsenwagen • Mit Maschinenvorschub 	<ul style="list-style-type: none"> • Furchenbewässerung • Beckenbewässerung

Zu der Oberflächenbewässerung können die Bewässerungsbauwerke, -gräben, -kanäle, und -teiche mitbetrachtet werden, da diese Relevanz für die Artenvielfalt besitzen können. Bewässerungskanäle können zum Erhalt der Biodiversität in Regionen beitragen (Maltchik et al. 2011). Amphibien vermehren sich in Bewässerungsteichen; große Teiche waren häufiger besetzt als kleine und beherbergten eine andere, artenreichere Amphibiengemeinschaften. Die Aufrechterhaltung traditioneller Bewässerungssysteme kann den Amphibienpopulationen, insbesondere im Falle trockenerer Klimaszenarien, zugutekommen (Romano et al. 2014). Zur Reduktion der Lebensraumvielfalt tragen auch Maßnahmen der Ent- und Bewässerung von Acker- und Grünlandflächen bei. Vielfach resultierte hierdurch eine Verarmung an Landschaftsstrukturelementen (Einzelbäume, Gehölzinseln, Hecken, Bach- und Waldränder etc.). Mit diesen Eingriffen verbesserten und homogenisierten die Landnutzer die pflanzenbaulichen Anbaubedingungen der Ländereien aus produktionstechnischen Gründen. Gleichzeitig verringerten sich die physischen Unterschiede (Nährstoffe, Wasser, Struktur) dieser Lebensräume und damit ihre Vielfalt in der Agrarlandschaft (Werner et al. 2006; 2013).

Für die Bewässerung lässt sich auch Regenwasser nutzen, was jedoch andere Anforderungen an die Technik stellt. Dies schließt die Bewässerung über Güllefässer, die Regenwassernutzung über Zisternen und die Bewässerungssteuerung ein.

Prinzipiell ist (Feld-)Bewässerung nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis auszurichten (LfL 2008, BLE 2022a):

- Bemessung der Bewässerungsgaben nach Pflanzenbedarf, angepasst an das Wasserspeichervermögen des Bodens, unter Berücksichtigung des Witterungsverlaufs;
- Verdunstungsverluste soweit möglich vermeiden;
- Nährstoffauswaschung vermeiden;

- Anforderungen an die Qualität des Bewässerungswassers beachten;
- Betrieb der Bewässerungsanlage wassersparend nach Vorgaben der wasserrechtlichen Genehmigung.

Die Bemessung der Bewässerungsgaben kann über eine Bewässerungssteuerung erfolgen. Entscheidend dabei ist, die Bodenfeuchte in dem Bereich zu halten, der die optimale Entwicklung der Pflanzen sichert. Für die Bemessung der Bewässerungsgaben gibt es mehrere Möglichkeiten: Die direkte Messung der aktuellen Bodenfeuchte über Sensoren, die Berechnung der Wasserbilanz (z.B. Geisenheimer Methode) und die Verwendung von Mehrschichtbodenfeuchte- und Evapotranspirationsmodellen (z.B. Beregnungssteuerungssystem Irrigama). Über diese Methoden wird berechnet, in welcher Menge Zusatzwasser einzusetzen ist. In Ostdeutschland, mit großen Feldeinheiten, setzt sich zunehmend die Kreisberegnungsmaschinen-technik als eine teilmobile Beregnungsmaschine durch.

3.1.7.2 Modernisierte Agrartechnik und Trends der Bewässerung

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Bewässerung“

Recherchierte Artikel und Webseiten: 4.094

Analysierte Artikel und Webseiten: 143

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 9

Identifizierte Forschungsprojekte: 11

Die Bewässerung befindet sich in einer digitalen als auch technischen Transformation (Tab. 15). Aktuell existieren Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung und Automatisierung von Bewässerungssystemen, Digitalisierung, Präzisionsbewässerung und teilflächenspezifischer Bewässerung (Köller & Hensel 2019). Die Anwendung von Bewässerungssteuerungssystemen teilweise mit dem Einsatz von Sensorik nimmt zu, hat aber immer noch keine große Relevanz (Meinardi et al. 2021). Auch berührungslose Verfahren zur Abschätzung des Bewässerungsbedarfs, z.B. über Fernerkundung werden intensiv untersucht (Meinardi et al. 2021; Tsoulas et al. 2019). Bei der Präzisionsbewässerung (**Precision Irrigation**) wird in Abhängigkeit von Standortinformationen die jeweils optimale Wassergabe bestimmt. Inwieweit sich Ansätze der teilflächenspezifischen Bewässerung von Freilandflächen als praktikabel und ökonomisch darstellbar erweisen, ist offen. Hierzu besteht Forschungsbedarf (Teichert 2019).

Die oberirdische **Tropfbewässerung** wird in Deutschland in 22 % der landwirtschaftlichen Betriebe (Gartenbau inklusive) eingesetzt (Destatis 2010). Praxiserfahrungen zur unterirdischen Tropfbewässerung in Deutschland gibt es bisher nur wenig. Die Tropfrohre werden bei dieser Technik in 30-40 cm Tiefe im Abstand von 50-100 cm verlegt. Eine solche Anlage, über die auch eine Nährstoffzufuhr erfolgen kann, soll eine Lebensdauer von minimal zehn Jahren haben. Damit wären die hohen jährlichen Verfahrenskosten durch Verlegen und Entnehmen der Tropfrohre erheblich reduziert (Schimmelpfennig et al. 2018).

Tab. 15: Tabellarische Darstellung modernisierter Agrartechnik: Bewässerung.

Modernisierte Agrartechnik: Bewässerung				
Technisch				Verfahrenstechnisch
DIGITALISIERUNG/ PRÄZISIONS- BEWÄSSERUNG	MIKRO- BEWÄSSERUNG	TEILMOBILE BERECHNUNGS- MASCHINE	SONSTIGES	
<ul style="list-style-type: none"> Teilflächenspezifische Bewässerung Partial Root Zone Drying Bewässerungssteuerungssysteme (+Sensorik) Berührungslose Verfahren zur Abschätzung des Bewässerungsbedarfs (Fernerkundung) 	<ul style="list-style-type: none"> Oberirdisch: Tropfbewässerung Unterirdisch: Tropfbewässerung 	<ul style="list-style-type: none"> Kettenlaufwerke Kleinere Maschinen Mobile Tropfbewässerung 	<ul style="list-style-type: none"> Regenwassernutzung 	<ul style="list-style-type: none"> Optimierung der Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte Bodenbearbeitung: Aufrauen der Oberfläche / Aufbrechen von Krusten, Saatbettbereitung Säen: hohe Bestandsdichte, Berücksichtigung der aktuellen Vegetationsperiode Humuswirtschaft: Ausbringen organischer Substanz, Mulchen Züchtung: trockenheitstolerante Sorten, Sorten mit hoher Transpirationseffizienz

Bei den **teilmobilen Berechnungsanlagen** besteht der Trend zur Entwicklung von Kettenlaufwerken zur Verminderung der Bodenverdichtung (Sourell 2005). Weiterhin sind kleinere Kreisberechnungsmaschinen für besondere Einsatzfälle bis 100 m Länge auf dem Markt (Schimmelpfennig et al. 2018).

Ein anderer Trend, die **mobile Tropfbewässerung** soll die Vorteile der wassereffizienten, stationären Tropfbewässerung mit denen der Kreis- und Linearberechnungsmaschinen verbinden. Anstelle von Regnern oder Düsen werden zur Wasserverteilung Tropfrohren an die Verteilleitungen von Düsenwagen oder Berechnungsmaschinen angeschlossen (agriexpo 2022). Inwieweit die Technik zukünftig durch die Praxis verstärkt nachgefragt wird, bleibt abzuwarten.

Die **Defizitbewässerung**, bei z.B. Partial Root Zone Drying, ist eher im Gartenbau ein Trend (M. Zude-Sasse, Arbeitsgruppenleitung „Präzisions-Gartenbau“ ATB-Potsdam, pers. Komm. 2021). Für den Ackerbau besitzt sie nach derzeitiger Einschätzung eine geringe Relevanz.

Regenwassernutzung über **Regenwasserauffang- und Speicherungssysteme**: Auch aus ökologischen Gründen ist die Nutzung von natürlich anfallendem Regenwasser von Vorteil gegenüber technischer Wasseraufbereitung. Die Regenwassernutzung macht zudem unabhängig von möglichen zukünftigen Kostensteigerungen bei Brunnen- und Leitungswasser, die sich möglicherweise aus der Umsetzung der neuen EU-Wasserrahmenrichtlinie ergeben werden. Auch aufgrund der konstant guten Qualität des Regenwassers erscheinen Investitionen in die Regenwassernutzung sinnvoller als in die technische Wasseraufbereitung (Dirksmeyer & Sourell 2009).

Insgesamt nimmt die landwirtschaftliche Bewässerung in vielen Regionen in Deutschland stark an Relevanz zu (Schimmelpfennig et al. 2018). Die begrenzte Verfügbarkeit der Ressource bedingen bereits heute Nutzungskonflikte zwischen Bewässerung und Trinkwasserversorgung

sowie mit dem gesamten Landschaftswasserhaushalt. Das Thema der wassersparenden Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen wird daher aus der Sicht der Wirtschafts- und Nachhaltigkeitsdiskurse in Zukunft auch weiter an Bedeutung gewinnen. Es ist zu erwarten, dass der Technikeinsatz maßgeblich davon geprägt sein wird. Szenarien aus Perspektive der Technikentwicklung besitzen daher – in isolierter Betrachtung - nur begrenzte Aussagekraft für eine zukünftige Technikrelevanz. Ebenfalls einzubeziehen werden regionale Besonderheiten sein. So kommen auf großen Feldeinheiten in Ostdeutschland beispielsweise zunehmend Kreisberegnungsmaschinentechniken und teilmobile Beregnungsmaschinen zum Einsatz, wodurch die Weiterentwicklung dieser Technik an Bedeutung gewinnt.

Mit dieser Thematik beschäftigen sich u.a. die Forschungsprojekte PALM-IRRI, OLGA und HypoWaveplus sowie FlexTreat (s. S. Anhang).

Zusammenfassend zeichnen sich folgende Trends /Modernisierungen bei der Bewässerung ab:

- Optimierungen hinsichtlich Materialeinsparung
- Entwicklungen zur teilflächenspezifischen Bewässerung
- Entwicklungen der Mobilen Tropfbewässerung
- Zunahme Techniken für Regenwassernutzung
- Partial Root Zone Drying
- Verbesserte Bewässerungssteuerungssysteme (+ Sensorik/ + Fernerkundung)

3.1.8 Ernte

3.1.8.1 Allgemeines Vorgehen und Technik der Ernte

Bei der Erntetechnik wird im Wesentlichen zwischen Raufutterernte (Lang- und Kurzgutkette), der Körnerfruchternte mit Druschfrucht-Erntetechnik und der Hackfruchternte mit Kartoffel- und Zuckerrüben-erntetechnik unterschieden (Tab. 16). Weiterhin stehen für andere Kulturen zusätzliche Erntemaschinen zur Verfügung. Gute Futterqualität, das oberste Ziel der Futtererntetechnik (**Kurz- und Langgutfutter**), benötigt leistungsstarke Ernteverfahren, die ein Höchstmaß an Arbeitsqualität mit maximaler Effizienz verbinden.

Unter **Langgut** wird insbesondere Futteraufwuchs auf Grünland und die Strohbergung nach dem Mähdrusch ohne Kurzgut (s.u.) verstanden. Es stehen Erntetechniken für verschiedene Verfahren zur Verfügung. Mähen und Werfen erfolgt mit Kreiselgeräten, wie beispielsweise Kreismähwerk und Kreiselzettwender. Für Langgut, das transportiert und gelagert werden soll, stehen Ballenpressen zur Verfügung. Die zur Verfügung stehenden Techniken erlauben sowohl eine Bergung als Silage (ein milchsäurekonzentriertes Futter) als auch als Dürrgut (Heu und Stroh).

Kurzgut sind mehrfach geschnittene und als Futterpflanzen verwendete landwirtschaftliche Erntegüter. Durch Feldhäcksler wird zerkleinertes und ggfs. aufbereitetes Erntegut erzeugt. Es gibt verschiedene Erntevorsätze und Möglichkeiten der technischen Umrüstung für den Einsatz bei unterschiedlichen Erntegütern. Standardmaschine ist der selbstfahrende Feldhäcksler. Selbstfahrer bezeichnet hierbei eine Assistenz der Spurführung, nicht jedoch autonomes

Fahren. Die Lenkung erfolgt dabei mit GPS-Unterstützung. Die Arbeitsbreiten betragen zwischen 9,70 m und 13,20 m. Je nach zu erntender Pflanze umfasst die Verfahrenskette unterschiedliche Maschinen. Mais oder Getreide für Ganzpflanzensilage werden durch den Feldhäcksler aus dem Bestand abgeschnitten, direkt zerkleinert und auf ein Transportfahrzeug geladen. Eine Silagekette arbeitet üblicherweise parallel.

Tab. 16: Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Ernte.

Herkömmliche Agrartechnik: Ernte						
Rauhfutterernte			Körnerfruchternte	Hackfruchternte		Andere
Mähen	Trocknen	Bergen		Kartoffelerntemaschine	Zuckerrübenerntemaschine	Andere Erntemaschinen
<ul style="list-style-type: none"> • Fingerbalkenmähwerk • Doppelmessermähwerk • Kreiselmähwerk • Trommelmähwerk • Scheibenmähwerk • 3-fach Kombination • Selbstfahrer • Aufbereitung des Mähgutes • Fingerrotoren • Quetschwalzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenden • Kreiselzettwender • Schwader • Kreiselchwader • Bandschwader • Bandrechen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ladewagen • Pressen • Hochdruckpressen • Quaderballenpressen • Rundballenpressen • Ballenwickelgeräte • Feldhäcksler 	<ul style="list-style-type: none"> • Mähdrescher • Automatisierung 			<ul style="list-style-type: none"> • Salaterntemaschine • Forestvollernerter • Traubenvollernter • Obsterntemaschine

Die **Druschfrucht-Erntetechnik** bezieht sich auf die Ernte der Körnerfrucht. Die wichtigsten Druschfrüchte in Deutschland sind Getreide, Mais, Öl- und Eiweißpflanzen. Beim Mähdrusch werden hierbei ganze Pflanzen gemäht und aufgenommen. Der Mähdrescher mäht die Pflanze an der Halmbasis und nimmt den oberen Teil vollständig auf. Anschließend durchläuft der obere Teil der Pflanze weitere Elemente des Mähdreschers: Das Dreschsystem und nachfolgend die Reinigung, die zum Trennen und zum Reinigen separieren in Korn und Nicht-Kornbestandteile. Je nach Druschfrucht werden verschiedene Erntevorsätze für Dresch- und Trenneinrichtungen verwendet.

Die **Zuckerrübenerntetechnik** ist bereits stark automatisiert. Die Ernte der Zuckerrüben besteht aus vier Teilvorgängen, Entfernen des Blattes, Roden der Rübe, Abreinigen der Erde und Sammeln der Rüben in einem Bunker, verbunden mit dem Transport zum Feldrand. Erntemaschinen integrieren diese vier Vorgänge.

Auf die **Kartoffelerntetechnik** wird in Kapitel 3.3.1 separat eingegangen.

3.1.8.2 Modernisierte Agrartechnik und Trends bei der Ernte

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Ernte“

Recherchierte Artikel und Webseiten: 5.694

Analysierte Artikel und Webseiten: 204

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 4

Identifizierte Forschungsprojekte: 4

Modernisierte Agrartechnik der Raufutterernte (Langgutkette und Kurzgutkette)

Technische Weiterentwicklungen fokussieren überwiegend auf deren Optimierung (Tab. 17). Ernteverfahren beinhalten dabei eine immer schlagkräftiger werdende Mäh- und Aufbereitungstechnik, die im Zusammenspiel mit Ladewagen, Ballenpressen als auch Häcksler einen verbesserten Abstimmungsprozess erlauben und ein auf die jeweiligen betrieblichen Bedingungen abgestimmtes optimales Ernteprodukt ermöglichen. Umfangreiche Sensor-, Regel- und Informationstechnik wird aktuell angeboten. Hierbei werden Signale von Sensoren zur Berechnung des tatsächlichen Betriebszustands verwendet: Automatische Schneidföhrung, Lenkung und Justierung des Dresch- und Abscheidorgans. Der Fahrer kontrolliert dabei die Aufnahme des Ernteguts und greift bei Problemen ein (Böttinger 2005; 2010; 2012; 2018; Robert 2015). Das naheliegende Ergebnis dieser Recherche: In diesen Maschinen halten auf breiter Basis Elektronik und sensorgestützte Assistenzsysteme Einzug in dem Versuch, den Gesamtprozess mit technischen Optimierungen zu unterlegen (Köller & Hensel 2019).

Tab. 17: Tabellarische Darstellung modernisierter Agrartechnik: Ernte.

Modernisierte Agrartechnik: Ernte

Technisch

DIGITALISIERUNG

- Selbstfahrer
- Selbstfahrender Köpfrdebunker
- Kombination von Arbeitsgängen
- Spezialmaschinen
- Weiterentwicklung von Mähdreschern
- Strohmanagement
- Automatische Schneidföhrung
- Berechnung Betriebszustand

Im Bereich der **Kurgutkette** verhält sich die Situation etwas anders, da hier noch andere Techniken bzw. Maschinen mit verbunden sind: Der Markt für selbstfahrende Feldhäcksler zeigt sich rückläufig¹⁸. Damit ergibt sich vielleicht eine Chance für die aus dem europäischen Markt

¹⁸ <https://www.topagrar.com/technik/news/markt-fuer-feldhaecksler-verliert-an-schwung-9243484.html> (Abruf 14.03.2022)

verdrängten Anbauhäcksler. Ebenso scheinen die Ladewagen wieder mehr im Fokus zu stehen. Im Bereich der Ballenpressen setzen immer mehr Hersteller auf Mantelfolienbindung, die sich besonders bei Rundballensilage anbietet. Bei Quaderballenpressen soll die Standzeit bei höchsten Pressdichten durch verschleißfeste Bauteile erhöht werden. Durch verbesserte Sensorik sollen noch gleichmäßigere Ballen erzeugt werden (Poppa & Depenbrock 2021).

Modernisierte Agrartechnik der Druschfrucht-Erntetechnik

Die Getreideerntetechnik wird maßgeblich bestimmt durch die Weiterentwicklung zur Steigerung der Effizienz der Maschinen. Neben typenspezifischen Veränderungen der Dresch- und Abscheidetechnik sowie der Fahrwerks- und Antriebstechnik werden vor allem Techniken zur Prozessregelung innerhalb des Mähdreschers sowie zur Prozessoptimierung des Mähdreschereinsatzes entwickelt. Die zunehmende Prozessautomatisierung erhöht nicht nur die Durchsatzleistung, sondern reduziert auch Körnerverluste und Körnerbruch auf ein unvermeidliches Mindestmaß (Köller & Hensel 2019). Das Größenwachstum bei Mähdreschern setzt sich fort, die Motorleistung der Maschinen der großen Hersteller übersteigt deutlich die 500 kW-Grenze. Die Assistenz- und Automatisierungssysteme finden sich zunehmend auch bei kleineren und mittleren Maschinen. Automatische Maschineneinstellungen und Regelsysteme werden weiterentwickelt und stehen auch zunehmend den kleineren Modellreihen zur Verfügung. Verschiedene Hersteller bieten ihre Prüfschalen zur Verlustbestimmung bei der Ernte an (Böttinger 2021a).

Für Mähdrescher wird umfangreiche Sensor-, Regel- und Informationstechnik angeboten. Auch die kleinste Maschinenklasse wird mit Informations- und Farmmanagementsystemen ausgerüstet. Selbstlernende Automationssysteme sorgen dafür, dass die Mähdrescher kontinuierlich am vom Fahrer strategisch vorgegebenen Limit arbeiten können. Im Einzugskanal kann ein kapazitiver Feuchtesensor für das Stroh integriert werden (Böttinger 2021a).

Modernisierte Agrartechnik der Schneidwerke

John Deere hat seine Palette an Mähdrescherschneidwerken um mehrere Modelle mit Längsbändern zwischen Messerbalken und Querförderschnecke erweitert (Böttinger 2021a) und somit kann je nach Kultur und Umgebungsbedingung ein angepasster Mähvorgang durchgeführt werden. Zurzeit laufen zu diesem Thema vier Forschungsprojekte die sich mit Mähtechnik beschäftigen (s. Anhang).

Modernisierte Agrartechnik des Strohmanagements

Den Beikrautsamen im Übergang von der Reinigungsanlage wird vermehrt Beachtung geschenkt. Zunehmende Resistenzen gegenüber Herbiziden verlangen entsprechende Maßnahmen zur Beikrautreduzierung. Während eine Anlage eher mahlt, kombiniert eine andere die Belastung der Beikrautsamen aus Quetschen, Schlagen, Brechen und Mahlen. Es existiert ein neuer, nachrüstbarer Spreuverteiler, der die Spreu mit den darin enthaltenen Samen in die verdichteten Fahrspuren des Mähdreschers ablegt. Dort sind die Keimbedingungen nicht so günstig bzw. die Samen lassen sich dort gezielter mechanisch und/oder chemisch bekämpfen (Böttinger 2021a).

Modernisierte Agrartechnik der Zuckerrübenerntetechnik

Bei der Zuckerrübenernte setzt sich der selbstfahrende Köpfrödebunker durch. Aufgrund des spurversetzten Fahrens in Verbindung mit neuer Reifentechnik oder mit Bandlaufwerken kann

die Bodenverdichtung reduziert und die Ernte der Zuckerrüben wirtschaftlich effizienter durchgeführt werden. Hierzu tragen auch die optimierten Köpf-, Rode- und Reinigungsaggregate bei. Ernteverluste werden mit dieser Agrartechnik verringert und gleichzeitig die Zuckerrüben von Erdanhang gereinigt (Köller & Hensel 2019).

Die Entwicklungen der modernisierten Agrartechnik für die Kartoffelernte ist in Kap. 3.3.1 beschrieben.

Zusammenfassend zeichnen sich folgende Trends/Modernisierungen bei der Ernte ab:

- Bei der Raufutterernte Weiterentwicklung bis zum Selbstfahrer und Kombination von Arbeitsgängen
- (Weiter-)Entwicklung von Spezialmaschinen für Hackfruchternte
- Weiterentwicklung von Mähdreschern bis hin zur automatischen Schneidführung und Berechnung des Betriebszustandes

3.2 Modernisierte Agrartechniken in ausgewählten Anbauverfahren

In Ergänzung der Darstellung modernisierter Agrartechniken entlang von ackerbaulichen Bearbeitungsschritten (vgl. Kap. 3.1) werden im Folgenden modernisierte Agrartechniken in ausgewählten Anbauverfahren beschrieben. Die Technik wird in diesem Bericht für die Anbauverfahren im Ökolandbau, in Paludikulturen, in Agroforstsystemen und in Kurzumtriebsplantagen dargestellt.

3.2.1 Ökolandbau

Der Trend in der Landwirtschaft zur Umstellung auf den ökologischen Landbau ist in Deutschland seit mehr als einem Jahrzehnt anhaltend. Im Vergleich von 2010 und 2020 stieg der Anteil der Ökobetriebe an den landwirtschaftlichen Betrieben insgesamt von 6 % auf 10 % (Destatis 2021b). Der ökologische Landbau gilt als eine besonders ressourcenschonende und umweltverträgliche Form der Landwirtschaft, die sich am Prinzip der Nachhaltigkeit orientiert. Ziel ist grundsätzlich ein geschlossener Nährstoffkreislauf, der beispielsweise mit einem Verzicht auf mineralische Düngung und chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel in Anlehnung an den natürlichen Kreislauf hergestellt werden kann (UBA 2021).

Die moderne Landtechnik ist jedoch auch in der ökologischen Landwirtschaft unverzichtbar. Wesentliche Unterschiede bei der technischen Ausstattung von ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben bestehen daher nicht. Bei der Ernte, dem Transport oder der Aussaat werden nahezu die gleichen Maschinen verwendet. Allerdings gibt es auch Bereiche im Ökolandbau, in denen bedingt durch die speziellen Produktionsweisen andere Maschinen und Geräte zum Einsatz kommen. Dies ist beispielsweise bei der Unkrautregulierung der Fall. Aufgrund des Entfallens von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist hier eine präzise und leistungsstarke Technik umso wichtiger. Aus diesem Grund sind verschiedenste Hack- und

Bürstensysteme sowie Verfahren zur thermischen Unkrautvernichtung insbesondere für den Einsatz im Ökolandbau entwickelt worden¹⁹.

Im Bereich der Digitalisierung sind im Ökolandbau **autonome Kleinmaschinen und Elektro-schock-Roboter** für das **Elektro-weeding** zu nennen. Der ökologische Landbau kann hier in besonderer Weise profitieren, da keine synthetischen Nährstoffe oder Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden können. Diese Technik kann für den niedrig wachsenden Gemüseanbau und Spezialkulturen eingesetzt werden. Bei hochwachsenden Kulturen (z.B. Mais) ist diese Technik nicht geeignet (Minßen et al. 2015).

Bei der Bodenbearbeitung besteht im Ökolandbau stets die grundsätzliche Frage, ob die Grundbodenbearbeitung mit oder ohne Pflug erfolgen soll. Ohne Verwendung des Pflugs werden Bodenhorizonte und Bodenfauna erhalten, die Fruchtbarkeit des Bodens erhöht und die Bodenerosion vermindert. Bei Verwendung des Pflugs erfolgt nach wie vor die wirksamste Reduzierung des Unkrautdrucks und größte Lockerung des Bodens (mit dem Effekt der schnelleren Erwärmung und beschleunigten Mineralisierung, aber auch erhöhten Verlusten von Kohlenstoff durch Ausgasung. Daher ziehen die meisten Betriebe den Einsatz des Pflugs vor. Eine neuere Technik bietet der **Zweischichtenpflug**, der die Vorteile des Pfluges mit denen der pfluglosen Bodenbearbeitung vereint: er wendet flach und lockert tief und ermöglicht dadurch, dass organische Substanz oberflächennah eingebracht wird. Gleichzeitig verhindern bodenbrechende Lockerungsschare, dass eine natürliche Schichtung des Bodens zu stark verändert wird und sich eine Pflugsohle bildet. Daher kann diese Technik eine Lösung des Dilemmas um den Pflug darstellen. Weitere dieser neueren Techniken sind **Anbau-Volldrehpflug**, **Schältpflug**, **Zweischichtenpflug**.

Techniken der konservierenden, d.h. nicht wendenden und pfluglosen Bodenbearbeitung sind **Schichtengrubber**, **Schwergrubber**, **Scheibenegge**, **Stoppelhobel**, **Fräse** und **Häufelpflug** (Dammkultur). Auch der **Striegel**, der in der konventionellen Agrartechnik ebenfalls seit langem eingesetzt wird, hat im Ökolandbau eine zentrale Bedeutung. Er stellt das Grundgerät der mechanischen Unkrautregulierung dar. Aufgrund seines hohen Wirkungsgrads gegen Unkrautkeimlinge, die bis zu 80-90 % betragen kann, ist er eine wirkungsvolle Alternative für die Unkrautbekämpfung²⁰. Der **Striegel** wird zur Unkrautregulierung im Voraufbau und in bereits aufgelaufenen Beständen eingesetzt, wobei die Zinken des Striegels die Unkräuter mit Erde verschütten, sie ausreißen oder empfindliche Wurzelfäden dem Licht aussetzen. Das Gerät trägt parallel zu einer optimalen Krümelung der Bodenoberfläche bei (Bodenbearbeitung). Bei der Aussaat können **Mulchsaat** und **Direktsaat** als Techniken genannt werden (BLE 2022).

Der Fokus der Weiterentwicklung der Agrartechnik ist daher im Ökolandbau verstärkt im Bereich der Verbesserung dieser Techniken zu finden.

Da chemisch-synthetische PSM im Ökolandbau verboten sind, wird in diesem Bereich besonders auf mechanische, aber auch auf thermische, physikalische und auch auf chemisch-nicht-synthetische Maßnahmen (wie z.B. Kupfer) zurückgegriffen. Präventive Verfahren spielen ebenfalls eine große Rolle. Folgende Techniken können hier genannt werden: **Mechanische**

¹⁹ Landtechnik: Was unterscheidet Öko von Konventionell? - In: Ökolandbau (<https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/landtechnik/unterschiede-oeko-konventionell/>) (Abruf 18.03.2022)

²⁰ Hackstriegel. <https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/ackerbau/unkrautregulierung/direkte-massnahmen/striegel.html> (Abruf 18.03.2022)

Unkrautbekämpfung, Solarisation, Abflammen, Elektro-weeding, Nutzorganismen (Nützlinge) und Pheromone. Weiterhin werden **kupferhaltige PSM eingesetzt** (BLE 2022).

Da mineralische Düngemittel im Ökolandbau nicht zulässig sind, werden dem System Nährstoffe besonders mit Wirtschaftsdüngern und Gründüngung zugefügt. Dabei wird vor allem auf eine gesteigerte Bodenfruchtbarkeit und in geringerem Maße nur auf die Nährstoffversorgung der angebauten Pflanze geachtet. So ist der **Miststreuer** heute klassisch auf Betrieben des Ökolandbaus zu finden, da Tiere im Ökolandbau überwiegend auf Stroh gehalten werden. Die Entwicklungen im Bereich der **Präzision der Applikationstechnik** gewinnen aber zunehmend an Bedeutung, d.h., die vorhandene Technik kann mit Hilfe von z. B. Bodenkarten sehr genau eingesetzt werden. Weitere Düngetechniken sind: **Kupferhaltige Düngung, Schwefeldüngung, Haarmehl-Pellets, Leguminosenzwischenfrüchte, Leguminosen-Untersaaten und Grünbrache** (BLE 2022).

Verfahrenstechnisch würde der ökologische Landbau in besonderem Maße profitieren, wenn **Synergieeffekte aus Pflanzenkombinationen** genutzt werden könnten. Diese natürlichen Synergien könnten die Nachteile durch Einschränkungen von Pflanzenschutzmitteln und synthetischen Düngemitteln verringern. Weiterhin würden auf diese Weise die Ansätze aus dem ökologischen Landbau in den konventionellen Landbau übertragen (Minßen et al. 2015). Hierzu zählen auch verfahrenstechnische Ansätze, wie **Fruchtfolgen (inkl. Zwischenfruchtanbau), Anpassung der Saatzeitpunkte, Verbesserung des Lebensraums für pflanzliche und tierische Nützlinge** sowie ein **Hackfruchtglied zur Unkrautregulierung** (BLE 2022).

Die Biodiversität profitiert im Ökolandbau insbesondere durch den Verzicht auf chemisch-synthetische PSM. Chemisch-nicht synthetische sind dagegen zugelassen. Von einer Förderung der biologischen Vielfalt kann jedoch auch im Ökolandbau ohne zielfördernde Maßnahmen nicht ausgegangen werden (Tscharntke et al. 2021a). Vielmehr wird das Ziel, Biodiversität in Agrarlandschaften zu fördern mit einer Vielzahl an differenzierten Maßnahmen erreicht, wobei die zu bewirtschaftende Fläche ebenso wie deren Einbettung in die Landschaft berücksichtigt werden sollte (z.B. Tscharntke et al. 2021b, Sanders & Heß 2019b).

3.2.2 Paludikulturen

Die als Paludikultur (*palus*, lat.: Sumpf) bezeichnete standortgerechte Bewirtschaftung (ehemals) nasser Flächen vereinbart Moor- sowie Klimaschutz mit einer landwirtschaftlichen Wertschöpfung. Eine energetische Nutzung der jährlich nachwachsenden Pflanzenbiomasse aus wiedervernässten Niedermooren wird sich jedoch nur dann durchsetzen können, wenn diese Nutzung für alle in der Verfahrenskette Beteiligten, von der Erzeugung bis zur Verwertung, technisch und wirtschaftlich durchführbar ist (Wichmann & Wichmann 2009, Wichmann et al. 2016). Darüber hinaus gibt es diverse mögliche stoffliche Verwertungsmöglichkeiten (z.B. Dämmmaterial oder als Kultursubstrat im Gartenbau). Eine stoffliche Nutzung, bei der der Kohlenstoff längerfristig, wie z.B. in Baumaterialien gebunden bleibt, wäre aus Klimaschutzgründen sogar vorzuziehen (Nitsch & Schramek 2021).

Die Paludikultur wurde als neuartiges Anbauverfahren entwickelt, da „Anbau-Paludikulturen“ durch die Anpflanzung oder Ansaat und die Anpassung des Managements gezielt auf vernässten Flächen etabliert werden können. Zum anderen können durch Anhebung der Wasserstände „Nasswiesen-Paludikulturen“ aus Dauergrünland hervorgehen.

Landtechnik ist auch in der nassen, standortgerechten Bewirtschaftung von Paludikulturen unverzichtbar. Die Aussagen „Was nicht geht, kriegen wir auch irgendwie hin“ und „Was es nicht gibt, wird gebaut“ (NDR-Nordreportage 2022) vermitteln einen guten Eindruck der Agrartechnik in Paludikulturen.

Im Bereich der Traktoren und Reifentechnik sind folgende Techniktypen im Einsatz (Wichmann & Wichtmann 2009):

- Kleintechnik: Einachs- oder Kleintraktor mit **Balkenmähwerk**
- Radbasierte Spezialtechnik: Maschinen (zwei- oder dreiachsig) mit **Ballonreifen**
- Kettenbasierte Spezialtechnik: Umbauten von Pistenraupen mit **Kettenlaufwerken**

Eine regelmäßige Bearbeitung des Oberbodens widerspricht dem gewünschten Torferhalt. Generell ist die Bodenbearbeitung auf ein Minimum zu begrenzen (Närmann et al. 2021); auf eine **wendende und lockernde Bodenbearbeitung** wird nahezu verzichtet. Davon ausgenommen ist die einmalige initiierende Flächeneinrichtung im Schilf- und Rohrkolbenanbau. Zum Schutz von Bodenbrütern wird im Frühjahr vor der Mahd auch auf konservierende, d.h. nicht wendende und pfluglose Bodenbearbeitung verzichtet. Von dieser Maßnahme profitieren auch Amphibien und epigäische Insektenarten. Ein Verbot des Walzens und Schleppens vor der ersten Nutzung ist regelmäßig Bestandteil von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) zum Schutz von Wiesenbrütern und ihrer Nester (Närmann et al. 2021). Nach der Mahd können **Walzen, Schleppen** und **Striegel** zum Einsatz kommen (Närmann et al. 2021).

Im Bereich Aussaat/Pflanzung werden beispielsweise **modifizierte Forstpflanzmaschinen** zur maschinellen Steckholzpflanzung eingesetzt (Wichmann & Wichtmann 2009; Närmann et al. 2021).

Pflanzenschutzmittel dürfen in Paludikulturen nicht angewandt werden. Ebenso dürfen keine Stickstoff- oder Phosphat-Dünger eingesetzt werden.

Als Bewässerungstechnik ist bei der Bewirtschaftung der Paludikulturen die Überstaubewässerung zu nennen. Sofern Gräben zum Anstau oder zur Bewässerung (und Entwässerung im Fall von ungewünschten Überstauereignissen) auf den Flächen vorhanden waren, sind diese biodiversitätsfördernd zu gestalten und zu bewirtschaften (Närmann et al. 2021).

Der Technik im Bearbeitungsschritt Ernte kommt eine wichtige Rolle zu. Die Mahd von Rohrglanzgrasbeständen kann mit **Rotationsmähdreschern** oder **Balkenmähdreschern** erfolgen. Für die Wintermahd von Schilf sind neben diesen Grünlandmähdreschern ebenso **Mähdrescherschneidwerke** und **Feldhäcksler** einsetzbar. Eine Ablage des Mähguts auf der Fläche im Schwad oder breitwürfig für eine Trocknung, wie z. B. bei der Heuernte ist nur auf Flächen mit Wasserständen ab ca. 30 cm unter Flur möglich. Andernfalls kann die Biomasse nicht ausreichend trocken und somit lagerfähig geborgen werden. Auf nassen Flächen ist die Ernte von Häckselgut oder die Pressung von Ballen auf der Maschine (**Halmgutvollernter**) ohne Ablage der Ballen auf der Fläche möglich. Die Entwicklung von Spezialtechniken/Prototypen bis zur Serienreife, wie beispielsweise **selbstfahrende Pelletiermaschinen** wurde jedoch abgebrochen (FNR 2000 in Wichmann & Wichtmann 2009). Durch ihr großes Gewicht wären sie auf Niedermoorflächen aufgrund der geringen Tragfähigkeit der Böden zudem nicht einsetzbar gewesen (Wichmann & Wichtmann 2009). Weiterhin ist der **Schilfernter** und der **Halmgutvollernter** zur Ernte auf Paludikulturen zu nennen. Der Länder-AK Moorschutz (2017) nennt weiterhin die **Beweidung mit Wasserbüffeln** als besondere Form der Grünlandbewirtschaftung bei sehr hohem Wasserstand von durchschnittlich 0 bis ca. 10 cm unter Flur.

Verfahrenstechnisch können die Anlage von einjährigen Rotationsbrachen (keine Mahd), an Hochmoorstandorten die Torfmooskultivierung, an Niedermoorstandorten der Anbau von Röhrichten, Rieden (Schilf, Rohrkolben, Wasserschwaden, Rohrglanzgras, Seggen) sowie Erlen genannt werden (Länder-AK Moorschutz 2017).

Der Anbau von Torfmoosen oder Arzneipflanzen (z. B. Sonnentau) sind Varianten für Hochmoore (vgl. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern 2017). Als praxisreif können mittlerweile die Nasswiesenbewirtschaftung und der Erlenanbau angesehen werden (Nitsch & Schramek 2021).

3.2.3 Agroforstsysteme

Agroforstsysteme stellen eine Form der Landnutzung dar, bei der der Anbau mehrjähriger verholzender Pflanzen mit dem Anbau von annuellen Pflanzen oder der Nutzung von Grünland auf ein und derselben landwirtschaftlichen Bewirtschaftungseinheit in Kombination genutzt werden (Grünewald et al. 2009).

Grundsätzlich lassen sich moderne Agroforstsysteme in Mitteleuropa in folgende Kategorien der Unternutzung einteilen (Chalmin 2008; Zehlius-Eckert et al. 2020):

- Silvopastoral: Kombination mit Grünland oder Weidenutzung, z.B. traditionelle Streuobstwiesen;
- Silvoarabel: Kombination mit Ackerbau, z.B. Windschutzhecken;
- Alley-Cropping: 1. Agroforstsystem mit Energieholzstreifen: Energieholzstreifen mit einem oder wenigen Klonen von Pappel, Weide und/oder Robinie, ohne Saum. 2. Agroforstsystem mit Bäumen: Baumstreifen mit 2 m Breite, eingesät mit gängiger Saatmischung für die Landwirtschaft (z.B. Zwischenfrüchte oder Blümmischung) oder Grünlandstreifen, der ein- bis zweimal im Jahr gemäht oder gemulcht wird.

Nach Grünewald et al. (2009) und Zehlius-Eckert et al. (2020) wird durch dieses Anbausystem die Biodiversität gesteigert. Zudem wird einer Erosion entgegengewirkt. Es gibt einen positiven Effekt auf den Wasserhaushalt, da mehr Wasser in der Fläche gehalten werden kann und die Kohlenstoffspeicherung im Boden verbessert wird. Aus diesen Gründen ist Agroforstwirtschaft auch ein wesentlicher Bestandteil des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK), sodass mit einem positiven Trend dieses Anbausystems gerechnet werden kann. Moderne, produktionsorientierte Agroforstsysteme orientieren sich im Gegensatz zu vielen traditionellen Systemen in ihrer Gestaltung maßgeblich an den Erfordernissen heutiger Produktionstechnik in der Landwirtschaft. Eine Designmöglichkeit für Agroforstsysteme mit ackerbaulicher Nutzung ist zum Beispiel die Beweidung mit Schafen in Kombination mit Obstbäumen (Schulz et al. 2020). Eine maschinelle Bewirtschaftung soll möglichst uneingeschränkt möglich sein, um eine ökonomisch konkurrenzfähige Produktion von landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Produkten zu ermöglichen (Unselde et al. 2011).

Im Bereich der Reifentechnik in Agroforstsystemen werden **angepasste Bereifungen** verwendet. Dies wären beispielsweise Breit- und Terrareifen. Es soll eine Beerntung außerhalb der Vegetationsperiode stattfinden – es soll also eine Befahrung möglichst bei gefrorenem Boden erfolgen. Generell sollen die Arbeitsgänge minimiert werden, also Mehrfachfahrten reduziert werden (Würdig et al. 2020a).

Für die Bodenbearbeitung kommt entweder die konventionelle oder wendende Bodenbearbeitungstechnik mit beispielsweise dem **Wendepflug** zur Anwendung oder aber die konservierende, d.h. nicht wendende und pfluglose Bodenbearbeitung mit **Schwergrubber mit Rohrwalze**, **Federzinkengrubber mit Krümelwalze**, **Scheibenegge**, **Fräse / Reihenfräse**, **Grubber** oder **Mulcher** (Würdig et al. 2020a). In einem Praxisbeispiel aus Brandenburg wurde zur Tiefenlockerung ein **Bodenmeißel** verwendet. Zum tiefen Pflügen und zur Saatbettbereitung kam dort eine **Scheibenegge** zum Einsatz (Würdig et al. 2020b).

Für die Aussaat/Pflanzung können verschiedene Pflanzmaschinen zum Einsatz kommen: **Gemüsepflanzmaschine**, **Forstpflanzmaschine**, **maschinelle Steckholzpflanzung** oder **Loch-/Spatenpflanzung von Großpflanzen** (Würdig et al. 2020a).

Auf den Einsatz von PSM soll möglichst verzichtet werden. Dennoch können im Bereich des Pflanzenschutzes folgende Techniken genannt werden: **Feldspritze**, **Mulchen (in den ersten beiden Jahren)**, **Totalherbizid** (Würdig et al. 2020a). Im Praxisbeispiel aus Brandenburg wurde ein **Vorausflaufferbizid** und der mehrmalige Einsatz von **Grubber** und **Scheibenegge** zur Begleitwuchsbekämpfung eingesetzt (Würdig et al. 2020b).

Im Arbeitsschritt Ernte kommt folgende Technik zum Einsatz: **Anbaumäh Hacker**, **Feldhäcksler mit Spezialgebiss**, **Fäller-Bündlern** oder **motormanuelle Ernte** und das Rücken mit konventionellem **Rückeschlepper** (Würdig et al. 2020a; Unseld et al. 2011)

Verfahrenstechnisch können beispielsweise folgende Fruchtfolgen/Nutzungsarten gewählt werden: Konventionelle ackerbauliche Fruchtfolge (v.a. Winterkulturen bzw. Durum-Weizen-Raps-Rotation), Dauerweide in Rotation (Schafe), Ackerbau-Weide-Rotation, hangparallele Bearbeitung, Verzicht auf Grünlandumbruch, Integrierung von möglichst unterschiedliche Baumarten und Sorten (Chalmin 2008).

3.2.4 Kurzumtriebsplantagen

In Kurzumtriebsplantagen (KUP) erfolgt der Anbau schnellwachsender Baumarten auf Ackerflächen. Dabei wird der monokulturelle Bestand im 2- bis 10-, eventuell auch bis 20-jährigen Rhythmus beerntet. Nach der Ernte wächst durch den Wiederaustrrieb der Pflanzen ein neuer Bestand. Für die Kurzumtriebsnutzung sind unter den gemäßigten Klimabedingungen besonders Pappel und Weide, aber auch Robinie gut geeignet – wobei die Robinie als gebietsfremde Art aus naturschutzfachlicher Sicht nicht befürwortet werden kann (Hans Christian Stotzem, schriftl. Mitt.). Nach Ende der Nutzungszeit einer KUP muss diese wieder als Ackerfläche für eine ortsübliche Fruchtfolge einjähriger Kulturarten geeignet sein, damit diese Fläche weiterhin als Acker gilt. Mögliche Vorteile einer KUP sind: Die Minderung der Erosion, die Vernetzung von Biotopen, die Verbesserung der Bodenstruktur und eine Minderung des Einsatzes von PSM und Düngemitteln. Weiterhin besteht die Möglichkeit mit Schwermetallen (z.B. Arsen) belastete Flächen zu nutzen. Mögliche Nachteile einer KUP sind: Erosionsgefahr bei Anpflanzung und Rodung, Bodenverdichtung bei feuchten Erntebedingungen und, im Fall des Anbaus von Robinen, ein negativer Einfluss auf angrenzende Trockenrasen (LfULG 2011). Die Robinie ist eine Leguminose und somit in der Lage, mit Hilfe von Knöllchenbakterien Luftstickstoff zu binden. Während im Wein- und Ackerbau die Fähigkeit der Leguminosen Stickstoff im Boden anzureichern äußerst begrüßt wird, verursacht dies im Naturschutz teilweise starke Probleme. Robinien siedeln sich bevorzugt auf warmen Trockenrasen an. Aufgrund des stetigen Stickstoffeintrags in den Boden wird jedoch die auf karge Böden spezialisierte Magerrasenfauna

durch konkurrenzstarke „Stickstoff-Zeigerarten“, wie z. B. die Brennnessel schrittweise verdrängt. Mittelfristig wandelt sich so der einstmalige Trockenrasen in eine nährstoffreichere Wiese mit der dazugehörigen Fauna um. Für den Naturschutz ist dies kritisch - beherbergen doch gerade die Trockenrasen eine einzigartige und hochspezialisierte Flora und Fauna (z.B. StMELF, 2020).

Generell sollten bei den KUPs, wie auch im Agroforstsystem, die Überfahrten auf ein notwendiges Maß reduziert werden (ETI 2013).

Im Bereich der Bodenbearbeitung-Aussaat/Pflanzung kommen in KUPs folgende konventionelle oder wendende Bodenbearbeitungstechnik zum Einsatz: **Scheibenegge, Pflug** (Bearbeitungstiefe mindestens Stecklingslänge), **Egge / Feingrubber**. Im Fall der konservierenden / nicht wendenden / pfluglosen Bodenbearbeitung werden **Anbaufräse, Grubber, Hacke, Egge** und **Mulcher** verwendet (ETI 2013). Pflanzungen werden im zeitigen Frühjahr vorgenommen; die Pflanztiefe ist abhängig von der Bodenart. Bei Kleinflächen ist eine manuelle Pflanzung mit **Steckeisen** möglich, bei großflächigem Anbau kommen geeignete Pflanzmaschinen zum Einsatz. Als Pflanzmaschinen für die maschinelle Steckholzpflanzung werden modifizierte **Forst-, Tabak-, Gemüsepflanzmaschinen** verwendet (LfULG 2011).

In Agroforstsystemen sind eher keine PSM zugelassen, daher kommen vorbeugende Maßnahmen zur Anwendung: Anpflanzung **resistenter, widerstandsfähiger Sorten, Auslage von Ködern** gegen Mäuse und **Zäune** oder **Vergrämungsmittel** gegen Wild. In der Etablierungsphase im 1. Jahr ist der Schutz vor Unkrautkonkurrenz wichtig. Mechanische Maßnahmen bergen allerdings die Gefahr der Aktivierung von Unkrautsamen, daher werden eher chemische Strategien empfohlen. Ab dem 2. Jahr werden keine Beikrautmaßnahmen mehr angewendet, stattdessen erfolgt der Schutz vor Wild durch Einzäunen oder Jagd (LfULG 2011). Techniken zum Pflanzenschutz sind **chemische Verfahren: Totalherbizid (Vorbereitung), Voraufbauherbizide** und **mechanische Verfahren: Wildschutzzaun, straffe Bejagung, Rodentizide** (ETI 2013).

Eine Düngung der KUPs ist i.d.R. nicht erforderlich (ETI 2013). Eine angepasste Düngung wird meist erst ab der 2. Rotation mit P/K-Ausgleichsdüngung und Kalkung vorgenommen (LfULG 2011). Es wird organischer Stickstoffdünger (Gülle, Gärreste) verwendet (ETI 2013).

Im Bereich der Bewässerung kommen **Rollregner** oder auch eine Ausbringung von Wasser per Güllefass zum Tragen (ETI 2013).

Die Ernte erfolgt in den Wintermonaten, am besten auf gefrorenem Boden. Auf Großflächen erfolgt die Ernte mit Selbstfahrhäckseln mit Schwachholzvorsatz und Hacktrommel oder mit Fäller-Bündler/-Sammler Maschinen. Auf Kleinflächen wird mit motormanuellen Verfahren mittels Freischneider oder Bügelmotorsäge mit anschließendem Hacken (Mobilhacker) gearbeitet (LfULG 2011). Weiterhin kommen **Feldhäcksler, Anbaumäh Hacker, Mäh Sammlern** bzw. **Mähbündlern, Anbaumäh Hacker** und **Mulch- und Rodefräser** zum Roden der Wurzeln zum Einsatz (ETI 2013).

Verfahrenstechnisch werden folgende Baumarten bei den KUPs verwendet: Weiden, Pappeln, Robinien sowie untergeordnet auch Birken, Erlen, Gemeine Esche, Stiel-, Trauben- und Roteichen²¹. Eine Beerntung erfolgt in Rotation alle 3 bis 20 Jahre. Nach der letzten Ernte erfolgt

²¹ Hans Christian Stotzem (BfN): Die Roteiche ist als gebietsfremde Art aus naturschutzfachlicher Sicht nicht zu befürworten.

die Rückumwandlung über eine Bearbeitung mit **Forstmulchern** und **Fräse** (20-30 cm tief) oder mit schweren **Scheibeneggen** (LfLUG 2011).

3.3 Modernisierte Agrartechniken in ausgewählten Kulturen

Von 2016 bis 2020 sank der Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche in Deutschland um 170.300 ha von 51,1 % auf 50,6 % der Gesamtfläche (Destatis 2021a). Insgesamt werden damit in Deutschland 180.935 km² landwirtschaftlich genutzt²². Von der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland wurden im Jahr 2020 insgesamt 70,36 % für Ackerland, 28,02 % für Dauergrünland und 1,20 % für Dauerkulturen genutzt²³. Beim Ackerbau nimmt der Getreideanbau die größte Bedeutung ein (2021, vgl. Abb. 11).

Hierbei dominiert der Anbau von Winterweizen mit über 50 % des landwirtschaftlichen Ackerlandes. Bei den Hackfrüchten dominiert in Deutschland die Zuckerrübe mit 391.000 ha Anbaufläche. Allerdings gehört die Hackfrucht Kartoffel zu den Grundnahrungsmitteln. Sie ist weltweit das viertwichtigste Grundnahrungsmittel nach Reis, Weizen und Mais (alle Angaben nach Destatis 2021a).

Für die vorliegende Auswertung wurden die vier wichtigsten Kulturen in Deutschland ausgewählt, die den größten Flächenanteil in der Nutzung einnehmen (Weizen, Kartoffeln, Mais und Rüben). Unter diesen vier Kulturen weisen einerseits die Kartoffel und die Rübe sowie andererseits der Weizen und der Mais jeweils eine sehr ähnliche Bearbeitung auf. Diese Gruppierung ist zusätzlich naheliegend, da unter den beiden Gruppen jeweils ein markanter Unterschied in der Bearbeitungsform besteht: Kartoffel/Rübe benötigt Hackfrüchteerntetechnik, während Weizen/Mais die Erntetechnik von Körnerfutter benötigen.

Daher lassen sich diese Kulturen zusammenfassen bzw. jeweils eine der Kulturen stellvertretend für die Gruppe untersuchen (Winterweizen, Kartoffeln). Zusammen mit der hohen Relevanz für den deutschen und internationalen Markt bieten sich diese zwei Kulturen daher an, um anhand des Winterweizens und der Kartoffeln beispielhaft den Einsatz von modernisierter Landtechnik vorzustellen.

Die aktuellen Ackerbautechniken für Kartoffeln und Winterweizen werden im Folgenden nach Bearbeitungsschritten gegliedert dargestellt.

²² <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flachennutzungen> (Abruf 04.03.2022)

²³ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183734/umfrage/landwirtschaftliche-nutzflaeche-in-deutschland-2010/> (Abruf 16.03.2022)

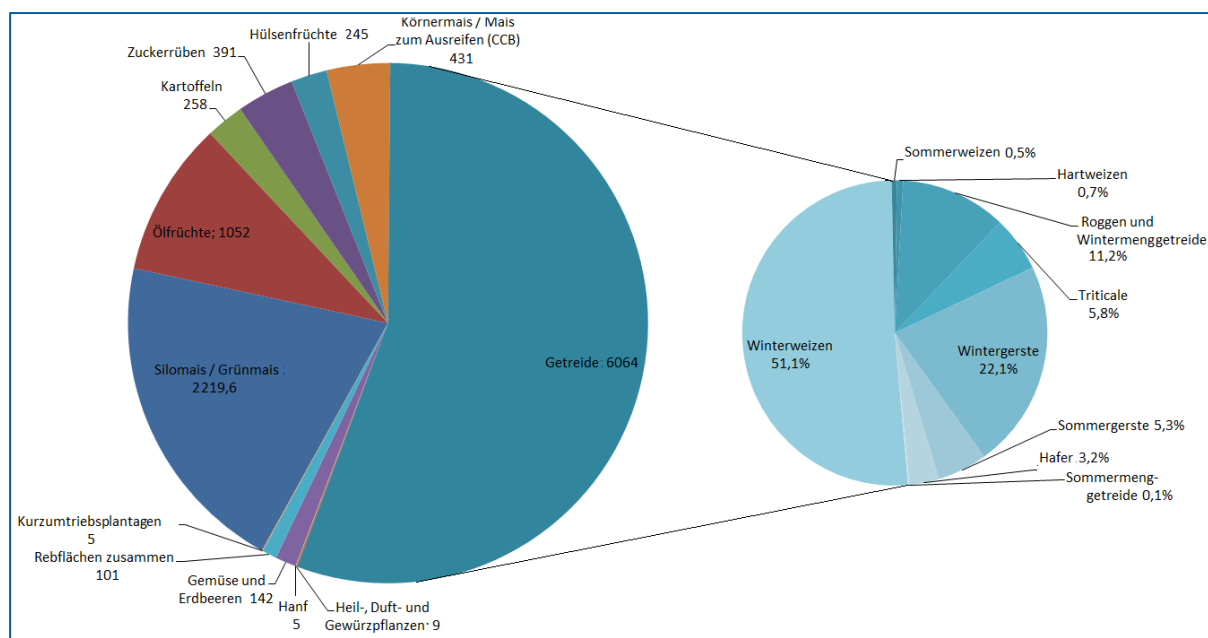


Abb. 11: Anteil der jeweiligen Fruchtarten am Gesamtackerland in 1.000 ha (links) bzw. aufgeschlüsseltes Getreide in % (rechts) (2021). Daten: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen) (Destatis 2021a).

3.3.1 Agrartechnik in der Kartoffelproduktion

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik in der Bodenbearbeitung

Eine Besonderheit des Kartoffelanbaus ist die Schaffung eines Dammbereichs. Ein Ziel der vorherigen Bodenbearbeitung ist das Brechen von Verdichtungen. Verdichtungen im Kartoffelanbau werden vor allem durch aktive Geräte wie Fräse, Kreiselegge und Kreiselgrubber gebrochen (s. Anhang A.3), deren Arbeitstiefe jeweils begrenzt ist. Tiefere Verdichtungen müssen mit einem Grubber gebrochen werden. Dieser hinterlässt allerdings keinen feinen Boden. Ein weiteres Ziel der Bodenbearbeitung ist das Einmischen von organischer Substanz. Grubber (Flachgrubber, Tiefgrubber) mit gebogenen Streichblechen bzw. gebogenen Zinken mischen gut. Bei den zapfwellengetriebenen Geräten mischen vor allem Fräse, Kreiselgrubber und Spatenmaschine. Eine Kreiselegge mischt kaum. Auch ein Pflug mischt nicht. Das wichtigste Ziel ist die Lockerung. Die geringste Lagerungsdichte wird mit dem Pflug erreicht. Daneben weisen die verschiedenen Grubber eine sehr gute Lockerung auf. Von den zapfwellenbetriebenen Geräten lockert der Kreiselgrubber gut. Die Kreiselegge verdichtet eher. Bei der Fräse ist die Lockerung stark von der Intensität abhängig. Durch zu intensives Zerkleinern nimmt die Lagerungsdichte sogar zu (Gröschl 2014).

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik beim Pflanzen

Die Arbeitsschritte bei der Beetseparierung sind folgende: Beete vorziehen, Beete separieren und Ablage der Beimengungen in Furchen. Es folgt dann das Ablegen der Kartoffeln (Köller & Hensel 2019). Beim Pflanzen muss eine möglichst exakte Ablage der Knolle erreicht werden. Die Knolle soll exakt in der Mitte des Damms liegen, was mit dem gut eingestellten Furchenzieher gelingt (Gröschl 2014). Die optimale Pflanzgutablagertiefe beträgt 10-12 cm.

Im Trend sind aktuell kombinierte Legeverfahren: So genannte „All-In-One“ oder „5-in-1-Verfahren“ beinhalten heute eine Maschinenkombination, bei der in einer Überfahrt Bodenbearbeitung, Reihendüngung, Maßnahmen zum Pflanzenschutz (Beizung des Pflanzguts und Furchenbehandlung des Bodens), das Bedecken des Pflanzgutes mit Erde und eine abschließende Dammformung (Enddammaufbau) durchgeführt werden (Klindtworth 2020).

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik beim Pflanzenschutz

Die Kartoffel bedarf aufgrund ihrer langsamen Jugendentwicklung unterstützende mechanische Pflegemaßnahmen, bis der Bestand geschlossen ist (Köller & Hensel 2019). Nach dem Reihenschluss haben die Beikräuter in Kartoffeln kaum noch eine Chance. Aber in der Jugendphase können bereits wenige hochwachsende Beikräuter zu Mindererträgen und Problemen bei der Ernte führen (Cordes & Mußmann 2014). Die chemische Beikrautbekämpfung in Kartoffeln (Krautminderung mit Krautschläger) wird daher bereits frühzeitig durch Bodenherbizid-Kombinationen durchgeführt. Basis dafür bietet ein entsprechend zeitnahes Anhäufeln der Kartoffeln nach dem Pflanzen. Gut abgesetzte Dämme fördern den gleichmäßigen Auflauf der Beikräuter, sodass sie durch die Kontaktwirkung der Voraufbauherbizide frühzeitig beseitigt werden. Der Voraufbauanwendung kommt damit die stärkste Bedeutung beim chemischen Pflanzenschutz im Kartoffelanbau zu. Anwendungszeitpunkte und Bodenbedingungen sind beim Herbizideinsatz zu beachten (Cordes & Mußmann 2014).

Die mechanische Beikrautbekämpfung in Reihenkulturen erlebt derzeit eine gewisse Renaissance. Wesentliche Gründe für diese Entwicklung sind die Zunahme resistenter Beikräuter bei einer gleichzeitigen Reduzierung verfügbarer wirksamer Pflanzenschutzmittel (Klindtworth 2020). Neuerungen sind die automatische Steuerung der Geräte und größere Arbeitsbreiten. Eine mechanische Beikrautbekämpfung zwischen den einzelnen Kartoffelpflanzen auf der Dammkrone ist aktuell für die Praxis noch nicht verfügbar.

Beim Pflanzenschutz im Kartoffelanbau gibt es aktuell Vorteile für Feldroboter mit Sensorik. Es ist damit möglich, nur Beikraut zu behandeln oder sogar bestimmte Beikräuter stehen zu lassen, weil sie der Nutzpflanze dienen oder für diese keine Konkurrenz darstellen (Kramer 2019).

Die chemische Abtötung/Reduktion des Kartoffelkrautes (Sikkation) zählt zu den wichtigsten Maßnahmen der Qualitätssicherung im Kartoffelanbau (Klindtworth 2020). Seit September 2021 gilt mit der geänderten Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung ein eingeschränkter Einsatz von Glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln, wie z.B. für die Vorernteanwendung (Sikkation) (PflSchAnwV § 3b, Absatz 5) (LWK NRW 2023). Mechanische Pflanzenschutzmaßnahmen gewinnen auch bei der Sikkation an Bedeutung. Im Kartoffelanbau haben sich hierbei das klassische Krautschlagen, das Abflammen als thermische Maßnahme und die elektrophysikalische Krautminderung bewährt: Durch den Einsatz des Krautschlägers kann die von den Erntemaschinen aufgenommene Krautmenge deutlich verringert werden. Beim Soloeinsatz des Krautschlägers entwickelt sich die Schalenfestigkeit der Knolle allerdings langsamer als bei anderen mechanischen Verfahren. Ebenso nachteilig ist das Risiko des Wiederaustriebes und der möglichen Übertragung von Bakterien. In Kombination mit chemischen Maßnahmen erzielt das Krautschlagen jedoch sehr gute Ergebnisse. Das Abflammen, die thermische Krautminderung, hat sich besonders im Ökolandbau etabliert. Energieträger ist Gas, das entweder über Brenner mit offener Flamme oder per Infrarotstrahler in Wärme umgesetzt wird, die die Pflanzenzellen schädigt, die Pflanze aber nicht verbrennt. Das Abflammen kann durch die individuelle Einstellung von Fahrgeschwindigkeit und Höhe des Abflammgerätes in der jeweils

passenden Intensität durchgeführt werden. Bei der elektrophysikalischen Krautminderung werden die Pflanzenzellen mit Hochspannung auf Gleichstrombasis oder mit hochfrequentem Wechselstrom durchströmt. Das führt in der Folge zum Austrocknen der erfassten Pflanzen. Auch hier muss die Behandlungsintensität genau auf den jeweiligen Bestand und die Einsatzbedingungen abgestimmt sein.

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik bei der Düngung

Die Düngeverordnung (DüV 2017; 2020) unterscheidet für den Stickstoffbedarf zwischen den verschiedenen Produktionsrichtungen Speise- und Stärkekartoffeln. Wo die endgültige Dammformung erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt, wird die Aufteilung der Düngung empfohlen. Die weiteren wichtigen Nährstoffe Kalium und Magnesium sind für das Pflanzenwachstum, insbesondere das Wurzelwachstum, und damit für die spätere Ertragsbildung von entscheidender Bedeutung (König 2014).

Modernisierte Agrartechnik der Bewässerung

Regional hat sich die Notwendigkeit der Bewässerung, auch bedingt durch den Klimawandel, verändert. Im Nordosten Niedersachsens, in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg werden beispielsweise Standorte mit Kartoffeln regelmäßig bewässert. Hier ist die mobile **Beregnungstechnik** mit Großflächenregnern die am weitesten verbreitete Beregnungstechnik in Deutschland (Schimmelpfennig et al. 2018). Nach der Einschätzung von Sourell (2005) setzt sich in Ostdeutschland mit großen Feldeinheiten zunehmend die **teilmobile Beregnungstechnik** mit Kreisberegnungsanlagen durch. Für groß strukturierte Flächen ab 25 ha Größe eignen sich vor allem Kreis- und Linearberegnungsmaschinen (Schimmelpfennig et al. 2018; Teichert 2019).

Trend/Forschungsbedarf: Eine Entwicklung, die die Tropfbewässerung anwendungsfreundlicher gestalten soll, ist die unterirdische Tropfbewässerung. Dabei werden die Tropfrohre in 30-40 cm Tiefe im Abstand von 50-100 cm verlegt. Eine solche Anlage, über die auch eine Nährstoffzufuhr erfolgen kann, soll eine Lebensdauer von minimal zehn Jahren haben. Damit wären die hohen jährlichen Verfahrenskosten durch Verlegen und Entnehmen erheblich reduziert (Schimmelpfennig et al. 2018).

Der Crop Water Stress Index (CWSI) ist ein geeigneter Parameter zur berührungslosen Bewässerungssteuerung im Kartoffelanbau (Meinardi et al. 2021; Wittern 2019). Dies ist aktuell die am weitesten verbreitete Methode, um anhand der Blattoberflächentemperatur den Trockenstress von Pflanzen zu erfassen. In einem Versuch konnte beispielhaft gezeigt werden, dass durch eine Steuerung der Bewässerungsmengen und -termine sowie mit Bewässerungssystemen die Effizienz des Wassereinsatzes beeinflusst werden kann. Im Versuch führte die **Tröpfchenbewässerung** im Vergleich zur Furchenbewässerung zu einer höheren Wassernutzungseffizienz. Bei der Tröpfchenbewässerung lag der Wasserverbrauch bis zu 31 % unter dem der Furchenbewässerung, allerdings ging damit auch ein verminderter Ertrag einher (Wittern 2019).

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik bei der Ernte

Die Kartoffelernte stellt trotz des hohen Technisierungsgrads immer noch das arbeits- und zeitintensivste Glied innerhalb der Verfahrenskette dar (Köller & Hensel 2019). Kartoffelroder übernehmen bei der Ernte die Grundfunktionen einer Aufnahme des Dammmaterials, der Absiebung des Bodens sowie einer Abtrennung des Krautes und der knollenähnlichen Beimengungen (Steine und Kluten). Das Erntegut kann dann wie bei den Bunkermaschinen in einem

Behälter gesammelt und bis zum Feldende mitgenommen oder aber wie bei den Rodeladern über einen Elevator direkt auf ein nebenherfahrendes Transportfahrzeug übeladen werden. Es kommen vorwiegend Bunkeroder zum Einsatz. Hierbei sind Krautkette, Beimengungstrennung und Bunker, der Speichereinheit für die Kartoffeln, integriert. Rodearbeit auf dem Feld und Abtransport werden dabei voneinander entkoppelt. Bei der Kartoffelerntetechnik ist ein anhaltender Trend zu mehrreihigen Erntemaschinen und Verfahren zu verzeichnen (Köller & Hensel 2019). Hervorzuheben ist die permanente Weiterentwicklung und Verbesserung von Systemen zur Abtrennung von Kraut, Steinen und Erde sowie zur Vermeidung von Beschädigungen der Kartoffel während des Ernteprozesses (Köller & Hensel 2019). Neu eingeführt wurden leichten Baureihen von zweireihigen Bunkerodern, die in der Praxis deutlichen Zuspruch erfuhren. Ihr ausgewogenes Preis-Leistungs-Verhältnis kommt größeren Kartoffelbaubetrieben beim nächsten Wachstumsschritt entgegen. Parallel werden aber auch große Zweireiher gebaut, die bei einem Bunkerfassungsvermögen von acht bis neun Tonnen dem Praxiswunsch nach einer weiteren Leistungssteigerung entgegenkommen (Peters 2019).

3.3.2 Agrartechnik in der Winterweizenproduktion

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik in der Bodenbearbeitung

Weizen stellt geringe Ansprüche an Saatbettbereitung. Auf schluffigen, zu Verschlämmungen neigenden Böden darf das Saatbett nach Pflugeinsatz nicht zu fein werden (s. Anhang A.3). Auf Standorten mit starkem Ackerfuchsschwanzbesatz können grobe Kluten allerdings zu einem verzögerten Auflaufen der Begleitgräser führen. Nach Hackfrüchten kann auf den Pflug meist ganz verzichtet werden. Im Gegensatz dazu wird nach Mais, bei sehr zerfahrenen Feldern, nach nasser Ernte oder bei feuchten Bestellbedingungen der Pflug zum Einsatz gebracht (isip 2022).

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik bei der Aussaat

Weizen wird normalerweise im Drillsaat-Verfahren mit mechanischen / pneumatischen Drillmaschinen gesät. Die Saattiefe beträgt dabei 2-3 cm (Quade 1993). Gleichmäßige Saatgutablage und ausreichende Bodenbedeckung ist zu gewährleisten. Mulchsaatverfahren sind bei nassen Bodenverhältnissen problematisch. Zum Dichtlagern neigende (Sand-)Böden sind für eine pfluglose Bestellung ebenfalls nicht geeignet (isip 2022).

Trend: Reihensägeräte wurden auch für die Aussaat von Weizen entwickelt. Wahlweise erfolgt die Aussaat über Doppelscheibenschare oder Schleppschare, welche über Parallelogramme und Andruckrollen geführt werden (Profi 2022).

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik beim Pflanzenschutz

Leider hat die mechanische Pflege im Getreide gegenwärtig nur eine untergeordnete Bedeutung. Die alleinige Nutzung mechanischer Verfahren führt im Wintergetreide in der Regel zu keinen befriedigenden Wirkungen. Der Einsatz des Striegels kann bei Beikräutern im Keimblattstadium auf schwach verunkrauteten Flächen ausreichend sein. Bei Frost sollte wegen der Gefahr von Pflanzenschäden nicht gestriegelt werden. Bei hochgefrorenem Getreide ist es ratsam, zuerst zu walzen und erst nach dem Anwachsen zu striegeln.

Alternativ können Herbizide zur Anwendung kommen. Zur guten fachlichen Praxis gehört, dass dem Herbizideinsatz eine Bonitur zur Ermittlung des Beikrautbesatzes vorausgeht. Diese Bonitur ist eine wesentliche Entscheidungshilfe zur Einschätzung über die Notwendigkeit einer Beikrautbekämpfung. Sie erleichtert die richtige Herbizidauswahl und die Festlegung der optimalen Aufwandmenge (isip 2022). Eine Bonitur ist im landwirtschaftlichen Versuchswesen die Abschätzung, Beurteilung und Einschätzung von Pflanzen nach bestimmten Merkmalen (z.B. Vitalität, Krankheitssymptome und Wuchsleistung).

Alternativ zur Herbizidanwendung können agro-ökologische Ansätze angewandt werden, um den Ertrag und die Qualität von Getreide zu gewährleisten. Die Effizientesten sind hierbei die Nutzung einer höheren inter- und intraspezifischen Diversität und die Auswahl natürlich entwickelter Sorten, die im Laufe der Jahre an den pedoklimatischen Kontext angepasst wurden (Spaggiari et al. 2022). Weiner et al. (2010) zeigten, dass so das Potenzial für ein Unterdrücken von Beikraut im Getreide so unterstützt werden kann.

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik bei der Düngung

Für einen optimalen Ertrag wird Weizen mit Stickstoff gedüngt. Durch spezielle Sensortechnik wird versucht, diesen möglichst präzise auszubringen und somit nur den notwendigen Dünger zu geben.

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik bei der Bewässerung

Eine Wirtschaftlichkeit der Bewässerung im Winterweizen ist nicht unbedingt gegeben. Lediglich im Falle eines tiefgründigen Bodens unter günstigen Umständen, wie überdurchschnittlichen Preisen bzw. Erträgen oder kostengünstiger Bewässerung, zeigten Zorn & Lips (2016), dass die Bewässerung von Winterweizen zu einem ähnlichen wirtschaftlichen Ergebnis führen kann, wie ohne Bewässerung. Schimmelpfennig et al. (2018) stellten fest, dass die Erträge von Weizen und Roggen durch Bewässerung um 30 bis 40 % stiegen. Generell lässt sich feststellen, dass beim Getreide – mit Ausnahme der Braugerste – eine frühe Beregnung bis Mitte des Pflanzenentwicklungsstadiums (Schossens) in den meisten Jahren eher wenig ertragswirksam ist. Getreide hat generell den Vorteil, dass es zeitweiligen Trockenstress in einzelnen Entwicklungsphasen gut kompensieren kann. Eine geringe Bestandesdichte durch Wassermangel von der Bestockung bis zur Mitte des Schossens kann von Weizen zumindest teilweise durch eine gute Einkörnung der Ähren ausgeglichen werden. Auch durch das Korngewicht ist noch eine Kompensation möglich. Daher sollte die Beregnung erst ab dem Erscheinen des Fahnenblattes beginnen, wenn die Bodenfeuchte bei 35-45 % der nFK (nutzbare Feldkapazität; d.h. ab diesem Messpunkt kann die Pflanze dem Boden Wasser entziehen) liegt. Eine frühere Beregnung ist nur bei großer Hitze und Trockenheit angezeigt (Fricke 2022). Zur eingesetzten Technik in der Bewässerung des Winterweizens wurden keine Informationen gefunden. Es wird angenommen, dass hier ausschließlich Beregnungsverfahren, teilmobile oder mobile Techniken nach DIN 19655:2008 (DIN 2008), eingesetzt werden, da die Mikrobewässerung keine kostengünstige Bewässerungstechnik ist und die Oberflächenbewässerung zu ineffizient ist.

Zielsetzung und modernisierte Agrartechnik bei der Ernte

Die Erntemaschine für Winterweizen ist eine komplexe landwirtschaftliche Maschine. Der Mähdrescher mäht die Pflanze an der Halmbasis und nimmt den oberen Teil vollständig auf. Die Maschinenelemente zum Dreschen, Trennen und Reinigen separieren die Korn- und Nicht-

Kornbestandteile. Bei der Getreideernte werden verschiedene Erntevorsätze für Dresch- und Trenneinrichtungen verwendet.

Trend: Die Weizenerntetechnik wird maßgeblich durch Weiterentwicklung zur Steigerung der Effizienz der Maschinen bestimmt. Neben typenspezifischen Veränderungen der Dresch- und Abscheidetechnik sowie der Fahrwerks- und Antriebstechnik betrifft das vor allem Techniken zur Prozessregelung innerhalb des Mähdreschers sowie zur Prozessoptimierung des Mähdreschereinsatzes. Die zunehmende Prozessautomatisierung erhöht nicht nur die Durchsatzleistung, sondern reduziert auch Körnerverluste und Körnerbruch auf ein unvermeidliches Mindestmaß (Köller & Hensel 2019). Das Größenwachstum bei Mähdreschern setzt sich fort, die Motorleistung der Maschinen der großen Hersteller übersteigt deutlich die 500 kW-Grenze. Die Assistenz- und Automatisierungssysteme finden sich zunehmend auch bei kleineren und mittleren Maschinen. Automatische Maschineneinstellungen und Regelsysteme werden weiterentwickelt und stehen auch zunehmend den kleineren Modellreihen zur Verfügung. Verschiedene Hersteller bieten ihre Prüfschalen zur Verlustbestimmung bei der Ernte an (Böttinger 2021a).

Für Mähdrescher wird umfangreiche Sensor-, Regel- und Informationstechnik angeboten. Auch die kleinste Maschinenklasse wird mit Informations- und Farmmanagementsystemen ausgerüstet. Selbstlernende Automationssysteme sorgen dafür, dass die Mähdrescher kontinuierlich am vom Fahrer strategisch vorgegebenen Limit arbeiten können. Im Einzugskanal kann ein kapazitiver Feuchtesensor für das Stroh integriert werden (Böttinger 2021a). Das kapazitive Feuchtemessprinzip des Sensors basiert auf dem Funktionsprinzip eines Kondensators. Seine Messwerte zeigen eine sehr gute Korrelation mit der tatsächlichen Strohfeuchte.

4 Artenschutzaspekte zu in Ackergebieten vorkommenden Arten

Im Folgenden werden relevante spezifische Eigenschaften und Ansprüche von ausgewählten Arten-(Gruppen) dargestellt, auf deren Basis die Einflüsse von Agrartechniken auf diese in zeitlicher und räumlicher Differenzierung im Weiteren spezifiziert werden.

4.1 Säugetiere (Feldhamster, *Cricetus cricetus*)

Der Feldhamster ist ein Säugetier mit begrenztem Aktionsradius. Die Tiere sind sehr standort-treu. Neben zumeist eng begrenzten Vorkommensgebieten und zersplitterten und disjunkten Arealen (vgl. Abb. 12) ist die inzwischen hochbedrohte Art in ihren Habitatsprüchen vergleichsweise anspruchsvoll: Sie benötigt tiefgründige Löss- oder Lehmböden, die grabbar sind und in strukturreichen Feldlandschaften liegen, welche ihr das ganze Jahr über Nahrung und Deckung bietet. Der Feldhamster kommt typischerweise in Getreidekulturen (vor allem Weizen), aber auch in Körnerleguminosen-Äckern vor (BfN 2022a, BfN 2022b, Deutsche Wildtierstiftung 2022, LANUV NRW 2022).

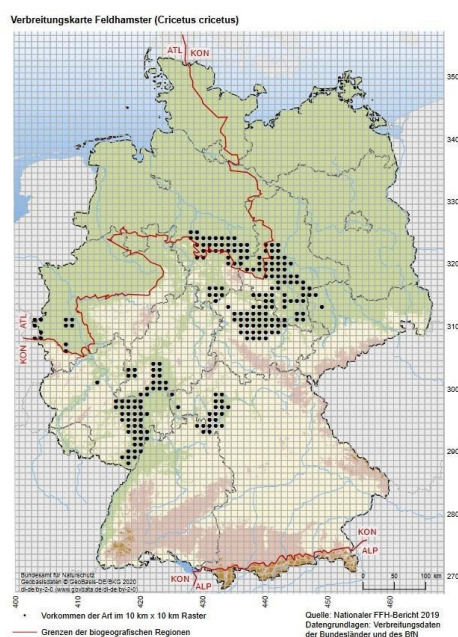


Abb. 12: Verbreitungskarte Feldhamster (Quelle: Nationaler FFH-Bericht 2019).

Habitat

Von Bedeutung sind grabbare, trockene Böden aus Löss, manchmal auch Auenlehmböden, Kolluvisole oder schwere Tonböden mit Beimengungen von Sand oder Humus. Insofern ist der Feldhamster eine Charakterart struktur- und artenreicher Ackerlandschaften mit tiefgründigen, nicht zu feuchten Löss- und Lehmböden und tiefem Grundwasserspiegel (> 120 cm). Diese Bodenverhältnisse benötigt der Feldhamster zur Anlage seiner selbst gegrabenen, verzweigten Bausysteme. Im Sommer befinden sich diese meist 40 bis 50 cm unter der Erdoberfläche, im Winter in einer Tiefe von bis zu 2 m (frostfrei). Im Durchschnitt nutzt ein Tier 2-5 Baue im Verlauf des Sommers. Entscheidend für das Überleben der überwiegend dämmerungs- und nachtaktiven Tiere sind genügend Deckung sowie ein ausreichendes Nahrungsangebot.

Bevorzugt werden Wintergetreide (v. a. Weizen) und mehrjährige Feldfutterkulturen sowie Körnerleguminosen-Äcker besiedelt; günstig ist auch Sommergetreide, und hohe Dichten werden (wurden) in Luzernefeldern erreicht (LANUV NRW 2022, LBM RLP 2008, Kayser & Stubbe 2002).

Fortpflanzungsbiologie

Nach Beendigung des Winterschlafs werden die Tiere im April/Mai aktiv, die Jungen werden meist zwischen Ende Mai und Mitte Juni geboren. Im Oktober beginnt der etwa 6-monatige Winterschlaf, der nur von kurzen Fressphasen unterbrochen wird (LANUV NRW 2022).

Nahrung

Feldhamster ernähren sich zwar überwiegend von Pflanzen, nehmen aber als Konsumenten 2. Ordnung bei Gelegenheit auch tierische Nahrung auf (Wirbellose und kleine Wirbeltiere). Die vorwiegend vegetarische Nahrung besteht aus grünen Pflanzenteilen, Samen (Getreidekörner, Hülsenfrüchte) und Speicherorganen (Wurzeln, Knollen). Als tierische Kost sind beispielsweise Schnecken, Regenwürmer, Insekten, Feldmäuse nachgewiesen. Wintervorräte bestehen aus Getreide, Wildkrautsamen, Hülsenfrüchte, Stücke von Rüben, Kartoffeln, die ab dem Spätsommer „gehamstert“ und im Vorratsbau eingelagert werden (LANUV NRW 2022).

Er reagiert empfindlich auf industrielle Landwirtschaft mit intensivem Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln sowie schnellen Bearbeitungsfolgen, tief reichender Bodenbearbeitung und geringem Verbleib von Nahrung in Form von Früchten und Ernterückständen (Stoppeläcker und Randstrukturen fehlen, dadurch erhöht sich gegebenenfalls auch der Prädationsdruck). Durch die Bodenverdichtung häufige Befahrung und schwerer Maschinen werden Baue zerstört oder die Anlage derselben ist erschwert (BfN 2022a, BfN 2022b, Deutsche Wildtierstiftung 2022, LANUV NRW 2022).

Der Feldhamster stellt somit eine empfindliche Indikatorart dar, die eng definierte Habitatansprüche und eine geringe Toleranz gegenüber intensiver Landwirtschaft und strukturarmer Agrarlandschaft aufweist. Zudem kommen bei dieser Art schnell Effekte wie genetische und räumliche Isolierung zum Tragen (l. c.).

4.2 Feldvögel (Feldlerche, Kiebitz, Rebhuhn)

Die Gruppe der Vögel drängt sich für die vorliegende Studie bereits wegen der herausragenden Datenlage auf, welche Kenntnisse über historische und aktuelle Verbreitungen sowie aktuelle Bestandsgrößen vieler Arten umfasst (z. B. Brutvogelatlas „Adebar“, DDA 2014; Rote Liste Brutvögel, Nationales Gremium Rote Liste Vögel 2020), aber auch teils fundierte Zeitreihen und Langzeiterhebungen – wie beispielsweise der Farmland-Bird-Index - mit dokumentierten Bestandsveränderungen enthält. Über die Biologie und ökologischen Ansprüche vieler Arten gibt es eine gute Informationslage.

Anders als Feldhamster, Amphibien oder Wirbellose sind Vagilität und Aktionsradius deutlich größer. Ortsveränderungen (Nahrungsflüge, Dismigration, Zugbewegungen) finden je nach Art in unterschiedlichem Maße statt.

Typische Feldvögel wie Feldlerche, Grauammer, Kiebitz, Rebhuhn oder Wiesenschafstelze, die am Boden brüten und dort auch ihre Nahrungsquellen haben, sind überwiegend teils den Konsumenten erster Ordnung (Pflanzen fressend), teils Konsumenten zweiter Ordnung

zuzuordnen, wobei die Übergänge zwischen den Trophie-Ebenen fließend sind, weil Wirbellose und kleine Wirbeltiere auch von Vögeln mit überwiegend vegetabler Ernährungsweise bei Gelegenheit gefressen oder saisonal an den Nachwuchs als eiweißreiche Nahrung verfüttert werden.

Da Feldlerche, Kiebitz und Rebhuhn typischerweise mitten im Acker brüten, über weite Teile Deutschlands verbreitet sind, sogar in weitläufigen, teils intensiv genutzten Ackerlandschaften (noch) vorkommen – zudem auch regelmäßig in Getreidefeldern, die im Fokus dieses F&E-Vorhabens stehen – wurden diese drei Vogelarten stellvertretend und schwerpunktmäßig berücksichtigt. Eine Übersicht über die wesentlichen Charakteristika und den aktuellen Status dieser drei Arten gibt Tabelle 18.

Tab. 18: Charakteristika und aktueller Status Feldvögel (Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche) (eigene Zusammenstellung).

	Kiebitz	Rebhuhn	Feldlerche
Bestand aktuell	42.000 bis 67.000 Paare (Gerlach et al. 2019)	21.000 bis 37.000 Reviere (Gerlach et al. 2019)	1,2 bis 1,85 Mio. Reviere (Gerlach et al. 2019)
Trend	Besonders starke Abnahme in den letzten 24 Jahren (rd. 90 %); Anhaltend negativer Trend (Gerlach et al. 2019)	Besonders starke Abnahme in den letzten 24 Jahren (rd. 90 %); Anhaltend stark negativer Trend (Gerlach et al. 2019)	Moderate Abnahme in den letzten 24 Jahren; Anhaltend stark negativer Trend (Gerlach et al. 2019)
Monitoring, Indikator-Funktion	Art im Monitoring häufiger Brutvögel erfasst; Statistik / Trend 1992 – 2016 liegt vor (D-OG 2021) Nachhaltigkeitsindikator-Art für die Artenvielfalt in D (DDA 2021); Nachhaltigkeitsindikator-Art European Farmland Bird Index (DDA 2021)	Art im Monitoring häufiger Brutvögel erfasst; Statistik / Trend 1992 – 2016 liegt vor (D-OG 2021)	Art im Monitoring häufiger Brutvögel erfasst; Statistik / Trend 1992-2016 liegt vor (D-OG 2021); Nachhaltigkeitsindikator-Art für die Artenvielfalt in D (DDA 2021); Nachhaltigkeitsindikator-Art European Farmland Bird Index (DDA 2021)
Habitat (-schwerpunkt)	Grünland und durch Grünland geprägtes Offenland (D-OG 2021)	Acker und von Äckern geprägtes Offenland (D-OG 2021)	Landwirtschaftlich genutztes Offenland (D-OG 2021)
Schutzstatus	streng geschützt (Anl. 1, Sp. 4 BArtSchV)	besonders geschützt (§ 7(2) Nr. 13b BNatSchG)	besonders geschützt (§ 7(2) Nr. 13b BNatSchG)
Gefährdung in D	Stark gefährdet (Rote-Liste-Zentrum 2022)	Stark gefährdet (Rote-Liste-Zentrum 2022)	Gefährdet (Rote-Liste-Zentrum 2022)
Gefährdungsursachen	Ausbringen von Dünger im Frühjahr, vor allem der Gülle (D-OG 2021); Abschaffung der EU-Flächenstilllegungen in 2007 (D-OG 2021); Großflächige Umwandlung von Dauergrünland in Maisäcker (D-OG 2021); u. a. Zerschneidung und Verkleinerung von offenen Landschaftsräumen (LANUV NRW 2022a); Gelegetverluste sowie geringer Brut-erfolg durch landwirtschaftliche Arbeiten (v.a. intensive Düngung, Gülle, Pflanzenschutzmittel, Mahd vor Anfang Juni, hohe Viehdichten, häufige Ackerbearbeitung, zu dichte Saatzeilen, Verlust von Brachen und Säumen) (LANUV NRW 2022a);	Zählt zu den am stärksten durch Pestizide beeinflussten Vogelarten (D-OG 2021); u. a. Verlust extensiv genutzter Agrarlandschaften mit Randstreifen, Wegrainen, Brachen (ungünstige Mahdtermine, Pflanzenschutzmittel, Versiegelung) (LANUV NRW 2022b); Intensive Nutzung (v. a. Düngung, Pflanzenschutzmittel, häufige Flächenbearbeitung, Umbruch kurz nach der Ernte, zu dichte Saatzeilen, Verlust von Brachen und Säumen) (LANUV NRW 2022b); Vergrößerung der Ackerschläge (LANUV NRW 2022b); Verschlechterung des Nahrungsangebotes von Insekten (LANUV NRW 2022b).	Ausbringen von Dünger im Frühjahr, vor allem der Gülle (D-OG 2021); Abschaffung der EU-Flächenstilllegungen in 2007 (D-OG 2021); Großflächige Umwandlung von Dauergrünland in Maisäcker (D-OG 2021); u. a. Verlust von extensiv genutztem Dauergrünland, Ackerbrachen, Randstreifen, Wegrainen (ungünstige Mahdtermine, Pflanzenschutzmittel, Versiegelung) (LANUV NRW 2022c); Intensive Nutzung (v. a. Düngung, Pflanzenschutzmittel, häufige Flächenbearbeitung, Umbruch kurz nach der Ernte, zu dichte Saatzeilen, Verlust von Brachen und Säumen) (LANUV NRW 2022c)

Störungen an den Brutplätzen (LANUV NRW 2022a).

Vergrößerung der Acker-schläge (LANUV NRW 2022c); Verschlechterung des Nahrungsangebotes von Insekten (LANUV NRW 2022c).

Verbreitungskarte (Ge-deon et al. 2014)			
Verbreitung	<p>Ungleichmäßig verteilt; Schwerpunkt in NW-Deutschland, ferner SO-D, weitläufig noch in Ostdeutschland; weitläufig verwaiste Regionen.</p>	<p>In weiten Teilen Deutschlands; meidet Höhenlagen und waldreiche (Mittel-) Gebirge; teils verwaiste Regionen.</p>	<p>Landesweit; mit Schwerpunkten in den Niederungen, in Agrarlebensräumen, v. a. i. Ostdeutschland, Grünlandregionen (Niederrhein).</p>

4.2.1 Kiebitz (*Vanellus vanellus*)

Bruthabitat

Der Kiebitz ist ein Charaktervogel offener Grünlandgebiete, wie nasser bis trockener Wiesen und Weiden, besiedelt aber auch weitere offene Kulturlandschaften mit unterschiedlichen Biotopen, darunter Äcker, aber auch Spülflächen, Flugplätze, Schotter- und Ruderalplätze, Abbauf Flächen sowie abgelassene Teiche. Von allgemeiner Bedeutung für die Ansiedlung sind weitgehend gehölzarme, offenen Flächen mit lückiger und sehr kurzer Vegetation bzw. halboffenen, grundwassernahen Böden. Für die Aufzucht der Jungen ist eine geringe Vegetationshöhe und -dicke Voraussetzung. In manchen Landesteilen besiedelt er inzwischen verstärkt Ackerland. So brüten etwa 80 % der Kiebitze in Nordrhein-Westfalen auf Ackerflächen. Dort ist der Bruterfolg stark abhängig von der Bewirtschaftungsintensität und fällt oft sehr gering aus (LANUV NRW 2022; LBM RLP 2008).

Fortpflanzungsbiologie

Bei der Wahl des Neststandortes werden offene und kurze Vegetationsstrukturen bevorzugt. Auf einer Fläche von 10 ha können 1 bis 2 Brutpaare vorkommen. Kleinflächig kann es zu höheren Dichten kommen, da Kiebitze oftmals in kolonieartigen Konzentrationen brüten. Die ersten Kiebitze treffen ab Mitte Februar in den Brutgebieten ein. Ab Mitte März beginnt das Brutgeschäft, spätestens im Juni sind die letzten Jungen flügge (LANUV NRW 2022).

Nahrung

Die Nahrungssuche erfolgt an der Bodenoberfläche und in den obersten Bodenschichten. Die Jungvögel ernähren sich überwiegend von auf dem Boden lebenden Insekten. Das

Nahrungsspektrum der Altvögel ist vielseitiger und besteht aus Insekten und deren Larven (z.B. Heuschrecken, Käfer, Schnaken) oder Regenwürmern, zum Teil auch aus pflanzlicher Kost (LANUV NRW 2022).

4.2.2 Rebhuhn (*Perdix perdix*)

Habitat

Als ursprünglicher Steppenbewohner besiedelt das Rebhuhn offene, gerne auch kleinräumig strukturierte Kulturlandschaften mit Ackerflächen, Brachen und Grünländern. Wesentliche Habitatbestandteile sind Acker- und Wiesenränder, Feld- und Wegraine sowie unbefestigte Feldwege, ergänzt durch Hecken, Feldgehölze oder Gebüschgruppen. Außerdem besiedeln sie Sandheiden, Trockenrasen, Abbaugelände und Industriebrachen. Hohe Dichten werden teilweise auch in „ausgeräumten“ Ackergebieten erreicht, die sich durch hohe Bodenwertzahlen auszeichnen und in wärmebegünstigten Regionen liegen. Acker- und Grünlandbrachen gehören in intensiv genutzten landwirtschaftlichen Gebieten zu den wichtigsten Neststandorten (LANUV NRW 2022; LBM RLP 2008).

Fortpflanzungsbiologie

Die Siedlungsdichte kann bis zu 0,5 bis 1,2 Brutpaare auf 10 ha betragen. Das Nest wird am Boden in flachen Mulden angelegt. Die Eiablage beginnt ab April, Hauptlegezeit ist im Mai, ab August sind alle Jungtiere selbständig. Der Familienverband („Kette“) bleibt bis zum Winter zusammen. Nur selten vollziehen die Tiere größere Ortswechsel (LANUV NRW 2022).

Nahrung

Die tag- und dämmerungsaktiven Tiere ernähren sich überwiegend pflanzlich. Die Nahrung besteht vor allem aus Samen und Früchten von Ackerwildkräutern, Getreidekörnern, grünen Pflanzenteilen und Grasspitzen. Zur Brutzeit kann der Anteil tierischer Nahrung (vor allem Insekten) stark ansteigen (LANUV NRW 2022).

4.2.3 Feldlerche (*Alauda arvensis*)

Bruthabitat

Als ursprünglicher Steppenbewohner ist die Feldlerche eine Charakterart der offenen Feldflur. Sie besiedelt reich strukturiertes Ackerland, extensiv genutzte Grünländer und Brachen sowie größere Heidegebiete, teils auch größere Waldlichtungen; von Bedeutung für die Ansiedlung sind trockene bis wechselfeuchte Böden mit einer kargen und vergleichsweise niedrigen Gras- und Krautvegetation. Die Art meidet auch feuchte bis nasse Areale nicht, wenn diese an trockene Bereiche angrenzen oder mit ihnen durchsetzt sind. Mit Wintergetreide bestellte Äcker sowie intensiv gedüngtes Grünland stellen aufgrund der hohen Vegetationsdichte keine optimalen Bruthabitate dar (LANUV NRW 2022; LBM RLP 2008).

Fortpflanzungsbiologie

Die Brutreviere sind 0,25 bis 5 ha groß, bei maximalen Siedlungsdichten von bis zu 5 Brutpaaren auf 10 ha. Das Nest wird in Bereichen mit kurzer und lückiger Vegetation in einer

Bodenmulde angelegt. Ab Mitte April bis Juli erfolgt die Eiablage, Zweitbruten sind üblich. Spätestens im August sind die letzten Jungen flügge (LANUV NRW 2022).

Nahrung

Die Nahrung im Frühjahr ist recht vielseitig und besteht aus Insekten, Spinnen, kleinen Schnecken und Regenwürmern. Im Winterhalbjahr überwiegen hingegen Getreidekörner, Unkrautsamen und Keimlinge (LANUV NRW 2022).

4.3 Amphibien (Knoblauchkröte, *Pelobates fuscus*)

Als Amphibienart, die besonders stark den verschiedenen Ackerbautechniken ausgesetzt ist, ist die Knoblauchkröte zu nennen²⁴. Diese Art ist ganzjährig vor allem in Kartoffel- und Spargeläckern zu finden, in deren sandigen, grabbaren Boden sie sich eingräbt. Beinahe alle anderen Amphibien sind saisonal auf Äckern unterwegs, um zu den Laichgewässern zu gelangen, oder später (wie auch der Nachwuchs), um wieder abzuwandern. Sie sind auf unbewirtschaftete (Rand-)Bereiche angewiesen (Berger et al. 2011, Rote-Liste-Gremium Amphibien und Reptilien 2020).

Aufgrund ihrer weiten Verbreitung, Gefährdung (Rote-Liste-Kategorie 3 – Gefährdet) und des Schutzstatus (Anhang IV-Art der FFH-Richtlinie) sollen die Auswirkungen der modernisierten Agrartechniken auf die Knoblauchkröte untersucht werden.

Die Knoblauchkröte ist kontinental-osteuropäisch verbreitet und besiedelt ganz Deutschland autochthon. Die Vorkommen beschränken sich hier auf wärmebegünstigte Lagen des Tieflandes (z. B. Oberrheingraben, Teile Bayerns und die Sanderlandschaften Niedersachsens/Schleswig-Holsteins). Im Saarland ist sie ausgestorben. Die östlichen Bundesländer werden dagegen unter Aussparung der Mittelgebirge nahezu flächig besiedelt. Große Populationen baut die Art in extensiv genutzten Kulturlandschaften mit grabbaren Böden und Sonderstandorten (Kiesgruben und militärische Übungsplätze) auf (Berger et al. 2011, Rote-Liste-Gremium Amphibien und Reptilien 2020).

Die Knoblauchkröte ist vor allem durch folgende Faktoren gefährdet: Verlust und Entwertung von Kleingewässern, z. B. aufgrund von Sukzession, die durch Eutrophierung beschleunigt wird; Änderung der Hydrologie, z. B. durch Absenkung des oberflächennahen Grundwasserstandes, aber auch zunehmende Austrocknungstendenzen (v. a. in Sölle-Landschaften); wegen der langen Larvalphase ist die Art gegenüber solchen Änderungen besonders empfindlich; Aufgabe extensiver Landnutzungsformen, z. B. beim Kartoffelanbau, aber auch in Teichwirtschaften; Eintrag von Pestiziden und Düngemitteln in die Laichgewässer; Besatz von Gewässern mit Fischen; Beseitigung von Überwinterungsplätzen im Umfeld von Gewässern; Zerschneidung von Landlebensräumen (zunehmende Isolierung) und Verluste von Individuen durch Straßenverkehr; Verluste von Habitaten auf Agrarflächen durch intensive Bearbeitung und Anwendung von Agrochemikalien, bei der insbesondere bei dieser Art ein hohes Expositionsrisiko besteht (Rote-Liste-Gremium Amphibien und Reptilien 2020, Wagner 2015).

²⁴ Dr. Ulrich Schulte, mdl. Mitt. (April 2022)

Habitat

Ursprünglicher Lebensraum der Knoblauchkröte waren offene, steppenartige Landschaften sowie Sandgebiete in größeren Flussauen. Als „Kulturfolger“ besiedelt sie auch agrarisch und gärtnerisch genutzte Gebiete wie extensiv genutzte Äcker, Wiesen, Weiden, Parkanlagen und Gärten. Darüber hinaus kommt die Art in Abgrabungsgebieten vor. Als Laichgewässer werden offene Gewässer mit größeren Tiefenbereichen, Röhrlichtzonen und einer reichhaltigen Unterwasservegetation aufgesucht. Geeignete Gewässer sind Weiher, Teiche, Altwässer der offenen Feldflur, Niederungsbäche und Gräben, alte Dorfteiche sowie extensiv genutzte Fischteiche. Landlebensräume sind offene, steppenartige Gebiete mit lockeren Substraten, darunter auch Äcker und Weinberge. Im Winter graben sich die Tiere in gut drainierten, sandigen Böden bis in eine Tiefe von 60 (max. 100) cm ein (LANUV NRW 2022, LBM RLP 2008).

Fortpflanzungsbiologie

Die Fortpflanzungsperiode der nachtaktiven Knoblauchkröte erstreckt sich von April bis Mai. Ausgiebige Niederschläge können eine zweite Laichzeit von Juni bis Mitte August auslösen. Die Jungkröten verlassen zwischen Ende Juni und Mitte September das Gewässer und suchen im Herbst ihre Winterquartiere auf. Auch die Alttiere wandern ab Oktober in ihre Winterquartiere, wobei Wanderstrecken von meist 200 (max. 1.200) m zurückgelegt werden. Larven aus spät abgelegten Eiern überwintern im Gewässer und vollenden ihre Metamorphose erst im folgenden Jahr (LANUV NRW 2022).

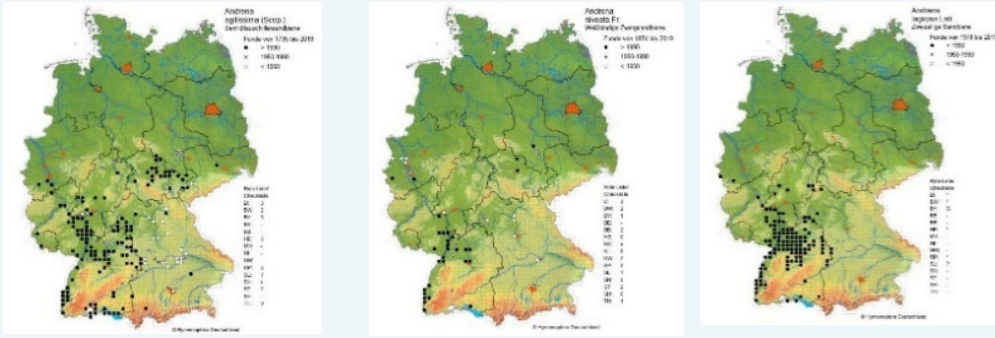
Nahrung

Die Knoblauchkröte ernährt sich räuberisch, hauptsächlich von Käfern, ansonsten von verschiedensten Bodenarthropoden (LANUV NRW 2022).

4.4 Wildbienen (*Anthophila: Andrena-, Halictus-, Melitta-Artenkomplexe*)

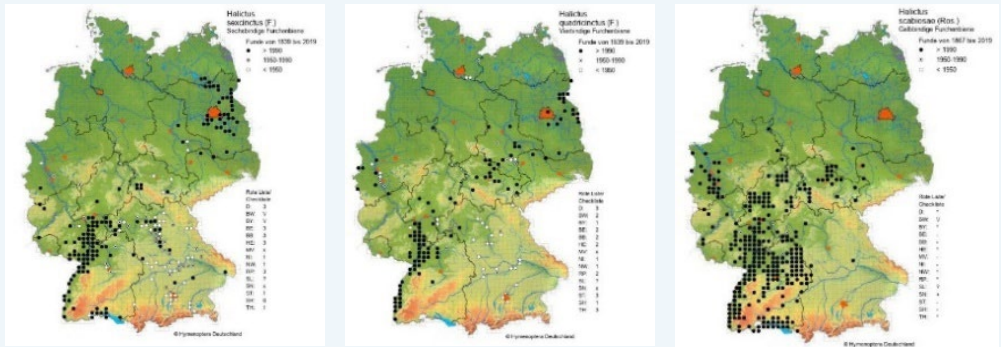
Aufgrund der vielfältigen Lebensraum-Ansprüche der Wildbienen-Arten einerseits und ihrer hohen Bedeutung als Bestäuber andererseits ist diese Artengruppe für die Analyse von Auswirkungen modernisierter Landtechniken von besonderem Interesse. Mit mehr als 580 Arten kommen Wildbienen in verschiedenen Lebensraumtypen in Deutschland vor (Scheuchl & Schwenninger 2015). Es besteht eine hohe Abhängigkeit vom Blütenangebot, da Wildbienen für die Aufzucht ihrer Nachkommen oft den Pollen ganz bestimmter Pflanzenarten benötigen. Je nach Spezialisierungsgrad werden Blüten von Pflanzen verschiedener Pflanzenfamilien (Polylektie) oder auch nur von einer Familie bzw. Gattung und im Extremfall von einer Pflanzenart (Oligolektie bzw. Monolektie) zum Pollensammeln aufgesucht (Schwenninger 1992).

Tab. 19: Kurzbeschreibung zu thematisch relevanten Merkmalen bzw. Eigenschaften des ausgewählten Wildbienenkollektivs *Andrena agilissima*-Gruppe.

<i>Andrena agilissima</i> -Gruppe	<i>Andrena agilissima</i>	<i>Andrena niveata</i>	<i>Andrena lagopus</i>
Indikator	Kreuzblütlerspezialisten; Raps-Bestäuber; oligolektisch; strukturreiche Agrarlandschaften		
Gefährdung (Westrich 2011)	Kat. 3 – gefährdet	Kat. 3 – gefährdet	Ungefährdet
Lebensraum	In Ackergebieten unbefestigte, wenig befahrene Wege, Abbruchkanten, Raine oder sonstige ungenutzte Flächen (z.B. Brachen) zur Nestanlage (Westrich 2019) sowie aufgrund der standorttreuen Lebensweise in unmittelbarer Nähe zu Blühflächen mit Blütenreichtum.		
Nistplätze	Als Nistplätze werden insbesondere Steilwände (Sand, Löss, Lehm) oder Mauern genutzt; nistet aber auch in selbstgegrabenen Hohlräumen in der Erde. Alte Nestgänge werden wiederverwendet.	Nistet in selbstgegrabenen Hohlräumen in der Erde. Keine Spezialisierung auf bestimmte Bodenart.	Nistet in selbstgegrabenen Hohlräumen in der Erde.
Nahrung	Pollenquellen: Brassicaceae: Acker-Senf (<i>Sinapis arvensis</i>), Raps (<i>Brassica napus</i>), Hederich (<i>Raphanus raphanistrum</i>)		
Verbreitung https://wildbienen-kataster.de (aufgerufen am 03.06.2022)			
Phänologie (Flugzeit)	Mitte Mai – Ende Juni; Überwinterung als Imago	Mitte Mai – Ende Juni	Mitte April – Mitte Juni

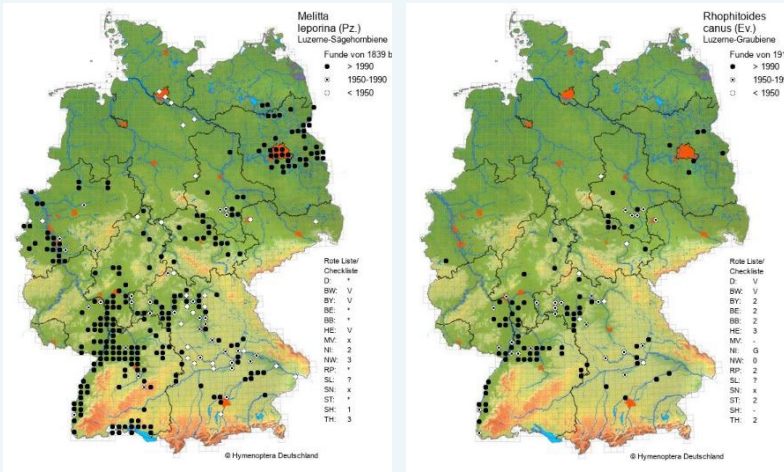
Wildbienen bestäuben viele Kulturpflanzen, können die landwirtschaftlichen Erträge steigern und sind für die Ökosystemfunktion bedeutsam (FIBL 2021, Klein 2007). Einige Arten sind eng an Ackerwildkräuter (Segetalflora: z.B. Klatsch-Mohn, Saat-Mohn, Weg-Rauke, Acker-Senf, Hederich, Ranken-Platterbse, Hasen-Klee, Acker-Winde, Acker-Glockenblume, Kornblume, Echte Kamille, Runder Lauch etc.) als Nahrungspflanzen gebunden (vgl. Westrich 2019). Für die Fortpflanzung benötigen sie als weitere Requisiten geeignete Nistplätze und entsprechendes Baumaterial für die Brutzellen (vgl. Schwenninger 1992). Es gibt nur wenige Arten, die in extensiv bewirtschafteten - Äckern nisten (ebd.). „Solche Arten, die wichtige Bestäuber für Raps, Rübsen, Hülsenfrüchte, Kleesaat, Erdbeeren, Beerensträucher oder Obstbäume sind, benötigen außerhalb der Blütezeit der Nutzpflanzen ein Nahrungsangebot zu ihrer Existenz, das nur durch die Blüten von Wildkräutern gedeckt werden kann.“ (Westrich 2019).

Tab. 20: Kurzbeschreibung zu thematisch relevanten Merkmalen bzw. Eigenschaften des ausgewählten Wildbienenkollektivs *Halictus sexcinctus*-Gruppe.

<i>Halictus sexcinctus</i> -Gruppe	<i>Halictus sexcinctus</i>	<i>Halictus quadricinctus</i>	<i>Halictus scabiosae</i>
Indikator	Typische Arten für Sandböden bzw. Lößlehmböden		
Gefährdung (Westrich 2011)	Kat. 3 – gefährdet	Kat. 3 – gefährdet	Ungefährdet
Lebensraum	Ruderalstellen trockenwarmer Standorte; Lehm/Sand; standorttreu		
Nistplätze	Nester in Steilwänden (Sand, Löß, Lehm), in horizontalen Flächen und schütter bewachsenen Böschungen; nistet in selbstgegrabenen Hohlräumen	Nester in Steilwänden (Sand, Löß, Lehm), in horizontalen Flächen und schütter bewachsenen Böschungen; nistet in selbstgegrabenen Hohlräumen.	Nistet in selbstgegrabenen Hohlräumen; Frühlingsnester in 13-20 cm Tiefe, Sommernester in 20-33 Tiefe.
Nahrung	Pollenquellen: Asteraceae: z.B. Acker-Kratzdistel, Wegwarte; Papaveraceae: Klatschmohn (polylektisch)		
Verbreitung https://wildbienen-kataster.de (aufgerufen am 03.06.2022)			
Phänologie (Flugzeit)	Ende April – Mitte Juli Überwinterung als Imago	April – Anfang September	Ende April – Mitte Juli

Viele Arten der Ackerbegleitflora sind durch Saatgutreinigung, intensive Bodenbearbeitung (Umbruch der Stoppelfelder, tiefes Pflügen, Aufgabe von Sonderkulturen; vgl. Meisel 1985), insbesondere aber durch den Herbizideinsatz und intensive Düngung (Westrich 2019) stark im Bestand zurück gegangen bzw. verschwunden. Die direkte Abhängigkeit von diesen Nahrungspflanzen, ausreichend lange Blühzeiten und damit Nahrungsverfügbarkeit, geeignete (Boden-)Substrate oder pflanzliches Baumaterial zum Nestbau sowie spezifische Ansprüche an Nistplätze (trockene, magere Wiesen, Feldraine, Abbruchkanten, d.h. Rohbodenbereiche etc.) stellen die besonderen Lebensraumansprüche der Wildbienen dar und führen daher zu einer erhöhten Gefährdungssituation.

Tab. 21: Kurzbeschreibung zu thematisch relevanten Merkmalen bzw. Eigenschaften des ausgewählten Wildbienenkollektivs *Melitta leporina*-Gruppe).

<i>Melitta leporina</i> Gruppe	<i>Melitta leporina</i>	<i>Rhophitoides canus</i>
Indikator	Oligolektisch an Schmetterlingsblütlern (Fabaceae); Arten der extensiv genutzten Feldflur; standorttreu	
Gefährdung (Westrich 2011)	ungefährdet	Kat. V – Vorwarnliste
Lebensraum	Luzernefelder, Wegränder, Ruderalflächen	Wegböschungen, Feldflure
Nistplätze	Nistet in selbstgegrabenen Hohlräumen. Eine Bevorzugung einer bestimmten Bodenart ist nicht erkennbar.	Nistet in selbstgegrabenen Hohlräumen; Sand- und Lössgebiete; Nester in 25-30 cm Tiefe
Nahrung	Pollenquellen: Fabaceae (Luzerne, Sichelklee)	
Verbreitung https://wildbienen-kataster.de (aufgerufen am 03.06.2022)		
Phänologie (Flugzeit)	Mitte Juli – Ende August	Anfang Juli – Mitte August Überwinterung im Kokon

Potentielle Gefährdungen für bodennistende Wildbienen, deren Brutgänge sich je nach Bodenart wenige Zentimeter bis in über 20 cm Tiefe finden, stellen auch die Art, Tiefe und Häufigkeit der Bodenbearbeitung dar. Direkte und indirekte Gefährdungen gehen zudem von der Ausbringung von Pestiziden, insbesondere Neonikotinoiden aus, die nicht nur die Honigbienen vergiften, sondern auch z.B. durch Abdrift Nichtzielarten in den Ackerrandstreifen reduzieren (Forum Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutz 2016, JKI 2022, Pe’er et al. 2021). Zur Betrachtung von Auswirkungen modernisierter Agrartechniken wird auf drei Artenkollektive fokussiert (vgl. Tab. 19, Tab. 20, Tab. 21)²⁵. Diese Bienenarten sind in den Ackergebieten in Deutschland weit verbreitet. Sie können im Gelände zweifelsfrei identifiziert und insbesondere durch Kontrolle ihrer bevorzugten Nahrungspflanzen in der Feldflur bestandsschonend erfasst werden. Daher eignen sich diese Bienenarten hervorragend für ein Langzeitmonitoring, um Auswirkungen von Landwirtschaft 4.0 zu detektieren.

²⁵ Hans Schwenninger, mdl. Mitt. (Juli 2022)

4.5 Regenwürmer (Lumbricidae)

Hintergrund für das Einbeziehen von Regenwürmern in die Recherchen dieses Projektes ist ihre Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit und ihre wichtige Stellung in der Bodenfauna. Aus Sicht des Schutzes einzelner Regenwurmartens ist die Betrachtung der Lebensbedingungen auf Ackerflächen weniger relevant. Von den insgesamt 47 in Deutschland vorkommenden Arten²⁶ ist nach der aktuellen Roten Liste (Lehmitz 2016) gut die Hälfte ungefährdet (darunter 5 der 6 anezischen (tiefgrabenden) Arten). Ein Drittel der Regenwurmartens gilt als extrem selten, aber nicht aktuell bedroht. In Ackerböden kommen insbesondere endogäische (flachgrabende) und anezische (tiefgrabende) Regenwurmartens vor. In europäischen Agrarlandschaften sind die endogäischen Arten *Aporrectodea caliginosa* (Grauer Wurm), *Aporrectodea rosea* (Schleimwurm) und *Allolobophora chlorotica* regelmäßig zu finden, unter den anezischen Arten in Nord- und Zentraleuropa *Lumbricus terrestris* (Tauwurm) (Dinter et al. 2013). Sie wurden auch als typische Vertreter bei Beprobungen in Deutschland identifiziert (s. z.B. LTZ 2017 und Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 2012; UBA 2012). Nur für eine auf Ackerflächen vorkommende Art (*Aporrectodea icterica*) ist eine „Gefährdung unbekannten Ausmaßes“ verzeichnet (Lehmitz 2016). Epigäische Arten, die in der Streu- und oberen Humusschicht leben, sind in Ackerböden aufgrund fehlender dauerhafter Streuschicht selten (z. B. bei Direktsaat können aber auch diese Arten verstärkt vorkommen) (UBA 2012).

Regenwürmer sind aufgrund ihrer Biomasse und ihrer Aktivitäten eine ökologisch höchst bedeutsame Bodentiergruppe und auch für die ökosystemaren Leistungen der gesamten Bodenorganismengemeinschaft an vielen Standorten sehr wichtig (z.B. Plaas et al. 2019). Durch ihre Grabtätigkeit sind Regenwürmer, die den höchsten Biomasseanteil unter den Bodentieren erreichen, die wichtigste aktiv das Bodengefüge verändernde Tiergruppe und sorgen für die Lockerung und Durchmischung des Bodenkörpers. (Bertrand et al. 2015; Ehrmann 2015; Lehmitz et al. 2016; LfL 2019; Plaas et al. 2019). Sie tragen zur Einmischung und Zersetzung der organischen Substanz im Boden und zur Bildung von Ton-Humus-Komplexen bei. Eine hohe Regenwurmdichte weist auf einen fruchtbaren und biologisch aktiven Boden mit intakter Bodenstruktur und gutem Wasserinfiltrationsvermögen hin. Für andere kleinere Bodenbewohner und Mikroorganismen schaffen Regenwürmer mit ihrem Röhrensystem und ihrem Kot günstige Bedingungen (u.a. Bertrand et al. 2015; Ehrmann 2015; Lehmitz et al. 2016; LfL 2019). Regenwürmer sind außerdem eine wichtige Nahrungsgrundlage für viele Wirbeltiere, vor allem für viele Vogelarten, Igel, Maulwürfe, Spitzmäuse und Marder sowie für Amphibien und Reptilien (Ehrmann 2015; Lehmitz et al. 2016).

Zudem ist von einem unmittelbaren Interesse der Landwirtschaft an einer gesunden Regenwurmfaua in den bewirtschafteten Böden auszugehen, da Regenwürmer direkte positive Effekte auf die Bodenqualität und den Ertrag der Nutzpflanzen haben.

Habitatansprüche

Regenwürmer können von der Streuauflage bis zum Unterboden (3–4 m tief) das gesamte Bodenprofil besiedeln. Die epigäischen Arten leben in der Streuschicht und der oberen Humusschicht, endogäische Arten besiedeln den Oberboden besiedeln, und anezische Arten sind

²⁶ Mittlerweile wurden in Bayern zwei bisher noch nicht in Deutschland nachgewiesene Regenwurmartens bestimmt (*Octodrilus pseudolissaensioides* und *Proctodrilus ophistoductus*) (siehe Pressemitteilung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft von 5. April 2017)

Tiefgräber, die zwar ihre Nahrung von der Bodenoberfläche holen, aber Gänge bis in den Unterboden anlegen.

Das Vorkommen der einzelnen Arten wird im Wesentlichen vom pH-Wert, von der Bodenart, der Textur, der Bodenfeuchte, dem Nährstoffgehalt des Bodens und von der Bewirtschaftungsform bestimmt (Lehmitz et al. 2016).

Das Temperaturoptimum der meisten Regenwurmartens liegt bei 10–14°C (Kompostwürmer 20–25°C). Gegen Trockenheit sind Regenwürmer sehr empfindlich. Endogäische und anezische Arten können kürzere Trockenphasen überdauern. Grundwassergesättigte Böden werden nicht dauerhaft besiedelt²⁷. In oft überschwemmten Auenböden finden sich teilweise hohe Besiedlungsdichten. Bei Sauerstoffmangel im Boden wird jedoch insbesondere das Vorkommen der tiefgrabenden anezischen Arten eingeschränkt (Ehrmann 2015). Kanińska et al. (2016) fanden auf Ackerflächen eine positive Korrelation von Bodenfeuchte und der Individuendichten und Biomasse von Regenwürmern.

Aktiv sind Regenwürmer insbesondere in Frühjahr (März/April) und Herbst (Sept./Okt), wenn Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen günstig sind; anezische Arten sind dann im gesamten Bodenprofil zu finden. Im Sommer und Winter sind sie weniger bis gar nicht aktiv: Endogäische Arten bilden dann in tieferen Bereichen des Bodens Ruhestadien, und anezische Arten ziehen sich überwiegend in den Unterboden zurück. In frostfreien Böden sind aber auch im Winter teilweise Aktivitäten im Oberboden möglich (Ehrmann 2015).

Regenwürmer sind selten oder fehlen ganz in sandigen Böden mit niedrigem pH-Wert und in sauren Moorböden. Es gibt acido-tolerante epigäische, auch noch in sauren Nadelwäldern vorkommende Spezies. Endogäische und vor allem anezische Arten finden sich eher in Böden mit einem pH höher als ca. 4,2–4,5 (Lehmitz et al. 2016). Auf Ackerflächen ist der pH-Wert kein limitierender Faktor (Ehrmann 2015).

Regenwurmpopulationen auf Ackerflächen können durch die Bewirtschaftung, insbesondere durch die Bodenbearbeitung, stark beeinflusst werden (u.a. Bertrand et al. 2015; van Capelle et al. 2012; Crittenden et al. 2015; LTZ 2017; Plaas et al. 2019; UBA 2012; Walter et al. 2015). Dies ist im Zusammenhang mit „modernisierten Landtechniken“ besonders relevant.

In ökologisch bewirtschafteten Böden finden sich im Mittel höhere Regenwurmdichten und -biomasse als in konventionell bewirtschafteten (Sanders & Heß 2019). Hintergrund sind u.a. verstärkte organische Düngung und Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel (ebd.). Unter Dauergrünland ist die Biomasse an Regenwürmern i.d.R. deutlich höher als auf Ackerflächen (siehe z.B. Kanińska et al. 2016). Ebenso weisen stillgelegte Ackerflächen, Blühflächen, Grasstreifen unbearbeitete Feldraine etc. aufgrund der Bodenruhe und der permanenten Bodenbedeckung höhere Regenwurmdichten auf als Ackerflächen (Roarty & Schmidt 2013; Walter et al. 2015).

Fortpflanzungsbiologie

Die Fortpflanzung findet hauptsächlich im Frühjahr und Herbst bei günstigen Boden- und Temperaturverhältnissen statt. Die im Herbst abgelegten Kokons der geschlechtsreifen

²⁷ Es gibt allerdings zwei aquatische Arten sowie weitere einzelne Arten, die mit dauerhaft nassen Bedingungen zurechtkommen.

Regenwürmer entwickeln sich im frostfreien Boden über den Winter hinweg weiter. Im Frühjahr schlüpfen die Jungwürmer nach Eintritt einer Bodentemperatur von über 10°C.

Nahrung

Epigäische und anezische Arten ernähren sich von Pflanzenresten der Bodenoberfläche (Primärzersetzer) (anezische Arten ziehen diese in ihre Gänge) zusammen mit mineralischem Bodenmaterial. Sie sind angewiesen auf ein ausreichendes Angebot an Streu- und Rottematerial an der Bodenoberfläche. Endogäische Arten fressen bereits stark vorzersetzt und mit der Bodensubstanz vermisches organisches Material. In ihren aktiven Zeiten sind Regenwürmer auf nahezu permanente Nahrungsaufnahme angewiesen. Organische Düngung (Wirtschaftsdünger, Mulchen von Klee gras oder Zwischenfrüchten) führt gegenüber einer rein mineralischen Düngung mit Stroh-abfuhr zu einem deutlich höheren Regenwurmbestand (Walter et al. 2015).

4.6 Laufkäfer (Carabidae)

In der vorliegenden Recherche ist die Einbeziehung von Laufkäfern auf Ebene der Artengruppe durch ihre Bedeutung (hohe Verbreitung auf landwirtschaftlichen Flächen) und durch den Faktor ihrer Gefährdung begründet. Auf der Vorwarnliste der „Roten Liste“ stehen 10 % aller Laufkäfer, 11 % werden als sehr selten eingestuft²⁸. Als wesentliche Gefährdungsursache für alle Laufkäferarten wird vorrangig der Lebensraumverlust angegeben, wie z.B. die intensive land- und forstwirtschaftliche Nutzung²⁹.

Im Kontext von Ackerbau und Landtechnik wird die Bedeutung zoophager Arten hervorgehoben: Zwei *Carabus*-Arten: *Carabus cancellatus cancellatus* Illius (Sturm, 1798), der Gekörnte Laufkäfer sowie *Carabus violaceus purpurascens* (Fabricius, 1787), die Goldleiste. Zusätzlich ist die Artengruppe der Bombardierkäfer (*Brachinus*) zu nennen. Andererseits ist die Bedeutung folgender phytophager Laufkäferarten relevant: *Ophonus ruficornis* (Sturm, 1818), der Zweifarbige Haarschnellläufer, sowie die Artengruppen Amara, die Kanalkäfer und die Artengruppe *Harpalus*, die Schnellläufer. In Abwägung der einzelnen Arten und möglicher gemeinsamer Aspekte sowie der zu erwartenden Rechercheergebnisse (Literaturfunde) wurde in diesem Projekt der Suche auf Gruppenebene der Vorrang gegeben, und gleichzeitig versucht sich bei den Ansprüchen schwerpunktmäßig auf die o.g. vorgeschlagenen Arten zu konzentrieren.

Habitat

Laufkäfer besiedeln weltweit alle terrestrischen Habitate (Kotze et al. 2011). In der Mehrzahl besiedeln Laufkäfer die Bodenoberfläche und die obersten Bodenschichten, doch gibt es z.B. auch Bewohner von Höhlen und Tierbauten, baumbewohnende Arten und solche mit hauptsächlichlicher Aktivität in der Krautschicht (Dornieden 2005). Ihr Mobilitätsradius ist artabhängig (Schütz et al. 2020), wobei Lebensgemeinschaften, die von kleinen Arten dominiert sind, sich schneller verbreiten, als die Gemeinschaften großer Laufkäfer (Eyre et al. 2016).

²⁸ Vgl. Rote Liste Zentrum, <https://www.rote-liste-zentrum.de/de/Laufkafer-Coleoptera-Carabidae-1748.html> (Abruf 20.05.2022)

²⁹ Vgl. Rote Liste Zentrum, <https://www.rote-liste-zentrum.de/de/Laufkafer-Coleoptera-Carabidae-1748.html> (Abruf 20.05.2022)

Insbesondere Feuchte-, Temperatur- und Lichtverhältnisse werden als wesentliche, die Verbreitung bestimmende Einflussgrößen angesehen. So finden sich die Liebhaber feuchter, kühler und schattiger Verhältnisse vor allem unter den Waldbewohnern (schwarze Laufkäfer), während Arten mit einer Präferenz für trockene, warme und sonnige Verhältnisse (bunte Laufkäfer) die Offenlandbewohner repräsentieren (Dornieden 2005, LfL 2019).

Verschiedene Arten beeinflussen auch gegenseitig z. B. Nahrungsvorlieben, Vorzugstemperaturen und Aktivitätsrhythmen in Richtung auf Verschiedenheit und ermöglichen so ein gemeinsames Vorkommen am gleichen Ort durch die Nutzung unterschiedlicher Ressourcen und Bedingungen (Dornieden 2005).

Carabidenlarven sind grundsätzlich Bodenbewohner, insbesondere von jenen Laufkäferarten, die Agrarökosysteme bewohnen (Luff & Larsson 1993). Obwohl einige Laufkäferlarven mehrere Meter tief im Boden zu finden sind, leben die meisten in den oberen 50 cm. Sie ernähren sich von Biota des Oberbodens. Die Laufkäferlarven sind überwiegend zoophag, auch wenn die adulten Laufkäfer dann granivor sind (Sasakawa et al. 2010). Manche Laufkäferlarven wurden sogar dabei beobachtet, wie sie an Feldfrüchten hochgeklettert sind, um sich von Schädlingen zu ernähren (Suenaga & Hamamura 1998; zitiert nach Jowett et al. 2020). Es gibt aber auch wenige granivore Laufkäferarten, die auch im Larvenstadium granivor sind (Talarico et al. 2016).

Viele Laufkäferarten haben auf Äckern ein neues Habitat erschlossen und waren ursprünglich auf natürlich entstandenen Rohböden, wie in Flussauen und deren Sukzessionsflächen, zu finden. Andere „Ackerarten“ mit weiter Verbreitung bis in die Steppengebiete des Ostens sind typisch für warm-trockene Vegetationsstrukturen. Diese Arten können als klassische Kulturfolger bezeichnet werden. Die Lebensgemeinschaft der Ackerflächen setzt sich aus Arten zusammen, die überwiegend sehr anpassungsfähig sowie meist auch ausbreitungstark sind, und zum Teil eine Vielzahl von Biotopen besiedeln können. Die Laufkäfergemeinschaften zeigen in Abhängigkeit von der Kultur die stärksten Unterschiede auf (Wachmann et al. 1995). Sie unterscheiden sich in ihrer Diversität regional jedoch nur geringfügig auf den Äckern in Deutschland (Heydemann 1997, Wachmann et al. 1995, IN: Schindler und Schumacher 2007, zitiert nach Schütz et al. 2020). Äcker bewohnende Laufkäfer sind Spezialisten, die für diesen, für die Tierwelt außergewöhnlichen Lebensraum, gute Entwicklungsmöglichkeiten finden (Schütz et al. 2020). Bayern, das Bundesland mit den meisten Laufkäferarten, zählt etwa 180 Arten zu diesen Spezialisten (LfL 2019). Aufgrund ihrer Ernährungsweise sind Laufkäfer ganz überwiegend Nützlinge. Es gibt nur sehr wenig Schädlinge, wie z.B. der Getreidelaufkäfer (*Zabrus tenebrioides*), der Behaarte Schnellläufer (*Harpalus rufipes*) (Kotze et al. 2011), ein Schädling in Erdbeerkulturen oder der Rapsglanzkäfer (*Brassicogethes aeneus*) (Skellern et al. 2018). Die übrigen Arten sind Nützlinge, da sie sowohl faunistische Schädlinge als auch Beikräuter reduzieren, deren Samen sie fressen (Kotze et al. 2011; Bohan et al. 2011). Gleichzeitig reduzieren die Laufkäfer die Notwendigkeit chemische Schädlingskontrolle einzusetzen (Lalonde et al. 2012, Jacobsen et al. 2022).

Die Diversität der Laufkäfer wird durch ein Nebeneinander unterschiedlichster Nutzungskonzepte gefördert. Eine reichhaltige Fruchtfolge und auch Brachestadien - von der Stoppel- bis zur Dauerbrache -, sowie die Erhaltung von Grünland, Klein- und Saumbiotopen begünstigen die Diversität der Laufkäferfauna, aber auch den Getreideschädling Getreidelaufkäfer (*Zabrus tenebrioides*) (Schütz et al. 2020). Die Laufkäfergemeinschaften zwischen Grünland und Acker unterscheiden sich grundsätzlich. Trotzdem ist eine größere Ähnlichkeit in einer Entfernung

von bis zu 4 km nachweisbar (Massaloux et al. 2020). Grünlandbrachen fördern große Laufkäfer (Rischen et al. 2021).

Wagner et al. (2014) bestätigen den positiven Effekt der Blühflächen auf den Artenreichtum der Laufkäfer im Agrarraum. Weitere zahlreiche Studien zeigen den positiven Wert von Feldrandstrukturen (inklusive Hecken) für den Artenreichtum und/oder die Individuensumme verschiedener epigäischer Tiergruppen insbesondere den Laufkäfern. Extensive Bewirtschaftung führt nicht zwangsläufig zu einem Plus an Arten und Individuen, wohl aber zu einer Differenzierung der Laufkäfer-Gesellschaften. Viele Laufkäfer sind hygrophil und bevorzugen stark bewachsene Flächen, auf denen außerdem ein größeres Beutespektrum auftritt. Bei Laufkäfern beeinflusst die Wahl des Aussaatzeitpunktes sowie die damit einhergehende Bodenbearbeitung die Artenzusammensetzung (Schütz et al. 2020). Agrarumweltmaßnahmen an den Rändern von Rapsflächen erhöhen die Präsenz zoophager Laufkäfer-Prädatoren, bei gleichzeitiger Reduzierung granivorer und fructivorer Laufkäfer. Auch zeigte sich, je kürzer die Distanz zu diesen Ackerrändern ist, desto effektiver wirkt der biologische Pflanzenschutz (Bötzel et al. 2019). Wichtig zur Identifikation von Maßnahmenwirkungen ist eine Unterscheidung der Laufkäfergruppe. Beispielsweise konnte in einer Studie von Chaudron et al. (2020) in der nicht zwischen verschiedenen Laufkäfergruppen differenziert wurde, keine Erhöhung der Laufkäferzahlen durch Blühstreifen ermittelt werden. Auch die Berücksichtigung von Larven im Boden scheint die Genauigkeit der Wirkungsaussagen zu erhöhen (Jowett et al. 2020). Wildblumenstreifen zwischen Maisstreifen erhöhten die Laufkäfer deutlich um das 2-3fache (von Redwitz et al. 2019).

Fortpflanzungsbiologie

Die Fortpflanzung der Großlaufkäfer ist mit dem Zeitraum der stärksten Aktivität der Arten gekoppelt und fällt in den Frühling oder Spätsommer/Herbst. Laufkäferarten lassen sich in Herbstbrüter mit ca. ein Drittel der Arten auf Äckern und Frühjahrsbrüter einteilen (Schütz et al. 2020). Sie überwintern entweder als erwachsene Käfer (Imaginalüberwinterer) oder als Larven (Larvalüberwinterer). Der Entwicklungszyklus der Imagonalüberwinterer entspricht dem folgenden Schema: Überwinterung als Imago, Fortpflanzung im Frühjahr und Larvalentwicklung im Lauf des Sommers. Im Herbst schlüpfen die Käfer und überwintern entweder direkt in der Puppenwiege oder werden noch kurze Zeit aktiv (sog. Herbstbestand) bevor sie das Winterlager aufsuchen (Dornieden 2005). Bei den Larvalüberwinterern erfolgt die Eiablage entsprechend im Herbst und der Schlupf der Imagines im nächsten Frühjahr (Dornieden 2005). Die Eiablage erfolgt in der Regel zwei bis vier Wochen nach der Kopulation, doch lassen einige indirekte Beobachtungen darauf schließen, dass einer Eiablage im Frühjahr eine Paarung im vorigen Herbst vorausgehen kann (Hübka 1973). Die Eier werden einzeln oder klumpenweise fast ausschließlich im Boden abgelegt. Die Dauer der Embryonalentwicklung ist temperaturabhängig und beträgt in aller Regel zwischen wenigen Tagen und drei Wochen. Die Larven durchlaufen mit wenigen Ausnahmen drei Stadien bevor sie sich verpuppen. Nach einer ein- bis mehrwöchigen Puppenruhe ist die Entwicklung zum Käfer abgeschlossen (Dornieden 2005).

Die Laufkäfer der Gattung *Carabus* legen rundliche bis gestreckte weiße Eier einzeln oder in kleinen Gruppen in Bodenkammern ab. Über die Zahl der abgelegten Eier gibt es stark schwankende Angaben, Scherney (1957) beobachtete bei Freilandzuchten durchschnittlich 45 Eier bei *C. cancellatus*, was den natürlichen Verhältnissen entsprechen dürfte. Nach ca. zehn Tagen schlüpfen agile, räuberisch lebende Larven. Sie durchlaufen drei Stadien, deren Dauer

artspezifisch variiert. An das dritte Larvalstadium schließt sich die Verpuppung an (Imago), nach etwa 14tägiger Puppenruhe schlüpfen die Jungkäfer. Fortpflanzung und Entwicklung der Arten unterliegen einer jahreszeitlichen Rhythmik. Die Untersuchung dieser Jahresrhythmik zeigte, dass man in unserem Faunengebiet vier verschiedene Entwicklungstypen unterscheiden kann (Hürka 1973, Paarmann 1979). 65 % unserer *Carabus*-Arten zeigen eine Entwicklung ohne larvale Diapause (sogenannte Frühjahrskäfer, Larsson 1939). Diese Arten legen im Zeitraum April bis Juni Eier ab. Nach relativ rascher Larvalentwicklung schlüpfen die Jungkäfer im Sommer des gleichen Jahres. Einige Imagines überwintern nach kurzer Aktivitätsphase im Herbst. Dabei tritt bei den Imagines eine meist obligatorische Diapause auf (Stagnation der Gonadenreifung), die durch Langtage und Wärme induziert und photoperiodisch (Wechsel von Kurz- zu Langtag) nach der Überwinterung aufgehoben wird (Thiele 1971, Hürka 1973). Zu den Arten mit larvaler Diapause gehören 32 % der mitteleuropäischen *Carabus*-Fauna (sogenannte Herbstkäfer, Larsson 1939). Die Fortpflanzungsperiode dieser Arten liegt in der zweiten Jahreshälfte. Die im Spätsommer oder Herbst schlüpfenden Larven durchlaufen eine obligatorische (thermisch gesteuerte, Hürka 1973) Diapause, die häufig im letzten Larvenstadium liegt. Die Verpuppung der Larven erfolgt erst nach einem Reifefraß im folgenden Frühjahr. Die Entwicklung der Gonaden der Käfer vollzieht sich dann diapausefrei (Entwicklungstyp ohne Imaginaldiapause, bei *C. violaceus*, Hürka 1973). Ein Teil der Käfer pflanzt sich noch im Herbst desselben Jahres fort, überwintert und schreitet im kommenden Jahr nochmals zur Fortpflanzung. Der andere Teil der Käfer überwintert, ohne bereits im Herbst Eier abgelegt zu haben und bringt erst im neuen Jahr Nachkommen hervor. Die Imagines aller Herbstarten überwintern gemeinsam mit den Larven der nächsten Generation. Die Lebenserwartung der Herbstkäfer kann im Freiland zwei bis drei Jahre betragen, die Frühjahrsarten werden nur ausnahmsweise älter als ein Jahr (Arndt 1989). Wo der Lebenszyklus bei Laufkäfern stattfindet, ist artabhängig.

Nahrung

Laufkäfer und ihre Larven sind im Prinzip Allesfresser, es gibt allerdings auch einen kleinen Anteil rein granivorer Arten. Der Anteil dieser Arten liegt in Zentraleuropa bei rund 2,6 % aller Laufkäferarten, im Mittelmeerraum schwankt der Anteil zwischen 1,7-4,4 % (Talarico et al. 2016). Bei einigen Arten überwiegt die räuberische Ernährung, ohne Spezialisierung auf bestimmte Beutetiere (Lfl 2019). Großlaufkäfer stellen vorwiegend größerer und langsamerer Beute wie Raupen, Schnecken und Regenwürmern nach. Die Laufkäferlarven ernähren sich von den Bodenbiota des Oberbodens. Die Laufkäferlarven der rein granivoren Laufkäferarten ernähren sich ebenfalls ausschließlich von Samen (Talarico et al. 2016). Sie sind überwiegend zoophag, auch wenn sie als Adulte granivor sind (Sasakawa et al. 2010). Es sind sogar Laufkäferlarven beobachtet worden, die Feldfrüchte hinaufklettern, um Schädlinge zu fressen (Suenaga & Hamamura 1998).

Die Käfer der Gattung *Carabus* ernähren sich fast ausschließlich zoophag von Würmern (Lumbricidae), Schnecken (Gastropoda), Insekten und deren Larven, selten von Kleinwirbeltieren und frischem Aas. *Carabus auratus* wurde sowohl beim Überwältigen junger Ringelnattern (*Natrix natrix* L.), als auch einer jungen Kreuzotter (*Vipera berus* L., Kabisch 1974, S. 66f.) beobachtet. Zu den Hauptnahrungstieren der Feldlaufkäfer (*C. auratus*, *C. cancellatus* und *C. granulatus*) gehören nach Scherney (1959) Kartoffelkäfer und deren Larven (*Leptinotarsa decemlineata* Say) und Kohlweißlingsraupen (*Pieris rapae* L.). Die im Wald lebenden *Carabus*-Arten ernähren sich zu einem großen Prozentsatz von Lepidopteren-Raupen (u. a. *Tortrix viriclana* L., *Lymantria monacha* L., *Dendrolimus pini* L., verschiedene Noctuiden). Gelegentlich nehmen

sie auch weiches Obst auf, so wurden sie an Erdbeeren und Falläpfeln beobachtet. Scherney (1959) führt solche Beobachtungen auf das Fehlen animalischer Nahrung oder auf ein hohes Feuchtigkeitsbedürfnis zurück. Die Larven der zu den *Carabi longimandibularis* gehörenden Arten (*C. auronitens*, *C. coriaceus*, *C. violaceus*, *C. intricatus*, *C. irregularis*) haben sich auf die Erbeutung von Schnecken spezialisiert. Die Verdauung der Nahrung bei Larven und Imagines erfolgt extraintestinal. Aus dem Mitteldarmtrakt wird ein Verdauungsekret erbrochen und die Nahrung vorverdaut eingesogen (Arndt 1989).

Die Gattungen *Harpalus* und *Amara* ernähren sich größtenteils von Pflanzensamen. Einige Arten haben jedoch spezielle Nahrungsvorlieben: So fressen einige Arten der Gattung *Ophonus* vorzugsweise an Doldenblütlern wie Wilde Möhre (*Daucus carota*) oder Kälberkropf (*Chaerophyllum* sp.) (Trautner et al. 2005).

5 Ergebnisse zu recherchierten Auswirkungen modernisierter Agrartechniken

5.1 Übersicht

Entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise (vgl. Kap. 2) wurden die Treffer der Literatur- bzw. Projektrecherche quantitativ und qualitativ ausgewertet. Sobald anhand eines Quellennachweises ein Zusammenhang zwischen Agrartechnik und Arten bzw. Artengruppen festgestellt wurde, wurde dies dokumentiert. Insgesamt zeigt das Ergebnis der intensiven und umfangreichen Recherchearbeit, dass nur wenige Quellen gefunden wurden, die Aussagen zur Wirkung konkreter modernisierter Agrartechniken auf die ausgewählten Arten(-gruppen) beinhalten. Aufgrund fehlender direkter Belegquellen wurden potentielle bzw. wahrscheinliche Wirkungen angenommen, die aus dem unmittelbaren gleichzeitigen oder räumlichen Kontext des Einflusses von Agrartechniken (z. B. Einsatz von Pestiziden oder Düngemitteln; Bodenbearbeitung mit erhöhtem Risikos von Bodenverdichtung etc.) auf Habitate, Habitatelemente oder direkt auf die Tiere ergeben und von daher abgeleitet werden. Die Bewertung der Auswirkungen erfolgte nicht nur im Hinblick auf das aus der Anwendung der Technik resultierende Risiko. Es wurden auch potentiell positive Auswirkungen festgestellt. Je nach Technikeinsatz (z. B. Zeitpunkt oder Häufigkeit des Einsatzes) sind teilweise sowohl positive als auch negative Wirkungen derselben Technik möglich. Viele einzelne Techniken werden als nicht oder kaum relevant eingestuft im Vergleich zu den herkömmlich angewandten Techniken.

Die Analyse der Wirkungen der modernisierten Techniken resultiert daher nicht nur aus der Sichtung der wenigen – und auf die vorliegende Problemstellung zutreffenden – Studien, sondern auch aus weiteren Publikationen, die auf übergreifende Hinweise mit Relevanz zu Chancen oder Risiken der identifizierten Techniken ausgewertet wurden. Im Folgenden werden übergreifende Ergebnisse zusammenfasst.

Grundsätzliche bieten modernisierte Techniken gewisse Chancen, Belastungen für untersuchte Arten(-gruppen) zu reduzieren:

- Wenn die Digitalisierung und der Einsatz der Robotik dazu beitragen, präziser, teilflächenspezifisch und damit ressourcensparender zu wirtschaften und demzufolge Biozönosen, Boden, Wasser und Luft mit weniger Dünger, Kohlendioxid, Stickstoffverbindungen oder Pestiziden zu belasten, ist dies aus vielerlei Gründen positiv zu werten. Die durch die Digitalisierung ermöglichte finanzielle Einsparungen pro Anwendungsgang kann in der Summe jedoch zu häufigeren Anwendungen führen (sog. rebound-Effekt³⁰). Die negative Wirkung von Pestiziden (letale und subletale Wirkungen) ist für alle betrachteten Arten(gruppen) belegt. Techniken, die den Pestizideinsatz verringern, verringern potentiell auch die Belastung von Ackerboden, Pflanzen und angrenzender Habitate (z. B. Feldränder, Gewässer). Eine reduzierte Menge verhindert aber nicht grundsätzlich die schädliche Wirkung von Pestiziden (siehe Ausführungen bei Wildbienen). Reduzierte und präzisere Ausbringung von Düngemitteln verringert

³⁰ s. hierzu auch: BfN-Schrift zu „Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes“ <https://bfn.bsz-bw.de/frontdoor/index/index/docId/1109>

direkt negative Auswirkungen durch Kontakt mit Mineraldünger (relevant z. B. für Amphibien) sowie die Eutrophierung benachbarter Habitats (Gewässer, Feldränder etc.).

- Techniken, die eine Bodenverdichtung vorbeugen oder sie minimieren (wie z. B. bei Controlled Traffic Farming, Ketten- und Bandlaufwerke, leichtere (autonome) Maschinen oder Roboter, moderne Reifentechnik) sind grundsätzlich und auch aus Sicht des Schutzes insbesondere von Regenwürmern und dem Feldhamster positiv zu bewerten.
- Durch konservierende oder minimale Bodenbearbeitungsverfahren werden Beeinträchtigungen durch intensive Bodenbearbeitung verringert. Relevant ist dies insbesondere für Regenwürmer, aber auch Feldhamster, Knoblauchkröte und Laufkäfer. Insbesondere Direktsaat ist grundsätzlich mit einer weniger intensiven Bodenbearbeitung verbunden und dem mehrheitlichen Belassen von organischer Substanz an der Bodenoberfläche (Umstellungsphasen auf Direktsaat sind hier aus der Betrachtung ausgenommen). Davon profitieren insbesondere (anezische) Regenwürmer, aber auch der Feldhamster. Auch für Laufkäfer, v.a. für die gefährdeten großen Carabidenarten, sind insbesondere alle konservierenden Bodenbearbeitungstechniken mit einer maximalen Bearbeitungstiefe von 5 cm nützlich. In Folge können solche Maßnahmen auch für Feldvögel wie die Feldlerche zu einer besseren Nahrungsgrundlage führen.
- Auch eine Reduzierung von Bodenbearbeitung auf Teilflächen könnte sich positiv auswirken und Rückzugsflächen schaffen, von denen aus zuvor bearbeitete Flächen (durch z.B. Laufkäfer oder Amphibien) wiederbesiedelt werden können.
- Feldroboter, Schwarmtechnik und Multi-Saatgut-Geräte können zum für die biologische Vielfalt wünschenswerten Ziel einer kleinteiligen Bewirtschaftung und Durchmischung der Feldfrüchte (respektive Verringerung von Schlaggröße, Monokulturen und Schädlingsanfälligkeit) sowie der Asynchronität der Bearbeitung kleinere Anbauflächen, Mischanbau (Intercropping) etc. beitragen.

Zusammenfassend wurden folgende mögliche Risiken modernisierter Techniken identifiziert:

- Die weitere Entwicklung hin zu schweren Maschinen (z. B. Injektoren oder Strip-Till-Verteiler für Wirtschaftsdünger oder schwere Erntemaschinen) erhöht das Risiko von Bodenverdichtungen. Insbesondere für Regenwürmer und Feldhamster ist dies ungünstig. Beim Einsatz schwerer Maschinen ist es daher wichtig, sowohl die Tragfähigkeit des Bodens und bodenschonende technische Maßnahmen, wie die richtige Reifenwahl oder Reifendruckregelanlagen, zu berücksichtigen.
- Mechanische Unkrautbekämpfung verringert oder ersetzt zwar den Herbizideinsatz, bedeutet aber zusätzliche Bodenbearbeitung, die je nach Intensität, Zeitpunkt und Häufigkeit z. B. Feldvögel, Regenwürmer und Laufkäfer beeinträchtigen kann. Striegel und Hacken bearbeiten den Boden zwar nur oberflächlich, aber auch für diese sollten aus Artenschutzsicht Zeitpunkt und die Häufigkeit optimiert werden. Interessant vor diesem Hintergrund ist aktuell ein Vorhaben zur Entwicklung eines neuartigen Gerätesystems ("Grinder") zur ultraflachen Stoppel- und Bodenbearbeitung.
- Werden zunehmend Roboter, autonome Fahrzeuge oder Schwarmtechnologie eingesetzt, z. B. bei der mechanischen Unkrautbekämpfung, können sich daraus eventuell häufige (evtl. auch nächtliche) Störungen, u. a. für Laufkäfer, Feldhamster und Feldvögel ergeben.

- Offen bleibt, welche Auswirkungen die elektrische Unkrautbekämpfung (electro weeding) z. B. für Amphibien oder Regenwürmer haben mag.
- Stoppelbrache stellt einen Lebensraum für verschiedenste Tiergruppen der Agrarlandschaft dar, der Deckung und sowohl tierische als auch pflanzliche Nahrung bietet. Ein sofortiger Umbruch nach der Ernte reduziert dieses Angebot z. B. für den Feldhamster. Mehr oder weniger vollständige Strohentnahme sind ebenfalls negativ u.a. für Feldhamster und Regenwürmer. Der Rückgang von Pflanzenarten und damit der Nahrungsgrundlagen für Tierarten auf dem Acker ist aufgrund von Saatgutreinigung bereits seit dem Ende des 19. Jahrhunderts nachgewiesen. Jedoch wirken auch hier modernisierte Agrartechniken deutlich verstärkend. So zum Beispiel über die effektive Saatgutreinigung in modernen Mähdreschern (durch Ausbringung lediglich von großen Körnern >2.5 mm), mit der eine höhere Ernte eines gewünschten Produktes unterstützt, aber das Aufkommen von Beikräutern reduziert wird und damit die Nahrungsgrundlage für Wildtiere weiter verschlechtert wird ³¹.
- Zukünftig könnten Drohnen zur Vergrämung von Vögeln genutzt werden. Durch den Einsatz dieser Technik könnten u.a. artenschutzrechtliche Verbotstatbestände (z. B. Verstoß gegen das Störungsverbot bei streng geschützten Arten) eintreten.

Im Zuge der Analyse konnten einige konkrete Forschungsfragen formuliert werden. So z. B.:

- Wie wirkt sich mechanische Unkrautbekämpfung und diesbezügliche neue Technik insbesondere auf Bodenlebewesen und Amphibien aus und wie lässt sich der Einsatz aus Sicht des Artenschutzes optimieren?
- Wie wirkt electro weeding (oder ähnliche neuartige Verfahren zur Unkrautbekämpfung wie Solarisation, heißes Wasser) auf Knoblauchkröten und weitere Tierarten?
- Führen modernisierte Agrartechniken durch eher sekundäre Effekte wie schnellere Bearbeitungsabfolgen (frühere, schnellere Ernte, kürzeres / kein Stoppelbrachestadium etc.), ggf. in Verbindung mit häufigerer oder veränderter Wahl von Zwischenfrüchten zu negativen Auswirkungen auf bestimmte Arten?
- Wie sind pfluglose / konservierende Bodenbearbeitung, Mulch- und Direktsaat aus Artenschutzsicht zu bewerten, wenn diese Verfahren Pestizidausbringungen zur Folge haben?
- Wie lässt sich die Förderung von Nützlingen und damit die biologische Schädlings- und Beikrautreduzierung optimieren?
- Wie wirken sich unterschiedliche Aussaatdichten sowie Untersaaten auf Laufkäfer aus?

Insgesamt wurden keine aussagekräftigen Studien zu Auswirkungen von modernisierten Agrartechniken auf Populationsebene identifiziert. Aus Expertensicht kann ohnehin nicht davon ausgegangen werden, dass alleine durch den Einsatz einzelner modernisierter Techniken eine Trendwende im Biodiversitätsschutz eingeleitet werden kann. Viele der dauerhaft und in der Fläche wirkenden Gefährdungsursachen für die betrachteten Arten sind struktureller, systembedingter Natur. Als wichtige Ursachen für den Verlust an Biodiversität in der Agrarlandschaft

³¹ Vgl. auch Meyer, S., W. Hilbig, K. Steffen, S. Schuch (2013) „Ackerwildkrautschutz – Eine Bibliographie“, Bonn (BfN-Skript 351) oder Henze, P. und M. Mücke (2021) „Weizensteinbrand muss nicht sein. Neue tolerante Sorten und Beizmittel“, in: Bioland (Ausgabe 9/2021, S. 24-26.

zählen u.a. verbesserte Saatgutreinigung und regelmäßige Bodenbearbeitung, ein früher Stoppelumbruch, enge Fruchtfolgen, die Vergrößerung von Schlägen und der Verlust an Landschaftselementen, die Homogenisierung von Beständen (Aufkalkung saurer, Aufdüngung nährstoffarmer und Drainage feuchter Böden) sowie der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln.

Es besteht daher nach wie vor dringender Bedarf, bekannte Gefährdungsfaktoren zu reduzieren. Unbeschadet dessen wird weiterhin ein hohes Potential darin gesehen, dass artspezifische Schutzmaßnahmen auch tatsächlich umgesetzt und nachgehalten und Bestimmungen des nationalen, europäischen wie internationalen Artenschutzrechts konsequent angewandt werden. Aufgrund der sehr begrenzten Datengrundlage wird auf entsprechenden Forschungsbedarf hingewiesen.

5.2 Detaildarstellungen je Art bzw. Artengruppe

5.2.1 Säugetiere (Feldhamster)

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Feldhamster“

Recherchierte Artikel: 891

Analysierte Artikel: 891

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 19

Identifizierte Forschungsprojekte: 5

Gefährdungsursachen

Die Ursachen und Risiken der Gefährdung für den Feldhamster sind grundsätzlich seit Jahren bekannt. Sie wirken nicht nur schon seit Jahrzehnten, sondern haben sich stetig verschärft, wie der kontinuierliche Rückgang des Feldhamster beweist. Durch zahlreiche Feldstudien ist nachgewiesen, dass etliche Hamsterpopulationen im Niedergang begriffen sind. Es gilt im Gesamtareal der Art und für alle deutsche Bundesländern gleichermaßen, dass der Feldhamster vom Aussterben bedroht ist (Meinig et al. 2020). Als Ursachen werden genannt³²:

- Anbau ungeeigneter/ungünstiger Feldfrüchte (Mais, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben);
- Anlage von Sonderkulturen unter Folie (Gemüseanbau);
- Ungünstige Fruchtfolge;
- Verzicht auf Zwischenfruchtanbau;
- Ernte schnell, vollständig und frühzeitig, bereits im frühen Hochsommer;
- Umbruch der Äcker unmittelbar nach der Ernte;
- Strukturarmut, fehlende Habitatstrukturen, in der Folge mangelnde Deckung (z. B. fehlende Raine, große Schläge);

³² Eigene Zusammenstellung entlang folgender Quellen: BfN (2022b), Breuer (2016), Meinig et al. (2014), Meinig et al. (2020), MKULNV NRW (2015), Surov et al. (2016), Thimm & Geiger-Roswora (2021).

- Einsatz von Pflanzenschutzmitteln;
- Bewässerung;
- Chemisch herbeigeführte Schwarzbrachestadien (vegetationsfreie Ackerflächen);
- Aus vorgenannten Gründen Nahrungsmangel und keine Gelegenheit Vorräte für den Winter zu sammeln;
- Flurbereinigungen;
- Ausweitung von Baugebieten und Verkehrswegen;
- Leitungsbau unterirdischer Stromtrassen durch noch verbliebene Hamstergebiete in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Bayern; in der Folge:
- Verkleinerung des Lebensraums und Isolierung von Populationen durch die Eingriffe des Menschen;
- Einsatz von Rodentiziden;
- Möglicherweise Lichtverschmutzung;
- Direkte Nachstellungen durch den Menschen spielen heute in Deutschland kaum mehr eine Rolle; doch dafür:
- Prädation durch freilaufende Haushunde und Hauskatzen;
- Eine mögliche weitere Gefährdungsursache könnte die genetische Verarmung sein (aufgrund isolierter Populationen etc.), die zu einem geringeren Fortpflanzungserfolg führen kann³³.

Damit besteht eine Vielzahl an Gefährdungsursachen, welche auf die lokalen Hamsterpopulationen wirken können.

Gegenüber einzelnen Ursachen weisen Surov et al. (2016) auf den weiträumigen, internationalen Rückgang der Reproduktionsraten des Feldhamsters hin, also in seinem Gesamtareal und somit auch in Gebieten mit geringerem Industrialisierungsgrad der Landwirtschaft. Sie werfen die Frage auf, ob „globale“ Gefährdungsursachen wie Klimawandel und Lichtverschmutzung nicht eher eine entscheidende Rolle spielen als die moderne Landwirtschaft.

Relevante Agrartechniken

Zwar liegt umfangreiche Literatur vor, was Status und Populationsgrößen, Habitatansprüche, dokumentierte Bestandsrückgänge und Gefährdungsursachen betrifft; es sind ebenso zahlreiche Vorhaben zum Schutz der Art, ihrer Nachzucht und Wiederansiedlung, zum hamsterfreundlichen Ackerbau usw. recherchierbar, doch einschlägige Literaturtreffer zu Studien, die Landtechniken (ob modernisiert oder nicht) zum Anlass hatten oder (quantitative, belegte) Aussagen zu deren konkreten Auswirkungen trafen, gelangen nicht. In den vergangenen Jahrzehnten wurden vor allem Untersuchungen durchgeführt, die neben den biologischen und ökologischen Aspekten der Art beispielsweise die Auswirkungen verschiedener Anbauverfahren (konventionell / biologisch, z. B. Kayser & Stubbe 2003) oder den Anbau bestimmter

³³ Vgl. La Haye, M. et al. (2013): Genetic rescue and the increase of litter size in the recovery breeding program of the common hamster (*Cricetus cricetus*) in the Netherlands. Relatedness, inbreeding and heritability of litter size in a breeding program of an endangered rodent. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1601-5223.2012.02277.x>

Feldfrüchte sowie die Anbau- und Strukturvielfalt im Hinblick auf die Förderung des Feldhamsters (z. B. Out et al. 2011) im Fokus hatten. Insofern mangelt es nicht an Kenntnissen, welche Lebensbedingungen erfüllt sein müssen, welche die entscheidenden Gefährdungsursachen sind und welche Schutzmaßnahmen ergriffen werden müssten. Gleichwohl gibt es bezüglich der Biologie der Art im Detail Wissenslücken oder Widersprüche, die beispielsweise Nahrungsspektrum und Nahrungsansprüche (Tissier 2019), genetische Effekte (Banaszek & Ziomek 2011, Surov et al. 2016, Weinhold 2013) oder den Einfluss des Klimawandels (Surov et al. 2016) betreffen.

Bei der Bewertung modernisierter Landtechnik auf Feldhamster ist zu differenzieren: Können einzelne Tiere durch den Einsatz neuer Techniken auf der einen Seite geschont werden oder - umgekehrt - verletzt oder getötet werden, bedeutet dies angesichts der bekannten Gefährdungsursachen (unter welchen sich keine bestimmten Agrartechniken finden lassen) von Hamsterpopulationen und der natürlichen sowie anthropogenen Mortalitätsfaktoren, die auf die Individuen wirken, nur eine marginale, nicht erhebliche Auswirkung. Die als ursächlich angeführten „industriellen landwirtschaftlichen Produktionsmethoden“ (Meinig et al. 2014) bleiben in ihrem Charakter davon unberührt.

Von diesen großräumig, auf Landschafts- und Populationsebene wirkenden Faktoren sind die individuellen Mortalitätsrisiken zu unterscheiden. Diesbezügliche Auswertungen haben ergeben, dass vor allem Prädation, „Überwinterungserfolg“ (darin enthalten sind verschiedene Ursachen, teils in Abhängigkeit von Witterungsverläufen) und Krankheiten den Erhaltungszustand lokaler Populationen beeinflussen (Kayser & Stubbe 2002, Kayser et al. 2003, La Haye et al. 2020). Selbstverständlich kommt es auch zu Verletzungen und Tötungen von Tieren beim Einsatz von Geräten. In dieser Hinsicht gibt es die einzig konkreten direkten Bezüge zu einzelnen Landtechniken, die in der Literatur dokumentiert sind. In einer Studie mit 63 besenderten Feldhamstern kamen nachweislich nur 4 bis 6 % der Individuen durch Ernte oder landwirtschaftliche Bearbeitung ums Leben (wobei der Anteil der Tiere mit unbekanntem Schicksal oder unbekannten Mortalitätsursachen bei ca. 30 bis 50 % lag (Kayser & Stubbe 2002, Kayser et al. 2003). In einer größer angelegten Untersuchung mit einer Stichprobengröße von 466 Tieren erlagen lediglich 8 Tiere (entspricht 2 %) landwirtschaftlichen Tätigkeiten; im Vergleich dazu war die Tötung von Feldhamstern durch Haushunde (!) doppelt so hoch (La Haye et al. 2020). Belegt sind bei einzelnen Tieren tödliche Zwischenfälle durch Pflügen, Ernte oder Mahd (Kayser & Stubbe 2002, Kayser et al. 2003).

Trotz der offenbar untergeordneten Bedeutung der Landtechnik im engeren Sinne seien folgende Details zu Techniken bzw. Verfahren zusätzlich kommentiert:

Pfluglose Bodenbearbeitung, Direkteinsaat

Ein Anbauverfahren, das auf das Pflügen verzichtet und bei dem die Feldfrucht mittels Direktsaat bzw. im Mulchsaatverfahren (auch "konservierende Bodenbearbeitung") angebaut wird, könnte sich in Gebieten mit Feldhamstervorkommen vorteilhaft auswirken, indem als direkter Effekt weniger Gänge und Baue in Mitleidenschaft gezogen sowie weniger Tiere verletzt oder getötet werden. Demgegenüber besteht der wesentliche Nachteil des Verfahrens darin, dass in der guten fachlichen Praxis Breitbandherbizide eingesetzt werden, um Unkräuter zu vernichten. Abgesehen davon, dass auch Nicht-Zielorganismen kontaminiert werden und dass systemische wie auch langfristige Wirkungen im Ökosystem noch nicht ausreichend bekannt sind (s. u.), ist offenbar noch nicht widerspruchsfrei geklärt, wie sich Pestizide auf den Gesundheitszustand und das Reproduktionsvermögen der Feldhamster auswirken. Einerseits werden

im Rahmen des landbaulichen Managements zum Schutz der Art auch Pestizide gezielt ausgebracht bzw. deren Einsatz toleriert, andererseits entzieht man der Art durch intensive Unkrautbekämpfung eine wesentliche Nahrungsquelle. Ein verringerter Pestizideinsatz könnte eventuell zu einer größeren Fitness von Feldhamstern beitragen (abgesehen von der Nahrungsverfügbarkeit durch entsprechende Kräuter), allerdings fehlen auch hier Hinweise aus der Literatur³⁴.

Leichtere Maschinen, Kettenfahrzeuge

Die Ausstattung von Maschinen mit Laufketten oder größerer Bereifung kann (gleichbleibende Maschinengröße bzw. Masse vorausgesetzt) durch die bessere Verteilung des Auflagedrucks sowohl die Verdichtung des Bodens verringern, als auch das Risiko, Baue des Feldhamsters zu beschädigen (und damit Tiere zu verletzen oder zu töten), reduzieren. Oberflächennahe Teile eines Baus können beim Überfahren nachweislich eingedrückt werden und Tiere dabei zu Tode kommen (Kayser et al. 2003).

Portaltraktoren, Schlaggröße

Große, schwerere Maschinen mit höherer Arbeitsbreite (z. B. Portaltraktoren) könnten einerseits aufgrund des höheren Gewichts zu Bodenverdichtungen führen und durch einen höheren Druck auf den Boden verstärkt Baue des Feldhamsters beschädigen (und damit Tiere verletzen oder töten). Andererseits verringert sich dieses Risiko durch die damit einhergehende geringere Befahrungsdichte auf einer geringeren Zahl an Fahrgassen. Allerdings ist bei größer werdenden Maschinen aufgrund der ökonomischen Zusammenhänge (Effizienzsteigerung, Kostensenkung, Gewinnmaximierung) eine Entwicklung zu größeren Schlägen (und damit negative Effekte auf die biologische Vielfalt) zu erwarten.

Roboter, autonome Fahrzeuge, Schwarmtechnologie

Hier gelten sinngemäß die zuvor genannten Aspekte bezüglich Größe oder Masse der Maschinen. Bei kleinen Geräten und kleineren Arbeitsbreiten ist mit häufigeren Störwirkungen auf Feldhamster zu rechnen. Bei autonom arbeitenden Geräten, die auch nachts betrieben werden können, dehnen sich die Störungen, welche sich gewöhnlich auf die Stunden mit Tageslicht konzentrieren, auch auf die Dunkelphase aus. Wenn zudem in dieser Phase Licht zum Einsatz kommt, erhält die Störwirkung eine weitere Komponente, die vor dem Hintergrund, dass Lichtverschmutzung als eine Beeinträchtigung für die Feldhamster diskutiert wird, kritisch zu sehen ist.

Digitale Steuerungen, Präzisionsbearbeitung, Robotik

Wenn die Digitalisierung und der Einsatz der Robotik dazu beitragen, präziser, teilflächenspezifisch und damit ressourcensparender zu wirtschaften und demzufolge Biozönosen, Boden, Wasser und Luft mit weniger Dünger, Kohlendioxid, Stickstoffverbindungen oder Pestiziden zu belasten, ist das nur zu begrüßen. Erhebliche Auswirkungen auf Feldhamsterpopulationen sind jedoch nicht zu erwarten, da die maßgeblichen Gefährdungsursachen hiervon nicht tangiert werden.

³⁴ Ergänzende Anmerkung v. Ruth Petermann/BfN (E-Mail vom 27.09.2022).

Weiterentwicklung und Effizienzsteigerung von Maschinen bzw. Vollerntern

Durch die komplexe Sensor-, Regel- und Informationstechnik, die wir z. B. bei modernen Mähdreschern vorfinden, wird die Effizienz gesteigert (bei gleichzeitigem Wachstum der Maschinen selbst). Dies führt zu Eigenschaften wie z. B. höherer Durchsatzleistung, automatische Schneidföhrung, schnellere Fahrgeschwindigkeit, Reduktion von Körnerbruch und -verlusten und hocheffizientes, sogenanntes "Strohmanagement". Letzteres verschärft im Zusammenhang mit mehr oder weniger vollständiger Strohentnahme (oder sofortigem Umbruch nach der Ernte) die Umstände, dass ohnehin Stoppelfelder, ein für Feldhamster bedeutsames Stadium, welches Deckung und Nahrung bietet, seltener belassen werden (vgl. Siebert & Kinast 2019). Durch die Kombination von Arbeitsschritten bei Vollerntern können ggf. mehrfache Befahrungen – und deren negativen Effekte – eingespart werden. Unter den modernisierten Landtechniken ergeben sich hier möglicherweise die konkretesten Auswirkungen auf den Feldhamster, weil die hocheffiziente Arbeitsweise bei der Ernte und das Strohmanagement (z. T. mit einer Steuerung durch Radar und Regelungsalgorithmen) dazu föhren, dass zum einen kaum mehr Erntereste (Getreidekörner, Feldfrüchte), zum anderen deutlich weniger Beikräuter auf dem Acker verbleiben. Auch dieser Umstand beeinträchtigt unmittelbar die Nahrungsversorgung von Feldhamstern und verschärft eine bekannte Gefährdungsursache (vgl. Siebert & Kinast 2019)). Aufgrund einer nächtlichen Ackerbearbeitung durch Robotereinsätze sind zudem direkte Verluste einzelner Individuen des nachaktiven Feldhamsters möglich. Ein anderer Aspekt stellt die Chance dar, die programmierbaren Maschinen für die Herstellung des entsprechenden Regimes zu nutzen, das auf die Bedürfnisse des Feldhamsters zugeschnitten ist³⁵. Ob diese Möglichkeit Anwendung findet oder finden kann, ist allerdings nicht bekannt.

Kenntnislücken sowie Forschungs- und Handlungsbedarf

Da keine populationsrelevanten Auswirkungen von einzelnen modernisierten Agrartechniken zu erwarten sind und die entscheidenden Faktoren für die Gefährdung der Art durch den Ackerbau struktureller, systembedingter Natur sind, steht zum Erhalt der gefährdeten Populationen akuter **Handlungsbedarf** im Vordergrund. Dieser Bedarf besteht in der **Umsetzung der Schutzmaßnahmen und der konsequenten Anwendung der Bestimmungen des nationalen wie internationalen Artenschutzrechts**. Aufgrund der sehr wenigen Literaturnachweise, in denen Hinweise auf die Auswirkungen modernisierter Landtechniken auf einzelne Feldhamster bzw. dessen Population zu finden sind, werden Forschungslücken deutlich.

Es sei darüber hinaus darauf hingewiesen, dass die systemischen und langzeitlichen Wirkungen – auch und vor allem auf Nicht-Zielorganismen – bislang weitgehend unterschätzt wurden oder noch unbekannt sind (vgl. Berger et al. 2018, Brühl & Zaller, 2020, Esther et al. 2022, Flach et al. 2022, Kayser & Stubbe 2002).

³⁵ Ergänzende Anmerkung v. Ruth Petermann/BfN (E-Mail v. 27.09.2022)

5.2.2 Feldvögel (Feldlerche, Kiebitz, Rebhuhn)

Die im Literaturverzeichnis gelistete Literatur beinhaltet die gesamte für das Kapitel verwendete Literatur.

Kiebitz

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Kiebitz“

Recherchierte Artikel: 512

Analysierte Artikel: 42

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 6

Identifizierte Forschungsprojekte: 2

Rebhuhn

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Rebhuhn“

Recherchierte Artikel: 1.188

Analysierte Artikel: 29

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 5

Identifizierte Forschungsprojekte: 3

Feldlerche

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Feldlerche“

Recherchierte Artikel: 674

Analysierte Artikel: 128

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 6

Identifizierte Forschungsprojekte: 0

Gefährdungsursachen

Die Gefährdungsursachen für Kiebitz, Rebhuhn und Feldlerche decken sich für den Lebensraum Feldlandschaft – vor allem hinsichtlich der Ackerflächen, die als Bruthabitat für die drei Arten in Frage kommen – in weiten Teilen (s. Tab. 22). Zwar spielen die Feldfrucht und ihre Bestandsdichte, die Bodenverhältnisse und Randstrukturen je nach Vogelart eine unterschiedlich starke Rolle, doch sind die stark schwindenden Populationsgrößen dieser wie auch anderer Feldvogelarten im Wesentlichen auf die Intensität der Bewirtschaftung, strukturelle Verarmung der Feldflur und zahlreiche Nebenwirkungen der industriellen Landwirtschaft zurückzuführen.

Die industrielle Landwirtschaft ist geprägt durch Monokulturen, große Schläge, geringe Diversität der Feldfrüchte, schnelle Bearbeitungsabfolgen, fehlende Strukturen (Raine, Graswege, Brachen usw.), Einsatz von Pestiziden, Mineraldünger und Gülle. Dies hat eine Dezimierung der biologischen Vielfalt zur Folge, die sich tiefgreifend über diverse Organismengruppen und alle Trophieebenen erstreckt und z.B. zu Nahrungsmangel und Falleneffekten bzw. Senkenbiotopen (z. B. Maisfelder für Kiebitz, Horvat & Denac 2019; Wintergetreide für Feldlerche, Dietzen 2017; Mais für Feldlerche, Hoffmann & Wittchen 2018) führen kann.

Tab. 22: Allgemeine Gefährdungsursachen für Feldvögel durch Landwirtschaft (Quelle: eigene Zusammenstellung).

Kiebitz	Rebhuhn	Feldlerche
<p>Gelegeverluste sowie geringer Bruterfolg durch landwirtschaftliche Arbeiten, v. a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensive Düngung, Gülle, • Pflanzenschutzmittel, • Mahd vor Anfang Juni, • hohe Viehdichten, • häufige Ackerbearbeitung, • zu dichte Saatreihen, • Verlust von Brachen und Säumen (LANUV NRW 2022a); • Großflächige Umwandlung von Dauergrünland in Maisäcker (DO-G 2019) • U. a. Zerschneidung und Verkleinerung von offenen Landschaftsräumen (LANUV NRW 2022a) • Ausbringen von Dünger im Frühjahr, vor allem der Gülle (DO-G 2019); • Abschaffung der EU- Flächenstilllegungen in 2007 (DO-G 2019); • Störungen an den Brutplätzen (LANUV NRW 2022a). 	<p>Intensive Nutzung, v. a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Düngung, • Pflanzenschutzmittel, • häufige Flächenbearbeitung, • Umbruch kurz nach der Ernte, • zu dichte Saatreihen, • Verlust von Brachen und Säumen (LANUV NRW 2022b); • U. a. Verlust extensiv genutzten Agrarlandschaften mit Randstreifen, Wegrainen, Brachen (ungünstige Mähtermine, Pflanzenschutzmittel, Versiegelung) (LANUV NRW 2022b); • Vergrößerung der Acker-schläge (LANUV NRW 2022b); • Pestizide – Rebhuhn zählt zu den am stärksten hiervon beeinflussten Vogelarten (DO-G 2019); • Verschlechterung des Nahrungsangebotes von Insekten (LANUV NRW 2022b); • Jagd sowie Prädation durch Haustiere (Schlotmann 2015). 	<p>Intensive Nutzung v. a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Düngung, • Pflanzenschutzmittel, • häufige Flächenbearbeitung, • Umbruch kurz nach der Ernte, • zu dichte Saatreihen, • Verlust von Brachen und Säumen (LANUV NRW 2022c); • U. a. Verlust von extensiv genutztem Dauergrünland, Ackerbrachen, Randstreifen, Wegrainen (ungünstige Mähtermine, Pflanzenschutzmittel, Versiegelung) (LANUV NRW 2022c); • Ausbringen von Dünger im Frühjahr, vor allem der Gülle (DO-G 2019); • Vergrößerung der Acker-schläge (LANUV NRW 2022c); • Großflächige Umwandlung von Dauergrünland in Maisäcker (DO-G 2019); • Abschaffung der EU-Flächenstilllegungen in 2007 (DO-G 2019); • Verschlechterung des Nahrungsangebotes von Insekten (LANUV NRW 2022c).

Ergänzend werden allgemeine Gefährdungsursachen für Feldvögel genannt (DO-G 2019):

- Entwicklung hin zu größeren Betrieben und zur Spezialisierung auf wenige Kulturen mit Verengung der Fruchtfolgen und Zunahme von Intensivkulturen wie Mais und Raps; dies resultiert in einer Abnahme der Vielfalt der Anbaukulturen je Betrieb und Region;

- Zunahme von Kulturen mit hocheffektiven und arbeitsintensiven Anbau-, und Erntemethoden durch starke maschinelle, chemische oder auch manuelle Bearbeitung;
- höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten, größere Arbeitsbreiten;
- Verlust von Sommer- und Herbstlebensräumen wie Stoppelfeldern, bedingt durch die starke Ausdehnung des Anbaus von Wintergetreide und Zwischenfrüchten;
- Ökologische Entwertung von ursprünglich artenreichem Dauergrünland durch Nutzungsintensivierung, Düngung, Wechsel von Beweidung zu Mahd, Umbruch und regelmäßige Neuansaat,
- Entwässerung, aber auch Nutzungsaufgabe;
- Intensivkulturen unter Folie, wie Gemüse oder insbesondere Spargel.

Relevante Agrartechniken

Die Literaturrecherche erbrachte bei den Vögeln, die eine grundsätzlich sehr gut untersuchte Tiergruppe und zugleich eine sehr häufig untersuchte Zielgruppe sind, erwartungsgemäß zunächst viele Treffer. Allerdings befassen sich die Studien überwiegend mit den Habitatansprüchen, der aktuellen Verbreitung sowie der Brutdichte und setzen diese in Beziehung zur modernen Landwirtschaft und den damit verbundenen Konflikten, d. h. den Folgen des verstärkten Anbaus von Wintergetreide, den häufigen Bearbeitungsgängen, der Energiepflanzenproblematik, der geringen Anbauvielfalt auf Ebene der Landschaft und den Unterschieden zwischen konventionellem und ökologischem Anbau oder verschiedener Anbauvarianten. Einzelne Techniken oder konkrete Bearbeitungsschritte werden nur selten erwähnt. Gleichwohl haben wir in vielen derartigen Publikationen nach darin enthaltenen Hinweisen gesucht. Im Folgenden gehen wir auf die wenigen – und auf die vorliegende Problemstellung zutreffenden – Studien und ihre Schlussfolgerungen ein und weisen ergänzend auf übergreifende Zusammenhänge und mögliche Entwicklungen bzw. Chancen hin. Studien mit konkreten Hinweisen zu neuen Techniken, modifizierten Verfahren oder qualitativen wie auch quantitativen Angaben zu Auswirkungen des Technikeinsatzes oder von Anbauvarianten auf Vogelarten sind: Bhusal et al. (2022), Cunningham et al. (2005), Hoffmann & Wittchen (2018), Odderskaer et al. (2006), Pépin et al. (2018), Sheldon et al. (2004).

Anbauvielfalt (crop diversity)

Für das **Rebhuhn** (Henderson et al. 2009) und den generellen Artenreichtum in der Agrarlandschaft (Tscharntke et al. 2021) wirken sich die Anbauvielfalt, die heterogene Verteilung von Feldfrüchten sowie Strukturen und die Flächengröße der Felder stärker aus als die Art der Bewirtschaftung, sei sie konventionell oder ökologisch. Zu vergleichbaren Schlussfolgerungen kommen Püttmanns et al. (2022) für die Feldlerche, die auch in konventionell bewirtschafteten Feldlandschaften ein ausreichend großes Nahrungsangebot und Bruthabitate vorfand, weil die Landschaft in ihrem Untersuchungsgebiet eine heterogene Zusammensetzung aufwies. Zugleich stellen Renard & Tilmann (2019) fest, dass eine höhere Anbauvielfalt eine Stabilität der Erträge und Reduzierung der Verlustrisiken ermöglicht.

Automatisierung und Schlaggröße: Feldroboter und Schwarmtechnik, welche kleinere Anbauflächen, Misanbau (Intercropping) etc. ermöglichen

Hinsichtlich des für die biologische Vielfalt wünschenswerten Ziels einer kleinteiligen Bewirtschaftung und Durchmischung der Feldfrüchte (respektive Verringerung von Schlaggröße, Monokulturen und Schädlingsanfälligkeit) sowie der Asynchronität der Bearbeitung (Egli et al. 2020) könnten sich neue Techniken und Anbaustrategien, welche Mischkulturen, kleinere Schläge und verschiedenste Feldfrüchte ohne allzu große ökonomische Einbußen – oder sogar Mehrerträge – ermöglichen, als Chance erweisen. Feldroboter können zur Unkrautbekämpfung und zur Pflege von Kulturen eingesetzt werden; weitgehend autonome Geräte sparen Personalkosten und könnten zukünftig vielleicht kleinflächig arbeiten, wenn derartige Verfahren trotzdem wirtschaftlich konkurrenzfähig sind. Mit Hilfe moderner Präzisionslandwirtschaft sind größere Saatzeilenabstände und eine spätere Begrünung der Äcker möglich, die sich positiv auf die Brutvögel auswirken³⁶. Allerdings wird hierbei in Frage gestellt, ob eine technische Möglichkeit auch reale Anwendung fände.

Anbauverfahren wie Intercropping, welche durch neue Technik wie Multi-Saatgut-Geräte, Feldroboter oder Robotik allgemein besser verwirklicht werden können, eröffnen ggf. ebenfalls Perspektiven für die biologische Vielfalt auf Ackerflächen. Einige Studien weisen auf erhöhte Artenzahlen von Laufkäfern und Regenwürmern und damit auf bessere Nahrungsbedingungen für Vögel der Feldlandschaft hin (Dicks et al. 2018).

Anbauverfahren: Einsaat von Winterweizen in Maisstoppelfeldern

Im Hinblick auf modernisierte Technik – genauer gesagt ein (lokal) neuartiges Anbauverfahren in einem bestimmten Untersuchungsgebiet – ergab sich bei der Literaturrecherche zum Rebhuhn nur ein einziger konkreter Treffer. Pepin et al. (2008) kommen zur Vermutung, dass die Einsaat von Winterweizen in Stoppelfelder in Frankreich, auf denen zuvor Mais angebaut wurde, die Habitateignung verbesserte. Sie schränken die Aussage allerdings wegen der geringen Stichprobengröße ein und konnten den Verlauf auch nicht weiterverfolgen. Der Verlust von Stoppelfeldern (oder auch die Verkürzung dieses Stadiums) kann hingegen auch eine Verschlechterung des Lebensraums bedeuten (vgl. oben: Gefährdungsursachen).

Fahrgassentechnik, GPS-Spurführung

Als konkrete neue Technik, die verstärkt im Wintergetreide zum Einsatz kam, während die Brutbestände des **Kiebitz** im Vereinigten Königreich zurückgingen, werden von Sheldon et al. (2004) zwar die Fahrgassentechnik (controlled traffic farming) genannt, jedoch nur als eine von mehreren Änderungen wie der Einsatz von Herbstherbiziden, die frühe Stickstoffdüngung von Weizen und der Einsatz von Blattfungiziden. Der Einfluss wird nicht quantifiziert und scheint angesichts der anderen Faktoren nicht entscheidend zu sein. Einerseits ist damit die Kausalität nicht zweifelsfrei nachgewiesen, andererseits ist letztlich die (Folge-) Wirkung der Bewirtschaftungsweise ausschlaggebend: Die Erhöhung der Dichte und Gleichmäßigkeit der Pflanzenbestände in den frühen Phasen der Vegetationsperiode, die mit der Brutzeit der Kiebitze zusammenfällt. Daneben wurde ebenfalls ein enger Zusammenhang zwischen dem Erhaltungszustand der **Kiebitze** (Common Bird Census-Index) und der abnehmenden Menge des Sommergetreides festgestellt.

³⁶ Knuff (mdl. Mitt. 2022)

Energiepflanzenanbau

Everaars et al. (2014) stellten anhand von Habitat- und Landschaftsmodellierungen theoretische Berechnungen an, wie sich der Anbau von Energiepflanzen auf die Siedlungsdichte von vier beispielhaften Feldvogelarten, darunter Feldlerche und Kiebitz auswirken mag. Sie konstatierten für ihre „Bioenergieszenarien“, dass (neben Schafstelze und Grauammer) die beiden Modellarten **Feldlerche** und **Kiebitz** gegenläufig, nämlich mit einem starken Rückgang der Brutpaardichte bzw. gar nicht reagierten. Sie konnten ferner prognostizieren, dass durch begleitende Maßnahmen wie Flächenstilllegungen oder Veränderung der Schlaggröße negative Effekte abgemildert würden.

Pfluglose Bodenbearbeitung

Wir fanden eine Studie aus dem Vereinigten Königreich, welche die Nutzung von Ackerflächen mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung durch winterliche Feldvogelarten verglich (Cunningham et al. 2005). Dabei bevorzugten vor allem die **Feldlerche**, aber auch weitere Vogelarten, darunter auch das **Rebhuhn**, die pfluglos bearbeiteten gegenüber den konventionell gepflügten Flächen, was mit besseren Nahrungsbedingungen erklärt wird, allerdings nicht näher untersucht wurde.

Mechanische Unkrautbekämpfung, Reduktion des Herbizideinsatzes

In Maisäckern (Anbau von „Energienmais“) ließen sich durch Modifikation des Anbauverfahrens messbare Verbesserungen der Habitateignung für brütende **Feldlerchen** erzielen, indem bei einer Versuchsanordnung beim Pflanzenschutz auf mechanische Unkrautbekämpfung unter vollständigem Verzicht auf Herbizideinsatz umgestellt wurde, die Bodenbearbeitung nur teilflächig auf den Maisreihen erfolgte und Wildkrautreihen zwischen den Maisreihen wuchsen (Hoffman & Wittchen 2018).

In einer dänischen Studie (Odderskaer et al. 2006) wurden die Auswirkungen der mechanischen Unkrautbekämpfung (z. B. mit **Striegel**) – zwecks Verzichts des Einsatzes von Herbiziden oder ihrer Reduktion – auf die Reproduktion der Feldlerche in Getreidefeldern untersucht. Ihre Nester liegen so in der Ackerfläche, dass 50 bis 100% hierdurch zerstört werden würden. Zur Verringerung dieses Risikos ist vor allem – neben der Häufigkeit von zwei, drei oder vier Arbeitsgängen – deren Zeitpunkt entscheidend. Die unterschiedlich starken Störungen für die Vögel hängen saisonal bedingt mit den jeweiligen Anbauprodukten zusammen (z.B. welche Getreidesorte und vor allem, ob Sommer- (günstiger) oder Wintergetreide (ungünstiger) angebaut werden). In Abhängigkeit von der Zahl der Arbeitsgänge, der Bodenart und der Tiergruppe ist die Bodenfauna (und damit Nahrungsorganismen für Vögel) unterschiedlich stark betroffen.

Interessant in diesem Zusammenhang ist die Entwicklung und Erprobung eines innovativen „Gerätesystems“ zur ultraflachen Bodenbearbeitung und energiesparenden Strohkonditionierung am Institut für Bau- und Landmaschinentechnik der Technischen Hochschule Köln. Durch Verbesserung der Feldhygiene könnten Pestizide mit Hilfe der Landmaschinentechnik namens „Grinder“ eingespart und Eingriffe in den Oberboden vermindert werden (TH Köln 2022).

Wühlmauspflug

Zur Einschätzung der Relevanz dieser neuartigen Technik auf Vögel wurde eine Expertenmeinung beim Komitee gegen den Vogelmord e. V. eingeholt, da diese Vereinigung über langjährige Erfahrungen zu Vergiftungen von Vögeln in der Feldlandschaft verfügt. Unter den

Vergiftungsfällen, die dort gemeldet und untersucht bzw. zur Untersuchung weitergeleitet werden, treten Rodentizide als Ursache – zumindest bei Taggreifvögeln – nicht auffällig in Erscheinung (A. Heyd, pers. Mitt). Da durch den Wühlmauspflug im Boden ein Kanal in 10 – 30 cm Tiefe angelegt wird, in den die Giftköder abgelegt werden, und der Gang anschließend wieder verschlossen wird, sollte von dieser neuartigen Technik keine nennenswerte Gefahr für Vögel ausgehen.

Drohnen, automatisierte Schädlingsbekämpfung

Unabhängig von unseren drei ausgewählten Zielarten interessant ist im Hinblick auf Zukunftsperspektiven und vorprogrammierte artenschutzrechtliche Konflikte die Entwicklung und bereits in ihren Grundzügen erfolgreich getestete Praxistauglichkeit einer autonomen Drohne (UAV, unmanned aerial vehicle) mit spezieller echtzeitfähiger Software (Algorithmen, die Interagieren und maschinelles Lernen ermöglichen) (Bhusal et al. 2022). Demnach ist offenbar ein solches System derzeit dort von Interesse, wo Vögel in Kulturen einfliegen und Früchte fressen (hier: Traubenkulturen). Die Schädlingsbekämpfungs-Drohnen können die Vögel orten, gezielt anfliegen und vergrämen. In der EU (Vogelschutzrichtlinie) und in Deutschland (§ 44 Abs. 1 BNatSchG, „Zugriffsverbote“) könnten durch den Einsatz dieser Technik u. a. artenschutzrechtliche Verbotstatbestände (z. B. Verstoß gegen das Störungsverbot bei streng geschützten Arten) eintreten.

Kenntnislücken sowie Forschungs- und Handlungsbedarf

Populationsrelevante Auswirkungen einzelner modernisierter Agrartechniken sind in Zusammenfassung der bisherigen Literaturfunde nicht bekannt. Die relativen Beiträge von modernisierten Agrartechniken, Verlust von Strukturvielfalt, Pestizideinsatz etc. Zu Populationsrückgängen sind bisher nicht quantifiziert. Kritisch zu hinterfragen ist allerdings, inwieweit neue Agrartechniken problematische Effekte aufrechterhalten oder sogar verstärken. In diesem Fall wären populationsrelevante Auswirkungen von neuen Agrartechniken zu erwarten.

Die entscheidenden Faktoren für die Gefährdung der Feldvogelarten durch den Ackerbau sind struktureller, systembedingter Natur. Daher wird wie beim Feldhamster auch hier ein **prioritärer Handlungsbedarf** gesehen, der die **Umsetzung der Schutzmaßnahmen und die konsequente Anwendung der Bestimmungen des nationalen wie internationalen Artenschutzes** in den Vordergrund rückt. Aufgrund der sehr wenigen konkreten Literaturfunde, die den Zusammenhang von modernisierten Landtechniken und Feldvögeln in den Blick nehmen, besteht hier gleichwohl ein grundsätzlicher Erkenntnis- und Forschungsbedarf. Mit Blick auf neuartige Anbau- / Bearbeitungsverfahren, weniger auf einzelne Techniken, scheinen lokal, evtl. auch regional Verbesserungen für Arten möglich, sie werden aber keine Trendwende einleiten können. Beispielsweise wäre der **Verzicht auf Einsatz von Herbiziden** oder ihre Reduktion **mit Hilfe mechanischer Verfahren** zwar ökologisch verträglicher (und in der Gesamtbilanz sicherlich nachhaltiger), doch müssten diese schonenden, alternativen Anbauverfahren je nach naturschutzfachlichen Zielvorstellungen, Art(engruppe), phänologischem Verlauf, Bodenart und ggf. weiteren Variablen abgestimmt werden. Dies ist unter den gegenwärtigen marktwirtschaftlichen und umweltrechtlichen Rahmenbedingungen illusorisch (vgl. auch FuE-Projekt "Der Sympathieträger Kiebitz als Botschafter der Agrarlandschaft 2014-2019").

Die DO-G (2019) bilanziert rückblickend (und nüchtern), dass die nationalen wie internationalen Bestimmungen der Marktregulierung sich jeweils stärker auf das Wohl oder Wehe der

Feldvogelarten ausgewirkt hatten als die seit Jahrzehnten durchgeführten, gezielten Naturschutz- und Agrarumweltmaßnahmen!

Insofern wird es den Feldvögeln, die unter den Problemen der gegenwärtigen industriellen Landwirtschaft und ihren systemimmanenten Beeinträchtigungen in der Fläche leiden, nur wenig helfen, jetzt die artspezifischen Auswirkungen durch neue Vergrämdrohnentechnik oder den Wühlmauspflug zu quantifizieren. Bei der Fokussierung auf eine bestimmte Art – sei es aufgrund ihres hohen Gefährdungsgrads oder eines spezifischen, vielleicht auch regionalen Risikos im Zusammenhang mit einer neuartigen Technik – mag dies selbstverständlich abweichend beurteilt werden und ein Forschungsbedarf entstehen.

5.2.3 Amphibien (Knoblauchkröte)

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Knoblauchkröte“

Recherchierte Artikel: 479

Analysierte Artikel: 17

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 16

Identifizierte Forschungsprojekte: 0

Gefährdungsursachen

Der allgemeine und hauptsächliche Grund für die langfristig starke Rückgangstendenz in Deutschland (BfN 2022a) wird in der „Veränderung und Zerstörung der Lebensstätten“ (Laichgewässer und Landlebensräume) sowie der „Verinselung der Vorkommen“ gesehen (BfN 2022b). Viele der genannten Gefährdungsursachen sind auf intensive oder geänderte landwirtschaftliche Nutzung, schnell aufeinander folgende Bearbeitungsschritte, intensive Bodenbearbeitung bis hin zu hohen Bestandsdichten der Feldfrüchte und verbreitetem Pestizeideinsatz zurückzuführen. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Gefährdungsursachen:

- Nutzungsänderung in landwirtschaftlich genutzten Gebieten, insbesondere durch Rückgang der Wintergründung, Abnahme des Sommergetreides und der Hackäcker, Abnahme der benötigten Rohböden, Aufgabe von extensiv genutzten Weideflächen, Wegfall der Stilllegungsflächen;
- Verluste oder Entwertung von Habitaten (Ackerflächen, Brachen, Trockenflächen)
- Zerschneidung der Lebensräume und Wander- bzw. Ausbreitungskorridore durch Bau von Straßen, Wegen und Siedlungen, Flurbereinigungen o. ä. flächenhafte Baumaßnahmen;
- Intensive Nutzung von Landwirtschaftsflächen (z. B. Tiefpflügen, häufige Bodenbearbeitung, hohe Bestandsdichte der Feldfrüchte) sowie moderne, hochtechnisierte Landwirtschaft mit engen Fruchtfolgen, großen Schlägen sowie Mehrschnittwiesen (mehr als 2 Schnitte im Jahr, Silagewirtschaft); in der Folge: vermutete sehr häufige Verluste durch maschinelle Bodenbearbeitung auf Ackerflächen.

Als weitere Ursachen werden im Detail genannt:

- Veränderung der Hydrologie (Grundwasserabsenkung, Deichbau, Deichsanierung) und in der Folge:
- Frühzeitiges Trockenfallen oder Wegfall der Laichgewässer);
- Vergiftung, Verletzung und Beeinträchtigung der Vitalität der Tiere durch Pestizide, Kunstdünger und Gülle;
- Nahrungsverknappung durch Pestizide;
- Verlust oder Entwertung von Laichgewässern (z. B. Verfüllen, Ackerbau, wasserbauliche Maßnahmen, Beseitigen der Flachwasserzonen, Entfernen der Unterwasservegetation, Steinschüttungen, Abgrabungen, Bebauung);
- Verschlechterung der Gewässergüte durch Nährstoff- und Schadstoffeinträge (v. a.

Dünger, Gülle, Pflanzenschutzmittel sowie Abwassereinleitungen);

- Zunehmende Eutrophierung der Landschaft;
- Fischbesatz und Fischintensivzucht in Laichgewässern, verbunden mit regelmäßiger Entlandung und dem Mähen der Gewässerufer, Einsatz von Graskarpfen;
- Verlust von Laichgewässern durch Aufgabe der Teichwirtschaft;
- Tod und Verletzung von Tieren durch Eingriffe und (Straßen-) Verkehr des Menschen;
- Falleneffekte der Oberflächenentwässerung (Gullys, Schächte) in dörflichen und städtischen Siedlungsgebieten, durch welche Tiere in großer Anzahl getötet werden können;
- (Verbotene) Wildfütterungen im direkten Gewässerumfeld, die Schwarzwild, Entenvögel und Ratten anlocken.

Auflistung zusammengestellt aus: Aldrich et al. (2016), BfN (2022a), BfN (2022b), Bitz et al. (1996), Bosman & Van den Munckhof (2006), Brühl et al. (2013), DGHT (2022a), DGHT (2022b), LANUV NRW (2022), Nyström et al. (2006), Rote-Liste-Zentrum (2022), Rückriem et al. (2016), Schulte et al. (2016).

Relevante Agrartechniken für die Knoblauchkröte

Zwar liegen viele maßgebliche Ursachen für die Bestandsrückgänge der Art in der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung – darunter wird auch die „hochtechnisierte Landwirtschaft mit engen Fruchtfolgen, großen Schlägen sowie Mehrschrittwiesen“ (BfN 2022b) allgemein genannt – doch fanden wir keine Literaturtreffer mit Bezügen zwischen Knoblauchkröte (oder Amphibien) und konkreten modernisierten Agrartechniken. Bei der Knoblauchkröte sei gerade in Bezug auf die Landnutzung noch auf die Unterschiede zwischen West und Ost hingewiesen: Am westlichen Arealrand stellen – neben der Isolation von Populationen infolge der Zerschneidung von Lebensräumen – der Rückgang von Wintergründung, Sommergetreide, Hackäcker und Rohbodenflächen nennenswerte Gründe für die Verschlechterung der Landlebensräume dar, während in Ostdeutschland andere Ursachen (z. B. veränderte Teichwirtschaft) dominieren können (BfN 2022b). Aufgrund der größeren Schläge im Osten des Landes könnte vor allem dort der verstärkte Einsatz großer, schwerer Maschinen zu einer Verschärfung der damit verbundenen Gefährdungsursachen führen (vgl. BfN 2022b: „Tiefpflügen“, „Einsatz sehr schwerer Maschinen“).

Zusammenfassende Kommentierung modernisierter Agrartechniken oder Anbauverfahren, die möglicherweise Auswirkungen auf die Knoblauchkröte – Individuen oder Habitate – haben können:

Bodenbearbeitung

Es ist unvermeidlich, dass durch Verfahren der Bodenbearbeitung Tiere verletzt oder getötet werden. Je nach Technik, Maschine, Häufigkeit und Tiefe des Eingriffs in den Boden sind Knoblauchkröten, die sich typischerweise im lockeren Oberboden eingraben, mehr oder weniger stark betroffen. Nach Einschätzung des Tierschutzverbundes sterben rund 500.000 Tiere ungewollt durch moderne Mähmaschinen in der Landwirtschaft und üben damit einen quantitativ nachweislichen Einfluss auf die Mortalität von Tierarten aus³⁷. Insofern ergeben sich möglicherweise Chancen, die Beeinträchtigung der Art zu mindern, indem konservierende oder

³⁷ Vgl. (ohne Autor) (2012): „Ernte als Gefahr für Wildtiere“ in „du und das Tier“ (Ausgabe 3/2012, S. 32-33).

minimale Bodenbearbeitungsverfahren angewendet werden. Stichworte hierzu sind: (Ultra-)flache Bodenbearbeitung, Striegeln, konservierende und pfluglose Bodenbearbeitung (minimum tillage s. L.), Direktsaat, Mulchsaat, Streifensaar (Strip-Till) usw. Dies würde Forderungen nach „Einschränkungen hinsichtlich Tiefpflügens bzw. des Einsatzes sehr schwerer Maschinen, am besten nur flachgründige Bodenbearbeitung der Stoppelfelder mit Grubber, da geringere Sterblichkeit bei den Jungtieren (Förderung des Biologischen Landbaus)“ (BfN 2022b), entgegenkommen. In eine ähnliche Richtung gehen die Vorschläge von graduell abgestuften Schutzmaßnahmen bzw. ackerbaulichen Verfahren für die Knoblauchkröte wie „Stoppelbearbeitung mit einem Grubber statt Pflügen, da weit geringere Mortalität der juvenilen Amphibien“ (Dürr et al. 1999 in Tobias 2000) oder „schonende Bodenbearbeitung im Spätherbst“ (BfN 2022b). Quantitative Angaben zur Beeinträchtigung u. a. der Knoblauchkröte machen Schuler et al. (2013), wo Verletzungsraten in Abhängigkeit von Bearbeitungsschritten genannt werden. Sie reichen beispielsweise von Pflügen (0,90, höchste Verletzungsrate) über mechanische Unkrautbearbeitung (0,02) bis hin zum Ausbringen organischen Düngers (0,01).

Grundsätzlich bestehen wesentliche Nachteile der Unkrautbekämpfung entweder in den häufiger erforderlichen Arbeitsgängen bei der mechanischen Bekämpfung oder darin, dass Breitbandherbizide eingesetzt werden. Abgesehen davon, dass auch Nicht-Zielorganismen und mögliche Nahrungsorganismen (epigäische und edaphische Wirbellose) kontaminiert oder getötet werden und dass systemische wie auch langfristige Wirkungen im Ökosystem noch nicht ausreichend bekannt sind, wurden alarmierende Beeinträchtigungen bei Amphibien nachgewiesen (Aldrich et al. 2016, Brühl et al. 2013).

Düngung

Durch eine reduzierte Ausbringung von Mineraldünger, zu der modernisierte Agrartechnik einen Beitrag leisten könnte (z. B. durch teilflächenspezifische Applikation, bedarfsabhängige Düngung, Injektionsdüngung etc.), können evtl. direkte Beeinträchtigungen der Tiere reduziert werden. Kritisch ist vor allem der direkte Körperkontakt mit Düngemitteln, ggf. auch deren durch Niederschlag entstehende wässrige Lösung, der zu Verletzungen (Verätzungen), Vergiftungen und zum Tode (v. a. bei Jungtieren) führen kann (Tobias 2000). Eine für die Art verträglichere Variante wäre ohnehin eine „organische statt mineralischer Düngung im Lebensraum der Knoblauchkröte“ (BfN 2022b). Düngemittel verschlechtern darüber hinaus die Wasserqualität in den Laichgewässern und führen zu einem geringeren Reproduktionserfolg (Nyström et al. 2007). In einzelnen Fällen wäre eine Reduktion der Einträge von Düngemitteln in Laichgewässer, die innerhalb oder am Rand von Ackerflächen liegen, denkbar, indem eine präzise arbeitende Technik eingesetzt wird, welche angrenzende Flächen ausspart.

Schwere, modernisierte Maschinen vs. kleine Maschinen, Kettenlaufwerke

Vollernter wie z. B. Kartoffelroder, die entsprechend der Lebensraumsprüche der Knoblauchkröte, welche sandige Böden und damit Kartoffelfelder besiedelt, in den Vorkommensgebieten zum Einsatz kommen dürften, bringen eine Masse von vier, sechs, neun oder mehr Tonnen auf. Dies läuft den Empfehlungen, den Einsatz schwerer Maschinen einzuschränken (BfN 2022b), zuwider. Andererseits werden sich Knoblauchkröten kaum in den verdichteten Boden der Fahrgassen bzw. Fahrspuren eingraben (Tobias 2000). Wenn größere, kombinierte Maschinen weniger Bearbeitungsgänge erfordern oder eine größere Arbeitsbreite haben, könnte sich dies sogar vorteilhaft auf die im Ackerboden befindlichen Knoblauchkröten auswirken. Umgekehrt stellt sich die Frage, ob kleine Maschinen (bei zudem größerer Fahrgassendichte) das Risiko der Verletzung oder Tötung tatsächlich signifikant reduzieren können.

Der Druck beim Überfahren eingegrabener Kröten müsste so gering sein und gut verteilt werden, dass Tiere in 5-20 cm Tiefe (verschieden lockerer bzw. dichter Böden) nicht oder seltener betroffen sind. Vorstellbar ist, dass Kettenlaufwerke einen zusätzlichen positiven Effekt haben.

Teilflächenspezifische Verfahren, precision farming, electro weeding

Hier gelten sinngemäß die unter „Düngung“ genannten Annahmen. Bei Teilflächenbehandlungen ist davon auszugehen, dass durch reduzierten Mechanikeinsatz die Tiere im Landlebensraum einem geringeren Risiko ausgesetzt sind. Offen bleibt, welche Auswirkungen die elektrische Unkrautbekämpfung (electro weeding) haben mag; hierzu haben wir keine Hinweise finden können.

Strohmanagement, Strohentnahme, Dauer der Stoppelbrache

Die Techniken und Verfahren welche dem Arbeitsschritt „Ernte“ im engeren Sinne folgen, haben einen Einfluss auf die Bodenstruktur, das Bodenklima und die Bodenfauna. Insofern sind auch Effekte für Knoblauchkröten und ihr Teilhabitat „Landlebensraum“, also sehr häufig landwirtschaftlich genutzte Böden, zu postulieren. Einerseits können Stoppelbearbeitungen juvenile Amphibien, u. a. auch Knoblauchkröten, in beträchtlichem Maße schädigen (90 % nach Dürr et al. 1999 in Tobias 2000), weshalb z. B. Grubbern statt Pflügen empfohlen wird (Tobias 2000; s. Bodenbearbeitung). Andererseits stellt die Stoppelbrache einen Lebensraum für verschiedenste Tiergruppen der Agrarlandschaft dar, der Deckung und sowohl tierische als auch pflanzliche Nahrung bietet. Es ist anzunehmen, dass – zudem in Abhängigkeit von der Bodenart – die Auswirkungen auf die Knoblauchkröten und die Habitatqualität sehr unterschiedlich sind, je nachdem ob eine vollständige Strohentnahme erfolgt, das Stroh zerkleinert sowie oberflächlich verstreut wird oder eine (unterschiedlich tiefe) Einarbeitung in den Boden erfolgt. Die Wechselwirkungen und Effekte sind komplex und haben nicht nur direkten Einfluss auf die Kröten, sondern auch auf ihren biozönotischen Konnex wie die Lockerheit des Bodens, die oberflächliche Feuchtigkeit oder die Lebewelt inklusive potenzieller Nahrungsorganismen (vgl. ausführliche Angaben in Siebert & Kinast 2019).

Kenntnislücken sowie Forschungs- und Handlungsbedarf

Bei der Befahrung von Ackerflächen und vor allem bei der Bodenbearbeitung kommt es zwar zwangsläufig zur Verletzung oder Tötung von Knoblauchkröten, welche diese Flächen als Landlebensraum nutzen, es ist aber derzeit nicht erkennbar, dass bestimmte modernisierte Agrartechniken größeres Gefahrenpotenzial bieten. Eher das Gegenteil ist der Fall, wenn diese Techniken durch teilflächenspezifischen Einsatz und angepasste Dosierungen ressourcenschonender arbeiten und zu weniger Beeinträchtigungen führen. Es wäre aber zu viel erwartet, hierdurch eine Trendwende einleiten zu können. Viele der eingangs genannten, dauerhaft und in der Fläche wirkenden Gefährdungsursachen sind struktureller, systembedingter Natur und maßgeblich ursächlich für den deutlichen Abwärtstrend der Knoblauchkröte. **Insofern besteht prioritär Handlungsbedarf, d.h. dringender Bedarf zur Umsetzung von Schutzmaßnahmen, zu einer angepassten Bewirtschaftung in den Lebensräumen der Art und der konsequenten Anwendung der Bestimmungen des nationalen wie internationalen Artenschutzrechts.** Auf die Problematik synthetischer Pflanzenschutzmittel (welche ebenfalls maßgeblich Anteil haben dürften) wurde bereits hingewiesen. Gleichwohl besteht Analyse- oder Forschungsbedarf zu Techniken und ihrem Einfluss auf Amphibien. Offene Fragen und klärungsbedürftige

Verfahrensweisen im Falle bedrohter Lokalpopulationen, wo der Schutz von Knoblauchkröten optimiert werden muss sind beispielsweise:

- Wie negativ wirkt sich electro weeding (oder ähnliche neuartige Verfahren zur Unkrautbekämpfung wie Solarisation, heißes Wasser) auf Knoblauchkröten aus³⁸?
- Welches Strohmanagement wirkt sich wie auf die Knoblauchkröte und ihre Habitatqualität und Nahrungsgrundlage aus? Wie ist die Spannbreite von Strohentnahme über Häckseln bis hin zum Belassen von Stoppelbrachen aus Artenschutzsicht zu werten?
- „Striegeln statt spritzen?“ – Ab welcher Intensität und bei welcher Technik der mechanischen Bodenbearbeitung steigt die Mortalitätsrate so stark an, dass hierdurch ein Populationsrückgang zu erwarten ist?
- Wie sind pfluglose / konservierende Bodenbearbeitung, Mulch- und Direktsaat aus Artenschutzsicht zu bewerten, wenn diese Verfahren Pestizidausbringungen zur Folge haben?
- Welcher quantitative Zusammenhang besteht zwischen Lebenserwartung (Mortalität) bzw. Reproduktionsrate und dem Einsatz von Gülle und Agrochemikalien (Mineraldünger, Pestizide)?
- Führen modernisierte Agrartechniken durch eher sekundäre Effekte wie schnellere Bearbeitungsabfolgen (frühere, schnellere Ernte, kürzeres/kein Stoppelbrachestadium etc.), ggf. in Verbindung mit häufigerer oder veränderter Wahl von Zwischenfrüchten zu negativen Auswirkungen auf die Knoblauchkröte?

³⁸ Knuff (mdl. Mitt. 2022): „electro weeding“ incl. möglicher Zusammenhänge zur Bodenleitfähigkeit und Auswirkungen auf Lebewesen wie Amphibien; Schulte (mdl. Mitt. 2022): Erhebliche Beeinträchtigungen durch electro weeding werden erwartet.

5.2.4 Wildbienen

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Wildbienen“

Recherchierte Artikel: 6.132

Analysierte Artikel: 226

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 84

Identifizierte Forschungsprojekte: 24 (teilweise Verbundprojekte)

Gefährdungsursachen

Die Intensivierung der Landwirtschaft wird als einer der Hauptgefährdungsursachen für den Rückgang von Wildbienen genannt (z.B. Scheuchl & Schwenninger 2015, Ollerton et al. 2014). Goulson et al. (2013) machen als Hauptgefährdungsfaktoren für den Rückgang der Wildbienen die kombinierten Belastungen durch Pestizide, Parasiten und den Mangel an Blüten verantwortlich. Straub et al. (2022) wiesen für eine Wildbienenart u.a. den Zusammenhang zwischen steigender Landnutzungsintensität und geringerer Körpergröße nach – ein wesentlicher Fitness-Anzeiger für das Überleben der Population (vgl. Dance et al. 2017). Westrich (2019) konkretisiert für die in Deutschland vorkommenden Wildbienenarten die Abhängigkeit von speziellen Nahrungspflanzen, benennt die Notwendigkeit ausreichend langer Blühzeiten und geeigneter Nistplätze im Lebensraum der Arten und betont die Bedeutung von vielfältigen Habitatstrukturen, wie z.B. trockene, magere Wiesen, Feldraine, Abbruchkanten, d.h. Rohbodenbereiche etc.) und Verfügbarkeit von Nistmaterial für den Bau der Brutgänge. Im Folgenden werden aufgrund der artspezifischen Lebensraumsprüche der zu untersuchenden Arten die wesentlichen bekannten Gefährdungsursachen dargestellt.

➤ Pestizide

Starke Rückgänge von Wildbienen konnten im Zusammenhang mit der Verwendung von **Insektiziden** (vor allem Neonikotinoiden, vgl. Lundin et al. 2015, Tsvetkov et al. 2017, Woodcock et al. 2017, Blacquiere & Steen 2017, Blacquiere et al. 2011, Wintermantel et al. 2018; auch über Saatgutbeizung, vgl. van Hoesel et al. 2017, Sandrock et al. 2014, Sterk et al. 2016, Dietzsch et al. 2019, Vojvodic & Bazok 2021) festgestellt werden. So wurde beispielsweise nachgewiesen, dass Clothianidin im Rapsanbau zu einer Abnahme der Populationsdichte von Wildbienen führt (Rundlöf et al. 2015). Whitehorn et al. (2012) konnten nachweisen, dass die Produktion von Hummelköniginnen durch die Anwendung von Imidacloprid um 85% gegenüber Kontrollvölkern abnahm (zu Imidacloprid s.a. Efsa 2018). Woodcock et al. (2016) zeigten den Zusammenhang zwischen Neonikotinoiden und erhöhter Sterblichkeit überwinternder Wildbienen auf. Selbst extrem geringe Dosen von Neonikotinoiden zeigen noch Auswirkungen auf Wildbienen, wie eine Untersuchung von Goulson (2013) zeigte. Bei der üblichen Anwendungspraxis unter Feldbedingungen werden nach Angaben von Scheuchl & Schwenninger (2015) verschiedene Pestizide eingesetzt, die eine Kombinationswirkung erzeugen, welche die fatalen Auswirkungen auf Bienen noch steigert (Gill et al. 2012). Auch Bonmatin et al. (2014) untersuchten und bestätigten das Gefährdungspotenzial dieser Substanzen und zeigten verschiedene Kontaminationswege auf (s. hierzu auch Abb. 13). Dies zeigt, dass der Kontakt über alle Entwicklungsstadien gegeben ist, nicht nur aufgrund von Rückständen in Pollen (Friedle

et al. 2021), die von den Imagines aufgenommen werden. Der Kontakt mit Neonikotinoiden ist auch durch Abdrift gegeben (vgl. May et al. 2014). Eine direkte Kontaminierung mit Neonikotinoiden erfolgt zudem auch über endogäische Wildbienen-Nester (vgl. Chan et al. 2019), wie sie von hier zu betrachtenden *Andrena*-, *Melitta*- und *Halictus*-Arten gebaut werden. Goulson (2013) dokumentierte die Halbwertszeiten von Neonikotinoiden, die je nach Region und Böden wenige Monate bis mehrere Jahre, im Extremfall sogar 17 Jahre betragen können (vgl. hierzu auch Botias et al. 2015). Dass sich Neonikotinoide im Boden anreichern, wiesen Jones et al. (2014) sowie Goulson (2013) nach, – letzterer am Beispiel von Imidacloprid. Strobl et al. (2021) weisen zudem darauf hin, dass unter freiland-ähnlichen Bedingungen die Fertilität von Männchen von *Osmia cornuta* bei Exposition mit dem Neonikotinoid Thiamethoxam stark sinkt. Ein Zusammenhang zwischen der Intensität von Bewässerungsmaßnahmen und Neonikotinoid-schädigenden Effekten stellten Cecala & Rankin (2021) fest (s.u.).

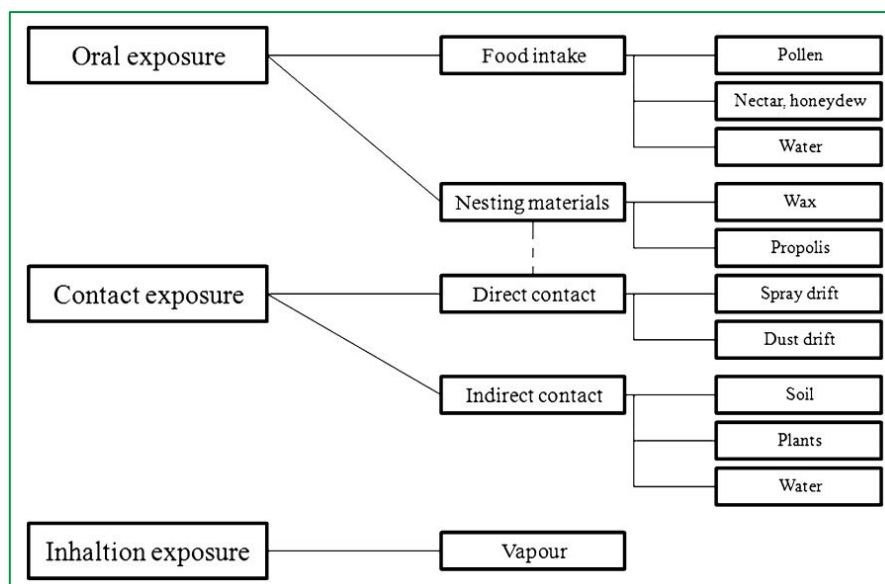


Abb. 13: Mögliche Kontaminationswege von Wildbienen mit Neonikotinoiden (Alkassab & Kirchner 2017).

Auch zu **Herbiziden** und **Fungiziden** liegen Studien vor, die in Verbindung mit Trägersubstanzen direkte und indirekte negative Auswirkungen auf Wildbienen zeigen (s. hierzu insbesondere Appenfeller et al. 2020, Cullen et al. 2019, Rondeau & Raine 2022; Wintermantel et al. 2022). Die große Problematik von Herbiziden mit Auswirkungen auf die von diesen Pflanzenarten angewiesenen Arten ist bekannt. So wird eine starke Reduktion von Herbiziden (Reduktion der Anwendung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel in den Bereichen Landwirtschaft etc. um insgesamt 40-50 % bis zum Jahr 2030) beispielsweise im Naturschutzgesetz und dem Landwirtschafts- und Landeskulturgesetz (LLG) von Baden-Württemberg oder Bayern gesetzlich gefordert. Zudem werden auch alternative Pflanzenschutzmittel, wie heißes Wasser oder Strombehandlung erprobt (vgl. BMEL 2021).

➤ Blütenmangel – Nahrungsangebot

Das für die Wildbienen essentielle Blütenangebot, welches als Nektar- und Pollenquelle bei ausreichender Verfügbarkeit während der gesamten Flugzeit zur Verfügung stehen muss (vgl.

Neumüller et al. 2021), stellt einen weiteren wesentlichen Gefährdungsfaktor dar. Für *Andrena agillissima*, *A. niveata* und *A. lagopus* als oligolektische Arten an Brassicaceae ist dementsprechend ein ausreichendes Blütenangebot von Kreuzblütlern von Bedeutung. Auf konventionell bewirtschafteten Äckern ist die Hauptpollenquelle Acker-Senf (*Sinapis arvensis*) so gut wie verschwunden (Fechtler et al. 2021). Raps (*Brassica napus*) ist zudem regional in vielen Gebieten Ende Mai – zu Beginn der Flugzeit von *A. agillissima* – weitestgehend verblüht. Blütenmangel ist auch für die weiteren ausgewählten Arten der *Halictus sexcinctus*- und *Melitta leporina*-Artenkomplexe (gebunden an Fabaceae bzw. diverse Blütenpflanzen, vgl. Kap. 4.4) eine wesentliche Gefährdungsursache. Umgekehrt fördert eine verlängerte Blühzeit die Häufigkeit und Vielfalt von Wildbienen (Neumüller et al. 2021). Die in Randbereichen früher noch weiter verbreiteten Arten der Segetalflora sind durch Herbizideinsatz, Düngung, Saatgutreinigung, Vergrößerung und Vereinheitlichung der Ackerschläge, Veränderungen der traditionellen, Landschafts-spezifisch angepassten Bewirtschaftung bei der Bodenbearbeitung, der Fruchtfolge sowie der Aussaat- und Erntetermine stark dezimiert worden (Betts et al. 2019, Beyer et al. 2022, Meyer & Leuschner 2015, Nichols et al. 2019). Durch Düngung wird der Grasanteil in den Randbereichen erhöht, sodass Blütenpflanzen indirekt zurückgedrängt werden (Scheuchl & Schwenninger 2015). Die erforderliche Qualität, d.h. Größe, Blütenvielfalt, Deckungsgrad und Samenherkunft von künstlich angelegten Blühstreifen als Ersatz für fehlende Nahrungs- und auch Überwinterungslebensräume werden in der Literatur diskutiert (z.B. Ganser et al. 2019; Batáry & Tschardt 2022, Sirami et al. 2019, Hellweg et al. 2022, Williams et al. 2015, Hadrava et al. 2022). Von besonderer Bedeutung sind in jedem Fall die selten gewordenen Ackerwildkräuter als attraktive Nektar- und Pollenquellen für Wildbienen (Twerski et al. 2022).

➤ **Nistplatzmangel, fehlende Strukturen zur Bildung von Nistplätzen**

Die hier betrachteten Wildbienen-Arten bauen Brutgänge in den Boden (Ausnahme: *Andrena agillissima* bevorzugt in Steilwände; vgl. Kap. 2.2). Hierfür müssen die entsprechenden Voraussetzungen gegeben sein, d.h. artspezifische Ansprüche an die Bodenart, -beschaffenheit und Vegetationsbedeckung sowie Offenbodenanteile, Strukturen, Nistmaterial sind weitere erforderliche Elemente des Lebensraumes. Eine besondere Beeinträchtigung, die direkt zu Nistplatzverlusten bzw. einer Einschränkung der Verfügbarkeit von Nistplätzen führt, ist die Bodenverdichtung (vgl. z.B. Christmann 2022).

Relevante Agrartechniken

Zu den Auswirkungen modernisierter Agrartechniken auf ausgewählte Wildbienenarten konnten nur sehr wenige Hinweise in der Literatur ermittelt werden. Aufgrund der bekannten Habitate und Gefährdungsursachen lassen sich jedoch einzelne Aussagen zu vermuteten Auswirkungen der Agrartechniken herleiten, die hier dargestellt werden.

Präzisionstechnik, insbesondere im Pflanzenschutz

Aus Artenschutzsicht sind bei einem Einsatz von Digitaltechniken (Höhere Präzision in der Bodenbearbeitung) sowie im Präzisionspflanzenschutz (z.B. Einzeldüsensteuerung an PS Spritze, Tropfenweises Präzisionssprühen - Ecorobotics) im Hinblick auf die bekannten und oben genannten Gefährdungsfaktoren für die ausgewählten Wildbienenarten keinerlei Verbesserungen zu erwarten. Es existieren zahlreiche Studien zu Auswirkungen von Pestiziden auf Wildbienen (vgl. u.a. Appenfeller et al. 2021). Diese untersuchen in den meisten Fällen zwar die

Auswirkungen auf die Honigbiene (*Apis mellifera*), auf Hummeln (*Bombus spec.*) oder auch beispielsweise *Megachile*- oder *Osmia*-Arten (z.B. Mokkapati et al. 2021). Zu den in diesem Projekt vorrangig zu betrachtenden Artkomplexen (*Andrena agilissima*-, *Halictus sexcinctus*- und *Melitta leporina*-Komplexen) finden sich in der Literatur nach unserem Kenntnis- und Recherchestand keine expliziten Hinweise. Da jedoch davon auszugehen ist, dass die oben geschilderten Kontaminationswege für alle Entwicklungsstadien auch dieser Artkomplexe gleichermaßen gelten, bedeutet das regelmäßige Ausbringen von Pestiziden direkt und indirekt – und auch nur von sehr geringen Mengen – lethale und sublethale Effekte für diese Arten (u.a. Goulson 2013; Chan et al. 2019, Tsvetkov et al. 2017). Eine Präzisionstechnik bezweckt einen gezielten Einsatz der Pestizide, sodass von diesen letztendlich eine reduzierte Menge erforderlich ist (Haberey et al. 2021, Hodel et al. 2020, Keller et al. 2021), verhindert aber nicht grundsätzlich deren schädliche Wirkung. Ein weiterer Effekt der präzisen Ausbringung führt im besten Fall zu einer verringerten Abdrift³⁹ und damit der weiteren Schädigung von Nicht-Ziel-Organismen (vgl. Faupel et al. 2022), verfehlt aber ebenfalls aufgrund der langen Halbwertszeit und der verschiedensten Kontaminationswege und Wechselwirkungen mit weiteren PSM der auch nur in geringen Mengen extrem schädlichen Pestizide (s.o.) letztlich das Ziel, mit der Modernisierung dieser Technik einen Beitrag zum Biodiversitätsschutz zu leisten.

Eine modernisierte Technik zur Applikation von Düngemitteln führt zu einer geringeren Düngerintensität, wenn sie entsprechend angewendet wird. Auch hier ist das Düngemittel von Bedeutung, wie Viik et al. (2021) festgestellt haben. Zusätzliche Düngungen führten in einer Studie an Raps nicht zu einer höheren Nektar- oder Pollenproduktion und damit nicht zu einer erhöhten Fremdbestäubung (ebd.)

Bodenbearbeitung

Angelella & O'Rourke (2017) untersuchten zwar den Zusammenhang zwischen Saatbettbereitung und Bestäuber-Habitat, resümierten aber, dass die Variabilität der Ergebnisse noch zu groß sei, um übergreifende Schlussfolgerungen für unterschiedliche Standortbedingungen ziehen zu können. Insofern sind Aussagen zu einem Zusammenhang zwischen angewandeter Agrartechnik und Auswirkung auf die ausgewählten Artenkomplexe bzw. die Artengruppe insgesamt nicht möglich.

Grubbern: In den letzten Jahren wurde nach Angaben von Bergmeier et al. (2021) in einem bestimmten Untersuchungsgebiet das tiefe Pflügen vermehrt durch nur recht oberflächliches Grubbern (bis ca. 15 cm) abgelöst. Dabei wurden in den untersuchten, ackerwildkrautgerecht bewirtschafteten Kalkäckern größere Nistaggregationen von bodennistenden Wildbienenarten beobachtet, - unter anderem von den beiden großen Furchenbienenarten *Halictus scabiosae* und die bundesweit gefährdete *Halictus quadricinctus* (Fechtl et al. 2021). Aufgrund der Größe der festgestellten Populationen (zum Teil mehrere hundert Nester bis ca. 10 m von der Pflugkante im Acker) und der Standorttreue vieler Wildbienenarten schließen Bergmeier et al. (2021), dass diese bereits über mehrere Jahre existieren und offensichtlich mit der jährlich praktizierten Bodenbearbeitung zurechtkommen. Inwieweit dieser einzelne Hinweis als positive Auswirkung von Grubbern auf bodennistende Wildbienenarten bewertet werden kann, sei hier offengelassen.

³⁹ Hierzu können technisch abdriftreduzierende Düsen bspw. Injektordüsen eingesetzt werden, bei denen relativ kleine Tropfen von einem Luftstrom umhüllt werden, sodass sie weniger abdriftempfindlich sind. Es wird von einer Abdriftreduzierung von bis zu 90% ausgegangen (K. Drastig, ATB, mdl. Mitt.).

Bewässerung

Der Grad der Bewässerung beeinflusst die negativen Auswirkungen von Pestiziden, wie Cecala & Rankin (2021) zeigen, mit den o.g. beschriebenen, für die Wildbienen negativen Auswirkungen. Eine unterirdische Bewässerungstechnik könnte zudem für die bodennistenden Wildbienen zusätzlich schädigende Einflüsse haben. Barbosa et al. (2019) konnten keinen Unterschied verschiedener Bewässerungsmethoden auf Bestäuber in einer Tomaten-Kultur feststellen.

Kenntnislücken sowie Forschungs- und Handlungsbedarf

Ausgehend von den vielfach dokumentierten und gut untersuchten Habitatansprüchen und Gefährdungsursachen für Wildbienen können entsprechende Schutz- und Hilfsmaßnahmen aus Artenschutzsicht abgeleitet werden. Der Kenntnisstand zu Auswirkungen einzelner Agrartechniken auf diese Arten ist demgegenüber zwar mangelhaft. Aufgrund der Komplexität an Faktoren und Rahmenbedingungen einerseits bei der Bewirtschaftung einer Ackerfläche und andererseits der hier vorkommenden Wildbienenpopulationen im Wechselspiel mit weiteren Arten im Ökosystem, erscheint ein Forschungsbedarf zu den in diesem Projekt im Vordergrund stehenden Fragestellungen gegenüber dem akuten Handlungsbedarf wenig prioritär. Das **vorhandene Wissen zu den dringend zu reduzierenden Gefährdungsfaktoren sowie die vorhandenen, auch aus ökonomischer Sicht bestehenden Potentiale, wie z.B. Einsparung von Pflanzenschutzmitteln, von Düngemitteln, weitgestellte Fruchtfolgen, generelle Diversifizierung, zum Verbot von Neonikotinoiden sowie die Kenntnisse zu einer kleinräumigen und an regionale Landschaftsbilder angepassten landwirtschaftlichen Nutzung** (z.B. BLE 2022, Carvell et al. 2015, Cole et al. 2020, Gayer et al. 2021, Nooten & Rehan 2022, Marja et al. 2022, Tamburini 2020, Tscharncke et al. 2022, Shaw et al. 2020, Wen et al. 2022, Elzay & Baum 2021) sollten umgesetzt werden. Die Bestrebungen zur Erhöhung des Flächenanteils des Ökolandbaus in Deutschland tragen diesem Kenntnisstand bereits Rechnung, auch wenn sich durch die Bewirtschaftung eines Ackers entsprechend der standardisierten Richtlinien des Ökolandbaus allein noch keine langfristige Steigerung der Biodiversität erzielen lässt (Tscharncke et al. 2021). Sicherlich ist ein produktionsintegrierter Bestäuberschutz eine aus Artenschutzsicht optimale Maßnahme (vgl. z.B. Isaacs et al. 2017, Oppermann et al. 2019, Panziera et al. 2022, Osterman et al. 2021).

5.2.5 Regenwürmer

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Regenwürmer“

Recherchierte Artikel: 1.521

Analysierte Artikel (potentiell relevant): 153

Identifizierte Artikel mit Relevanz für Modernisierungen/Trends: 58

Identifizierte Forschungsprojekte: 3

Gefährdungsursachen

Ackerflächen mit intensiver Bodenbearbeitung und hohem Entzug organischer Substanz durch regelmäßige Ernte sind generell ungünstige Lebensräume für Regenwürmer. Die Regenwurmdichte (besonders der anezischen Arten) wird durch **Pflügen oder intensive Bodenbearbeitung**, z. B. mit Fräse oder Kreiselegge, **verringert** (z. B. Briones & Schmidt 2017; Ehrmann 2015; fibl 2013; Fox et al. 2017; Lee et al. 2016; LTZ 2017; Pelosi et al. 2014b; Pfiffner & Luka 2007; Walter et al. 2015). Insbesondere wenn der Boden gewendet wird, werden die Regenwürmer teilweise mechanisch geschädigt, ihre Röhren zerstört oder sie der Prädation durch Vögel bzw. der Austrocknung ausgesetzt (s. a. Bertrand et al. 2015; Walter et al. 2015). Nach Pfiffner & Luka (2007) hat eine Pflugfurche v.a. im Herbst, wenn die Aktivität der Regenwürmer hoch ist, negative Auswirkungen. Verschiedene Arten reagieren allerdings unterschiedlich. Endogäische Arten scheinen sich teilweise eher an die Störung durch Bodenbearbeitung anpassen zu können und sind weniger durch die Störung betroffen (De Oliveira et al. 2012; Pelosi et al. 2014b). Sie ernähren sich von der organischen Masse in ihrer Umgebung, daher können diese Arten unter Umständen durch eine tiefe Pflugfurche sogar begünstigt werden, wenn sich das Futterangebot dadurch erhöht (Crittenden et al. 2014; Ernst & Emmerling 2009).

Regenwurmpopulationen unterscheiden sich zwischen verdichteten und nicht verdichteten Böden (Pangnakorn et al. 2003). Bodenverdichtungen können sich z. B. aufgrund des Befahrens mit schweren Maschinen entstehen. Verdichtungen stärkeren Ausmaßes sind ungünstig für Regenwürmer, weil sie die Bauten zerstören und die Tiere direkt beeinträchtigen (z. B. Bakken et al. 2009; Ehrmann 2015). Außerdem verringern Verdichtungen die Wasserspeicherkapazität des Bodens. Bodenverdichtung durch mechanische Belastung kann die Regenwurmdichte insbesondere der endogäischen Arten verringern; die Bestände können sich erholen, jährlich wiederkehrende **Bodenverdichtung** ist allerdings ungünstig (Ehrmann 2015; Walter et al. 2015). Regenwürmer graben nur geringe Volumina des Unterbodens um und meiden dabei nach Möglichkeit verdichtete Bereiche. Ein stark verdichteter Unterboden wird daher selbst bei einer hohen Regenwurmpopulation sehr lange in den meisten Bereichen verdichtet bleiben (Ehrmann 2015). Kanińska et al. (2016) stellten ebenfalls eine negative Korrelation zwischen verdichteten Ackerböden und der Biomasse von Regenwürmern fest.

Die **Zunahme an Trockenperioden** führte aber bereits an verschiedenen Standorten in Deutschland zu einem Rückgang der Regenwurmbestände (Lehmitz et al. 2016). Von extremen Trockenjahren erholt sich die Regenwurmpopulation erst nach Jahren. Schon zwei extrem trockene Jahre könnten zu einem weitgehenden Ausfall der Regenwürmer an ohnehin

trockeneren Standorten führen (Bosch & Partner GmbH & LUBW⁴⁰). Zukünftig mildere Winter hingegen verlängern den Zeitraum, in dem Regenwürmer aktiv sein können und können Verluste durch Frost verringern (ebd.).

Mehrfach nachgewiesen wurden negative Auswirkungen durch **Pestizide** auf die Regenwurmdichte oder -biomasse (auf Individuenebene u.a. höhere Mortalität, geringere Fruchtbarkeit) (z. B. Bart et al. 2017; Bertrand et al. 2015; Datta et al. 2017; Frazão et al. 2017; Panico et al. 2022; Pelosi et al. 2014a; Pelosi et al. 2021; Treder et al. 2020; van Hoesel et al. 2017). Da sich anezische und epigäische Arten (auch) an der Bodenoberfläche bewegen, sind diese von oberirdisch aufgetragenen Pestiziden stärker betroffen als endogäische Arten (Datta et al. 2016). Nach Untersuchungen von Gaupp-Berghausen et al. (2015) stellte der Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) nach Glyphosatanwendung seine Aktivität fast völlig ein, der Wiesenwurm (*Aporrectodea caliginosa*) blieb aktiv, wies aber eine um 56 % verminderte Vermehrungsrate auf. Zaller et al. (2021) berichten ebenfalls, dass die Anwendung von Glyphosat die Aktivität von *Lumbricus terrestris* beeinträchtigt. Andere Bestimmungsfaktoren scheinen jedoch einen größeren Einfluss zu haben als Herbizidanwendung. So stellte ein Review von Briones & Schmidt (2017) keine Beeinträchtigung der positiven Wirkung von reduzierter Bodenbearbeitung (im Vergleich zum Pflug) auf *Lumbricus terrestris* durch Glyphosat fest (ähnlich auch Ergebnisse von Laborversuchen von Nuutinen et al. 2020); Versuche von Marwitz et al. (2012) ergaben ebenfalls, dass Umweltbedingungen und Bodenbearbeitungssystem bedeutendere Faktoren waren als die Anwendung von Herbiziden. Es gibt Hinweise, dass auch hohe Gaben kupferhaltiger Substanzen für Regenwürmer schädlich sind (z.B. Bart et al. 2017; Bertrand et al. 2015); Untersuchungen des Julius-Kühn-Instituts (JKI) in Weinbergen ergaben keine eindeutigen Effekte der Bodenbelastung mit Kupfer auf die Artenzusammensetzung der Regenwurmzönozen, obgleich die Artenvielfalt tendenziell mit höherer Kupferverfügbarkeit sank (vgl. FuE Projekt zu Regenwurmzönozen und Kupferbelastung (vgl. Anhang IV, Strumpf et al. 2015). Auch in nicht direkt mit Pestiziden behandelten Flächen in direkter Nachbarschaft zu Ackerflächen, die Rückzugsflächen für Regenwürmer darstellen, können Konzentrationen von Wirkstoffkombinationen auftreten, die ein hohes Risiko für eine chronische Toxizität für Regenwürmer bedeuten (Pelosi et al. 2021).

Diese Einflussfaktoren können aber von regionalen Effekten überlagert werden. So zeigte eine Studie, die in vier verschiedenen europäischen Regionen auf insgesamt 167 Ackerflächen u.a. Regenwurmpopulationen verglich, dass Unterschiede in Individuenhäufigkeit, Artenvielfalt und Artenzusammensetzung überwiegend mit der geographischen Verortung erklärt werden konnten und nicht durch landwirtschaftliches Management beeinflusst waren (Kulturart, Düngung, Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung, umgebende Landschaft) (Lüscher et al. 2014). Allerdings wurden in der Studie die Managementpraktiken nicht detailliert aufgenommen und mehr als die Hälfte der gefundenen Individuen waren zwei endogene Arten (*Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*) zuzuordnen, die gegenüber Bewirtschaftungsmaßnahmen eher wenig empfindlich sind (ebd.).

Regenwürmer können von ungestörten Randflächen in Ackerflächen einwandern. Aufgrund der geringen Wanderungsgeschwindigkeit⁴¹ ist die Wiederbesiedlung nach einem

⁴⁰ https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/539850/I-BO-2_Indikator_Regenwurm-fauna.pdf/3b903edb-ae90-402d-acca-facc2115730d

⁴¹ Regenwurmpopulationen breiten sich aktiv nur mit einer Geschwindigkeit von < 10 m /Jahr aus (Ehrmann 2015). Lt. fibl (2013) kann *Lumbricus terrestris* bis 20 m pro Jahr zurücklegen.

Populationszusammenbruch aber ein sehr kritischer Faktor, und je größer die Schläge desto länger dauert eine Wiederbesiedlung (Frazão et al. 2017).

Nach Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL (2019) wurde eine Regenwurmsiedlungsdichte unter 60 Individuen/m² und weniger als 4 Arten auf Äckern bei günstigen Witterungs- und Standortbedingungen als kritische Schwelle betrachtet, so dass hier die möglichen Ursachen zu hinterfragen und ggf. Maßnahmen zur Förderung des Bodenlebens umzusetzen sind.

Wirkungen relevanter modernisierter Agrartechniken

Im Folgenden werden mögliche Wirkungen modernisierter Agrartechniken auf Regenwürmer zusammengefasst, die sich aus der Literaturanalyse ergaben. Einbezogen wurden Agrartechniken, bei denen aufgrund der Habitatsprüche mit relevanten Auswirkungen zu rechnen ist. Indirekt wirkende Techniken, die z. B. die Voraussetzungen zu präziser Ausbringung schaffen, u.a. Sensoren, Automatisierungs- und Robotertechnik sowie Unkraut-/Schädlings-/Krankheitsdetektion, werden hier nicht extra behandelt. Robotik zur Aussaat wurde unter übergreifenden Aspekten subsumiert (GPS-gesteuerte Roboter).

Modernisierte Techniken, die eine **Bodenverdichtung vorbeugen oder minimieren** sind aus Sicht des Schutzes der Regenwurm-Dichte und -Vielfalt positiv zu bewerten (siehe Gefährdungsursache Bodenverdichtung). **Controlled Traffic Farming (CTF)** ist ein wirksamer Ansatz, Bodenverdichtung auf dem Großteil des Schlags zu vermeiden (Antille et al. 2019; Tamirat et al. 2022; Tullberg et al. 2018). Bodenverdichtung ist dabei nur auf permanente Fahrgassen beschränkt, deren Anzahl durch hohe Bearbeitungsbreiten möglichst minimiert wird. Regenwürmer leiden auf den nicht befahrenen Arealen des Schlags weniger unter Verdichtung. Zwei Studien wurden gefunden, die Untersuchungen zu CTF in Verbindung mit der Regenwurmabundanz verbanden⁴²: Nach Isbister et al. (2013) kann CTF die Regenwurmabundanz um rund 160 % erhöhen; im Vergleich zu „normal“ befahrenen und gepflügten Getreideflächen fanden Pangnakorn et al. (2003) eine dreifach erhöhte Regenwurmabundanz beim Verzicht auf den Pflug, die Abundanz stieg auf das 8-fache im Vergleich zu traditionell bearbeiteten Flächen, wenn zusätzlich zum Pflugverzicht CTF eingesetzt wurde.

Zu folgenden modernisierten Techniken wurden keine Veröffentlichungen gefunden, die diese direkt mit Regenwürmern in Verbindung bringt. Folgende Ausführungen können also nicht mit Literatur direkt hinterlegt werden. Bei der **GPS-Spurführung** ermöglicht hochgenaues GPS eine präzise Spurführung. Der Anteil unbefahrene Flächen im Feld (und damit Bereichen, die vor Bodenverdichtung geschützt sind) hängt allerdings von der Bearbeitungsbreite ab. Die Fahrspuren sind zudem nicht so langfristig angelegt wie beim CTF, sondern können von Jahr zu Jahr variieren. Ein **Zusammenwirken von passiven und aktiven Werkzeugen** kann ebenfalls die Anzahl an Überfahrten und damit Bodenverdichtung verringern. Kommen durch **GPS-gesteuerte Roboter und Schwarmtechnologie** kleinere leichtere Maschinen zum Einsatz, so reduziert dies ebenfalls das Risiko von Bodenverdichtung. Im Einzelfall ist dies abhängig vom Gewicht der Maschinen und der Häufigkeit der Überfahrten. **Ketten- und Bandlaufwerke** sowie **moderne Reifentechnik** und **geringer Reifeninnendruck** sollen ebenfalls das

⁴² Die Schlagwortsuche ergab Antille et al. (2019) und Tseganesh et al. (2022), die jeweils auf Pangnakorn et al. (2003) verwiesen.

Verdichtungsrisiko verringern. Portaltraktoren mit vergrößerten Arbeitsbreiten befahren ebenfalls weniger Bodenoberfläche; relevant sind sie für Sonderkulturen und Gemüse.

Entwicklungen hin zu **schweren Maschinen** erhöhen das Verdichtungsrisiko, z. B. Injektoren für Wirtschaftsdünger, Strip-Till-Verteiler für Wirtschaftsdünger, Einsatz von Schlitzschuh, schwere Erntemaschinen, aber auch weitere Systeme zur Stoppel- und Bodenbearbeitung, die häufig verschiedene Werkzeuge kombinieren, sind relativ schwer. Beim Einsatz schwerer Maschinen ist es daher wichtig, sowohl die Tragfähigkeit des Bodens und bodenschonende technische Maßnahmen, wie die richtige Reifenwahl oder Reifendruckregelanlagen zu berücksichtigen. Was Erntemaschinen betrifft, so ist z. B. die Ernte von Hackfrüchten i.d.R. mit hoher Bodenbelastung verbunden. Spurversetztes Fahren in Verbindung mit neuester Reifentechnik oder mit Bandlaufwerken erlauben vergleichsweise bodenschonenderes Ernten. Auch bei der Ernte können die Kombination von Bearbeitungsgängen zu weniger Überfahrten führen (geringeres Verdichtungsrisiko), wobei sich das Größenwachstum z. B. bei Mähdreschern weiter fortsetzt (höheres Verdichtungsrisiko). In der Literatur wurden allerdings keine Hinweise für Wirkungen auf Regenwürmer in Bezug zu Injektionsdüngung, zum Einsatz von Strip-Till oder Schlitzschuh zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger oder speziell zu modernisierten Techniken bei der Ernte gefunden.

Kombinierte Arbeitsgänge bei der Bodenbearbeitung z.B. Lockern und Säen (u.a. Direktsaat) bedeuten weniger Überfahrten, was ebenfalls Bodenverdichtungen verringert, und – insbesondere im Fall von Direktsaat - weniger intensive Bodenbearbeitung (siehe Risiko Bodenverdichtung). Die Häufigkeit und Diversität von Regenwürmern nimmt i.d.R. deutlich zu bei reduzierter Bodenbearbeitung (Agridea 2012; Bogužas et al. 2010; Briones & Schmidt 2017; van Capelle et al. 2012; Crittenden et al. 2015; Ehrmann 2015; Fibl 2013; LTZ 2017; Walter et al. 2015). Direktsaatverfahren führen bis zu einer vier- bis sechsfach höheren Regenwurmbundanz und Regenwurmbiomasse als konventionelle Pflugsysteme (LTZ 2017); Pelosi et al. (2015) nennen weniger starke Zuwächse (2,3-fache Individuenanzahl an Regenwürmern nach 14 Jahren Direktsaat im Vergleich zu „konventioneller“ Bodenbearbeitung). Regenwurmbundanzen bei Verfahren reduzierter Bodenbearbeitung liegen zwischen denen von Direktsaat- und Pflugverfahren (Briones & Schmidt 2017). Bodenbearbeitung ausschließlich in Streifen anstatt ganzflächig (**Strip-Till-Verfahren**) ist ebenso wie Mulchsaat aufgrund höherer – Bodenschonung und Belassen von organischer Substanz an der Bodenoberfläche schonender für die Regenwurmfaua als intensivere Bodenbearbeitung mit dem Pflug (Walter 2015). Allerdings können auch Mulchsaatverfahren mit dem Pflügen ähnlicher Intensität und Bearbeitungstiefe ähnlich niedrige Regenwurmbundanzen und -biomasse aufweisen (LTZ 2017 mit Hinweis auf weitere Quellen). Entscheidend ist, dass nicht nur die Wohnröhren der Art weitestgehend erhalten bleiben, sondern auch organisches Material – wie z. B. Ernterückstände – als Nahrung an der Bodenoberfläche (Walter et al. 2015). Die Häufigkeit der Bodenbearbeitung spielt ebenfalls eine Rolle (Bertrand et al 2015). Dekemati et al. (2012), Eriksen-Hamel et al. (2009) und Fox et al. (2017) weisen ebenfalls auf die Vorteile von Pflugverzicht für Regenwürmer hin. Es profitieren insbesondere anezische, aber auch epigäische Arten (Briones & Schmidt 2017). Auch gelegentlicher anstatt routinemäßiger Pflugeinsatz geht laut Moos et al. (2016) mit erhöhter Regenwurmbiomasse einher. Pfluglose Bodenbearbeitung (z. B. Strip-Till Verfahren in Reihenkulturen) ist in trockenen Gebieten auch zum Erhalt der Bodenfeuchte günstig, und davon profitieren auch endogäische Arten⁴³. Ein erhöhter Glyphosateinsatz im

⁴³ Siehe Vortrag Roswitha Walter, 14.11. 2017 Kulturlandschaftstag Freising

Zusammenhang mit Direktsaat könnte nachteilig auf die Regenwurmfauna wirken (siehe Gefährdungsursache Pestizide). Ein Review von Briones & Schmidt (2017) fand jedoch keine Beeinträchtigung der positiven Wirkung von reduzierter Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflug auf *Lumbricus terrestris* durch Glyphosat (ähnlich auch Ergebnisse von Laborversuchen von Nuutinen et al. 2020).

Eine **Injektionsdüngung**, auch mit flüssigem Mineraldünger ist ein geringer zusätzlicher Eingriff in den Boden (5-10 cm Tiefe). I.d.R. benötigt diese Düngung jedoch nur eine einmalige Überfahrt, während festem Mineraldünger ansonsten häufig mindestens dreimal in der Vegetationsperiode aufgebracht werden muss. In der Literatur wurden keine Hinweise für Wirkungen auf Regenwürmer in Bezug zu Injektionsdüngung gefunden.

Techniken, die den Pestizideinsatz verringern⁴⁴, verringern potenziell auch die Belastung des Ackerbodens und angrenzender Habitate (z. B. Feldränder, Gewässer) mit Pestiziden. Durch teilflächenspezifische Applikation besteht ein Reduktionspotential von Herbiziden und Fungiziden von rund 25 %; bei Bandspritzung von rund 60 % (HFFA-Research 2022). In Lieder & Schröter-Schlaack (2021) finden sich diverse Beispiele zu einer deutlichen Verminderung des Herbizidverbrauchs durch smart farming (site-specific weed control) sowie zur Einsparung von Insektiziden. Eine Verringerung der Pestizidbelastung des Bodens schont daher die Regenwurmpopulation (siehe Gefährdungsursache Pestizide). Literatur speziell zu diesen konkreten modernisierten Techniken und Regenwürmern wurde nicht gefunden.

Sprüh-Drohnen ermöglichen Pestizideinsatz ohne Bodenkontakt, was die mechanische Bodenbearbeitung verringern kann; inwieweit sich Menge und Verteilung von Pestiziden ändern, konnte nicht eruiert werden; bisher sind Sprüh-Drohnen nur für Steillagenweinbau zugelassen, also für den Ackerbau (noch) nicht relevant.

Mechanische Verfahren zur Unkrautbekämpfung, wie (Präzisions-)hacken, Striegel, Fräse oder die Kopplung chemischer und mechanischer Verfahren ersetzen oder reduzieren den Herbizideinsatz. Eine daraus resultierende geringere Herbizidbelastung des Bodens kann für Regenwürmer als positiv gewertet werden. Eine zusätzliche Bodenbearbeitung ist andererseits ein Eingriff in den Boden und kann je nach Intensität die Regenwurmfauna beeinträchtigen. Einsatzhäufigkeit und -zeitpunkt mechanischer Verfahren sind abhängig von der jeweiligen Kultur. Schnell rotierende Geräte wie Fräsen können je nach Einsatzzeitpunkt zu hohen Regenwurmverlusten führen (Pfißner & Luka 2007). Standardwerkzeuge zur mechanischen Unkrautkontrolle sind allerdings Striegel und Hacken, die den Boden nur oberflächlich bearbeiten. Literaturhinweise auf eine eventuelle negative Wirkung auf Regenwürmer wurden für diese Geräte nicht gefunden. Interessant vor diesem Hintergrund ist aktuell ein Vorhaben zur Entwicklung eines neuartigen Gerätesystems zur ultraflachen Stoppel- und Bodenbearbeitung. Im Vergleich zu sonst üblicherweise eingesetzten Geräten wie Grubber, Kurzscheibenegge oder Strohstriegel arbeitet der sogenannte „Grinder“ durch sein geringeres Gewicht und die angestrebte Bearbeitungstiefe von maximal 2 cm bodenschonend und

⁴⁴ Digitalisierung/Präzisionspflanzenschutz im Zusammenhang mit chemischen/integrierten Verfahren: Teilflächenbehandlung, Spot farming, Bandspritzung, Einzeldüsensteuerung, Abdriftreduzierende Düsen, Steigerung der Präzision durch Teilbreiten und Einzeldüsensteuerung.

energieeffizient; zudem werden Pflanzenreste nur sehr oberflächlich in den Boden eingearbeitet und bleiben so insbesondere für den Tauwurm gut erreichbar⁴⁵.

Electro-weeding ist ebenfalls eine Alternative zum Herbizideinsatz. Ein negativer Einfluss auf Regenwürmer durch die elektrische Spannung ist vermutlich gering. Während der direkte Kontakt mit den Applikatoren für Regenwürmer wohl tödlich ist, ist bisher kein negativer Effekt auf sich im Boden befindliche Regenwürmer erkennbar⁴⁶.

Nicht bewertet wurden modernisierte Agrartechniken zur **Bewässerung**. Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen kann sich in trockenen Monaten positiv auf die Regenwurmabundanz auswirken (Fraser et al. 2012; Euteneuer et al. 2020; Manono et al. 2016). An diesen eher positiven Auswirkungen von Bewässerung an sich aufgrund höherer Bodenfeuchte ändern modernisierte Techniken grundsätzlich nichts und negative Auswirkungen sind nicht ersichtlich. Informationen zu Auswirkungen modernisierter Technik auf Regenwürmer wurden nicht gefunden.

Auf Anbauverfahren wie Intercropping, welche durch neue Technik wie Multi-Saatgut-Geräte, Feldroboter oder Robotik besser verwirklicht werden können und die auch positive Auswirkungen auf die Regenwurmfauna haben können, wurde bereits bei den Feldvögeln verwiesen.

Insgesamt besteht durch die aufgelisteten modernisierten Techniken ein Potenzial, Belastungen für Regenwürmer im Zuge des Ackerbaus zu verringern. Chancen bestehen dabei v.a. durch eine verringerte Bodenbelastung (durch reduzierte Bodenbearbeitung und ein verringertes Verdichtungsrisiko) sowie eine geringere oder gezieltere Verwendung von Pestiziden. Schwerere Maschinen andererseits erhöhen das Risiko von Bodenverdichtungen.

Die Regenwurmfauna wird auch beeinflusst durch die Verfügbarkeit von Nahrung. Abgesehen von den bewerteten technischen Ansätzen sind daher Managemententscheidungen wie eine humusmehrende Fruchtfolge, das Verbleiben von ausreichend pflanzlicher Substanz an der Bodenoberfläche und organische Düngung förderlich für den Regenwurmbestand auf Ackerflächen sowie den Bodenschutz und die Bodenfruchtbarkeit generell.

Kenntnislücken sowie Forschungs- und Handlungsbedarf

Literatur in Bezug zu Regenwürmern und Wirkungen von Bodenbearbeitung (insbesondere Pflugeinsatz versus reduzierte Bodenbearbeitung und Direktsaat) ist vorhanden, ebenfalls Informationen zu Bodenverdichtung generell und – in geringerem Maß – zu Wirkungen von Bodenverdichtung auf Regenwürmer. Ebenfalls wurden Publikationen gefunden, die sich mit Auswirkungen von CTF auf Bodenparameter befassen. Dass ein Ersatz von schweren Maschinen durch leichtere Roboter grundsätzlich zur Bodenschonung führt, daraus konnte indirekt auf eher positive Wirkungen für Bodenbewohner geschlossen werden. Wie konkrete modernisierte Techniken zur Bodenbearbeitung, abseits von Direktsaat, Strip till oder CTF, und zur Ernte eingesetzt werden und auf die Regenwurmfauna wirken, dazu fehlte Literatur. Dass eine bodenschonende Bewirtschaftungsweise (insbesondere eine Reduktion des Pflugeinsatzes, aber auch eine Minimierung der mechanischen Bodenbelastung) sowie ein Management, bei

⁴⁵ „Entwicklung eines innovativen Bodenbearbeitungs-Gerätesystems zur energiesparenden Strohconditionierung und ultraflachen Bodenbearbeitung“ (Grinder); https://www.th-koeln.de/hochschule/neuartiges-system-fuer-nachhaltigen-ackerbau_91950.php

⁴⁶ siehe <https://www.br.de/nachrichten/bayern/unkraut-mit-strom-bekaempfen-ersatz-fuer-pestizide,Sb3HwZu>

dem ausreichend Pflanzenreste auf der Bodenoberfläche verbleiben, für die Regenwurmfauna (und dabei insbesondere die anezischen Arten) vorteilhaft ist, ist aber Stand des Wissens.

Inwieweit modernisierte Techniken Pestizidkonzentrationen im Lebensraum von Regenwürmern verringern, konnte ebenfalls nicht direkt der Literatur entnommen werden. Es gibt wenige Hinweise zur prozentualen Reduktion von Pestiziden durch „smarte“ Techniken; inwieweit sich aufgrund dieser Techniken negative Wirkungen auf Regenwürmer verringern, dazu haben wir keine konkreten Untersuchungen gefunden.

Während die Effektivität verschiedener Techniken zur mechanischen Unkrautbekämpfung dokumentiert ist, besteht u.E. noch Forschungsbedarf zur Wirkung von mechanischer Unkrautbekämpfung auf Bodenlebewesen. Ein aktuelles Projekt⁴⁷ widmet sich der Frage, welche Risiken ggf. für Regenwürmer durch den Einsatz von Hackgeräten im Zuckerrübenanbau bestehen.

5.2.6 Laufkäfer

Zusammenfassung Literatur- und Internetrecherche „Laufkäfer“

Recherchierte Artikel: 4.994

Analysierte Artikel (potentiell relevant): 244

Identifizierte Artikel mit Relevanz: 39

Identifizierte Forschungsprojekte: 6

Gefährdungsursachen

Nach der Roten Liste Deutschland (Schmidt et al. 2016) gibt es 582 Laufkäferarten in Deutschland. 35 % der Laufkäferarten mit einem Haupt- oder Schwerpunktverkommen in der Agrarlandschaft deutschlandweit weisen einen negativen langfristigen Bestandstrend auf (LfL 2019). Nur 43 % aller Laufkäferarten gelten derzeit noch als ungefährdet (Schmidt et al. 2016, Rote Liste Deutschland).

Gefährdete Arten sind insbesondere Laufkäfer des mageren Offenlandes, sowie Sand- und Magerrasen (Vertreter der Gattung *Amara*, *Harpalus*, *Cyminidis* u.a.), der Heiden und nassen Habitats wie Ufer, Auen, Sümpfe und Moore. Auf der bayerischen Roten Liste der Laufkäfer sind 217 Arten (>45,8 %) mindestens als gefährdet eingestuft (Lorenz 2003). Etwa 50 davon sind typische Arten der Agrarlandschaft (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL 2019).

Thüringen führt beispielsweise in seiner Roten Liste folgende Gefährdungsursachen für die Laufkäferfauna in diesem Bundesland auf: Intensive Landwirtschaft mit Einsatz von Bioziden und Düngemitteln, Verlust von Randstrukturen, fehlende Vernetzung der Biotope, Versiegelung der Landschaft (insbesondere Wegebau in Land- und Forstwirtschaft, Verkehrsbauten), Vernichtung von Rohbodenaufschlüssen und Brachen (Verfüllung, Vergüllung), überregulierte

⁴⁷ Eva Herb: Standortspezifische Risikobewertung von Verfahren mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen als Baustein eines nachhaltigen Pflanzenschutzes (vgl. Anhang IV).

Fluss-Systeme (Talsperrenbauten, Eindämmungen), Aufrechterhaltung von Meliorationen, Auflassung extensiv genutzter Flächen (Schafhaltungen, magere Wiesen), Auflassung und Freigabe militärischer Übungsgelände, Überdüngung nährstoffarmer Biotope, auch durch wachsende Abgasmenge („Luftdüngung“), Übernutzung der Landschaft durch kommerzialisierten Freizeittourismus (Hartmann 2011).

Die Gefährdungsstufen der von Expert*innenseite vorgeschlagenen Arten und der vorgeschlagenen Artengruppen sind folgende:

- ✓ *Carabus cancellatus cancellatus* (Illiger, 1798); Vorwarnliste
- ✓ *Carabus cancellatus fusus* (Palliard, 1829); Gefährdet
- ✓ *Carabus violaceus purpurascens* (Fabricius, 1787); Ungefährdet
- ✓ *Ophonus ruficornis* (Sturm, 1818); Vorwarnliste
- ✓ *Brachinus crepitans* (Linnaeus, 1758); Vorwarnliste
- ✓ *Brachinus expulso* (Duftschmid, 1812); Vorwarnliste
- ✓ *Amara* (Kanalkäfer)-Arten; unterschiedliche Gefährdungsstufen von Ungefährdet bis Ausgestorben bzw. Verschollen (*A. hadoiri incognita* Fassati, 1946)
- ✓ *Harpalus* (Schnellläufer)-Arten; unterschiedliche Gefährdungsstufen von Ungefährdet bis Vom Aussterben bedroht (*H. caspeus* Steven, 1806 und *H. polites* (Dejean, 1829)).

Relevante Agrartechniken

➤ Bodenbearbeitung

Der Anteil an verfügbarer Nahrung ist für das Vorkommen der Laufkäfer von Bedeutung, so werden besonders große *Carabus*-Arten durch konservierende, extensive Bodenbearbeitung und damit einhergehender Vermehrung von anderen Bodenlebewesen (Regenwürmer, Schnecken, Springschwänzen usw.) gefördert; die Bodenruhe begünstigt zudem die Larven. Es werden Abundanz und Aktivität der Laufkäfer durch Verzicht auf Bodenbearbeitung gefördert, die Diversität ändert sich dadurch nicht (Lalonde et al. 2012, Kosewska 2016). Auch die Direktsaat fördert vorwiegend große Laufkäfer (Genus *Carabus*) (Burmeister et al. 2016). Streifenfrässaat, bei der nur Streifen für die Aussaat gelockert werden zeigen gegenüber bodenwendenden Methoden nur geringen Einfluss auf generalistische Prädatoren (Schütz et al. 2020). Die Zusammensetzung der Laufkäfergemeinschaften ist daher entscheidend für ihre Ökosystemfunktion der biologischen Schädlingsbekämpfung (Jowett et al. 2020).

Das bodenwendende Umpflügen reduziert die Abundanz von Laufkäfern und erhöhte die Aktivität von mittelgroßen Zoophagen und Frühlingsbrütern (Kosewska et al. 2014). Der Einsatz des Striegels kann bereits zu einer Mortalität von 51 % der Laufkäfer führen (Thorbeck & Bilde 2004 zitiert in Schütz et al. 2020). Das Hacken von Beikräutern führte zu höheren Verlusten von Laufkäfern im biologischen Anbau gegenüber dem integrierten Anbau (Sivcev et al. 2018). Bei der Laufkäferart *Pterostichus melanarius* führte das Beikrauthacken zu 90% Verlusten bei den Laufkäferiern in den oberen 5 cm Bodenschicht, sowie zu jeweils 10% Verlusten bei Larven, Puppen in 20-30 cm Bodentiefe sowie Adulten in der oberen Bodenschicht bis 15 cm Tiefe (Legrand et al. 2011). Es gibt typische Arten, die auch in gepflügten Ackerflächen häufiger zu finden sind. Die Laufkäfergemeinschaften intensiv bearbeiteter Äcker sind von kleinen

Laufkäferarten dominiert (Eyre et al. 2012, 2016). Die Laufkäfergemeinschaften, die von kleinen Prädatoren dominiert werden, erhöhen die Samenreduktion der Beikräuter (Lami et al. 2020). Ob die Gesamtzahl oder die Diversität der Laufkäfer durch den Wechsel von wendender Bodenbearbeitung auf konservierende Bodenbearbeitung steigt und welche Funktionen sie im Anbausystem einnehmen können, ist sowohl taxon- als auch standortabhängig, z. B. von der Bodenart. Zahlreiche Studien zum Einfluss der Bodenbearbeitung und der Standorte auf verschiedene Laufkäferarten kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Striegeln von 8 cm Bodentiefe kann eine Mortalität von 51 % der Laufkäfer bedingen, allerdings kommen Studien zum Einfluss von Bodenbearbeitung zu widersprüchlichen Ergebnissen (Zunahme, Abnahme, keine Veränderung). Unterschiedliche Arten scheinen Präferenzen für verschiedene Methoden der Bodenbearbeitung zu haben (Schütz et al. 2020). Prädatoren-Carabus Arten zeigten sich in bodenkonservierenden Äckern als effektive Gegenspieler von Schnecken und bodenaktiven Larven (Boscutti et al. 2015, Schütz et al. 2020, Jacobsen et al. 2022). Die Artzusammensetzung der Laufkäfergilden wird durch die Anzahl und Intensität der Bodenstörung und der perennen Beikrautdichte bestimmt (Gareau et al. 2020). Je mehr Beikräuter, desto stärker nehmen die Prädatoren ab. Depalo et al. (2020) untersuchten unterschiedliche Methoden der Beikrautunterdrückung/des Schröpfungsschnitts der Deckfrucht vor der Kulturansaat auf Laufkäfer. Hierbei zeigte sich, dass ein Walzen durch einen „roller crimper“ sich günstiger auf die Laufkäfer auswirkte, als die Einarbeitung der Deckfrucht mit einer Scheibenegge. Der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte haben deutliche Auswirkungen auf die Laufkäfer (Gasparic et al. 2017). Speziell die späten Larvenstadien der Herbstbrüter sind besonders von der Bodenbearbeitung betroffen, also die Bodenbereitung für Wintersaaten. Laufkäferarten mit mehreren Brutzyklen pro Jahr und solche, die im Frühjahr mit ihrer Brutphase beginnen sind davon weniger betroffen (Schütz et al. 2020).

➤ **Teilflächen-/ortsspezifische variable Bodenbearbeitung**

Wildblumenstreifen zwischen Maisstreifen erhöhten die Laufkäfer deutlich um das 2-3fache (von Redwitz et al. 2019). Ob das an den Pflanzen oder an der Bodenbearbeitung lag, lässt sich aus der Studie nicht ableiten.

➤ **Mulchen**

Mulchen von organischer Substanz zwecks Unterdrückung der Beikräuter wirkt sich auch negativ auf Arthropoden (Krebse, Spinnen, Tausendfüßer und Insekten) im Allgemeinen aus. Es wird daher zur Schädlingsbekämpfung gegen überwinterte Schädlinge eingesetzt (Schütz et al. 2020). Burmeister et al. 2016 dagegen fanden in einem Versuch in einer Mulchsaatfläche die meisten Laufkäfer-Arten und Gattungen im Vergleich zu Direktsaat und Pflugbearbeitung. Solche Direktsaatverfahren haben Vorteile insbesondere durch ein Unterlassen der Bodenbearbeitung. Im konventionellen Anbau gehen sie allerdings mit zusätzlicher Gefährdung durch hohen chemischen Pflanzenschutzgaben einher.

➤ **Anbaupflanzen**

Der Artenreichtum der Laufkäfer wird am stärksten von der Anbaufrucht aber auch der Vorfrucht beeinflusst (Bertrand et al. 2016). Auch Untersaaten sowie Begleitpflanzen scheinen sich positiv auszuwirken (von Redwitz et al. 2019, Carabajal-Capitan et al. 2021).

➤ **Ökolandbau**

Da eine Ausweitung des Ökolandbaus eine Zielsetzung für die Zukunft ist, wird das häufige Hacken zur Beikrautreduzierung im Ökolandbau zukünftig ein Problem für die Erhaltung der Laufkäfer darstellen. Andererseits bieten sie den Vorteil, dass keine chemischen Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden. Allerdings müssten auch die im Ökolandbau zugelassenen Pflanzenschutzmaßnahmen untersucht werden. Laufkäfer sind überwiegend Nützlinge, die zur biologischen Schädlings- und Beikrautreduzierung eingesetzt werden könnten. Im Ökolandbau könnte die Förderung von Laufkäfern möglicherweise auch den Einsatz mechanischer Beikrautregulierung reduzieren helfen. Hierzu besteht dringender Forschungsbedarf (Hinweise dazu ergeben sich aus: Legrand et al. 2010, Kosewska et al. 2016, Naventoft et al. 2016, Sivcev et al. 2018). Weil für Laufkäfer eine Bodenbearbeitung von 8 cm Bodentiefe zur Zeit des Larvenstadiums, und das kann von Frühjahr bis Herbst in Abhängigkeit der Art zutreffen, bereits eine letale Störung darstellt, sind alle konservierenden Bodenbearbeitungstechniken unter 8 cm Bodentiefe nützlich und ein Verzicht auf Bodenbearbeitung wünschenswert. Das gilt insbesondere für die gefährdeten großen Carabidenarten, die Flächen langsamer wieder neubesiedeln (Hinweise dazu aus: Eyre et al. 2012 & 2016, Burmeister et al. 2016a, Kosewska et al. 2014, Schütz et al. 2020, Lami et al. 2020, Jacobsen et al. 2020). Der Zeitpunkt und die Häufigkeit des Beikrauthackens im Ökolandbau sollte optimiert werden. So gibt es Hinweise, dass spätes Hacken keine positiven Auswirkungen mehr auf den Ernteertrag hat (Navntoft et al. 2016).

➤ **Modernisierte Landtechniken**

Von den modernisierten Landtechniken bedeutet insbesondere die Roboter Schwarmtechnologie eine konstante Störung des Bodens, die sich für die Abundanz und Diversität der Laufkäfer negativ auswirken würde. Diese soll zukünftig insbesondere für die mechanische Bekämpfung der Beikräuter durch konstantes Hacken eingesetzt werden, insbesondere im Ökolandbau, wo es teure Arbeitskräfte ersetzt. So würden die natürlichen Prädatoren dauerhaft unterdrückt werden (Hinweise dazu aus: Eyre et al. 2012 & 2016, Kosewska et al. 2014, Naventoft et al. 2016, Schütz et al. 2020, Lami et al. 2020, Jacobsen et al. 2020). Durch diese Unterdrückung der Prädatoren werden sich vermutlich Schädlinge wie Schnecken weiter ausbreiten.

Eine Reduzierung von Bodenbearbeitung auf Teilflächen würde sich hingegen positiv auswirken, denn die Laufkäfer könnten diese Flächen nach der Bearbeitung schneller neu besiedeln.

Modernisierte Düngungsmethoden, wie Injektions-, Schlitz- oder Schleppschuhverfahren wie auch Bodenbearbeitung durch Wühlmauspflug, Striegel, Hacke und Fräse stellen durch ihre Bodenstörung eine potentielle Gefährdung insbesondere der großen Prädatoren dar.

Feuchtigkeit bzw. Staunässe spielt eine bedeutende Rolle für die Diversität der Laufkäferarten, da es viele Laufkäferarten gibt, die auf Feuchtigkeit angewiesen sind (Gasparic et al. 2017; Churco et al. 2021). Insofern dürfte auch eine zunehmende Bewässerung von Ackerkulturen für die Vielfalt der Laufkäfer von Bedeutung sein. Darauf deutet auch eine Studie aus Ägypten hin (Norfolk et al. 2013), die höhere Laufkäferdiversität innerhalb von mit Regenwasser bewässerten Gärten feststellten. Allerdings dürfte sich im konventionellen Anbau wie auch bei den Bienen in besonderem Umfang die Mobilisierung von Pflanzenschutzmitteln durch die Bewässerung auswirken. Sie könnte auch zu einer Artverschiebung in der Ackerkäfergemeinschaft führen. Unterirdische Bewässerung stellt, wie alle übrigen Eingriffe in den Boden ebenfalls eine potentiell negative Wirkung dar. So wie das 'Root Zone Drying' zur "Dressur" von Pflanzen, um diese zu tieferen Wurzeln anzuregen, welches dabei für Laufkäfer und deren Larven eine Gefährdung darstellen könnte, da diese empfindlich auf Austrocknung reagieren.

Kenntnislücken sowie Forschungs- und Handlungsbedarf

- „Beetle Banks“ werden noch (zu) wenig eingesetzt (Schütz et al. 2020). Ein wesentlicher Grund dafür wird im Fehlen von Berechnungen zum finanziellen Nutzen gesehen, die Beetle Banks zur Beikrautreduzierung und Schädlingskontrolle leisten. Daher besteht Bedarf zu interdisziplinärer Forschung des ökologisch-ökonomischen Potentials dieser Rückzugsfläche für Laufkäfer.
- Die Auswirkung von Stickstoffdüngung auf die Bestandsdichte von Arthropoden ist nicht im Detail untersucht. Forschungsbedarf besteht zudem zu den Auswirkungen durch unterschiedliche Aussaatdichten. Diese sind zu erwarten, wurden aber noch nicht belegt (Schütz et al. 2020).
- Untersaat scheint die Laufkäferfauna zu begünstigen. Dies müsste aber noch verifiziert werden (Carabajal-Capitan et al. 2021). Wichtig bei Messungen der Laufkäferprädatoren ist auch die Berücksichtigung unterirdischer Fallen (Jowett et al. 2020), denn nur durch sie wurden in einer Studie die höchsten Individuenzahlen in einem Gerstenfeld mit Grasuntersaat gefunden.
- Zu den Auswirkungen der immer schwerer werdenden Traktoren und Kettenlaufwerke fehlen bisher jegliche Untersuchungen. Auch zu Bodenverdichtung gibt es bisher keine Hinweise.

Als **Handlungsempfehlungen** kann die Erhaltung von an Ackerflächen angrenzende Landschaftselemente, wie z.B. Hecken, Waldränder, Brachen und Blühflächen sowie Feuchtlebensräume gelten. Denn diese Flächen werden von Laufkäfern als Rückzugsräume genutzt. Die Äcker können von hier aus nach der Bodenbearbeitung oder dem Einsatz von Insektiziden wieder besiedelt werden (Tscharnke et al. 2007; Knapp & Rezac 2015). Blühflächen, Brachen und Waldflächen an den Rändern von Rapsflächen erhöhen die Präsenz zoophager Laufkäfer-Prädatoren, bei gleichzeitiger Reduzierung granivorer und frutivorer Laufkäfer. Auch zeigte sich, dass je kürzer die Distanz der Landschaftselemente zu den Ackerrändern je effektiver der biologische Pflanzenschutz (Bötzel et al. 2019).

Das Wissen um das optimale Zeitmanagement für die Bearbeitung von Blühstreifen für Laufkäfer stellt eine Wissenslücke dar und empfehlen wir daher zu untersuchen – hierbei schließen wir an Bedarfe an, die auch von Dritten gesehen werden (z.B. Ng et al. 2018). Eine Studie von Chaudron et al. (2020), die nicht zwischen verschiedenen Laufkäfergruppen differenziert, konnte keine Erhöhung der Laufkäferzahlen insgesamt durch Blühstreifen ermitteln. Die Artenvielfalt der Laufkäfer wird durch Waldränder in der Nähe von Äckern erhöht (Knapp et al. 2019). Auch Begleitvegetation wirkt sich positiv aus. Wildblumenstreifen zwischen Maisstreifen beispielsweise erhöhten deutlich die Laufkäfer um das 2-3fache (von Redwitz et al. 2019).

Auch der Verzicht auf Bodenbearbeitung und chemische Pflanzenschutzmaßnahmen wirken förderlich (Lalonde et al. 2012, Jacobsen et al. 2022).

6 Potentielle Vermeidungsmaßnahmen und Gesamtbewertung

Mit dem Ziel, zum einen die Auswirkungen der modernisierten Agrartechniken auf ausgewählte Arten(-gruppen) zu bewerten und zum anderen potentielle Vermeidungsmaßnahmen zu negativ wirkenden Agrartechniken zu entwickeln, wurde je Art bzw. Artengruppe eine Synthese-Tabelle erarbeitet (Tab. 23). Die Grundgliederung, d.h. die Zuordnung und Bewertung der modernisierten Agrartechniken folgt auch hier den jeweiligen Bodenbearbeitungsschritten (übergeordnet; Saatbeetbereitung etc.). Die aus Artenschutz-Sicht relevanten Aspekte, die durch den Einsatz der Agrartechniken beeinflusst werden können, bieten zusammen mit den bekannten Gefährdungsursachen der jeweils betrachteten Art(-engruppen) die Grundlage für die Ableitung potentieller Vermeidungsmaßnahmen: z. B. Habitatansprüche, Aktivitätszeiten, Aktionsradius etc.

Auf Basis von potentiellen Vermeidungsmaßnahmen, die darauf zielen, die anzunehmenden negativen Auswirkungen aufgrund des zeitlichen Einsatzes oder der Kombination mit anderen Agrartechniken zu verringern, wird die Anwendbarkeit für die Praxis bewertet. Diese Evaluierung der Vermeidungsmaßnahmen erfolgt in Bezug auf Realisierbarkeit, Aufwand und Risiken für die Umsetzung und basiert auf Erfahrungen und Kenntnissen insbesondere von Seiten der Agrartechnik-Expert*innen des Projektkonsortiums. Die daraus abgeleiteten Empfehlungen, die sich teilweise mit den Vermeidungsmaßnahmen decken, basieren sowohl auf den Literaturfunden als auch dem mündlich übermittelten auf Expert*innenwissen und umfassen nicht nur Hinweise zu alternativen Techniken und Bewirtschaftungsformen. Vielmehr werden auch Potenziale modernisierter Agrartechniken ergänzt, die im Kontext der Vermeidungsmaßnahmen ebenfalls relevant sein können. Darüber hinaus werden Hinweise auf Forschungsbedarfe ergänzt. Die nachfolgenden Übersichtstabellen stellen daher art- bzw. artengruppenspezifische Maßnahmenkataloge dar, in denen ebenfalls auf mögliche Synergien und Risiken im Zusammenhang mit weiteren Schutzzielen und Maßnahmen hingewiesen wird.

Tab. 23: Übersicht der Rechercheergebnisse zu den ausgewählten Arten(-gruppen) sowie Ableitung von potentiellen Vermeidungsmaßnahmen mit einer Evaluation aus Sicht der Landwirtschaftspraxis. Ergänzt werden Hinweise auf Synergien bzw. Konflikte mit anderen Schutzzielen oder Maßnahmen.

Feldhamster						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldhamster	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
Bearbeitungsschritt: übergeordnet	<u>Zeitkriterium:</u> Aktiv ab April/Mai bis Ende Oktober/Mitte November (danach Winterschlaf)	Einsatz von Technik zur Bearbeitung von Ackerflächen: stellen potentielle Störung und Gefährdung für Feldhamster dar	Bearbeitungsschritte auf Acker zwischen April und November nach Möglichkeit reduzieren	s. Vermeidungsmaßnahme	<u>Aufwand:</u> gering, Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung <u>Risiko:</u> gering <u>Umsetzbarkeit:</u> Bodenbearbeitung und Aussaat abhängig von Witterung vor April/Mai und auch nach Oktober prinzipiell möglich. Andere notwendige Bearbeitungsschritte (Düngung, Pflege und Ernte) bei Fokussierung auf herkömmliche Erträge jedoch nicht. Umsetzbarkeit hängt direkt von finanziellem Ausgleich ab	<u>Synergien:</u> mit Feldvögeln: frühe Bodenbearbeitung vor Brutzeit vermindert Zerstörung von Nestern
	<u>Zeitkriterium:</u> Ende Mai/Anfang Juni werden Junge geboren	<u>Fahrerassistenzsysteme</u> (automatische Spurführung), optimierte Beleuchtung, autonome Feldroboter (AFR): ermöglichen Bearbeitungsschritte bei Nacht. Gefahr der Störung während Aktivitätsphase (nachts) möglicherweise durch Lärm, Lichtverschmutzung und potentielles Verletzungs- oder Tötungsrisiko des Hamsternachwuchses. AFR kann durch langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit und nächtlichem Einsatz Risiken noch erhöhen.	Während der Jungenaufzucht (Juni) nächtliche Befahrung/Bearbeitungsschritte vermeiden	Nicht vermeidbare Bodenbearbeitung in dieser Zeit nur oberflächlich (<20 cm Tiefe) durchführen. Potenzial AFR: häufig 100% elektrisch und daher möglicherweise geringerer Lärm, arbeiten mit Infrarot-Sensoren	<u>Aufwand:</u> Bei frühräumenden Kulturen und Zwischenfrüchten können auch im Juni Bodenbearbeitungsschritte anfallen, sonst zu dieser Zeit typischerweise Pflanzenschutzmaßnahmen und Bewässerung (siehe unten); Erhöhung erforderlicher Anzahl autonomer Feldroboter bei Begrenzung auf Arbeit bei Tageslicht, dadurch Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) erforderlich oder höhere Kosten bei Beauftragung eines Lohnunternehmens <u>Risiko:</u> Dringliche Bearbeitungsschritte können bei Vermeidung nächtlicher Bearbeitung möglicherweise nicht schnell genug abgeschlossen werden, damit ggf. z. B. Gefahr einer Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten/Schädlingen/Pilzbefall <u>Umsetzbarkeit:</u> Problematisch bei kleineren, langsamer arbeitenden autonomen Feldrobotern, die dies durch Nachtarbeit ausgleichen	<u>Synergien:</u> mit Feldvögeln: frühe Bodenbearbeitung vor Brutzeit vermindert Zerstörung von Nestern

Feldhamster (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldhamster	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
Bearbeitungsschritt: übergeordnet	<u>Zeitkriterium:</u> Dämmungs- u. nachtaktiv, braucht ungestörte Dunkelheit	<u>Fahrerassistenzsysteme</u> (automatische Spurführung), optimierte Beleuchtung, AFR: ermöglichen Bearbeitungsschritte bei Nacht. AFR kann durch langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit und nächtlichem Einsatz Risiken noch erhöhen. Bearbeitung bei Nacht erhöht Gefahr der Störung während Aktivitätsphase (nachts) möglicherweise durch Lärm, Lichtverschmutzung und potentiell Verletzungs- oder Tötungsrisiko des Hamsternachwuchses	Nächtliche Störung vermeiden	<u>Maschinen-Fahrgeschwindigkeit/Lichtemission:</u> Nachts langsamere Fahrgeschwindigkeiten einhalten, nur einzelne (kleine) Maschinen, keine Schwarmtechnologie, bei Einsatz Lichtemission reduzieren. <u>Potenzial AFR:</u> keine Lichtemission im Gegensatz zu modernisierten Traktoren mit automatischer Spurführung und optimierter Beleuchtung, die ebenfalls nachts eingesetzt werden; Forschungsbedarf: Gibt es Farbtemperaturen/Sensoren/Emissionen, die den Hamster stören? Gefährdungsanalyse und Monitoring bei nächtlichem Einsatz langsamer autonomer (infrarotgesteuerter) Roboter	<u>Aufwand:</u> Erhöhung erforderlicher Anzahl von AFR bei Begrenzung auf Arbeit bei Tageslicht, dadurch Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) erforderlich oder höhere Kosten bei Beauftragung eines Lohnunternehmens Risiko: Dringliche Bearbeitungsschritte können nicht schnell genug abgeschlossen werden, damit z. B. Gefahr einer Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten/Schädlingen/Pilzbefall, dies kann den Bedarf an mechanischen oder chemischen Pflanzenschutz erhöhen <u>Umsetzbarkeit:</u> Problematisch bei kleineren, langsamer arbeitenden autonomen Feldrobotern, die dies durch Nachtarbeit ausgleichen	<u>Synergien:</u> mit Feldvögeln: frühe Bodenbearbeitung vor Brutzeit vermindert Zerstörung von Nestern
	<u>Standort:</u> hohe Standorttreue, Bewegungsradius von wenigen 100m in nicht-abgeernteten Feldern; großräumigere Feldnutzung z.B. nach Ernte (vgl. Petermann, mdl. Mitt. 2022)	Fruchtfolgenwahl/Schläge ergeben keine spezifischen Risiken in Verbindung mit modernisierter Agrartechnik, jedoch wurde eine grundsätzliche Gefährdung zur genetischen Verarmung (aufgrund isolierter Populationen etc.) festgestellt, die zu einem geringeren Fortpflanzungserfolg führen kann (vgl. Nachweis Niederlande ⁴⁸)	Bzgl. der Standorttreue die potentiellen Risiken modernisierter Agrartechniken durch den bevorzugten Einsatz von Precision Farming Systeme (PFS) verringern	<u>Precision Farming Systeme:</u> Potenzial, Koordinaten der Hamsterbaue in Kartierung zu integrieren und so gezieltes Auslassen eines umliegenden Bereichs in allen Bearbeitungsschritten; Forschungsbedarf: (Automatisierte) Detektion und Kartierung der Hamsterbaue	<u>Aufwand:</u> Anschaffungs- und Wartungskosten (Precision Farming Systeme), geschultes Personal (Planen/Programmieren der Bearbeitungsschritte), Opportunitätskosten gegenüber produktiver Nutzung Risiko: verminderter Ertrag <u>Umsetzbarkeit:</u> Hoher Aufwand, dennoch bei entsprechenden Precision Farming Systemen und geschultem Personal möglich	<u>Synergien:</u> mit Feldvögeln
Fruchtfolgenwahl, Schläge						

⁴⁸ <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2012.02277.x> Genetic rescue and the increase of litter size in the recovery breeding program of the common hamster (*Cricetus cricetus*)

Feldhamster (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken für Feldhamster	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Fruchtfolgenwahl, Schläge	<u>Nahrung:</u> <u>Fruchtfolgen, begünstigende Kulturen:</u> Getreide, Körnerleguminosen-Äcker; struktur- und artenreiche Ackerlandschaften mit tiefgründigen, nicht zu feuchten Löss- und Lehmböden und tiefem Grundwasserspiegel (> 120 cm); <u>Fruchtfolgen, ungünstige Kulturen:</u> Mais, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben, Sonderkulturen unter Folie (Gemüseanbau)	<u>Trend zu großen Maschinen, z. B. Portaltraktoren:</u> führt zu Vergrößerung der Schläge, Anbau gleicher Kultur auf großer Fläche verringerter Nahrungsgrundlage für Feldhamster	Erhöhtes Risiko durch artspezifisch angepasste Bearbeitung vermeiden	Bei Feldhamster-Vorkommen Bewirtschaftung von Schlägen entsprechend artspezifisch geeigneter Fruchtfolgenwahl, Schläge mit Getreidekultur und/oder Körnerleguminosen im Radius des Vorkommensgebietes	<u>Aufwand:</u> ggf. Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens; Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung bzw. Kultur mit höherem Deckungsbeitrag <u>Risiko:</u> verminderter Ertrag <u>Wahrscheinlichkeit</u> <u>Umsetzbarkeit:</u> wird abhängig von Förderung und finanziellen Ausgleichsmaßnahmen eingeschätzt	<u>Synergien:</u> mit Feldvögeln
	<u>Weitere Lebensraumansprüche:</u> Benötigt Deckung, die in strukturreichen, kleineren Schlägen vorhanden ist, oder Randstreifen von Feldern	<u>Trend zu großen Maschinen, z. B. Portaltraktoren:</u> führt zu Vergrößerung der Schläge, Anlegen rechteckiger Schläge. Dadurch weniger Randstreifen, topographische Elemente werden weggenommen, um Bearbeitung zu vereinfachen bzw. zu ermöglichen. Dadurch weniger Deckung für Feldhamster.	Bearbeitung mit artspezifisch angepassten Maßnahmen zur Schaffung von essentiellen Habitatrequisiten ergänzen (s. Empfehlungen)	Bearbeitung kleinerer Schläge mit unterschiedlichen Kulturen, Randstreifen, strukturreiche Ackerlandschaft (vgl. Projekt "Patch-Crop"); Strip-Till	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Kosten bei Beauftragung eines Lohnunternehmens, Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung bzw. Kultur mit höherem Deckungsbeitrag <u>Risiko:</u> verminderter Ertrag aufgrund kleinerer Flächen und mehr Randstrukturen <u>Umsetzbarkeit:</u> wird abhängig von Förderung und finanziellen Ausgleichsmaßnahmen eingeschätzt	<u>Synergien:</u> Wildbienen, Laufkäfer, Feldvögel, Amphibien (z. B. Knoblauchkröte) usw. profitieren, wenn wichtige Landschaftselemente durch Anpassung der Schläge (Form und Größe) an die örtlichen Gegebenheiten stehen gelassen werden oder eine kleinteiligere Bewirtschaftung durchgeführt wird. (Auch Synergien mit Bodenschutz und Gewässerschutz möglich)

Feldhamster (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldhamster	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
Fruchtfolgenwahl, Schläge	<u>Weitere Lebensraumansprüche:</u> Benötigt Deckung, die in strukturreichen, kleineren Schlägen vorhanden ist, oder Randstreifen von Feldern	<u>Trend zu großen Maschinen, z. B. Portaltraktoren:</u> führt zu Vergrößerung der Schläge, Anlegen rechteckiger Schläge. Dadurch weniger Randstreifen, topographische Elemente werden weggenommen, um Bearbeitung zu vereinfachen bzw. zu ermöglichen. Dadurch weniger Deckung für Feldhamster	Einsatz kleinerer automatisierter Fahrzeuge in Feldhamster-Ge-bieten	AFR: können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld land-schaftsgetreu bewirtschaften, unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente; Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein. Forschungsbedarf: Gefährdungsanalyse bei nächtlichem Einsatz langsamer autonomer (infrarotgesteuerter) Roboter	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder höhere Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten gegenüber produktiver Nutzung der Gesamtfläche <u>Risiko:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Land-wirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung	<u>Synergien:</u> bei kleineren Schlägen, s.o. (Wildbienen, Laufkäfer, Feldvögel, Amphibien (z. B. Knoblauchkröte))
	<u>Ruhe-/Fortpflanzungsstätten:</u> Baue im Sommer: 40 bis 50 cm unter der Erdoberfläche, Winter: bis zu 2 m (frostfrei), Feldhamster aktiv ab April	<u>Trend zu großen Maschinen, z. B. Portaltraktoren:</u> Bodenverdichtung aufgrund schwerer Maschinen (oder häufiger Befahrung) zerstört unterirdische Baue oder erschwert Bau neuer Systeme	Punktueller Gewichtsbelastung vermeiden	Einsatz modernisierter Techniken, die Verdichtungen vermeiden: Verwenden leichter Maschinen (z.B. AFR); Ketten- und Bandlaufwerke, moderne Reifentechnik und geringer Reifeninnendruck, gleiche Verteilung von Lasten auf Achsen, nach Möglichkeit Befahren nur bei tragfähigem Boden, Optimierung der Fahrwege (z. B. Onland-Pflug)	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder höhere Beauftragung eines Lohnunternehmens, ggf. geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse) <u>Risiko:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Land-wirt*in/Personal eingreifen. <u>Umsetzbarkeit:</u> kleine Maschinen benötigen längere Bearbeitungszeiträume, daher ist die Maßnahme in Abhängigkeit von den Einsatzvoraussetzungen zu betrachten (abh. z. B. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung)	<u>Synergien:</u> Schutz von Regenwürmern, Amphibien (z. B. Knoblauchkröte) und weiteren bodenbewohnenden Tierarten (z. B. Laufkäfer)
Bodenbearbeitung: Aussaat						

Feldhamster (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldhamster	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
Bodenbearbeitung: Aussaat	<u>Nahrung:</u> Ausreichendes Nahrungsangebot erforderlich. Ernährung hauptsächlich pflanzlich: grüne Pflanzenteile, Samen (Getreidekörner, Hülsenfrüchte) und Speicherorgane (Wurzeln, Knollen); bei Gelegenheit auch tierische Nahrung: Schnecken, Regenwürmer, Insekten, Feldmäuse. Wintervorräte: Getreide, Wildkrautsamen, Hülsenfrüchte, Stücke von Rüben, Kartoffeln, die ab dem Spätsommer „gehamstert“ und im Vorratsbau eingelagert werden; Deckung zum Schutz vor Beutegreifern/Prädatoren	<u>Technik zur konventionellen/konservierenden Bodenbearbeitung:</u> Stoppelumbruch mindert Nahrungsangebot	Grundbodenbearbeitung in Feldhamstergebieten vor Oktober vermeiden	Bei früher Ernte/frühhäuerender Kultur: Leguminosen als Zwischenfrucht; Forschungsbedarf: Kartierung von Hamstergebieten durch Hamsterbaudektion z. B. über Detektion in Remote Sensing Imagery; Maßnahmenumsetzung im Aktivitätsradius (siehe oben)	<u>Aufwand:</u> k.A. <u>Risiko:</u> Bei spätem Stoppelumbruch, möglicherweise keine Düngung wegen Düngeverordnung möglich, Bodenbearbeitung vor Frost, Gefahr von Krankheiten <u>Umsetzbarkeit:</u> k.A.	<u>Synergien:</u> Schutz von Regenwürmern, Amphibien (z. B. Knoblauchkröte) und weiteren bodenbewohnenden Tierarten (z. B. Laufkäfer)
	<u>Nahrung:</u> s.o.	<u>Technik zur konventionellen/konservierenden Bodenbearbeitung, Sekundärbodenbearbeitung, Einsaat:</u> Störung bzw. efährdung durch Bodenbearbeitung	Konservierende Bodenbearbeitung	<u>Direktsaatverfahren und Mulchen:</u> schont Baue und Tiere. Bodenbearbeitungsschritte und Einsaat bei Sommergetreide vor April während Winterschlaphase)	<u>Aufwand:</u> k.A.; <u>Risiko:</u> k.A. <u>Umsetzbarkeit:</u> Bodenbearbeitungsschritte für Sommerkulturen sind (abh. von Witterung) vor April/Mai möglich und auch üblich; öglicherweise führt Direktsaatverfahren und Mulchen zu einem verstärkten Einsatz von PSM	<u>Synergien:</u> s.o.
	<u>Ruhe-/Fortpflanzungsstätten:</u> s. o.	Tiefes Pflügen (>30 cm) zerstört Gänge und ggf. Baue des Feldhamsters	Tiefes Pflügen vermeiden	Pflügen zwischen Oktober und April weniger problematisch; Tiefes Pflügen vermeiden um Gänge nicht zu zerstören; Grubber und nichtwendende Verfahren bevorzugen, <u>Potenzial AFR:</u> leichtere Technik, die teilweise auch grubbern kann	<u>Aufwand:</u> möglicherweise Erweiterung des Maschinenparks (höhere Kosten). <u>Risiken:</u> Bei geringerem Pflügen höheres Auflaufen von Beikräutern, ggf. höherer Arbeitsaufwand für mechan. Beikräuterregulierung, erhöhte Gefahr von Krankheiten. <u>Umsetzbarkeit:</u> wird in hohem Maße abhängig von polit. Flankierung und Regulierung gesehen; resiliente Pflanzensysteme, die weniger anfällig für Krankheiten sind, würden ebenfalls unterstützen (z. B. Fruchtfolge, geeignete Zwischenfrüchte)	<u>Synergien:</u> mehr Nahrung (mehr Rottematerial); Erosionsschutz durch Mulch- u. Direktsaat, Strip till. Synergien mit Amphibien, Wildbienen, Regenwürmern u. Laufkäfern <u>Konflikte:</u> evtl. häufigeres Befahren für mech. Beikräuterregulierung (erhöhte Bodenverdichtung, höhere Störungs- u. Zerstörungsrate für z. B. brütende Feldvögel)

Feldhamster (Forts.)						
Pflanzenschutz	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken für Feldhamster	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
	Nahrungsangebot (siehe oben)	PSM: Direkte Gefährdung bei Einsatz von Rodentiziden (chemische Mittel zur Bekämpfung von Nagetieren), direkte Langzeitwirkung von PSM noch nicht geklärt, aber gesicherte Risiken: weniger Nahrungsangebot durch fehlende Beikräuter	PSM reduzieren, kein Einsatz von Rodentiziden in Feldhamster-Arealen	Mischkulturen zur Erhöhung des Nahrungsangebotes; kleine Schläge; siehe patch Crop, hochpräzise Aufbringung von PSM durch modernisierte Technik zur allgemeinen Reduzierung der PSM-Menge; AFR, die spezifische Beikräuter entfernen können, und anschließend tagsüber eingesetzt werden; kein Einsatz von Rodentiziden. Verringerter Pestizideinsatz könnte zur größeren Fitness von Feldhamstern (sowie höherer Nahrungsverfügbarkeit durch entsprechende Kräuter) und höherer Fortpflanzungsrate beitragen (vgl. Petermann, pers. Mitt.)	<p>Aufwand:-Erweiterung des Maschinenparks für Präzisionspflanzenschutz / mechanischen Pflanzenschutz, z. B. AFR (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten gegenüber Einsatz von PSM</p> <p><u>Risiken:</u> speziell geschultes Pers+G11onal, Robustheit von AFR möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt/Personal eingreifen, Aufwand: möglicherweise Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten).</p> <p>Bei geringerem Pflügen höheres Auflaufen von Beikräutern, damit höherer Arbeitsaufwand für mechanische Beikräuterregulierung oder sogar Bedarf von PSM, erhöhte Gefahr von Krankheiten.</p> <p>Umsetzbarkeit: wird in hohem Maße abhängig von politischer Flankierung und Regulierung gesehen; Nutzung /Schaffung von resilienten Pflanzensystemen, die weniger anfällig für Krankheiten sind, würde die Vermeidung des tiefgründigen Pflügens unterstützen (z. B. Fruchtfolge, geeignete Zwischenfrüchte);</p> <p><u>Umsetzbarkeit:</u> kleine Maschinen, längere Bearbeitungszeiträume; Einsatzvoraussetzungen (abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung</p> <p>Forschungsbedarf: Definition schädlicher und weniger bzw. nicht schädlicher Beikräuter für alle Ackerbaukulturen</p>	Konflikt AFR: langsame Bearbeitungsge- schwindigkeit erhöht den Bedarf nächtlicher Bearbeitung;

Feldhamster (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken für Feldhamster	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Düngung	<u>Nahrungsangebot</u> : Verunreinigung des Nahrungsangebots (Beikräuter, Erntestereste) durch Dünger; Reduzierung der Beikräuter durch Eutrophierung; ggf. gesundheitliche Gefährdung der Tiere durch Dünger selbst	<u>Flüssigdünger (Gülle, Jauche)</u> : Ausbringung kann zu einer Überflutung und Verschmutzung der Hamsterbaue führen.	Präzise Ausbringung von Dünger: a) Reduzierung der Düngermenge; b) Reduzierung der Kontaminierung der oberflächlichen Vegetation (Feldfrucht, Beikräuter)	Präzise Ausbringung durch z. B. Schleppschuh, Schlitzgeräte, NIR-Sensoren. Wenn möglich Aufbringung verzögern, um Nahrungsangebot zu erhalten	<u>Aufwand</u> : Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse); Opportunitätskosten ggü. herkömmlicher Düngung <u>Risiken</u> : speziell geschultes Personal, <u>Umsetzbarkeit</u> : Verzögerung der Düngerapplikation abhängig von Düngeperrfrist nur eingeschränkt möglich, abh. von Finanzierung	<u>Synergien</u> : Mit Gewässerschutz, entsprechend ähnliche Auswirkung für andere Arten
Bewässerung	<u>Habitatansprüche</u> : Bewohner trockener Böden und Landschaften, liebt Böden mit niedrigem Grundwasser	<u>Bewässerung</u> kann zu einer Überflutung der Hamsterbaue führen; unterirdische Tropfbewässerung im Boden in 30-50 cm Tiefe in jeweiligem Abstand von 1 m (verbleibt mind. 10 Jahre im Boden) könnte die Gänge/Baue beschädigen; Verdichtungsrisiko durch (teil-)mobile Bewässerungstechnik	Zusätzliche Bewässerungssysteme aufgrund bisher nicht bekannter Risiken in Feldhamster-Ge-bieten vermeiden	Bewässerungsmenge bei zusätzlicher Bewässerungstechnik so reduzieren, dass es nicht zu punktuell hohen Wassermengen kommt	<u>Aufwand</u> : Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Installations-, Wartungs- und Umsetzungskosten), Opportunitätskosten ggü. herkömmlicher Bewässerungstechnik <u>Risiken</u> : speziell geschultes Personal <u>Umsetzbarkeit</u> : Unterirdische Tropfbewässerung noch nicht Stand der Technik für einjährige Kulturen, derzeit Forschungsgegenstand / Forschungsbedarf	<u>Synergien</u> : s.o.

Feldhamster (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken für Feldhamster	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Ernte	<u>Überwinterung:</u> Feldhamster braucht genügend Nahrung für Wintervorrat (Ernterückstände, Zwischenfruchtanbau, späte Ernte)	<u>Erntemaschinen/Mähdrescher mit automatischer Schneidführung:</u> hocheffiziente modernisierte Mähdrescher/Erntetechniken verringern überlebenswichtiges Nahrungsangebot aufgrund geringer zurückbleibender Ernterückstände. Erntetechnik und -zeitpunkt, Fruchtfolgenwahl (Zwischenfrucht)	Vollständige Ernteentnahme vermeiden (vgl. auch Petermann, pers. Mitt.)	Stoppeln stehen lassen; Zwischenfruchtanbau; Anbau und Ernte verzögern	<u>Aufwand:</u> Schnitthöhe ist einstellbar, Ernterückstände leicht erhöhbar, Opportunitätskosten ggü. effizienterer Ernteentnahme <u>Risiken:</u> bei höheren Ernterückständen können Krankheiten leichter auf die nächste Vegetationsperiode übertragen werden <u>Umsetzbarkeit:</u> Schnitthöhe anpassen leicht umsetzbar	<u>Konflikte:</u> Risiko einer Krankheitsübertragung macht Einsatz von PSM bei nächster Vegetationsperiode wahrscheinlicher; Konflikt bei Zwischenfrüchten: mehrfacher Durchlauf des Bearbeitungskreislaufs und damit erhöhte Störung; <u>Synergien:</u> bei Zwischenfrüchten wird erhöhtes Nahrungsangebot auch für Laufkäfer, Feldvögel angeboten; Erosionsschutz

Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche (Feldvögel)					
Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken für Feldvögel	Potentielle Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
<u>Habitatanspruch:</u> Brachen und Säume als Ruhezonen für Nahrung und Brut Forschungsbedarf: Änderung der Fortpflanzungsphase durch Klimawandel?	<u>Präzisionstechnik:</u> Nutzung von Brachen und Säumen aufgrund präziserer Agrartechnik mit intensiverer Nutzung führt zu Verlust von Ruhezeiten und dadurch verminderter Nahrung sowie geringerem Brut-erfolg	Einsatz von Präzisionstechnik für die Einrichtung bzw. Belassen von (blütenreichen) Landschaftselementen (Brachen, Säume) nutzen; es wird empfohlen, keine Nutzungsintensivierung beim Einsatz von Präzisionstechnik vorzunehmen	<u>Allgemeine Empfehlungen:</u> Einrichtung von Schutzzonen, Rückbau Brache/Säume; Einrichten von Blühstreifen innerhalb des Feldes, Lerchenfenster; Belassen oder Einführen von Säumen. <u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landwirtschaftlich bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein. <u>Potenzial AFR/Farm-Management-Systeme:</u> Integration von Nestkoordinaten, um diese automatisch bei Bearbeitung zu umfahren Forschungsbedarf: Automatisierte Erkennung von Nestern. Robuste Software entwickeln, um Nester z. B. mittels Drohnen zu detektieren. Dies ermöglicht Schutz der Nester z. B. mit Schutzzäunen oder durch Markieren mit RTK GPS und Integrieren in Farm-Management-Systeme, um sie in allen Arbeitsschritten zu umfahren	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks für AFR/Farm-Management-System (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) o. Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten gegenüber produktiver Nutzung der Gesamtfläche, zusätzliche Kosten für Saatgut und Aussaat von Blühflächen <u>Risiko:</u> Verminderter Ertrag aufgrund kleinerer Flächen und mehr Randstrukturen. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz von AFR/Farm-Management-Systemen u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen. Integration von Nestkoordinaten abh. von aufwendiger Detektion durch Artexperten bzw. Entwicklung automatisierter Erkennung	Konflikte: langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit können ggf. durch nächtlichen Einsatz ausgeglichen werden. Dadurch werden mögliche Konflikte mit nachtaktiven Arten vermutet, aber auch Gefährdung des Bruterfolges bei nächtlicher Störung da schnelle Auskühlung des Geleges (Forschungsbedarf: Gewöhnung der Feldvögel an autonome Roboter im Feld) Synergien: Wildbienen, Laufkäfer usw. profitieren, wenn wichtige Landschaftselemente durch Anpassung der Schläge (Form und Größe) an die örtlichen Gegebenheiten stehen gelassen werden oder eine kleinteiligere Bewirtschaftung durchgeführt wird. Auch Synergien mit Boden und Gewässerschutz.

übergordnet

Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche (Feldvögel) (Forts.)					
Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldvögel	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
übergeordnet	<u>Fruchtfolge/Schläge:</u> Günstige Kulturen: heterogene Verteilung von Feldfrüchten sowie Strukturen und kleine Flächengröße der Felder (Rebhuhn, Feldlerche, generelle Artenvielfalt), Anbauvielfalt. Biolog. Vielfalt auf Ackerflächen für bessere Nahrungsbedingungen (Regenwürmer, Insekten; Käfer) ⁴⁹	<u>Trend zu großen Maschinen, z. B. Portaltraktoren:</u> führt zu Vergrößerung der Schläge, großflächiger Anbau mindert Nahrung und Strukturen (Kiebitz, Rebhuhn), bei Bearbeitung verminderte Schutzzonen, da gesamte Fläche betroffen; Zerschneidung und Verkleinerung von offenen Landschaftsräumen (Feldlerche)	<u>Intercropping, PatchCrop, Multi-Saatgut-Geräte:</u> kleinteilige Bewirtschaftung u. Anbau unterschiedlicher Kulturen auf kleineren Flächen: asynchrone Bearbeitungsschritte (= größere Schutz-/Ausweichmöglichkeiten während Bearbeitungsschritt). Potenzial AFR: können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität kleine, nicht-rechteckige Flächen bewirtschaften, Bearbeitung unterschiedlicher Kulturen möglich.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung bzw. Kultur mit höherem Deckungsbeitrag, zusätzliche Kosten für Saatgut und Aussaat von Blühflächen <u>Risiko:</u> Verminderter Ertrag aufgrund kleinerer Flächen und mehr Randstrukturen. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz von AFR u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	<u>Konflikte</u> mit anderen Schutzzielen: langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit muss ggf. durch nächtlichen Einsatz ausgeglichen werden: Konflikte mit nachtaktiven Arten (z. B. auch Amphibien, Knoblauchschröte), aber auch: Gefährdung des Bruterfolges bei nächtlicher Störung, da schnelle Auskühlung des Geleges (For-schungsbedarf: Gewöhnung der Feldvögel an autonome Roboter im Feld) <u>Synergien:</u> Wildbienen, Laufkäfer usw. profitieren, wenn wichtige Landschaftselemente durch Anpassung der Schläge (Form und Größe) an die örtlichen Gegebenheiten stehen gelassen werden oder eine kleinteiligere Bewirtschaftung durchgeführt wird. Auch Synergien mit Boden- und Gewässerschutz.
	<u>Fruchtfolge/Schläge:</u> s.o. ⁵⁰	<u>Intensive Landwirtschaft:</u> v. a. Düngung, Pflanzenschutzmittel, häufige Flächenbearbeitung, Umbruch kurz nach der Ernte, zu dichte Saatreihen, Verlust von Brachen und Säumen etc. führt zu vermindertem Nahrungsangebot und zu Verlust an Gebieten, die Mindestanforderung für Brutplätze erfüllen, schränkt Bruterfolg stark ein	Extensive Bewirtschaftung mit breiten Randstreifen, Wegrainen, Brachen, Säume, weiteren Saatreihenabständen. <u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld land-schaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topogr.Elemente.	<u>Aufwand:</u> s.o. <u>Risiko:</u> s.o. <u>Umsetzbarkeit:</u> s.o.	<u>Konflikte:</u> s.o. <u>Synergien:</u> s.o..

⁴⁹ Henderson et al. (2009); Tschardt et al. (2021), Püttmann et al. (2022), Renard & Tilmann (2019)

⁵⁰ Egli et al. (2020)

Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche (Feldvögel) (Forts.)						
übergeordnet	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldvögel	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
	<u>Zeitkriterium:</u> Tag- und dämmerungsaktiv (Rebhuhn)	Einsatzzeiten der Agrartechniken	s. Empfehlungen	Dämmerungsaktivität bei Bearbeitung mit AFR in Rebhuhngebieten beachten; Forschungsbedarf: Gefährdungsanalyse bei nächtlichem Einsatz langsamer autonomer (infra-rotgesteuerter) Roboter	<u>Aufwand:</u> Bei Einsatz von AFR möglicherweise Erhöhung erforderlicher Anzahl von AFR bei Bearbeitungsstopp während Dämmerung, dadurch Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs und Umsetzungskosten) erforderlich oder höhere Kosten bei Beauftragung eines Lohnunternehmens. <u>Risiko:</u> Dringliche Bearbeitungsschritte können nicht schnell genug abgeschlossen werden, damit z. B. Gefahr einer Ausbreitung von Krankheiten/Schädlingen/Pilzbefall. Da nur während Dämmerung ausgesetzt werden soll, wird dieses Risiko gering eingeschätzt. <u>Umsetzbarkeit:</u> gut	<u>Konflikte:</u> s.o. <u>Synergien:</u> s.o..
	<u>Fortpflanzung:</u> Brut (Kiebitz): weitgehend gehölzarme, offene Flächen mit lückiger und sehr kurzer Vegetation bzw. halboffenen, grundwassernahen Böden (derzeit 80% in NRW auf Ackerflächen); bis zu 1-2 Brutpaare pro 10 ha, kleinflächig höhere Dichten, da Brut oftmals in kolonieartigen Konzentrationen; Eintreffen ab Mitte Februar in Brutgebiet, ab Mitte März Brut, spätestens im Juni sind die letzten Jungen flügge	Einsatz zum Zeitpunkt der Fortpflanzung des Kiebitzes	s. Empfehlungen	Für Kiebitzgebiete: grundwassernahe Senken als Ackerbrache etablieren, diese möglicherweise bis Februar abschleppen/kürzen/ausdünnen (da kurze, spärliche Vegetation bevorzugt). Mahd erst Ende Juni möglich.	<u>Aufwand:</u> Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung der Flächen bzw. Kultur mit höherem Deckungsbeitrag. <u>Risiko:</u> gering <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von Finanzierung	<u>Konflikte:</u> s.o. <u>Synergien:</u> s.o..
	<u>Fortpflanzung:</u> s.o.	Einsatz zum Zeitpunkt der Fortpflanzung des Kiebitzes	s. Empfehlungen	mögl. Schutzzeit Kiebitz: Anfang/Mitte März bis Juni	<u>Aufwand:</u> gering, Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung <u>Risiko:</u> gering <u>Umsetzbarkeit:</u> Für Ertrag notwendige Bearbeitungsschritte (Bodenbearbeitung (Sommerkulturen), Düngung und ggf. Pflege) nicht möglich. Umsetzbarkeit hängt direkt von finanziellem Ausgleich ab.	<u>Konflikte:</u> s.o. <u>Synergien:</u> s.o..
	<u>Fortpflanzung:</u> Brut (Rebhuhn): Eiablage ab April, Hauptlegezeit im Mai, ab August alle Jungtiere selbständig (Rebhuhn)	Einsatz zum Zeitpunkt der Fortpflanzung des Rebhuhns	s. Empfehlungen	mögl. Schutzzeit Rebhuhn: April-Juni (bzw. bis Juli zum Schutz der Nestlinge)	<u>Aufwand:</u> gering, Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung <u>Risiko:</u> gering <u>Umsetzbarkeit:</u> Für Ertrag notwendige Bearbeitungsschritte (Düngung, Pflege und ggf. Ernte) nicht möglich. Umsetzbarkeit hängt direkt von finanziellem Ausgleich ab.	<u>Konflikte:</u> s.o. <u>Synergien:</u> s.o..

übergeordnet

Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche (Feldvögel) (Forts.)					
Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken für Feldvögel	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
<u>Fortpflanzung:</u> Brut (Feldlerche): Größe der Brutreviere: 0,25 bis 5 ha; maximale Siedlungsdichte von bis zu 5 Brutpaaren auf 10 ha; Bereiche mit kurzer und lückiger Vegetation in einer Bodenmulde; ab Mitte April bis Juli erfolgt die Eiablage, Zweitbrut üblich. Spätestens im August sind die letzten Jungen flügge	Einsatz zum Zeitpunkt der Fortpflanzung der Feldlerche	s. Empfehlungen	mögl. Schutzzeit Feldlerche: Mitte April-Juli (Brutzeit), bzw. bis August (zum Schutz der Nestlinge)	<u>Aufwand:</u> gering, Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung <u>Risiko:</u> gering <u>Umsetzbarkeit:</u> Für Ertrag notwendige Bearbeitungsschritte (Düngung, Pflege und Ernte) nicht möglich. Umsetzbarkeit hängt direkt von finanziellem Ausgleich ab.	<u>Konflikte:</u> s.o. <u>Synergien:</u> s.o..
<u>Fortpflanzung:</u> s.o.	<u>Modernisierte Saattechnik:</u> hocheffiziente Ausbringung ermöglicht Saat mit hoher Dichte. Z. B. Wintergetreide wegen hoher Dichte nicht als Bruthabitat geeignet (Feldlerche); stattdessen: bevorzugt karge, niedrige Gras- und Krautvegetation	s. Empfehlungen	<u>Modernisierte Drillmaschine:</u> flexiblere Anwendungsmöglichkeiten bei Einstellung der Reihenweiten und Fahrgassenabstände. <u>AFR/Farm-Management-Systeme:</u> Größerer Abstand kann auf Teilen des Feldes vorprogrammiert werden	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks für AFR (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten gegenüber produktiver Nutzung der Gesamtfläche <u>Risiko:</u> Verminderter Ertrag aufgrund größeren Saatabstandes. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz von AFR u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	<u>Konflikte:</u> s.o. <u>Synergien:</u> s.o..
<u>Lebensraum:</u> Begünstigende Kulturen: geeignete Fruchtfolgenwahl für Feldlerchengebiete (ggf. auch Kiebitz): u.a. Sommergetreide, Luzerne Ungünstige Kulturen: Maisäcker ungeeignet als Lebensraum (hohe Prädationsrate), insbesondere ungeeignete Fläche für Brut. ⁵¹	großflächige Umwandlung von Dauergrünland in Maisäcker (Feldlerche, Rebhuhn)	s. Empfehlungen	<u>Multi-Saatgut-Geräte:</u> Einsaat von Winterweizen in Maisstoppfelder verbessert Habitateignung für Rebhuhn ^{3,52}	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks für AFR (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Opportunitätskosten gegenüber produktiver Nutzung bzw. Kultur mit höherem Deckungsbeitrag. <u>Risiko:</u> k.A. <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von Finanzierung	k.A., vgl. Kommentar zu Empfehlungen

⁵¹ vgl. Pepin (2018)

⁵² Eine Habitatverbesserung ist allerdings nicht eindeutig belegt, auch wenn Vorteile naheliegend sind, können Nachteile in Gesamtbetrachtung nicht ausgeschlossen werden.

Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche (Feldvögel) (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldvögel	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
Bodenbearbeitung: Aussaat	<u>Lebensraum:</u> Rebhühner und Feldlerchen profitieren von pflugloser Bearbeitung gegenüber konventioneller Pflugtechnik (vgl. Cunningham et al. 2005)	Tiefes Pflügen zerstört Bodenstruktur und vermindert Bodenqualität; dadurch reduzierte Nahrungsgrundlage und Strukturvielfalt, die auch zur Deckung genutzt wird, potentiell erhöhtes Risiko der Störung von Ruhe- und Fortpflanzungsstätten (vgl. Odderskaer et al. 2006)	s. Empfehlungen	<u>Pflug:</u> Pflugverzicht oder möglichst seltenes Pflügen, flaches Pflügen (vgl. Ansätze der TH Köln 2022) <u>Pflugalternativen:</u> Grubbern, nichtwendende Verfahren, Mulchsaat, Strip Till und Direktsaat <u>Kombinieren von Arbeitsgängen:</u> Lockern und Säen als kombinierter Arbeitsschritt	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenspars (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens <u>Risiko:</u> Ernteminderung durch höheres Auflaufen von Beikräutern, damit höherer Arbeitsaufwand für mechanische Beikräuterregulierung oder sogar Bedarf von PSM, erhöhte Krankheiten <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von Finanzierung	<u>Synergien:</u> mehr Nahrung (bei mech. entfernten Beikräutern mehr Rottematerial); Erosionsschutz durch Mulch- und Direktsaat und Strip Till. Synergien auch mit Wildbienen, Amphibien (z. B. Knoblauchkröte), Regenwürmern, Laufkäfern, Kleinsäuger (z. B. Feldhamster). <u>Konflikte:</u> evtl. häufigeres Befahren für mech. Beikräuterregulierung erhöht Bodenverdichtung, ggf. höhere Störungsrate und Tötungsrisiko für z. B. brütende Feldvögel.
	<u>Nahrung:</u> Insekten, Regenwürmer (Feldlerche, Kiebitz), Spinnen, kleine Schnecken (Feldlerche), Insektenlarven (Kiebitz); überwiegend Getreidekörner, Beikräutersamen und Keimlinge in Winterhalbjahr (Feldlerche), teilweise auch pflanzlich (Kiebitz); Jungvögel von Insekten am Boden (Kiebitz), Rebhühner: überwiegend pflanzliche Ernährung (Samen und Früchte von Ackerwildkräutern, Getreidekörner, grüne Pflanzenteile und Grasspitzen), zur Brutzeit gesteigerter Bedarf an tierischer Nahrung (v. a. Insekten); Gefährdungen: Beikräuterregulierung verschlechtert Nahrungsangebot von Beikräutersamen, -früchten und Insekten(-larven) (Feldlerche, Kiebitz, Rebhuhn)	<u>Präzisionstechnik:</u> Nutzung von Brachen und Säumen aufgrund präziserer Agrartechnik mit intensiverer Nutzung führt zu Verlust von artenreichen Landschaftselementen und dadurch verminderter Nahrung; mechanische Unkrautbekämpfung (z.B. Striegel) kann ggf. bei gleichzeitigem Herbizidverzicht weniger beeinträchtigend (Odderskaer et al. 2006)	Einsatz von Präzisionstechnik für die Einrichtung bzw. Belassen von (blütenreichen) Landschaftselementen (Brachen, Säume) nutzen; keine Nutzungsintensivierung beim Einsatz von Präzisionstechnik vornehmen	<u>Präzisionstechnik:</u> positiv einsetzbar, indem für jeweilige Kultur wenig störende Beikräuter gezielt stehengelassen werden, ggf. mit entsprechender bildgestützter Automatisierung (mehr Nahrung durch mehr Beikräutersamen und -früchte, und dadurch auch mehr Insekten)	<u>Aufwand:</u> nicht abschätzbar <u>Risiken/Umsatzbarkeit:</u> derzeit nicht abschätzbar, grundlegender Forschungsbedarf: Welche Pflanzenarten (Beikräuter, Begleitflora) sind hinsichtlich Schädlinge oder Krankheiten oder Konkurrenz zur Feldfrucht unproblematisch und positiv für die Artenvielfalt?	<u>Synergien:</u> Allgemein biologische Vielfalt im Acker, positiv u. a. für Kleinsäuger (Feldhamster), Amphibien (Knoblauchkröte), Laufkäfer

Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche (Feldvögel) (Forts.)						
Pflanzenschutz	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldvögel	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
	<u>Gefährdung:</u> Pestizideinsatz: am schädlichsten für Kiebitz; Feldlerche und Rebhuhn auch betroffen (Horvat & Denac 2019; Dietzen 2017; Hoffmann & Wittchen 2018)	Risiken durch PSM unabhängig von der Ausbringungstechnik	Ausbringung von PSM reduzieren und in Vorkommensgebieten der Vogelarten möglichst vollständig einstellen	Kein PSM-Einsatz in Feldvogelgebieten; bei Ausnahmen durch drohenden Ernteausfall ausschließlich <u>Präzisionstechnik einsetzen</u> : Teilflächenspezifische Ausbringung von PSM zur Reduzierung behandelter Flächen; <u>ggf. Sprüh-Drohnen</u> : reduzierter Einsatz auf von Krankheit/Schädlingen betroffenen Flächen ohne z. B. Nester durch Befahren zu gefährden	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks für Präzisions-/Monitoringtechnik (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), <u>Risiko:</u> Möglicherweise verminderter Ertrag aufgrund höherer Beikräuterdichte, ggf. erhöhtes Risiko einer Krankheitsübertragung. Reduzierter Einsatz von chem. Pflanzenschutzmitteln macht verstärkt mechanische Verfahren notwendig <u>Umsetzbarkeit:</u> u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Zeitaufwendig, bei starkem Wind/ Regen nicht einsetzbar.	<u>Synergien:</u> Verzicht oder Reduzierung von PSM auch relevant für Insekten- und Beikräutervielfalt; dies erhöht daher auch Nahrungsangebot für Feldvögel (und andere Arten) <u>Konflikte:</u> häufigeres Befahren für mech. Beikrautregulierung erhöht evtl. Bodenverdichtung, höhere Störungsrate und Verletzungs-/Tötungsrisiko für z.B. brütende Feldvögel; Einsatz von Drohnen führt zur erhöhtem Störungspotential (s. Ruhestätten)
	<u>Ruhestätten</u> während Brut- und Aufzuchtzeit	<u>Drohnen in der Landwirtschaft:</u> (Gezielte) Vergräbung von Vögeln durch Schädlingsbekämpfungsdrohnen: gezieltes Orten, Anfliegen und Vergräben von Vögeln. (vgl. Bhusal et al. 2022) <u>Zugfahrzeug und gezogene Pflanzenschutztechniken:</u> Häufige Aktivität auf dem Feld stört Ruhe, zudem direkte Gefährdung der Brut durch Zugfahrzeug und jeweiliger Anhängertechnik für den Pflanzenschutz	Kein Einsatz von Schädlingsbekämpfungsdrohnen; Drohnen-Einsatz ausschließlich zur Detektion von Niststätten und in Ausnahmefällen als Sprüh-Drohnen zur gezielten Ausbringung von PSM	<u>Potenzial GPS-gesteuerte Technik / Farm-Management-Systeme/AFR:</u> Integration von Nestkoordinaten, um diese (automatisch) bei Bearbeitung zu umfahren. <u>Reduzierter Einsatz von Sprüh-Drohnen:</u> reduzierter Einsatz auf von Krankheit/Schädlingen betroffenen Flächen ohne z. B. Nester durch Befahren zu gefährden. Forschungsbedarf: Verbesserte automatisierte Erkennung von Nestern	<u>Aufwand:</u> Genaue Wegplanung und Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten gegenüber produktiver Nutzung der Flächen um Nester <u>Risiko:</u> Verminderter Ertrag. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz von AFR/Farm-Management-Systemen u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen. Integration von Nestkoordinaten abh. von aufwendiger Detektion durch Artexperten bzw. Entwicklung automatisierter Erkennung.	<u>Synergien:</u> Aussparen von Bereichen um Niststätten bedeutet zugleich Potenzial für größere Biodiversität rund um das Nest; positive Effekte für Laufkäfer, Knoblauchkröte, Feldhamster, Wildbienen möglich

Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche (Feldvögel) (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldvögel	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Pflanzenschutz	<u>Zeitkriterium</u> : Störungsfreie Zeiten bei geringen Temperaturen (vor allem abends bis frühe Morgenstunden), da Gelege bei Nestflucht schnell auskühlen	<u>Mech. Beikräuterregulierung und Ausbringung von PSM</u> : verursachen direkt (Zerstörung) oder indirekt (Auskühlung aufgrund längerer Störung) Gelegeverluste, ggf. gilt dies auch für electro weeding (Forschungsbedarf)	(nicht bewertbar)	<u>Allgemeine Empfehlungen</u> : Bearbeitungszeitraum verkürzen, um Auskühlung der Gelege zu verhindern. Dafür Bearbeiten kleinerer Schläge, damit Bearbeitungszeiten asynchron; Kein Befahren/Begehen am späten Abend/Nacht/früher Morgen während Brutzeit. <u>Potenzial AFR</u> : können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität kleine, nicht-rechteckige Flächen bewirtschaften, Bearbeitung unterschiedlicher Kulturen möglich, langsamere Fahrgeschwindigkeit, häufig leiser, da 100% elektrisch angetrieben, dadurch möglicherweise geringere Störwirkung. Forschungsbedarf : Störwirkung kleiner elektrisch angetriebener AFR	<u>Aufwand</u> : Erweiterung des Maschinenparks durch AFR (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Bei Begrenzung auf Arbeit bei Tageslicht, Erhöhung erforderlicher Anzahl von AFR (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) erforderlich oder höhere Kosten bei Beauftragung eines Lohnunternehmens. Geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), <u>Risiko</u> : Dringliche Bearbeitungsschritte können bei Vermeidung nächtlicher Bearbeitung möglicherweise nicht schnell genug abgeschlossen werden, damit z. B. Gefahr einer Ausbreitung von Krankheiten/Schädlingen/Pilzbefall. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit</u> : Einsatz von AFR u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung.	<u>Synergien</u> : s.o.
	<u>Fortpflanzungsstätten und -zeiten</u> : Ruhezeiten für Brut und Aufziehen der Nestlinge; Gefährdung: Gelegeverluste und Störung durch Ausbringen von Dünger und intensive Düngung allgemein (primär Gülle) im Frühjahr (Feldlerche, Rebhuhn, Kiebitz)	keine spezifische Agrartechnik	Verzicht auf mineralischen Dünger; Dünger reduzieren und im Frühjahr zur Brutzeit aussetzen.	Bei organischem Dünger ist Mist/Gülle vorzuziehen	<u>Aufwand</u> : gering, Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung mit Düngung <u>Risiko</u> : Ertragsminderung, Minderung der Produktqualität <u>Umsetzbarkeit</u> : Umsetzbarkeit hängt von finanziellem Ausgleich ab.	s.o.
Düngung						

Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche (Feldvögel) (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken für Feldvögel	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Bewässerung	<u>Fortpflanzungsstätten</u> siehe oben	<u>Fertigation</u> (Tropfbewässerung mit Düngung): kann gesundheitsschädliche Wirkung auf Vögel auslösen, da die Bewässerung Nester durchfeuchten und damit Pilze/Krankheiten/Auskühlen der Jungtiere nach sich ziehen kann; <u>mobile Bewässerung</u> stellt aufgrund der Nässe eine Störung insbesondere für brütende Vögel dar	Mobile Bewässerung reduzieren, wenn möglich durch teilmobile oder stationäre Bewässerung ersetzen; Mischung von Dünger und Wasser vermeiden (Fertigation)	s. Vermeidungsmaßnahmen Forschungsbedarf: Das Potenzial einer Tropfbewässerung (unterirdisch wie oberirdisch) im Hinblick auf brütende Feldvögel untersuchen, ggf. keine Störung während Brut- und Aufzucht, Systeme sind langfristig nutzbar und können 10 Jahre im Boden verbleiben	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks für Präzisions-/Monitoringtechnik (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse) <u>Risiken:</u> Rentabilität Anschaffung <u>Umsetzbarkeit:</u> noch nicht Stand der Technik für einjährige Kulturen (bisher noch Forschungsgegenstand /Forschungsbedarf), Umsetzung prinzipiell abh. von Wirtschaftlichkeit bzw. finanzieller Unterstützung.	<u>Konflikt</u> mit z. B. Wildbienen und Laufkäfern, ggf. weiteren Organismen
	<u>Ruhezeiten</u> für Brut und Aufziehen der Nestlinge; Gefährdung: Erntetechnik zerstört Nester, tötet brütende Vögel und/oder Nestlinge	(keine spezifische Agrartechnik)	s. Empfehlungen	Sorten mit späteren Ernteterminen bevorzugen	<u>Aufwand:</u> Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung bzw. Sorten mit höherem Deckungsbeitrag, möglicherweise Erhöhung des Bewässerungs- oder Düngedarfs (Umsetzungskosten) und dadurch erhöhte Arbeitsstunden (Lohn-, Wartungs- und Betriebskosten) <u>Risiko:</u> <u>Umsetzbarkeit:</u> Umsetzbarkeit hängt von finanziellem Ausgleich ab.	<u>Ruhezeiten</u> für Brut und Aufziehen der Nestlinge; Gefährdung: Erntetechnik zerstört Nester, tötet brütende Vögel und/oder Nestlinge
Ernte	<u>Nahrung:</u> überwiegend Getreidekörner, Beikräutersamen und Keimlinge in Winterhalbjahr (Feldlerche), Nahrung teilweise auch pflanzlich (Kiebitz), Rebhuhn überwiegend pflanzliche Ernährung (Samen und Früchte von Ackerwildkräutern, Getreidekörner, grüne Pflanzenteile und Grasspitzen)	<u>Automatische Schneidführung:</u> hocheffiziente modernisierte Mähdräcker/Erntetechniken verringern überlebenswichtiges Nahrungsangebot aufgrund geringer zurückbleibender Ernterückstände. Erntetechnik und -zeitpunkt, Fruchtfolgewahl (Zwischenfrucht)	Restlose Entnahme des Erntegutes vermeiden um Nahrung für Feldvögel sicherzustellen (u. a. Getreidekörner, Beikräutersamen und -früchte, Keimlinge)	Ernterückstände belassen, Säume/Beikräutersamen erhöhen	<u>Aufwand:</u> Schnitthöhe ist einstellbar, Ernterückstände leicht erhöhbar, Opportunitätskosten gegenüber effizienterer Ernteentnahme <u>Risiken:</u> bei höheren Ernterückständen können Krankheiten leichter auf die nächste Vegetationsperiode übertragen werden. <u>Umsetzbarkeit:</u> Schnitthöhe anpassen leicht umsetzbar	<u>Synergien:</u> durch verschiedene Maßnahmen, da für Feldhamster und andere Tierarten (z. B. granivore Laufkäfer) gleiche Konditionen gelten.

Übergeordnet	Knoblauchkröte					
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
	<u>Revierkriterium:</u> Häufig in Kartoffel- und Spargeläckern zu finden, in denen sandigen, grabbaren Boden sie sich eingräbt	Landwirtschaftliche Technik allgemein	Kleinteilige Bewirtschaftung im Areal der Knoblauchkröte durchführen	Ggf. weitere Maßnahmen gezielter an Kartoffel- und Spargelanbau anpassen und dort einsetzen; Kleinteilige Bewirtschaftung fördern. <u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landwirtschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein, Bearbeitung unterschiedlicher Kulturen möglich, langsamere Fahrgeschwindigkeit.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung der Gesamtfläche. <u>Risiko:</u> Verminderter Ertrag aufgrund kleinerer Flächen und mehr Randstrukturen. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladever-sorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	<u>Synergien:</u> Wildbienen, Laufkäfer usw. profitieren ebenfalls, wenn wichtige Landschaftselemente durch Anpassung der Schläge (Form und Größe) an die örtlichen Gegebenheiten stehen gelassen werden oder eine kleinteiligere Bewirtschaftung durchgeführt wird. Auch Synergien mit Boden und Wasser-schutz.
	<u>Zeitkriterium:</u> Nachtaktiv; träge Reaktionszeit	<u>Landwirtschaftliche Technik allgemein:</u> Nächtliche Bearbeitung stört Aktivitätsphase der Knoblauchkröte. Gefährdung durch Überfahren bei Nachtarbeit. <u>AFR:</u> Können langsame Bearbeitungsgeschwindigkeit durch 24h-Betrieb ausgleichen.	Befahren/Begehen/Bearbeiten von Flächen bei Nacht vermeiden	Nur Tagbearbeitung zulassen Forschungsbedarf: 1. Gefährdungsanalyse bei nächtlichem Einsatz (infrarotgesteuerter) langsamerer AFR 2. Störung / Stress für die Knoblauchkröte durch autonom fahrende, kleine, langsame Roboter ohne Lichtemission	<u>Aufwand:</u> Erhöhung erforderlicher Anzahl von AFR bei Begrenzung auf Arbeit bei Tageslicht, dadurch Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) erforderlich oder höhere Kosten bei Beauftragung eines Lohnunternehmens <u>Risiko:</u> Dringliche Bearbeitungsschritte können von AFR nicht schnell genug abgeschlossen werden, dadurch z. B. Gefahr einer Ausbreitung von Krankheiten/Schädlingen/Pilzbefall <u>Umsetzbarkeit:</u> Problematisch bei kleineren, langsamer arbeitenden AFR, die dies durch Nachtarbeit ausgleichen	<u>Synergien:</u> Wildbienen, Laufkäfer usw. profitieren, wenn wichtige Landschaftselemente durch Verkleinerung der Schläge (Form und Größe) an die umgehende Landschaft angepasst stehen gelassen werden <u>Konflikt:</u> langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit kleiner, autonomer Robotik zur Umsetzung kleinerer Schläge könnte ausgleichend nächtlichen Einsatz erfordern.

Knoblauchkröte (Forts.)						
Bodenbearbeitung / Aussaat	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
	<u>Habitatan-sprüche:</u> Ganzjähriger Aufenthalt in Ackerlebensräumen und Offenlandschaften	<u>Intensive Landwirtschaft allge-mein:</u> führt zu Verlust von Habitaten	Extensiv genutzte Agrarflächen ausgleichend festlegen (v.a. beim Kartoffelanbau, auch in Teichwirtschaften)	Einführung extensiv genutzter Flächen im Radius entsprechender Laichgewässer <u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landwirtschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein, Bearbeitung unterschiedlicher Kulturen möglich, langsamere Fahrgeschwindigkeit. Forschungsbedarf: Gefährdungsanalyse bei nächtlichem Einsatz langsamer (infrarotgesteuerter) AFR	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung der Gesamtfläche. <u>Risiko:</u> Extensive Nutzung bringt weniger Ertrag. Verminderter Ertrag aufgrund kleinerer Flächen und mehr Randstrukturen. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz AFR u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	<u>Synergien:</u> Wildbienen, Laufkäfer usw. profitieren, wenn wichtige Landschaftselemente durch Verkleinerung der Schläge (Form und Größe) an die umgehende Landschaft angepasst stehen gelassen werden
	<u>Überwintungsplätze:</u> Knoblauchkröten graben sich im Umfeld von Gewässern in gut drainierten, sandigen Böden bis in eine Tiefe von 60 bis max. 100 cm ein.	<u>Pflügen:</u> Risiko der Verletzung oder Tötung von Tieren durch tiefes Pflügen, hierbei zu differenzieren: im Winter tiefes Eingraben im Boden (30 cm +), daher oberflächiges Pflügen möglich. Im Sommerhalbjahr sind Kröten als Tagesverstecke nur in der obersten Bodenschicht eingegraben, daher Gefährdung auch bei Bodenbearbeitung geringer als < 30 cm Tiefe (vgl. Dürr et al. 1999 in Tobias 2000)	(Tiefes) Pflügen vermeiden	<u>Pflug:</u> Pflugverzicht oder möglichst seltenes Pflügen, flaches Pflügen <u>Pflugalternativen:</u> Grubbern, nichtwendende Verfahren, Mulchsaat, Strip Till und Direktsaat <u>Kombinieren von Arbeitsgängen:</u> Lockern und Säen als kombinierter Arbeitsschritt	<u>Aufwand:</u> möglicherweise Erweiterung des Maschinenparks (höhere Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten). <u>Risiken:</u> Bei geringerem Pflügen höheres Auflaufen von Beikräutern, damit höherer Arbeitsaufwand für mechanische Beikräuterregulierung oder sogar Bedarf von PSM, erhöhte Krankheiten. <u>Umsetzbarkeit:</u> wird in hohem Maße abhängig von politischer Flankierung und Regulierung gesehen; Nutzung /Schaffung von resilienten Pflanzensystemen , die weniger anfällig für Krankheiten sind, würde die Vermeidung des tiefgründigen Pflügens unterstützen (z. B. Fruchtfolge, geeignete Zwischenfrüchte)	<u>Synergien:</u> mehr Nahrung (bei mech. entfernten Beikräutern mehr Rottematerial); Erosionsschutz durch Mulch- und Direktsaat und strip till. Synergien auch mit Wildbienen, Feldvögeln, Regenwürmern, Laufkäfern, Kleinsäuger (z. B. Feldhamster). <u>Konflikte:</u> evtl. häufigeres Befahren für mech. Beikräuterregulierung erhöht Bodenverdichtung, ggf. höhere Störungsrate und Tötungsrisiko für z. B. brütende Feldvögel.

Knoblauchkröte (Forts.)						
Bodenbearbeitung / Aussaat	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
	<u>Allg. Gefährdung:</u> Komplexes Zusammenspiel vieler Faktoren bieten Vor- und Nachteile: Stoppelbearbeitung Gefahr für Jungtiere, (oberflächliche) Einarbeitung in Boden erhöht ggf. Bodenqualität, Nahrungsangebot usw.; Nahrung: Käfer, verschiedenste Bodenarthropoden; Jungkröten verlassen Gewässer Ende Juni, wandern im Herbst zu Winterquartieren. Alttiere wandern ab Oktober in ihre Winterquartiere. Wanderstrecken von meist 200 m (max. 1.200 m)	<u>Schwere Bodenbearbeitungsmaßnahmen:</u> Vermutete sehr häufige Bestandsverluste durch maschinelle Bodenbearbeitung auf Ackerflächen; direktes Überfahren bei Wanderungen; Einsatz schwerer Maschinen; Störung/Bedrohung durch häufige Bodenbearbeitung	s. Empf.	<u>Empfehlung:</u> Wanderzeiten von (Jung-) Kröten bei Bodenbearbeitung im Radius von 200-300 m um Laichgewässer von essentiellen Kernarealen der Art beachten.	<u>Aufwand:</u> entsprechend leichte Maschinen (Anschaffungskosten), Zeitmanagement komplexer zu planen <u>Risiken:</u> Konflikt mit Dünge-Sperrfristen, bei später Bearbeitung keine anschließende Düngung möglich <u>Umsetzbarkeit:</u> Bodenbearbeitung im Herbst ganz aussetzen ist für die meisten Kulturen nicht umsetzbar, für Kulturen, die im Frühjahr ausgesät werden ist eine Grundbodenbearbeitung bis Anfang November möglich. Bodenbearbeitung nur tagsüber mit möglichst leichten Maschinen (s. vorh. Zeile) ist je nach Boden umsetzbar, unter Anwendung eines diff. Zeitmanagements eine realistische Maßnahme	(Vermutete) Vor- und Nachteile ergeben sich aus dem komplexen Zusammenspiel, z. B.: Frequenz der (Boden-) Bearbeitung in Abhängigkeit vom Gerät (seines Gewichts, seiner Technik), Tageszeit des Geräteeinsatzes, Jahreszeit. Belastbare Aussagen aus Studien liegen – zu den Zielarten – nicht vor.
	<u>Zeitkriterium, Fortpflanzungsperiode:</u> Apr.-Mai. Ausgiebige Niederschläge können 2. Laichzeit auslösen (Jun - Mitte Aug). Jungkröten verlassen Gewässer Ende Jun (und von 2. Laichzeit Mitte Sep), wandern zu Winterquartieren. Alttiere wandern ab Okt in ihre Winterquartiere. Wanderstrecken von meist 200 m (max. 1.200 m), Winterruhe: Ende Sep. - Anfang März	Allgemein	s. Empf.	Nur oberflächennahe Bearbeitung, wenn möglich schonende Techniken bzw. Verfahren in Nähe der Winterquartiere während Winterschlaf (da Tiere in tieferen Schichten eingegraben), Vermeidung starker Verdichtung	<u>Umsetzbarkeit:</u> Bei Frühjahr-Aussaat/Pflanzung erfolgt die Saatbettbereitung abh. von Witterung/Boden/Kultur in der Regel im März/April und damit außerhalb der Winterruhe, frühere Bearbeitung aufgrund der Witterung eher unüblich und aufgrund von Frost schwer umsetzbar	<u>Synergien:</u> gilt in ähnlicher Weise für Wildbienen, Regenwürmer, Laufkäfer
	<u>Zeit-, Revierkriterium:</u> Graben sich tagsüber in den lockeren Oberboden ein, nachtaktiv	<u>Trend zu großen Maschinen:</u> Tagsüber Druck auf eingegrabene Kröten o. Eingriffe in den Boden. Druck beim Überfahren muss so gering sein und gut verteilt werden, dass Tiere in 5-20 cm Tiefe (je nach Bodenstruktur) nicht o. seltener betroffen sind. Nachts Störung durch jegliches Betreten/Befahren/Bearbeiten	Punktuelle Gewichtsbelastung der Agrartechnik auf Boden vermeiden	<u>Potenzial Breitreifen, Reifeninnendruck-Regelanlagen, Kettenlaufwerke:</u> verringern Bodendruck <u>Potenzial AFR:</u> kleiner und leichter als herkömmliche Technik. <u>Forschungsbedarf:</u> Ab welchem Bodendruck ist die Gefahr einer direkten Tötung (Zerquetschung) wahrscheinlich?	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks um Breitreifen/Reifeninnendruck-Regelanlagen (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, für AFR geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse) <u>Risiken:</u> Eingeschränkte Mobilität durch Kettenlaufwerke <u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz u.a. abh. von Finanzierung, für den Einsatz von AFR auch Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung	<u>Synergien:</u> Vergleichbare Habitatsansprüche und Risiken wie Wildbienen, Regenwürmer, Laufkäfer

Knoblauchkröte (Forts.)						
Pflanzenschutz	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
	<u>Nahrungsanspruch:</u> Käfer, verschiedenste Bodenarthropoden	<u>Agrochemikalien:</u> Anwendung von Agrochemikalien beeinträchtigt den Lebensraum (Verlust von Habitaten), durch weniger Beikräuter /Arthropoden entsteht zudem ein verringertes bzw. eingeschränktes Nahrungsangebot	Aufbringung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) reduzieren bzw. insgesamt vermeiden	Beikräuter gezielt fördern bzw. belassen, um Biodiversität zu steigern und damit Nahrungsangebot zu erhöhen	<u>Aufwand:</u> Reduzierter Einsatz von chem. Pflanzenschutzmitteln macht verstärkt mechanische Verfahren notwendig, zeitaufwendiger <u>Risiken/Umsetzbarkeit:</u> Mit geringem Aufwand und Risiko versehen ist die Etablierung von Pflanzenbausystemen, die weniger anfällig sind für Pflanzenkrankheiten und Schädlinge (-> u. a. Fruchtfolge, geeignete Zwischenfrüchte, gesunder Boden)	<u>Synergien:</u> Verzicht auf PSM auch relevant für andere Arten sowie Gewässerschutz etc. vorteilhaft <u>Konflikte:</u> häufigeres Befahren für mech. Beikrauterregulierung erhöht evtl. Bodenverdichtung, höhere Störungsrate für z. B. brütende Feldvögel
	<u>Fortpflanzungsstätten:</u> Laichgewässer mit ausreichender Gewässergüte; Eintrag von PSM in die Laichgewässer führt zur Verschlechterung der Gewässergüte; schwindendes Nahrungsangebot	Technikunabhängig: PSM	bei Anwendung von Agrochemikalien Einrichten von ausreichenden Pufferzonen rund um Laichgewässer (Abstandsregelungen)	<u>Präzisionstechnik:</u> verringert den Eintrag in Randbereiche <u>Farm-Management-Systeme:</u> zur geplanten und zielgenauen Ausbringung von PSM	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks für Präzisionstechnik/Farm-Management-Systeme (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). Opportunitätskosten ggü. herkömmlicher Nutzung. <u>Risiken:</u> Gefahr einer Verbreitung von Schädlingen/Pflanzenkrankheiten bei Nichtbehandlung von Teilflächen <u>Umsetzbarkeit:</u> Berücksichtigung von relevanten Bereichen um Laichgewässer erfordert Informationen zu genauem Einflussgebiet. Möglicherweise Bedarf an finanziellem Ausgleich	<u>Synergien:</u> Verzicht auf PSM auch relevant für andere Arten sowie Gewässerschutz etc. vorteilhaft <u>Konflikt:</u> häufigeres Befahren für mech. Beikrauterregulierung erhöht evtl. Bodenverdichtung, höhere Störungsrate für z.B. brütende Feldvögel
	<u>Habitatanspruch:</u> Graben sich tagsüber in den lockeren Oberboden ein (in 5-20 cm Tiefe), nachtaktiv; Forschungsbedarf (bzgl. Dammkultur Kartoffel): Graben sich die Tiere wenn möglich im Damm oder auch in den Gräben ein?	<u>Mechanische Beikräuterregulierung:</u> Vermutete sehr häufige Bestandsverluste durch mechanischen Eingriff in Boden bei mech. Beikräuterregulierung. <u>Electro weeding:</u> möglicherweise hohes Tötungs- u. Verletzungsrisiko aufgrund eingesetzter Stromstärken	Electro weeding vermeiden	Forschungsbedarf: Einfluss von electro weeding auf Knoblauchkröte	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse) <u>Risiken:</u> k.A. <u>Umsetzbarkeit:</u> u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung	<u>Synergie/Konflikt:</u> Electro weeding wegen der eingesetzten Stromstärke und hohen Spannung grundsätzlich bedenklich für die Bodenfauna, gilt daher in gleicher Weise für andere Arten

Knoblauchkröte (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Pflanzenschutz	s.o.	<u>Fahrerassistenzsysteme (automatische Spurführung), optimierte Beleuchtung</u> , <u>AFR</u> : ermöglichen Bearbeitungsschritte bei Nacht. Bei AFR kann langsamere Bearbeitungsschwindigkeit als Ausgleich Einsatz bei Nacht erhöhen. Bearbeitung bei Nacht erhöht Gefahr der Störung während Aktivitätsphase (nachts) möglicherweise durch Lärm, Lichtverschmutzung und potientiell Verletzungs- oder Tötungsrisiko der Knoblauchkröte	Nächtliche Störung vermeiden	<u>Potenzial AFR</u> : Präzise mechanische Beikräuterregulierung durch AFR mit automatisierter Erkennung von Beikräutern oder Positionsspeicherung von Saatgutablage	<u>Aufwand</u> : Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse) <u>Risiken</u> : Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit</u> : u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung	s.o.
	<u>Habitatanspruch</u> : Kleingewässer (Laichgewässer), oberflächennaher Grundwasserstand; Anthropogene Eutrophierung v. a. durch Phosphate, die nach Niederschlägen aus dem Bodeneintrag von gedüngten landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer gelangen beschleunigen Entwertung und Verlust von Kleingewässern	<u>Düngen</u> : Eintrag von Dünger in die Laichgewässer führt grundsätzlich zur Verschlechterung der Gewässergüte und der im Gewässer lebenden Arten	Möglichst Reduktion der Aufbringung von Dünger (vgl. auch Tobias 2000, Nyström et al. 2007)	Verzicht oder reduzierte Ausbringung von Mineraldünger, Umsetzen kleinerer Schläge mit vielfältigen Kulturen (auch: Leguminosen, Roggen, Hafer) könnte Bedarf an Mineraldünger senken. <u>Potenzial Teilflächenspezifische Applikation (z. B. mit NIR-Sensoren)</u> : reduzierte Ausbringung durch bedarfsabhängige Düngung	<u>Aufwand</u> : Erweiterung/Anpassung des Maschinenparks mit Sensoren und Farm-Management-System (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung inkl. Düngung <u>Risiken</u> : Verminderter Ertrag, ggf. höherer Bedarf Pflanzen mechanisch/chemisch zu pflegen <u>Umsetzbarkeit</u> : abh. von finanziellem Ausgleich, Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung	<u>Synergien</u> : Gewässerschutz, Schonung der Bodenfauna und -flora
Düngung						

Knoblauchkröte (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Düngung	s.o.	<u>Zeitkriterium:</u> Jungkröten verlassen Gewässer: Ende Juni (und von 2. Laichzeit Mitte September), wandern im Herbst zu Winterquartieren. Alt-tiere wandern ab Oktober in ihre Winterquartiere. Wanderstrecken von meist 200 m (max. 1.200 m)	<u>Moderne Düngemethoden, z.B. Injektionsdüngung:</u> Mineraldünger führt zu höherem Ertrag und ist wichtig für den Erhalt eines fruchtbaren Bodens, aber direkter Körperkontakt mit Düngemitteln (ggf. auch durch Niederschlag entstehende wässrige Düngemittel-Lösung) führt zu Verletzungen (Verätzungen), Vergiftungen und zum Tode (v. a. bei Jungtieren)	Zeitliche Einschränkung der Düngeraufbringung während der Wanderung (zum Schutz der Jungtiere), v. a. im Radius von Laichgebieten (ca. 1200m)	Verzicht oder reduzierte Ausbringung von Mineraldünger, Umsetzen kleinerer Schläge mit vielfältigen Kulturen (auch: Leguminosen, Roggen, Hafer) könnte Bedarf an Mineraldünger senken. <u>Potenzial Teilflächenspezifische Applikation (z. B. mit NIR-Sensoren):</u> reduzierten Ausbringung durch bedarfsabhängige Düngung	<u>Aufwand:</u> Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung inkl. Düngung <u>Risiken:</u> Verminderter Ertrag, höherer Bedarf Pflanzen mechanisch/chemisch zu pflegen <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von finanziellem Ausgleich
	s.o.	s.o.	Mineralischen Dünger vermeiden (vgl. Tobias 2000)	Wenn Düngung erfolgt, Vorzug dem organischen Dünger einräumen und /oder Mist / Gülle vorziehen	<u>Aufwand:</u> Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung inkl. Düngung mit Mineraldünger <u>Risiken:</u> Verminderter Ertrag, möglicherweise höherer Bedarf Pflanzen mechanisch/chemisch zu pflegen <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von finanziellem Ausgleich	s.o.
Bewässerung	<u>Habitatanspruch:</u> Möglichst oberflächennaher Grundwasserstand, Tümpel zum Laichen; Gefährdung: Änderung der Hydrologie, z. B. durch Absenkung des oberflächennahen Grundwasserstandes, aber auch zunehmende Austrocknungstendenzen	<u>Fertigation:</u> (wässrige Düngemittel-Lösungen); Effiziente Bewässerung mindert ggf. Verfügbarkeit an frei zugänglichen Wasserflächen, Forschungsbedarf	s. Empfehlungen	Ausstiegshilfen bei Bewässerungsinfrastruktur (Bewässerungsteiche, -gräben usw.) zur Verfügung stellen, offene Wasserflächen fördern <u>Potential Bewässerung:</u> unabhängig von eingesetzter Technik wirkt Bewässerung potenziell günstig auf Habitat der Knoblauchkröte	<u>Aufwand:</u> Bei bestehenden offenen Wasserflächen Opportunitätskosten ggü. intensiver Bewirtschaftung, neue Flächen z. B. als Niederschlagsrückhaltebereich zu schaffen ist für Landwirte nicht opportun, da Wasser auf offenen Flächen mehr verdunstet als in geschlossenem Systemen, wie z. B. Systemen <u>Risiken:</u> (k.A.) <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von finanziellem Ausgleich	-

Knoblauchkröte (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Ernte	<u>Zeitkriterium:</u> Jungkröten verlassen Gewässer: Ende Juni (und von 2. Laichzeit Mitte September), im Herbst zu Winterquartieren. Alttiere wandern ab Oktober in ihre Winterquartiere. Wanderstrecken von meist 200 m (max. 1.200 m);	<u>Moderne Erntemaschinen, z. B. Selbstfahrer, große Spezialrodemaschinen:</u> Verdichten aufgrund ihres Gewichtes ggf. stärker den Boden, führen zur Verletzung Tieren und verhindern, dass sich die Knoblauchkröte eingraben kann. Kartoffelroder nehmen den gesamten Damm hoch und sieben die Kartoffeln, das führt zu Verletzung oder Tötung der Knoblauchkröten (vgl. auch Arbeiten von Tobias 2000, Siebert & Kinast 2019))	Große Monokulturf lächen vermeiden; Bodendruck und Verdichtung minimieren (vgl. Dürr et al. 1999 in Tobias 2000)	Kleinteilige Bewirtschaftung (Stichwort: Projekt PatchCrop), ermöglicht Schutzzonen durch asynchrone Bearbeitungszeiträume und könnte das Überleben einer ausreichenden Anzahl von Tieren für die Population sichern. <u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein, Bearbeitung unterschiedlicher Kulturen möglich, langsamere Fahrgeschwindigkeit.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks mit AFR / Farm-Management-Systemen (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung bzw. Kultur mit höherem Deckungsbeitrag <u>Risiken:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen. <u>Umsetzbarkeit:</u> noch keine AFR für Ernte marktfähig, Einsatz zudem u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung	<u>Synergien:</u> Wildbienen, Laufkäfer usw. profitieren, wenn wichtige Landschaftselemente durch Verkleinerung der Schläge (Form und Größe) an die umgehende Landschaft angepasst stehen gelassen werden <u>Konflikt:</u> langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit kleiner, autonomer Robotik zur Umsetzung kleinerer Schläge könnte ausgleichend nächtlichen Einsatz erfordern.

Wildbienen						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
übergeordnet	<u>Nahrung:</u> Notwendigkeit ausreichend langer Blütezeiten: Benötigen außerhalb der Blütezeit der Nutzpflanzen ein Nahrungsangebot zu ihrer Existenz, das nur durch die Blüten von Wildkräutern gedeckt werden kann; hohe Abhängigkeit vom Blütenangebot, da Wildbienen für die Aufzucht ihrer Nachkommen oft den Pollen ganz bestimmter Pflanzenarten benötigen. Je nach Spezialisierungsgrad werden Blüten von Pflanzen verschiedener Pflanzenfamilien (Polylektie) oder auch nur von einer Familie bzw. Gattung und im Extremfall von einer Pflanzenart (Oligolektie bzw. Monolektie) zum Pollensammeln aufgesucht.	<u>Präzisionslandwirtschaft:</u> Viele Beikräuterarten sind durch Saatgutreinigung, intensive Bodenbearbeitung (Umbruch der Stoppelfelder, tiefes Pflügen, Aufgabe von Sonderkulturen), insbesondere aber durch den Herbizideinsatz und intensive Düngung stark im Bestand zurückgegangen bzw. verschwunden.	Kleine Schläge, ausreichend breite, möglichst unbeflügelte Randstrukturen mit breiten blütenreichen Säumen, Brachen, ungedüngte und PMS-freie Flächen	Kleine Schläge mit ausreichend breiten Randstreifen; Ökolandbau, Pflanzenbauliche Maßnahmen wie Vielfältige Fruchtfolgen, Nützlingseinsatz etc. <u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein. Bearbeiten kleiner Schläge möglich und Vorsehen breiter Randstreifen.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten gegenüber produktiver Nutzung der Gesamtfläche. <u>Risiko:</u> Verminderter Ertrag aufgrund kleinerer Flächen und mehr Randstrukturen. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Laderversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	<u>Synergien:</u> Regenwürmer, Laufkäfer

Wildbienen (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
übergeordnet	<u>Habitatanspruch:</u> Geeignete Nistplätze im Lebensraum der Arten, vielfältige Habitatstrukturen (z.B. trockene, magere Wiesen, Feldraine, Abbruchkanten, Rohbodenbereiche etc.) u. Verfügbarkeit von Nistmaterial für den Bau der Brutgänge; u.a. selbst gegrabene Hohlräume als Nistplätze in Steilwänden (Sand, Löß, Lehm), in horizontalen Flächen und schütter bewachsenen Böschungen; in Ackergebieten unbefestigte, wenig befahrene Wege, Abbruchkanten, Raine oder sonstige ungenutzte Flächen (z.B. Brachen); standorttreu; bev. unmittelbare Nähe zu Blühflächen mit Blütenreichtum. Brutgänge bodennistender Bienen befinden sich je nach Bodenart in 10-20 cm Tiefe; bis zu 25-30 cm (je nach Art)	<u>Trend zu großen Maschinen, z. B. Portalkratern:</u> führt zu Vergrößerung der Schläge, großflächiger Anbau mindert Nahrung und Strukturen, unbearbeitete Flächen, Feldraine, Randstrukturen. <u>AFR:</u> Risiko einer Erhöhung der Frequenz der Arbeitsschritte, d.h. häufigeres Befahren der Flächen. Möglicherweise Risiko einer Bodenverdichtung und weniger Nistplätze.	Kleine Schläge, ausreichend breite, möglichst unbeeinflusste Randstrukturen, Strukturvielfalt an die umgebende Landschaft angepasst	Kleinteiligere Bewirtschaftung mit wenig befahrenen Wegen, Blühstreifen zwischen den Schlägen, Abbruchkanten, Optimierung der Fahrwege (z. B. Onland-Pflug), kleine Zugmaschinen bevorzugen. <u>Potenzial AFR:</u> um geringeren Bodendruck zu verursachen, nur notwendige Arbeitsschritte = erhöht Möglichkeit für Nistplätze. AFR können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein. Bearbeiten kleiner Schläge möglich und Vorsehen breiter Randstreifen. <u>Potenzial Controlled Traffic Farming (CTF):</u> Anlegen fester Fahrspuren, dadurch nur lokale Verdichtung in diesen Fahrspuren (vgl. Herlitzius et al. 2021). <u>Potenzial Breitreifen, Reifendruck-Regelanlagen, Kettenlaufwerke:</u> verringern Bodendruck	<u>Aufwand:</u> s.o.. <u>Risiko:</u> s.o. Eingeschränkte Mobilität bei Einsatz von Kettenlaufwerken. <u>Umsetzbarkeit:</u> u.a. abh. von Finanzierung, für AFR, CTF: Netzabdeckung, Schulung, für AFR auch Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	<u>Synergien:</u> Regenwürmer, Laufkäfer
Bodenbearbeitung / Aussaat	<u>Habitatanspruch:</u> Ackerbegleitflora, Nistplätze; Brutgänge bodennistender Bienen befinden sich je nach Bodenart in 10-20 cm Tiefe bzw. bis zu 25-30 cm (je nach Art)	<u>Pflügen:</u> Potenzielle Zerstörung der Brutgänge bei Bodenbearbeitung > ca. 15 cm	Flache Bodenbearbeitung, Grubber bevorzugt zur Bodenbearbeitung verwenden.	<u>Potenzial Grubbern:</u> oberflächliches Grubbern (bis ca. 15 cm) führt zu größeren Nistaggregationen bodennistender Wildbienenarten im Gegensatz zu tiefem Pflügen.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Opportunitätskosten ggü. Bearbeitung mit Pflug <u>Risiko:</u> Ernteminderung durch höheres Auflaufen von Beikräutern, damit höherer Arbeitsaufwand für mechanische Beikräuterregulierung oder sogar Bedarf von PSM, erhöhte Krankheiten <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von Finanzierung.	<u>Synergien:</u> höheres Nahrungsangebot (und bei gezielter mech. Entfernung die Anbaukultur stören den Beikräutern wird das Blütenangebot anderer Beikräuter gefördert). <u>Konflikte:</u> evtl. häufigeres Befahren für mech. Beikräuterregulierung erhöht Bodenverdichtung, höhere Störungs- und Zerstörungsraten für z. B. brütende Feldvögel

Wildbienen (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
Pflanzenschutz	<u>Nahrungsanspruch:</u> Reiche Ackerbegleitflora für lange Blühzeiten	<u>Herbizide:</u> Unterdrückung von Beikräutern durch Herbizideinsatz mindert Nahrungsangebot - dieser Effekt wird auch durch die Anwendung von Präzisionstechnik nicht verhindert.	Herbizideinsatz vermeiden	<u>Potenzial Monitoring-Technik und Präzisionstechnik:</u> frühzeitige Erkennung von Pflanzenkrankheiten/Pilz-/Schädlingsbefall	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks um Monitoring-Technik (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Geschultes Personal. Opportunitätskosten ggü. Produktion mit Herbizidbehandlung <u>Risiko:</u> Ernteminderung durch höheres Auflaufen von Beikräutern, damit höherer Arbeitsaufwand für mechanische Beikräuterregulierung, erhöhte Pflanzenkrankheiten/Pilz-/Schädlingsbefall <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von Finanzierung	<u>Synergie:</u> höheres Nahrungsangebot durch vorhandene Beikräuter
	<u>Zeitkriterium:</u> Flugzeit: April/Mai/Juni/Juli bis Juni/Juli/August/September (abh. von Art), innerhalb der Periode Mai bis August die meisten (hier behandelten) Arten. <u>Insektizide:</u> (v.a. Neonicotinoide) vergiften Honig- und Wildbienen, schränken Fertilität ein, erhöhte Sterblichkeit überwinternder Bienen; Einsatz verschiedener Pestizide erzeugen eine Kombinationswirkung, welche die fatalen Auswirkungen auf Bienen noch steigert.	<u>Ausbringungstechnik für PSM:</u> Kein zusätzliches Risiko durch modernisierte Technik selbst.	Vollständiger Verzicht auf Insektizide, v.a. Neonikotinoide, regenerative Landwirtschaft	<u>Potenzial Monitoring und Präzisionstechnik im Bereich konv. Landwirtschaft:</u> frühzeitige Erkennung von Pflanzenkrankheiten/Pilz-/Schädlingsbefall, nur betroffene Stellen behandeln mindert Menge und betroffene Flächen Forschungsbedarf: Potenzial von Nützlingen (z. B. bestimmte Laufkäferarten) in Bezug auf Wildbienenbiodiversität in der regenerativen Landwirtschaft (z.B. im Ackerbau mit alten Kartoffelsorten) untersuchen	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks um Monitoring-Technik und Präzisionstechnik (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Geschultes Personal. Opportunitätskosten ggü. Produktion mit Herbizidbehandlung <u>Risiko:</u> Ernteminderung durch höheres Auflaufen von Beikräutern, erhöhte Pflanzenkrankheiten/Pilz-/Schädlingsbefall. <u>Risiken/ Umsetzbarkeit:</u> Neonikotinoide (Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam) sind EU-weit bereits verboten (Verbot durch europäischen Gerichtshof 2021 bestätigt); Kompletter Verzicht auf Insektizide bei akutem Krankheitsdruck/Pilz-/Schädlingsbefall wie z. B. Kartoffelkäfer führt zum Ernteausfall und riskiert Existenzgrundlage, ist also wirtschaftlich bisher so in der konventionellen Landwirtschaft nicht umsetzbar.	<u>Synergie:</u> Laufkäfer

Wildbienen (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Düngung	<p><u>Habitatanspruch:</u> Geeignete Nistplätze im Lebensraum der Arten, vielfältige Habitatstrukturen (z.B. trockene, magere Wiesen, Feldraine, Abbruchkanten, Rohbodenbereiche etc.) u. Verfügbarkeit von Nistmaterial für den Bau der Brutgänge; u.a. selbst gegrabene Hohlräume als Nistplätze in Steilwänden (Sand, Löß, Lehm), in horizontalen Flächen und schütter bewachsenen Böschungen; in Ackergebieten unbefestigte, wenig befahrene Wege, Abbruchkanten, Raine oder sonstige ungenutzte Flächen (z.B. Brachen); standorttreu; bev. unmittelbare Nähe zu Blühflächen mit Blütenreichtum. Brutgänge bodennistender Bienen befinden sich je nach Bodenart in 10-20 cm Tiefe; bis zu 25-30 cm (je nach Art)</p>	<p><u>Trend zu großen Maschinen, z. B. Portalkratern:</u> führt zu Vergrößerung der Schläge, großflächiger Anbau mindert Nahrung und Strukturen, unbearbeitete Flächen, Feldraine, Randstrukturen.</p> <p><u>AFR:</u> Risiko einer Erhöhung der Frequenz der Arbeitsschritte, d.h. häufigeres Befahren der Flächen. Möglicherweise Risiko einer Bodenverdichtung und weniger Nistplätze.</p>	<p>Kleine Schläge, ausreichend breite, möglichst unbefestigte Randstrukturen, Strukturvielfalt an die umgebende Landschaft angepasst</p>	<p>Kleinteiligere Bewirtschaftung mit wenig befahrenen Wegen, Blühstreifen zwischen den Schlägen, Abbruchkanten, Optimierung der Fahrwege (z. B. Onlandpflug), kleine Zugmaschinen bevorzugen.</p> <p><u>Potenzial AFR:</u> um geringeren Bodendruck zu verursachen, nur notwendige Arbeitsschritte = erhöht Möglichkeit für Nistplätze. AFR können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein. Bearbeiten kleiner Schläge möglich und Vorsehen breiter Randstreifen.</p> <p><u>Potenzial Controlled Traffic Farming (CTF):</u> Anlegen fester Fahrspuren, dadurch nur lokale Verdichtung in diesen Fahrspuren (vgl. Herlitzius et al. 2021).</p> <p><u>Potenzial Breitreifen, Reifennendruck-Regelanlagen, Kettenlaufwerke:</u> verringern Bodendruck</p>	<p><u>Aufwand:</u> s.o.</p> <p><u>Risiko:</u> s.o. Eingeschränkte Mobilität bei Einsatz von Kettenlaufwerken.</p> <p><u>Umsetzbarkeit:</u> u.a. abh. von Finanzierung, für AFR, CTF: Netzabdeckung, Schulung, für AFR auch Laderversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.</p>	<p><u>Synergien:</u> Regenwürmer, Laufkäfer</p>

Wildbienen (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrartechniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele o. Maßnahmen
Bewässerung	<u>Insektizide:</u> (v.a. Neonicotinoide) vergiften Honig- und Wildbienen, schränken Fertilität ein, erhöhte Sterblichkeit überwinternder Bienen; Einsatz verschiedener Pestizide erzeugen eine Kombinationswirkung, welche die fatalen Auswirkungen auf Bienen noch steigert.	<u>Bewässerung:</u> Zusammenhang zwischen Intensität von Bewässerungsmaßnahmen und Neonicotinoid-schädigenden Effekten (z.B. Cecala & Rankin (2021): Zunehmend erforderlicher Einsatz von Bewässerungstechniken bewirken indirekt eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Kontaktaufnahme giftiger Mengen von Neonicotinoiden, denen die verschiedenen Entwicklungsstadien Wildbienen im Boden ausgesetzt sind.	Keine Ausbringung von Neonicotinoiden, keine zusätzlichen Bewässerungstechniken	<u>Potenzial Monitoring und Präzisionstechnik im Bereich konv. Landwirtschaft:</u> frühzeitige Erkennung von Pflanzenkrankheiten/Pilz-/Schädlingsbefall, nur betroffene Stellen behandeln mindert Menge und betroffene Flächen Forschungsbedarf: Potenzial von Nützlingen (z. B. bestimmte Laufkäferarten) in Bezug auf Wildbienenbiodiversität in der regenerativen Landwirtschaft und mit div. Bewässerungstechniken (z.B. im Ackerbau mit alten Kartoffelsorten) untersuchen	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks um Monitoring-Technik und Präzisionstechnik (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Geschultes Personal. Opportunitätskosten ggü. Produktion mit Herbizidbehandlung <u>Risiko:</u> Ernteminderung durch höheres Auflaufen von Beikräutern, damit höherer Arbeitsaufwand für mechanische Beikräuterregulierung, erhöhte Pflanzenkrankheiten/Pilz-/Schädlingsbefall. <u>Umsetzbarkeit:</u> Neonikotinoide (Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam) sind EU-weit bereits verboten (Verbot durch europäischen Gerichtshof 2021 bestätigt); Kompletter Verzicht auf Insektizide bei akutem Krankheitsdruck/Pilz-/Schädlingsbefall wie z. B. Kartoffelkäfer führt vorauss. zum Ernteausfall	<u>Insektizide:</u> (v.a. Neonicotinoide) vergiften Honig- und Wildbienen, schränken Fertilität ein, erhöhte Sterblichkeit überwinternder Bienen; Einsatz verschiedener Pestizide erzeugen eine Kombinationswirkung, welche die fatalen Auswirkungen auf Bienen noch steigert.
	<u>Insektizide:</u> s.o.	<u>Unterirdische Bewässerungstechnik:</u> könnte für die bodennistenden Wildbienen bei der Verlegung der Technik in den Boden zusätzlich schädigende Einflüsse haben. Diese Problematik wird aufgrund der einmaligen Störung bei der Installation als verhältnismäßig gering eingeschätzt.	Keine zusätzlichen Ausbringung von Bewässerungstechniken	Regenerative Landwirtschaft fördert die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens Konv. Landwirtschaft: <u>Unterirdische Bewässerungstechnik:</u> kann bis zu 10 Jahre im Boden verbleiben, geringere Befahrung und Verdichtung des Bodens als bei mobiler Bewässerung.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks um Monitoring-Technik und Präzisionstechnik (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. <u>Risiken:</u> k.A. <u>Umsetzbarkeit:</u> Technik noch nicht für einjährige Kulturen relevant, aber ist derzeit Forschungsgegenstand (Forschungsbedarf!) auch für einjährige Kulturen.	<u>Synergien:</u> Mit allen Ackerland bewohnenden Arten

Wildbienen (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Ernte	<p><u>Habitatanspruch:</u> Geeignete Nistplätze im Lebensraum der Arten, dabei vielfältige Habitatstrukturen, wie z.B. trockene, magere Wiesen, Feldraine, Abbruchkanten, Rohbodenbereiche etc. und Verfügbarkeit von Nistmaterial für den Bau der Brutgänge bedeutsam; u.a. Nester in Steilwänden (Sand, Löß, Lehm), in horizontalen Flächen und schütter bewachsenen Böschungen für selbstgegrabene Hohlräume als Nistplätze; in Ackergebieten unbefestigte, wenig befahrene Wege, Abbruchkanten, Raine oder sonstige ungenutzte Flächen (z.B. Brachen) zur Nestanlage sowie aufgrund der standorttreuen Lebensweise in unmittelbarer Nähe zu Blühflächen mit Blütenreichtum. Brutgänge bodennistender Bienen befinden sich je nach Bodenart in 10-20 cm Tiefe; bis zu 25-30 cm (je nach Art)</p>	<p><u>Moderne Erntemaschinen, z. B. Selbstfahrer, große Spezialrodemaschinen:</u> Verdichten aufgrund ihres Gewichtes ggf. stärker den Boden</p>	<p>Bodenverdichtung vermeiden, Egalisierung der Fläche vermeiden</p>	<p>Kleinteilige Bewirtschaftung (Stichwort: Projekt Patch-Crop), ermöglicht Schutzzonen durch asynchrone Bearbeitungszeiträume und bietet Schutzräume <u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landchaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein, Bearbeitung unterschiedlicher Kulturen möglich, langsamere Fahrgeschwindigkeit empfohlen.</p>	<p><u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks mit AFR / Farm-Management-Systemen (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten gegenüber produktiver Nutzung bzw. Kultur mit höherem Deckungsbeitrag <u>Risiken:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen. <u>Umsetzbarkeit:</u> noch keine AFR für Ernte marktfähig, Einsatz zudem u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung</p>	<p><u>Synergien:</u> s.a. Regenwürmer/Bodenbearbeitung</p>

Regenwürmer						
Übergeordnet	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele o. Maßnahmen
	Nahrungsanspruch: Epigäische und anezische Arten sind auf org. Streu- und Rottematerial auf der Bodenoberfläche angewiesen; endogäische Arten auf org. Substanz im Oberboden.	Nutzungsin-tensivierung und Reduktion von Habitaten	s. Empfehlun-gen	Humusmehrnde Fruchtfolge	Aufwand: ggf. Opportunitätskosten ggü. Fruchtfolge mit hohen Deckungsbeiträgen	<u>Synergien:</u> Lebensraumverbesserungen für weitere Ackerbewohnende Arten
	Habitatanspruch: Geringe Wanderungsgeschwindigkeit kritischer Faktor bei Populationszusammenbruch (z.B. durch Trockenheit oder intensive Bodenbearbeitung) (je größer die Schläge desto länger dauert eine Wiederbesiedlung). Dauergrünland, stillgelegte Ackerflächen, Blühflächen, Grasstreifen, unbearbeitete Feldraine etc. weisen aufgrund der Bodenruhe und der permanenten Bodenbedeckung höhere Regenwurmdichten auf als Ackerflächen.	<u>Trend zu größeren Maschinen</u> führt zu Vergrößerung der Schläge und damit weniger Randstrukturen.	Vielfältige Habitate durch kleinteilige Bewirtschaftung	Kleinere Schläge mit mehr (ungestörten) Randflächen, von denen aus eine Einwanderung möglich ist; kleinteilige Bewirtschaftung inkl. mehrjährige Kulturen, Brachflächen- oder streifen; <u>Potenzial AFR:</u> AFR können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feldlandschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein. Bearbeiten kleiner Schläge und Belassen von Randstrukturen möglich.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). Anschaffungs- und Betriebskosten für Saat von Blühflächen. Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung der Gesamtfläche. <u>Risiko:</u> Verminderter Ertrag aufgrund kleinerer Flächen und mehr Randstrukturen. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen. <u>Umsetzbarkeit:</u> u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	<u>Synergien:</u> Wildbienen, Laufkäfer usw. profitieren, wenn wichtige Landschaftselemente durch Anpassung der Schläge (Form und Größe) an die Umwelt stehen gelassen werden oder eine kleinteiligere Bewirtschaftung durchgeführt wird. Auch Synergien für Boden- und Gewässerschutz. <u>Konflikte:</u> AFR: langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit muss ggf. durch nächtlichen Einsatz ausgeglichen werden: Konflikte mit nachtaktiven Arten.

Regenwürmer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Übergreifend	<u>Habitatan-spruch:</u> Negative Korrelation zwischen Bodenverdichtungen und Regenwurmdichte	<u>Trend zu schweren Maschinen:</u> Erhöhte Verdichtungsrisiken durch schwere Maschinen, wie z.B. Injektoren für Wirtschaftsdünger, Strip-Till-Verteiler für Wirtschaftsdünger, Einsatz von Schlitzschuh, schwere Erntemaschinen, kombinierte Pflanzmaschinen	Bodenverdichtung vorbeugen/vermeiden	Pflanzenbauliche Maßnahmen für stabile Bodenstruktur wie vielfältige Fruchtfolgegestaltung inkl. Tiefwurzeln, Zwischenfrüchten und Untersaaten, Anbau frühräumender Kulturen und Sorten, regelmäßige Kalkung; Befahren nur bei tragfähigem Boden, Verwenden leichter Maschinen, möglichst gleiche Verteilung von Lasten auf mehrere Achsen, evtl. Gülleverschlauchung nutzen, Optimierung der Fahrwege, Onland-Pflügen. <u>Potenzial Gülleverschlauchung:</u> Geringeres Gewicht, da Verzicht auf Güllefasser verringert Bodendruck <u>Potenzial Breitreifen, Reifeninnendruck-Regelanlagen, Kettenlaufwerke:</u> verringern Bodendruck <u>Potenzial CTF:</u> Anlegen fester Fahrspuren, dadurch nur lokale Verdichtung in diesen Fahrspuren. <u>Potenzial AFR:</u> kleine, leichte AFR verursachen bei gleicher Einsatzfrequenz aufgrund des geringeren Gewichts weniger Verdichtung als Traktoren mit Anbau- bzw. Anhängertechnik Potenzial Schwarmtechnologie: laut Herzberg (pers. Comm.) ist noch nicht abschätzbar, ob viele kleinere oder eine große Maschine weniger Bodenverdichtungen verursachen, vgl. auch Projekt 'BonaRes'.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung/Anpassung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). Zusätzliche Kosten für Breitreifen und Reifeninnendruck-Regelanlagen. Fahrzeuge mit geringem Gesamtgewicht und Güllefasser mit geringerem Fassungsvermögen ggf. zeit- und arbeitsaufwändiger. Investition in Technik für Gülleverschlauchung und höhere Anforderungen an Fahrer und höherer Aufwand. Bei vielfältigen Fruchtfolgen ggf. Opportunitätskosten ggü. Fruchtfolge mit hohen Deckungsbeiträgen. <u>Risiken:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen. Eingeschränkte Mobilität bei Einsatz von Kettenlaufwerken. Befahren nur bei abgetrockneten Böden schränkt mögliche Bearbeitungszeiträume ein. <u>Umsetzbarkeit:</u> u.a. abh. von Finanzierung, für AFR, CTF: Netzabdeckung, Schulung, für AFR auch Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen. Bei abgetrocknetem Boden ernten: Tendenz umsetzbar, da bei den meisten Kulturen ohnehin Ziel (ansonsten Schimmel-/Pilzgefahr). Leichtere Erntemaschinen werden derzeit als nicht umsetzbar gesehen, da keine am Markt verfügbar und auch keine Prototypen (außer Schwarmtechnologie, aber da ist ein Vorteil hinsichtlich Bodenverdichtung nicht bewiesen, s. o.), Vorteil geringerer Befüllung und damit aber höherer Befahrungshäufigkeit nicht belegt; dazu Forschungsbedarf.	<u>Synergien:</u> z.B. vielfältige positive Wirkungen bei vielfältiger Fruchtfolge in ähnlicher Weise für andere Tierarten, sowie den Wasser-, Boden- und Klimaschutz möglich

Regenwürmer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Bodenbearbeitung / Aussaat	<p><u>Nahrungsanspruch:</u> Epigäische und anezische Arten sind auf org. Streu- und Rottematerial auf der Bodenoberfläche angewiesen; endogäische Arten auf org. Substanz im Oberboden.</p> <p><u>Zeitkriterium:</u> Aktiv sind Regenwürmer insbesondere in Frühjahr (März/April) und Herbst (Sept./Okt), wenn Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen günstig sind (anezische Arten befinden sich dann im Oberboden); Fortpflanzung findet hauptsächlich im Frühjahr und Herbst bei günstigen Boden- und Temperaturverhältnissen statt.</p> <p><u>Gefährdung durch Pflügen/intensive Bodenbearbeitung (z.B. Fräse, Kreiselegge)/wendende Bodenbearbeitung (Pflüger & Luka 2007):</u> verringert Regenwurmdichte (insbesondere der anezischen Arten) durch mechan. Schädigung, Vergraben von Ernteresten, dem Aussetzen von Fressfeinden, Austrocknen des Bodens. Intensive Bodenbearbeitung im Frühling und Herbst besonders risikoreich für Regenwurmpopulation. Ggf. kann Pflügen für endogäische Arten günstig sein, wenn sich dadurch das Nahrungsangebot verbessert.</p>	Allgemein	s. Empfehlungen	<p>Erntereste nur oberflächlich einarbeiten. Intensive und wendende Bodenbearbeitung vermeiden. Bodenbearbeitung wenn möglich bei trockenen Verhältnissen.</p> <p><u>Pflug:</u> Pflugverzicht oder möglichst seltenes Pflügen, flaches Pflügen</p> <p><u>Potenzial Pflugalternativen:</u> Grubbern, nichtwendende Verfahren, Mulchsaat, Strip till und Direktsaat (Vorteile für anezische Arten wiegen scheinbar negative Wirkungen durch Anwendung von Herbiziden auf).</p>	<p><u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens.</p> <p><u>Risiko:</u> Ernteminderung durch höheres Auflaufen von Beikräutern, damit höherer Arbeitsaufwand für mechanische Beikräuterregulierung oder PSM-Einsatz, evtl. mehr Pflanzenkrankheiten aufgrund von an der Oberfläche verbleibenden Pflanzenresten</p>	<p><u>Synergien:</u> Erosionsschutz durch Mulch- und Direktsaat und Strip till.</p> <p><u>Konflikte:</u> evtl. häufigeres Befahren für mech. Beikräuterregulierung erhöht Störungs- und Zerstörungsrate für z. B. brütende Feldvögel</p>
	<p><u>Habitatanspruch:</u> Negative Korrelation zwischen Bodenverdichtungen und Regenwurmdichte</p>	<p><u>Trend zu schweren Maschinen,</u> z. B. kombinierte Pflanzmaschinen: Erhöhte Verdichtungsrisiken durch schwere Maschinen</p>	Bodenverdichtung vorbeugen/vermeiden	s.o. unter übergreifenden Ausführungen zur Vermeidung von Bodenverdichtung	s.o. unter übergreifenden Ausführungen zur Vermeidung von Bodenverdichtung	

Regenwürmer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte ⁵³
Pflanzenschutz	<u>Gefährdung:</u> Negative Auswirkungen von PSM mehrfach bewiesen: auf Individuenebene u.a. höhere Mortalität, geringere Fruchtbarkeit, Beeinträchtigung der Aktivität. Anezische und epigäische Arten, die sich (auch) an der Bodenoberfläche bewegen, sind von oberirdisch aufgetragenen Pestiziden stärker betroffen als endogäische Arten.	(k.A.)	s. Empfehlungen	Verzicht oder verminderter Einsatz von PSM (Menge, zeitlich, örtlich): <u>Potenzial Präzisionstechnik:</u> Teilflächenspezifische Ausbringung von PSM zur Reduzierung behandelter Flächen und zur Reduzierung der PSM-Menge. <u>Sprüh-Drohnen:</u> reduzierter Einsatz auf von Krankheit/Schädlingen betroffenen Flächen <u>Potenzial AFR:</u> Zeit- und arbeitsintensive mechanische Beikräuterregulierung (statt Einsatz von Herbiziden) kann durch AFR autonom übernommen werden. <u>Potenzial Electro Weeding:</u> Alternative zu Herbizid, direkter Kontakt mit den Applikatoren für Regenwürmer wohl tödlich, aber bisher kein negativer Effekt auf sich im Boden befindliche Regenwürmer erkennbar <u>Allgemeine Maßnahmen:</u> Ökolandbau; Pflanzenbausysteme, die weniger anfällig sind für Pflanzenkrankheiten und Schädlinge (u.a. Fruchtfolge, geeignete Zwischenfrüchte, gesunder Boden).	<u>Aufwand:</u> Reduzierter Einsatz chem.-synth. PSM macht verstärkt zeitaufwändigere mechanische Verfahren notwendig. Präzisionstechnik/Sprüh-Drohnen/AFR/Electric weeding; Erweiterung/Anpassung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). <u>Risiken:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen. <u>Umsetzbarkeit:</u> AFR u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	<u>Synergien:</u> Verzicht auf PSM auch positiv für andere Arten, Wasserschutz usw. <u>Konflikte:</u> häufigeres Befahren für mech. Beikräuterregulierung (s.u.) erhöht evtl. Bodenverdichtung, höhere Störungsrate für z.B. brütende Feldvögel;
	<u>Zeitkriterium:</u> Aktiv sind Regenwürmer insbesondere in Frühjahr (März/April) und Herbst (Sept./Okt), wenn Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen günstig sind (anezische Arten befinden sich dann im Oberboden); Fortpflanzung findet hauptsächlich im Frühjahr und Herbst bei günstigen Boden- und Temperaturverhältnissen statt.	<u>Mechanische Beikräuterregulierung:</u> z. B. (Präzisions-)hacken, Striegel, Fräse oder die Kopplung chem. u. mechan. Verfahren bedeuten zusätzliche Bodenbearbeitung: (Tiefer) Eingriff in Boden beeinträchtigt Regenwurmfau. Schnell rotierende Geräte, wie Fräsen können je nach Einsatzzeitpunkt zu hohen Regenwurmlverlusten führen; Standardwerkzeuge wie Striegel und Hacken bearbeiten Boden nur oberflächlich. ⁵⁴	In den Boden eingreifende, rotierende mechanische Beikräuterregulierung vermeiden/reduzieren.	Mechan. Beikrautbekämpfung möglichst flach. Bearbeitung bevorzugt bei trockenem Boden (tiefgrabende Arten halten sich dann im Unterboden auf). Striegeln und Hacken sind Fräsen vorzuziehen, da geringerer Eingriff in Boden Forschungsbedarf: zu Wirkungen von mechan. Beikrautbekämpfung auf Bodenlebewesen.	<u>Aufwand:</u> ggf. Erweiterung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Erhöhter Zeitaufwand. <u>Risiken:</u> ggf. Ernteminderung durch höheres Auflaufen von Beikräutern, wenn Unkrautregulierung weniger effektiv <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von Wirtschaftlichkeit/finanziellem Ausgleich	s.o.

⁵³ Mit anderen Schutzzielen oder Maßnahmen

⁵⁴ Erg.: Keine Literatur zu negativer Wirkung auf Regenwürmer

Regenwürmer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Düngung	Nahrungsanspruch: epigäische und anzeische Arten sind auf org. Streu- und Rottematerial auf der Bodenoberfläche angewiesen; endogäische Arten auf org. Substanz im Oberboden.	(k.A.)	s. Empfehlungen	Mineraldünger durch organische Düngung (Wirtschaftsdünger, Mulchen von Klee gras oder Zwischenfrüchten) ersetzen	Aufwand: evtl. erhöhte Opportunitätskosten und höherer Aufwand <u>Risiken:</u> evtl. verminderter Ertrag <u>Umsetzbarkeit:</u> abh. von finanziellem Ausgleich	<u>Synergien:</u> Fördert Humusaufbau (Schutz von Bodenmikrobiom, Bodenstruktur, Anpassung Klimawandel)
	<u>Gefährdung:</u> Negative Korrelation zwischen Bodenverdichtungen und Regenwurmdichte	<u>Trend zu gro ßen Maschinen, z. B. Injektoren für Wirtschaftsdünger, Strip-Till-Verteiler für Wirtschaftsdünger, Einsatz von Schlitzschuh:</u> Verwendung schwerer Maschinen zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger erhöhen Verdichtung des Bodens	Bodenverdichtung vorbeugen/vermeiden	Pflanzenbauliche Maßnahmen für stabile Bodenstruktur; Befahren nur bei tragfähigem Boden; möglichst gleichmäßige Lastverteilung auf mehrere Achsen; Optimierung der Fahrwege; Fahrzeuge mit geringem Gesamtgewicht und Güllefässer mit geringerem Fassungsvermögen bevorzugen. <u>Potenzial Gülleverschlauchung:</u> Geringeres Gewicht, da Verzicht auf Güllefässer verringert Bodendruck <u>Potenzial Breitreifen, Reifeninnendruck-Regelanlagen, Kettenlaufwerke:</u> verringern Bodendruck <u>Potenzial CTF:</u> Anlegen fester Fahrspuren, dadurch nur lokale Verdichtung in diesen Fahrspuren.	<u>Aufwand:</u> CFT, Gülleverschlauchung: Erweiterung/Anpassung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, ggf. geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). Opportunitätskosten ggü. produktiverer Düngemethoden: Zeitaufwendiger (Arbeits- und Betriebskosten) wenn aufgrund kleinerer Güllefässer mehrmaliges Austauschen/Auffüllen nötig <u>Risiken:</u> Eingeschränkte Mobilität bei Einsatz von Kettenlaufwerken. Eingeschränkte Bearbeitungszeiträume bei Vorgabe nur trockene Böden zu befahren. <u>Umsetzbarkeit:</u> CTF: Netzabdeckung, Schulung; noch keine AFR verfügbar, die großflächig Dünger applizieren können.	

Regenwürmer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Ernte	Nahrungsanspruch: Epigäische und anezische Arten sind auf org. Streu- und Rottematerial auf der Bodenoberfläche angewiesen; endogäische Arten auf org. Substanz im Oberboden.	Automatische <u>Schneidföh-rung</u> : hocheffiziente modernisierte Mähdre-scher/Erntetechniken können Nahrungsangebot verringern, wenn weniger Ernterückstände zurückbleiben.	Restlose Entnahme des Erntegutes vermeiden	<u>Empfehlungen</u> : Belassen von (gehäckselten) Ernteresten (z.B. Stroh) an der Bodenoberfläche	Aufwand: Schnitthöhe ist einstellbar, Ernterückstände leicht erhöhbar, Opportunitätskosten ggü. effizienterer Ernteentnahme (das ist nicht verständlich: es geht doch nicht um die Schnitthöhe, sondern darum, wie viel Erntereste auf dem Feld belassen werden) <u>Risiken</u> : beim Belassen von Ernterückständen auf der Oberfläche können Krankheiten leichter auf die nächste Vegetationsperiode übertragen werden; hohe Regenwurmaktivität führt jedoch zu guter Einarbeitung und Zersetzung der organischen Substanz. Risiko einer Krankheitsübertragung macht Einsatz von PSM bei nächster Vegetationsperiode wahrscheinlicher. <u>Umsetzbarkeit</u> : ist umsetzbar	<u>Synergien</u> : <u>Erosionsschutz</u> ; <u>Humusaufbau</u> (<u>Schutz des Bodenbioms</u>). <u>Konflikte</u> : Bei zu dicker Strohauflage mögliche Konflikte mit Laufkäfern und anderen Arthropoden.
	Gefährdung: Negative Korrelation zwischen Bodenverdichtungen und Regenwurmdichte	Moderne <u>Erntemaschinen</u> , z. B. <u>Selbstfahrer</u> , <u>große Spezialrodermaschinen</u> : Verdichten aufgrund ihres Gewichtes ggf. stärker den Boden	Bodenverdichtung vorbeugen/vermeiden	<u>Allgemeine Empfehlungen</u> : Pflanzentechnische Maßnahmen für stabile Bodenstruktur; Befahren nur bei tragfähigem Boden, Optimierung der Fahrwege; spurversetztes Fahren; möglichst gleichmäßige Verteilung von Lasten auf mehrere Achsen; leichtere Erntemaschinen bevorzugen <u>Potenzial Breitreifen, Reifeninnen-druck-Regelanlagen, Kettenlaufwerke</u> : verringern Boden-druck <u>Potenzial CTF</u> : Anlegen fester Fahrspuren, dadurch nur lokale Verdichtung in diesen Fahrspuren	Aufwand: ggf. Erweiterung/Anpassung des Maschinenparks (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, ggf. geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). <u>Risiken</u> : Eingeschränkte Mobilität bei Einsatz von Kettenlaufwerken. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig <u>Umsetzbarkeit</u> : Bei abgetrocknetem Boden ernten: Tendenz umsetzbar, da bei den meisten Kulturen ohnehin Ziel da sonst Schimmel-/Pilzgefahr. Leichtere Erntemaschinen wird derzeit als nicht umsetzbar gesehen, da keine am Markt verfügbar und auch keine Prototypen (außer Schwarmtechnologie, aber da ist Vorteil hinsichtlich Bodenverdichtung nicht bewiesen, siehe oben), Vorteil geringerer Befüllung und damit aber höherer Befahrungshäufigkeit nicht belegt; dazu Forschungsbedarf .	s.o.

Laufkäfer						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Bodenbearbeitung / Aussaat	<p><u>Habitatansprüche:</u> Laufkäferlarven sind Bodenbewohner der oberen 50 cm; Feuchte-, Temperatur- und Lichtverhältnisse sind wesentlich, die Verbreitung bestimmenden Einflussgrößen für die Förderung von Laufkäfern unterschiedlicher Präferenzen: Ackerrelevant sind die Offenlandbewohner (überwiegend bunte Laufkäfer), Arten mit einer Präferenz für trockene, warme und sonnige Verhältnisse unter denen aber auch hygrophile (Wasser liebende) Arten vorkommen.</p>	<p><u>Modernisierte Saattechnik:</u> hocheffiziente Ausbringung ermöglicht hohe Saatkosten. Die Dichte der Saat führt zu einer Verschiebung der Artzusammensetzung. Dichte Bestände fördert kleinere Arten.</p>	<p>Präzision der eingesetzten Landmaschinen bewusst für Räume oder Zeiten aussetzen. Grundsätzlich: Extensive Nutzung, Reduktion der Bearbeitung und Verringerung der Intensität der Ackernutzung. Einschränkung: Ackerlaufkäfer auf sehr resiliente Arten, der optimaler Extensivierungsgrad um ihre Population zu erhalten ist nicht bekannt (Forschungsbedarf).</p>	<p>Lichttacker fördern Offenlandlaufkäfer <u>Potenzial modernisierte Drillmaschine:</u> flexiblere Anwendungsmöglichkeiten bei Einstellung der Reihenweiten und Fahrgassenabstände. <u>Potenzial AFR/Farm-Management-Systeme:</u> Größerer Saatabstand oder Auslassen von Teilflächen für Lichttacker kann auf Teilen des Feldes vorprogrammiert werden</p>	<p><u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks für modernisierte Drillmaschine / AFR / Farm-Management-Systeme (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung der Gesamtfläche <u>Risiko:</u> Verminderter Ertrag aufgrund größeren Saatabstandes. Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz von AFR u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.</p>	<p>s.o.</p>

Laufkäfer (Forts.)						
Bodenbearbeitung / Aussaat	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
	<p><u>Habitat-/Nahrungsansprüche:</u> Artenreichtum der Laufkäfer wird am stärksten von der Anbaufrucht und Vorfrucht beeinflusst. Auch positiv: Untersaaten und Begleitpflanzen. Erhebliche Bedeutung hat die Vegetationsstruktur der Ackerflächen. Die heute üblicherweise anzutreffenden sehr dichten Getreidebestände sind für größere Laufkäfer (wie z.B. <i>Carabus auratus</i>) praktisch nicht mehr durchdringbar, sondern nur noch für kleinere Arten.</p>	<p><u>Modernisierte Saattechnik:</u> hocheffiziente Ausbringung ermöglicht Saat mit hoher Dichte, dies ist ungünstig für die großen carnivoren Laufkäfer.</p>	<p>Eine generelle Vermeidungsmaßnahme für Ackerlaufkäfer kann hierzu nicht ausgesprochen werden, da die Ansprüche artabhängig bzw. zu verschiedenen sind.</p>	<p>Günstige Untersaaten und Begleitpflanzen für Nahrungsgrundlage von Laufkäferarten fördern. Potenzial Inter-/Miticropping: Mischkulturen bieten Potenzial Nahrungsgrundlage von Laufkäferarten fördern. Potenzial Multi-Saatgut Geräte: ermöglicht gleichzeitige Ausbringung mehrerer Saatgüter Potenzial AFR/Farm-Management-Systeme: Saatgut oder Auslassen von Teilflächen für Lichttacker kann auf Teilen des Feldes vorprogrammiert werden Forschungsbedarf: Wirkung von Intercropping</p>	<p><u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks um Multi-Saatgut-Geräte/AFR/Farm-Management-Systeme (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung der Gesamtfläche; erhöhter Aufwand bei mech. Beikräuterregulierung. <u>Risiko:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz von AFR/Farm-Management-Systeme u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.</p>	<p>s.o.</p>
	<p><u>Fortpflanzung:</u> Eiablage der Laufkäfer einzeln oder in kleinen Gruppen in Bodenkammern, der Zeitpunkt ist artabhängig, nach ca. zehn Tagen schlüpfen agile, überwiegend räuberisch lebende Larven, nach drei Larvalstadien folgt Verpuppung (Imago), nach etwa 14tägiger Puppenruhe schlüpfen die Jungkäfer; die Eiablage erfolgt im Zeitraum Frühling, Spätsommer oder Herbst.</p>	<p>Zur Fortpflanzung keine relevanten Risiken aus modernisierter Technik aus Recherche erkennlich</p>	<p>Allgemein zutreffende Vermeidungsmaßnahme sind aus der Literatur nicht abzulesen. Dies wird unsererseits dafür zurückgeführt, dass Zeitpunkte der Eiablage und der Larvenstadien artabhängig bzw. zu verschiedenen sind.</p>	<p>Grundboden- und Sekundärbodenbearbeitung sollte zum Schutz der Laufkäfereier vor April erfolgen</p>	<p><u>Aufwand:</u> Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung inkl. Zwischenfruchtanbau <u>Risiko:</u> Anbau von Zwischenfrüchten nicht möglich <u>Umsetzbarkeit:</u> Bis auf besondere Umstände (Höhe des Feldes, Wetterbedingungen) umsetzbar und auch in den meisten (Sommer-)Kulturen üblich.</p>	<p>s.o.</p>

Laufkäfer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Bodenbearbeitung / Aussaat	Es gibt überwiegend allesfressende Laufkäfer aber auch reine granivore (Samen fressende) Laufkäfer. Bei den großen Arten überwiegt die räuberische Ernährung, ohne Spezialisierung auf bestimmte Beutetiere, vorwiegend größerer und langsamere Beute wie Raupen, Schnecken und Regenwürmern. Laufkäferlarven ernähren sich von den Bodenbiota des Oberbodens, es gibt einige wenige granivore Laufkäferlarven. Kleine Laufkäferarten besiedeln Flächen, auf denen die Laufkäferpopulation dezimiert wurde schneller wieder. Große Laufkäfer dagegen sind sehr viel langsamer in der Wiederbesiedelung.	<u>Extensive Landwirtschaft:</u> (weniger dichte Vegetation, geringe Bodenstörungen) höhere Rate großer Laufkäferarten; <u>Intensive Landwirtschaft:</u> sind von kleinen Laufkäferarten dominiert (welche Samen von Beikräutern reduzieren) <u>Allgemeine Bodenbearbeitung:</u> Der Zeitpunkt von Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte haben deutliche Auswirkungen auf die Laufkäfer. Insbesondere die späten Larvenstadien der Herbstbrüter sind besonders von der Bodenbearbeitung betroffen, also die Bodenbereitung für Wintersaaten; Laufkäferarten mit mehreren Brutzyklen pro Jahr und solche, die im Frühjahr mit ihrer Brutphase beginnen sind davon weniger betroffen.	Schutzzonen schaffen, aus denen die Laufkäfer wieder die Äcker besiedeln können.	Kleinteilige Bewirtschaftung (Stichwort: Projekt PatchCrop, oder Strip Till), ermöglicht Schutzzonen durch mehr Feldränder und asynchrone Bearbeitungszeiträume und könnte das Überleben einer ausreichenden Anzahl von Tieren für die Population sichern. Mischung intensiv und extensiv bewirtschafteter Flächen kann Diversität der Laufkäfer fördern. <u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feld landschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein, Bearbeitung unterschiedlicher Kulturen möglich, langsamere Fahrgeschwindigkeit.	<u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks mit AFR / Farm-Management-Systemen (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens. Geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse), Opportunitätskosten ggü. produktiver Nutzung bzw. Kultur mit höherem Deckungsbeitrag <u>Risiken:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen. <u>Umsetzbarkeit:</u> noch keine AFR für Ernte marktfähig, Einsatz zudem u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung	s.o.

Laufkäfer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzzielen o. Maßnahmen
Pflanzenschutz: mechanisch	Gefährdungsursachen: Bodenbearbeitung eliminiert relativ hohe Anteile des Laufkäfer-nachwuchs.	<u>Striegeln</u> : Das Striegeln bereits in geringer Bodentiefe erhöht den Verlust von Laufkäfern; in der modernisierten Agrartechnik erfolgt Striegeln erfolgt mit exakter Tiefenführung. Striegeln in Bodentiefen von 8 cm Bodentiefe erhöhte Mortalität in einem Beispiel um 51 % der Laufkäfer. <u>Striegel, Hacke, Fräse</u> : Diese stellen durch ihre Bodenstörung eine potentielle Gefährdung insb. für große Laufkäferarten dar	Striegeln in größerer Bodentiefe vermeiden; Einsatz von Striegel, Hacke, Fräse unterlassen; um Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu verhindern Hinweis: Literaturhinweise deuten darauf hin, dass ein Schröpfschnitt die Abundanz bodenbewohnender Arthropoden erhöhen könnte. Einen Beweis dafür gibt es aber nicht.	<u>Potenzial exakte Tiefenführung</u> : Die Eingrifftiefe in den Boden ist einstellbar, in der Regel ist Striegeln bis max. 3 cm Tiefe üblich. <u>Potenzial AFR</u> : Einsatz von AFR kann Bodenstörung vermindern, da gezielt Beikräuter detektiert und reguliert werden	<u>Aufwand</u> : Erweiterung des Maschinenparks für AFR (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). <u>Risiko</u> : Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen, Verringerung der Anwendung von PSM führen zu erhöhten Einsatz mechanischer Beikrautregulierung <u>Umsetzbarkeit</u> : Einsatz von AFR und Verzicht auf die Anwendung von PSM u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	s.o.
Pflanzenschutz: chemisch	<u>Lebensweise</u> : Die rund 180 "Ackerlaufkäfer" sind ganz überwiegend Nützlinge. Sie ernähren sich von Kulturschädlingen und Beikräutern und reduzieren so beide. Als Kulturschädlinge gelten der Getreidelaufkäfer, Behaarte Schnelldläufer (Schädling in Erdbeerkulturen).	<u>Schwarmtechnologie</u> : möglicherweise erhöhte Störung des Bodens, die sich für die Abundanz und Diversität der Laufkäfer negativ auswirken könnte. Eine Verringerung der Laufkäferprädatoren führt vermutlich zur Ausbreitung von Schädlingen wie Schnecken.	Den Einsatz von Insektiziden vermeiden, dafür auf biologischen Pflanzenschutz setzen.	<u>Potenzial AFR</u> : Einsatz von AFR kann Bodenstörung vermindern, da gezielt Beikräuter detektiert und reguliert werden. Einsatz kleiner Feldroboter, die gezielt Unkräuter entfernen z. B. mit bildgestützter Automatisierung hat Potenzial die Bodenstörung zu vermindern, da Unkräuter gezielt angesteuert werden können; leichte Maschinen, langsame Bearbeitungsgeschwindigkeit (ggf. mehr Reaktionszeit für Laufkäfer). Forschungsbedarf : Laufkäfer als Nützlinge bei Regulierung von Kartoffelkäfer untersuchen	<u>Aufwand</u> : Erweiterung des Maschinenparks für AFR (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse). <u>Risiko</u> : Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen <u>Umsetzbarkeit</u> : Einsatz von AFR u.a. abh. von Finanzierung, Netzabdeckung, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.	

Laufkäfer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele n o. Maßnahmen
Pflanzenschutz: chemisch	Gefährdungsursachen: Pflanzenschutzmittel, die nicht gleich tödlich wirken (wie beispielsweise Neonikotinoide, die u.a. Laufkäfer als Zielorganismen adressieren), werden sie akkumuliert, so dass sie irgendwann zu tödlicher Dosis akkumulieren können.	Präzisere Applikation von Pflanzenschutzmitteln, durch Düsen, oder Spritzdrohnen können die Dosierung lokal erhöhen.	Reduzierung bzw. Verzicht auf PSM, insbesondere Neonikotinoide	<u>Potenzial Präzisionstechnik</u> : Reduzierung von PSM-Applikation auf Flächen, die nicht behandelt werden <u>Potenzial AFR</u> : Gezielte Beikräuterregulierung bietet das Potenzial Beikräuter nur für bestimmte Anbaukultur zu entfernen. Forschungsbedarf : Identifizierung wenig störender Beikräuter für unterschiedliche Anbaukulturen, damit dieses Wissen bei Programmierung der Beikräuterregulierung integriert werden kann	Eine Reduzierung bzw. Verzicht auf PSM wird in der Regel zum Einsatz von mechanischem Pflanzenschutz führen, hierzu siehe oben	Synergien mit allen übrigen Arten/-gruppen
Düngung	<u>Fortpflanzung</u> : Laufkäferauswuchs: Eigelege, Laufkäferlarven	<u>Modernisierte Düngungsmethoden, wie Injektions-, Schlitz- oder Schleppschuhverfahren</u> : Diese stellen durch ihre Bodenstörung eine potentielle Gefährdung dar, insbesondere für Laufkäfer-eigelege. Das kann eventuell durch zeitliche Anpassung der Maßnahmen an die Entwicklung von Laufkäfern abgemildert werden.	Injektions-, Schlitz- oder Schleppschuh-, Strip-Tillverfahren insbesondere im Herbst und Frühjahr (Laufkäfer-ei-ablage) als Düngungsmethoden vermeiden	<u>Potenzial Präzisionstechnik</u> : präzise Düngung einzelner Pflanzen mit Düngbedarf	<u>Umsetzbarkeit</u> : Düngung bei Vermeidung der modernisierten Düngungsmethoden (Injektion- Schlitz-, Schleppschuhverfahren) durch Breitverteilung umsetzbar; <u>Risiken</u> : Breitverteilung im Bestand (seit 2020) jedoch nicht erlaubt, daher im Bestand dann keine Düngung mehr möglich, führt ggf. zu geringerem Ertrag; im Einzelfall abschätzen, ob Unterfußdüngung bei der Einsaat (integriert in Saatmaschine) möglicherweise umsetzbar. <u>Aufwand</u> : Düngepräzisionstechnik erfordert Farm-Management-System: Anschaffungs-, Wartungskosten, geschultes Personal. Positiver Anreiz: weniger Düngemittel erforderlich	

Laufkäfer (Forts.)						
	Allg. Gefährdungsursachen und Ansprüche	Risiken modernisierter Agarrar-Techniken	Pot. Vermeidungsmaßnahmen	Empfehlungen / potentielle positive Effekte moderner Techniken	Aufwand, Risiken und Umsetzbarkeit der Vermeidungsmaßnahme	Synergien u. Konflikte mit anderen Schutzziele o. Maßnahmen
Bewässerung	<p><u>Habitatansprüche:</u> Feuchtigkeit bzw. Staunässe spielt eine Rolle für die Diversität der Laufkäferarten, da es Laufkäferarten gibt, die auf Feuchtigkeit angewiesen sind. Bewässerung kann eine Artzusammensetzung zugunsten hygrophiler (wasserliebender) Laufkäferarten herbeiführen.</p> <p>Forschungsbedarf: Untersuchung ab welchen Wassermengen und welcher Bewässerungsfrequenz die Artzusammensetzung der Ackerlaufkäfer sich verändert und wie resilient diese neue Artengemeinschaft gegenüber dem Extremstandort Acker ist.</p>	<p><u>Bewässerung:</u> Wasser kann PSM mobilisieren und damit bioverfügbar machen, das bedeutet eine erhöhte Gefährdung.</p> <p>Hinweis: Forschungsbedarf wird für die Auswirkungen von Tropfbewässerung und Partial Root Zone Drying gesehen aufgrund fehlender bisheriger Belege</p>	PSM nicht bei regnerischer Witterung anwenden	<p><u>Empfehlung:</u> kleinteilige Bewirtschaftung (Stichwort: Verweis Projekt PatchCrop)</p> <p><u>Potenzial AFR:</u> können aufgrund höherer Wendigkeit und Flexibilität Feldlandschaftsgetreu bewirtschaften unter Berücksichtigung wichtiger Landschaftselemente und mit Rücksicht auf topographische Elemente, Schläge müssen zudem nicht rechteckig sein, Bearbeitung unterschiedlicher Kulturen möglich, langsamere Fahrgeschwindigkeit.</p>	<p><u>Aufwand:</u> Erweiterung des Maschinenparks für AFR (Anschaffungs-, Wartungs- und Umsetzungskosten) oder Beauftragung eines Lohnunternehmens, geschultes Personal (Planung, Bedienung und Fehleranalyse).</p> <p><u>Risiko:</u> Robustheit von AFR anfangs möglicherweise noch ausbaufähig - bei Störungen muss Landwirt*in/Personal eingreifen</p> <p><u>Umsetzbarkeit:</u> Einsatz von AFR u.a. abh. von Finanzierung, Netzausbau, Schulung, Ladeversorgung. Langsamere Bearbeitungsgeschwindigkeit von AFR kann ausgleichsweise nächtlichen Einsatz erforderlich machen.</p>	Synergien mit allen übrigen Arten/-gruppen

7 Fazit

Trotz umfangreicher und intensiver Literatur- und Internetrecherche konnten mit wenigen Ausnahmen nur sehr wenige Studien und Forschungsprojekte identifiziert werden, die Hinweise auf konkrete Auswirkungen modernisierter Agrartechniken auf ausgewählte Arten bzw. Artengruppen enthalten. Eine Technik-spezifische Bewertung aus Sicht des Artenschutzes ist vor dem Hintergrund der Komplexität in den Anwendungsmöglichkeiten, unterschiedlichen standörtlichen Bedingungen, verfahrenstechnischen Varianten der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und den Ausprägungen regionaler und landschaftlicher Komponenten sinnvoll nicht machbar. Zur Bewertung von Trends in der Agrartechnik und auch zur Ableitung von Vermeidungsmaßnahmen wurden aus diesem Grund die für den Schutz der betrachteten Arten und Artengruppen relevanten Eigenschaften bzw. Habitataspekte herangezogen, die zuverlässig diejenigen „Schwachstellen“ indizieren, an denen die Auswirkungen der Agrartechniken auf die Arten bzw. deren lokale Population im Anwendungsgebiet erkennbar werden.

Einzelne modernisierte Agrartechniken können die Effekte der Ackerbewirtschaftung auf die hier vorkommenden Arten und deren Lebensräume reduzieren bzw. ggf. sogar verbessern helfen. Andere stellen nach wie vor massive Gefährdungsfaktoren für die betrachteten Arten dar.

Zu modernisierten Agrartechniken besteht auch aus Artenschutzsicht weiterhin Forschungsbedarf, der die Auswirkungen der Techniken auf Arten gezielt in den Blick nimmt.

Insgesamt bieten die Entwicklungen und Trends im Bereich von modernisierten Agrartechniken zwar Potentiale zur Minimierung negativer Einflüsse, stellen aber im Wesentlichen keine substantiellen Verbesserungen für den Artenschutz dar. Die massive Gefährdung von Arten und Individuen im Acker ist trotz zahlreicher agrartechnischer Maßnahmen und umfangreicher finanzieller Förderung in die Entwicklung neuer Agrartechniken unverändert hoch.

Die Biodiversität in der Agrarlandschaft insgesamt kann durch die erstgenannten systemischen Veränderungen erhöht werden. Diese Umstellung des Systems kann durch bestimmte agrartechnische Entwicklungen gefördert werden. Konkrete Maßnahmen zum Schutz einzelner Arten bedürfen aber immer auch artspezifischer (und häufig wahrscheinlich flächenspezifischer) Schutzmaßnahmen.

8 Ausblick und Danksagung

Die Anforderungen - einerseits aus Artenschutzsicht und andererseits aus Sicht der Agrartechnik - technische Lösungen zur Verbesserung der Gefährdungssituation von Arten in Ackerbaugebieten für die Praxis zu entwickeln, sind komplex. Es besteht unserer Meinung nach zu diesem Themenkomplex weniger Forschungs- als Handlungsbedarf. Konkrete Lösungen, die von Landwirtinnen und Landwirten umgesetzt werden können, d.h. wirtschaftlich tragbar und gleichzeitig den Schutz von Arten bewirken, bedürfen neben finanzieller Förderung und Nutzung bodenschonender modernisierter Agrartechnik auch entsprechende standortspezifische und regionale Fachkenntnisse.

Um Artenschutztechnik in der Landwirtschaft wirkungsstark realisieren zu können, schätzen wir eine umfassende Zusammenarbeit der relevanten Akteure in beiden Bereichen für essentiell ein. Insbesondere empfehlen wir die Einbeziehung des „Netzwerks Biodiversitätsberatung“ der deutschen Vernetzungsstelle ländlicher Raum (dvs) und der Bundesanstalt für

Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Die Beteiligung führender landwirtschaftlicher Technologieentwickler legen wir in Ergänzung zu Artenspezialistinnen und -spezialisten sowie agrarökonomischer Expertise weiterhin nahe. Der Gefährdung von Arten durch die Landwirtschaft kann nur durch eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen der Landwirtschaft und Naturschutz wirksam entgegengewirkt werden. Die Förderung z. B. von Biodiversitätsberatungen, die betriebsspezifisch pflanzenbaulich, betriebswirtschaftlich und bezüglich der Technikverwendung beraten und begleiten können, stellt hierbei ein wesentliches Element dar.

Die Autorinnen und Autoren bedanken sich bei allen, die uns während der Projektlaufzeit unterstützt haben: insbesondere Katharina Dohnke (ATB Potsdam), Ruth Badeberg (DLR-PT), Jörg Schramek (IfLS) sowie bei den folgenden Experten der PAG, Prof. Dr. Joachim Hertzberg (DFKI), Prof. Dr. Heinz Bernhardt (TU München), Prof. Dr. Anne-Katrin Mahlein (GAU Göttingen), Prof. Dr.-Ing. Peter Pickel (TU Kaiserslautern), Prof. Dr.-Ing. Henning Jürgen Meyer (TU Berlin), Dr. Tsvetelina Krachunova (ZALF), Prof. Dr. Sonoko Bellingrath-Kimura (ZALF), Dr. Anna Knuff (LfU Bad.-Württ.), Dipl. Biol. Hans Richard Schwenninger (Kompetenzzentrum Wildbienen), Dr. Ulrich Schulte (Büro für faunistische Gutachten), Dr. Ulrich Stachow (ehem. ZALF) und Ruth Petermann (BfN). Wir bedanken uns zudem für die Förderung durch das Bundesamt für Naturschutz und die stets kompetente Fachbetreuung des Forschungsvorhabens durch Hans Christian Stotzem, Christian Selig und Marco Brendel (alle BfN).

9 Projektkonsortium

DLR Projektträger (DLR-PT)

Der DLR Projektträger (DLR-PT) bietet u. a. als Trägerinstitution von Koordinations- und Kontaktstellen (z.B. Rote-Liste-Zentrum, IPBES-Koordinierungsstelle) die Möglichkeit zur interdisziplinären Netzworkebildung und Koordination unterschiedlicher Akteure. Der DLR-PT begleitet Forschungs- und Umsetzungsprogramme und -projekte zum Thema Biodiversität, Landwirtschaft, Digitalisierung und Technologieentwicklungen wissenschaftlich und setzt Studien und Analysen um. Er berät mehrere Bundesministerien in der Forschungs- und Entwicklungspolitik und entwickelt neue Förderprogramme. Für die vorliegende Recherche wurden seitens der DLR Projektträger Wissenschaftler*innen aus unterschiedlichen Disziplinen eingesetzt, die das Gesamtprojekt koordinieren und fachliche Inhalte erarbeiteten. Der DLR-PT wird vertreten von Dr. Claudio Zettel, Dipl. Biol. Margret Binot-Hafke und Dr. Cornelia Andersohn.

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie in Potsdam (ATB)

Das Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB) ist ein national und international vernetzt agierendes Forschungszentrum. An der Schnittstelle von biologischen und technischen Systemen verfolgt das Institut einen interdisziplinären Ansatz und verbindet Grundlagenforschung mit hoher Anwendungsorientierung. Das ATB entwickelt Technik, Verfahren und Managementstrategien für die Transformation der Agrar- und Lebensmittelsysteme in eine nachhaltige biobasierte Kreislaufwirtschaft. Hierfür werden bioökonomische Produktionssysteme mit Data Science Methoden analysiert, modelliert und bewertet. Ziel ist eine wissenschaftsbasierte, standortspezifische Produktion von Biomasse - als Lebens- und Futtermittel, Rohstoffbasis und Energieträger. ATB leistet damit einen Beitrag zur Ernährungssicherheit, zum Tierschutz, zur ganzheitlichen Nutzung von Biomasse und zum Schutz von Klima und

Umwelt. Gegründet 1992, zählt das ATB heute zu den großen agrartechnischen Forschungseinrichtungen in Europa und agiert, vielfach koordinierend, vernetzt in großen nationalen Forschungsverbünden sowie in zahlreichen EU und DFG-Projekten. Das ATB besitzt modernste Infrastrukturen, darunter Speziallabore, Großgeräte (atmosphärischer Grenzschichtwindkanal), Pilotanlagen (Pilotanlage Milchsäure) und Versuchsgüter (z.B. das Field Lab for Digital Agriculture Marquardt) sowie das im Aufbau befindliche Modellprojekt Leibniz-Innovationshof, ein Reallabor für nachhaltige zirkuläre Bioökonomie. Seitens des ATB sind in dem FuE-Projekt maßgeblich Prof. Dr. Cornelia Weltzien, Dr. habil. Katrin Drastig, Dr. Jana Käthner, Karuna Koch eingebunden.

Institut für Ländliche Strukturforchung an der Goethe-Universität Frankfurt am Main (IfLS)

Das Institut für Ländliche Strukturforchung an der Goethe-Universität Frankfurt am Main (IfLS) bearbeitet als unabhängiges Forschungsinstitut Themen zur Agrarpolitik, Struktur-, Regional- und Umweltpolitik sowie der Entwicklung von Landwirtschaft und ländlichen Regionen in Deutschland und Europa. Im Bereich Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Umwelt werden u. a. Forschungsprojekte beispielsweise für das Bundesamt für Naturschutz oder auch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung bearbeitet. Das IfLS arbeitet in engem Austausch mit Akteuren aus Politik, Forschung, Praxis und Verwaltung. Vom IfLS sind Jörg Schramek und Heike Nitsch im Projekt.

Experte Dipl. Biol. Ulrich Sander

Herr Ulrich Sander ist ein langjährig erfahrener Biologe mit speziellen Artenkenntnissen, insbesondere zu den Artengruppen Vögel, Fledermäuse, Amphibien, Reptilien, Libellen und Heuschrecken. Aufgrund seiner Tätigkeit als Umweltgutachter mit vielfältiger Freilanderfahrung sind ihm Fragestellungen zum Artenschutz, Gefährdungsursachen sowie Einflüssen von land- und forstwirtschaftlicher Nutzung auf Arten verschiedener Tiergruppen vertraut.

10 Literatur- und Quellenverzeichnis

Allgemeine Literatur

(ohne Autor) (2012): „Ernte als Gefahr für Wildtiere“ in „du und das Tier“ (Ausgabe 3/2012, S. 32-33)

Adams, E.; Leeb, C. & Brühl, C.A. (2021): Pesticide exposure affects reproductive capacity of common toads (*Bufo bufo*) in a viticultural landscape. *Ecotoxicology* (2021) 30: 213–223

Beckmann, M.; Gerstner, K.; Akin-Fajiye, M.; Ceașu, S.; Kambach, S.; Kinlock, N. L.; Phillips, H.R.P.; Verhagen, W.; Gurevitch, J.; Klotz, S.; Newbold, T.; Verburg, P.H.; Winter, M. & Seppelt, R. (2019): Conventional landuse intensification reduces species richness and increases production: A global meta-analysis. - *Global Change Biology*, 25, 1941–1956. <https://doi.org/10.1111/gcb.14606>

BfN: biodiversität - schützen.nutzen.leben: FINKA – Förderung von Insekten im Ackerbau (bfn.de) (Abruf: 11.04.2023)

BLE: Über das Projekt | Für Ressourcen, Agrarwirtschaft und Naturschutz mit Zukunft (franz-projekt.de) (Abruf: 11.04.2023)

- Cole, L.J.; Kleijn, D.; Dicks, L.V.; Stouts, J.C.; Potts, S.G.; Albrecht, M.; Balzan, M.V.; Bartomeus, I.; Bebeli, P.J.; Bevk, D.; Biesmeijer, C.; Chlebo, R.; Dautartè, A.; Emmanouil, N.; Hartfield, C.; Holland, J.M.; Holzschuh, A.; Knoben, N.T.J.; Kovács-Hostyánski, A.; Mandelik, Y.; Panou, H.; Paxton, R.J.; Petanidou, T.; Pinheiro de Carvalho, M.A.A.; Rundlöf, M.; Sarthou, J.-P.; Stavrínides, M.C.; SUSO, M.J.; Sze-Ntgýörgyi, H.; Vaissière, B.E.; Varnava, A.; Vilá, M.; Zemeckis, R. & Scheper, J. (2020): A critical analysis of the potential for EU Common Agricultural Policy measures to support wild pollinators on farmland. – *Journal of Applied Ecology* 57: 681-694
- Deutscher Bundestag (2022): Digitale Landwirtschaft (WD 5 - 3000 - 037 – 22)
- Dieker, P.; Kimek, S. & Dauber, J. (2021): Zielbilder für Biodiversität in Agrarlandschaften. – *Geographische Rundschau (Braunschweig)* 5: 36-39
- Gandorfer, M. et al. (o.D.): Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/digitalisierung_und_ihre_herausforderungen.pdf; abgerufen 07.07.2022
- Gayer, C.; Berger, J.; Dietrich, M.; Gallé, R.; Reidl, K.; Witty, R.; Woodcock, B.A. & Batáry, P. (2021): Flowering fields, organic farming and edge habitats promote diversity of plants and arthropods on arable land. – *Journal of Applied Ecology* 11:1-12
- Hoffmann, J.; Wittchen, U.; Berger, G. & Stachow, U. (2018): Moving window growth - A method to characterize the dynamic growth of crops in the context of bird abundance dynamics with the example of Skylark (*Alauda arvensis*). – *Ecology and Evolution* 8: 8880–8893
- LfU: Feldlerche (*Alauda arvensis*) (bayern.de) (Abruf: 11.04.2023)
- Innovationsinitiative des Leibniz-Forschungsverbunds „Nachhaltige Lebensmittelproduktion & gesunde Ernährung“ (2016): Positionspapier der Innovationsinitiative Landwirtschaft 4.0
- Langgemach, T.; Ryslavy, T.; Jurke, M. et al. (2019): Vogelarten der Agrarlandschaft in Brandenburg – Bestände, Bestandstrends, Ursachen aktueller und langfristiger Entwicklungen und Möglichkeiten für Verbesserungen. – *Natursch. u. Landschaftspf. Brandenburg* 28 (2/3), S. 4-68
- Leeb, C.; Kolbenschlag, S.; Laubscher, A.; Adams, E.; Brühl, C. & Theissinger, K. (2020): Avoidance behavior of juvenile common toads (*Bufo bufo*) in response to surface contamination by different pesticides. - *PLoS ONE* 15(11): e0242720. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242720>
- Lenhardt, P.P.; Brühl, C.A. & Berger, G. (2015): Temporal coincidence of amphibian migration and pesticide application on arable fields in spring. - *Basic and Applied Ecology* 16 (1): 54-63
- Meinig, H.; Boye, P.; Dähne, M.; Hutterer, R. & Lang, J. (2020): Rote Liste und Gesamtartenliste der Säugetiere (Mammalia) Deutschlands. – In: Matzke-Hajek, G.; Rohde-Fingerle, K.; Broghammer, T.; Bunte, J. & Binot-Hafke, M. (Red.): Rote Liste der Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 170 (2): 73 S.
- Neumüller, U.; Burger, H.; Krausch, S., Blüthgen, N. & Ayasse, M. (2020): Interactions of local habitat type, landscape composition and flower availability moderate wild bee communities. – *Landscape Ecol.* (2020) 35:2209–2224
- Niggli, U.; Riedel, J.; Brühl, C.; Liess, M.; Schulz, R.; Altenburger, R.; Märkländer, B.; Bokelmann, W.; Heß, J.; Reineke, A. & Gerowitt, B. (2020): Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen. – *Berichte über Landwirtschaft Bd. 98* (1): 39 S.
- Nitsch, H.; Fornhoff, F.; Bauer, C.; Sauer, N.; Schäfer, L.; Wunderlich, L.; Stackel-Berg, N.; Claßen, A.; Pabst, H.; Schramek, J. & Klein, A.-M. (2019): Ad hoc-Studie zur faunistischen Bewertung von FAKT-Blühmischungen. Institut für Ländliche Strukturforchung, Frankfurt, 45 S.

Oelmann, Y.; Lange, M.; Leimer, S.; Roscher, C.; Aburto, F.; Alt, F.; Bange, N.; Berner, D.; Boch, S.; Boddingtonhaus, R.S.; Buscot, F.; Dassen, S.; De Deyn, G.; Eisenhauer, N.; Gleixner, G.; Goldmann, K.; Hölzel, N.; Jochum, M.; Kandeler, E.; Klaus, V.H.; Kleinebecker, T.; Le Provost, G.; Manning, P.; Marhan, S.; Prati, D.; Schäfer, D.; Schöning, I.; Schrumpf, M.; Schurig, E.; Wagg, C.; Wubet, T. & Wilcke, W. (2021): Above- and belowground biodiversity jointly tighten the P cycle in agricultural grasslands. – Nature Communications 12:4431

Stiftung Rheinische Kulturlandschaft: Rheinland³ – Lebensraum, Landwirtschaft, Lernort | Stiftung Rheinische Kulturlandschaft (rheinische-kulturlandschaft.de) (Abruf: 11.04.2023)

Sybertz, J.; Matthies, S.; Schaarmschmidt, F.; Reich, M. & von Haaren, C. (2020): Biodiversity modelling in practice - predicting bird and woody plant species richness on farmlands. - In: Ecosystems and People 16 (2020), Nr. 1, S. 19-34. DOI: <https://doi.org/10.1080/26395916.2019.1697900>

Rote-Liste-Gremium Amphibien und Reptilien (2020): Rote Liste und Gesamtartenliste der Reptilien (Reptilia) Deutschlands. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 170 (3): S. 53.

Umweltbundesamt: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-artenvielfalt-landschaftqualitaet#die-wichtigsten-fakten> (Abruf: 11.04.2023)

Westrich, P. (2019): Die Wildbienen Deutschlands. 2. aktualisierte Auflage – Ulmer Verlag (Stuttgart), 821 S.

Zaller, J.G. & Brühl, C.A. (2019): Non-target Effects of Pesticides on Organisms Inhabiting Agroecosystems. - Frontiers in Environmental Science 7 (75): 3pp.

Datenbanken

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2022): Projektförderdatenbank, https://www.ble.de/DE/Projektfoerderung/Projektsuche/Suche_node.html; mehrere Abrufe (4-7/2022).

Bundesregierung Deutschland (2022): Förderkatalog des Bundes, <https://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do?actionMode=list> mehrere Abrufe (4-7/2022)

I. Recherchierte Literatur zu modernisierter Agrartechnik

agriexpo (2022): Digging in on mobile drip irrigation. Agriexpo. <https://trends.agriexpo.online/project-66486.html>

Agritechnica (2022): Glyphosat-Ersatz: Eisen und vielleicht auch Strom statt Chemie - AGRITECHNICA; <https://www.agritechnica.com/de/programm/news/glyphosat-ersatz-eisen-und-vielleicht-auch-strom-statt-chemie> (Abruf 09.10.2023)

Bitkom Research (2020): Schon 8 von 10 Landwirten setzen auf digitale Technologien. Pressemitteilung, Bitkom e.V., Berlin. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Schon-8-von-10-Landwirten-setzen-auf-digitale-Technologien>.

BLE (2022): Ökolandbau.de. Referat 413, Projektgruppe Ökolandbau.

BLE (2022a): Bewässerung in der Landwirtschaft. <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/bewaesserung/bewaesserung-in-der-landwirtschaft> (abgerufen 10.03.2022)

BMEL (2023): Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/pflanzenschutz/aktionsplan-anwendung-pflanzenschutzmittel.htm> (abgerufen am 01.04.2023)

- Böttinger, S. & Stoll, A. (2005): Informations- und Regelsysteme an Mähdreschern und Feldhäckslern. Hohenheim. Landtechnik 60, 2 S.
- Böttinger, S. (2010): Informationstechnik für den Einsatz auf Landmaschinen. Precision Agriculture Reloaded. Informationsgestützte Landwirtschaft, 8 S.
- Böttinger, S. (2012): Mähdrescher. Jahrbuch Agrartechnik 24, S. 161-174.
- Böttinger, S. (2018): Combine Harvester In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2019. S. 1-17
- Böttinger, S. (2021a): Mähdrescher. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 1-12.
<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111259-0>
- Böttinger, S. (2021b): Reifen / Reifen-Boden-Interaktion. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 1-8.
<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111229-0>
- Burmeister, J.; Kreuter, T. & Walter, R. (2016a): Der Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die Laufkäferfauna eines Feldversuches in Bayern. Angewandte Carabidologie 11, 21–30.
- Burmeister, J.; Zacios, M. & Walter, R. (2016b): Regenwurmbesiedlung von Kurzumtriebsplantagen in der Gemeinde Kaufering. Wissen 79, 40.
- Chalmin, A. (2008): Agroforstsysteme in Deutschland. Landinfo, 7 S.
- Cordes, L. & Mußmann, D. (2014): Unkrautbekämpfung in Kartoffeln verträglich durchführen. Kartoffelbauer 3, S. 23-29.
- DBV (2021): Situationsbericht 2021/22 - Trends und Fakten zur Landwirtschaft. Deutscher Bauernverband e.V., 260 S.
- Destatis (2010): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - Bodenbearbeitung, Bewässerung, Landschaftselemente Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden (ELPM). - Fachserie 3 Heft 5, 132 S., Wiesbaden.
- Destatis (2021a): Bodennutzung der Betriebe - Landwirtschaftlich genutzte Flächen - Vol. Reihe 3.1.2. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 64 S.
- Destatis (2021b): Pressemitteilung Nr. N040 vom 18. Juni 2021. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/06/PD21_N040_41.html
- Deutscher Bundestag (2012): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz PflSchG). "Pflanzenschutzgesetz vom 6. Februar 2012 (BGBl. I S. 148; 1281), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 15 des Gesetzes vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2752) geändert worden ist."
- DIN (1996): Bewässerung - Aufgaben, Grundlagen, Planung und Verfahren DIN 19655:1996-09.
- DIN (2008): Bewässerung - Aufgaben, Grundlagen, Planung und Verfahren DIN 19655:2008-11.
- Dirksmeyer, W. & Sourell, H. (2009): Wasser im Gartenbau. Forum des vTI in Braunschweig. Organisiert im Auftrag des Mechanische Unkrautregulierung – Technik für die Praxis. Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Organisiert im Auftrag des BMELV, Landbauforschung Sonderheft 328, 114 S.
- DLG Merkblatt 449 (11/2019): Mechanische Unkrautregulierung – Technik für die Praxis, 1. Auflage, DLG e.V. Fachzentrum Landwirtschaft (BMELV), Frankfurt am Main, S. 1-28.
- DüV (2017): Düngeverordnung – Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. BGBl. I S. 1305, S. 46. DüV (2020): DüVÄndV2020 - Verordnung zur Änderung der Düngeverordnung und anderer Vorschriften, BGBl. I S. 846, 16.

- DWD (2022): Deutscher Wetterdienst: Jetzt faktengestützt auf den Klimawandel reagieren. Frühjahrstrockenheit nimmt deutlich zu / Bodenfeuchteviewer informiert tagesaktuell. Rede von Tobias Fuchs, Vorstandsmitglied und Leiter Geschäftsbereich Klima und Umwelt des Deutschen Wetterdienstes DWD.
- ETI (2013): Energieholz aus Kurzumtriebsplantagen – Leitfaden für Produzenten und Nutzer im Land Brandenburg. Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg; Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam, 68 S.
- Farack, K. & Albert, E. (2011): Injektionsdüngung: Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Injektionsdüngung unter Berücksichtigung des Klimawandels. Schriftenreihe des LfULG 12, 52 S.
- Franken, M.; Wissner, M. & Sörries, B. (2019): Entwicklung der funkbasierten Digitalisierung in der Industrie, Energiewirtschaft und Landwirtschaft und spezifische Frequenzbedarfe, WIK Diskussionsbeitrag, No. 451, WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, Bad Honnef.
- Fricke, E. (2022): Lohnt es sich den Hahn aufzudrehen? In "News".
<https://www.agritechnica.com/de/news/lohnt-es-sich-den-hahn-aufzudrehen>
- Gandorfer, M.; Schleicher, S.; Heuser, S.; Pfeiffer, J. & Demmel, M. (2017): Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen. Ackerbau-technische Lösungen für die Zukunft, 9 S.
- Gaus, C.C., Minßen, T.F., Urso, L.M., de Witte, T. & Wegener, J. (2017): Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Abschlussbericht. JKI Braunschweig, 136 S.
- Gebbers, R. & Adamchuk, V. (2010): Informationsfluss der Präzisionslandwirtschaft in der Pflanzenproduktion, Precision agriculture and food security. Science 327(5967): S. 828-831.
- Gebbers, R. & Kramer, E. (2017): Potenziale der teilflächenspezifischen Kalkversorgung von Grünland. Abschlussbericht. HNEE Eberswalde, ATB Potsdam, 37 S.
- Geimer, M. & Pohlandt, C. (2014): Grundlagen mobiler Arbeitsmaschinen. Karlsruhe (KIT Scientific Publishing), 228 S.
- Gröschl, K. (2014): Frühjahrbestellung: Bodenbearbeitung und Pflanzung Kartoffelbauer 3, S. 30-33.
- Grünewald, H.; Böhm, C.; Bärwolff, M.; Wöllecke, J.; Quinkenstein, A. & Hoffmann, J. (2009): Ökologische Aspekte von Agroforstsystemen. 2. Symposium Energiepflanzen. In Gülzower Fachgespräche, Vol. 34, 2010, 233-263. ISBN: 978-3-942147-01-9.
- Gscheidle, M., Munz, J. & Doluschitz, R. (2022): Strukturwirkung der Digitalisierung in der Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft. DOI: <https://doi.org/10.12767/buel.v100i1.374>
- Hartl, U. (2017): Branchenanalyse Landtechnik: Entwicklungstrends, und Herausforderungen, Working Paper Forschungsförderung, No. 052, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201711153221>.
- Henze, P. und M. Mücke (2021) „Weizensteinbrand muss nicht sein. Neue tolerante Sorten und Beizmittel“, in: Bioland (Ausgabe 9/2021, S. 24-26.
- Herlitzius, T.; Grosa, A. & Bögel, T. (2019): Bodenbearbeitungstechnik. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 1-11, <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201901211139-0>
- Herlitzius, T.; Hengst, M.; Geißler, S. & Schwede, S. (2021): Bodenbearbeitungstechnik. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 1-13, <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111244-0>.
- Huber, J.; Papaja-Hülsbergen, S.; Wolfrum, S.; Schmid, H. & Hülsbergen, K. J. (2013): Regenwurmpopulation in ökologisch und integriert bewirtschafteten Agroforstsystemen.

- isip (2022): Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V., <https://www.isip.de>, Zugriff 13.02.2022.
- Jin, Y.; Liu, J.; Xu, Z.; Yuan, S.; Li, P. & Wang, J. (2021): Development status and trend of agricultural robot technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(4), pp. 1-19.
- JKI (2018): Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen: BBCH Monographie. Julius Kühn-Institut (JKI), Quedlinburg, 204 S.
- Keicher, R.; Rauber, B.; Schwarz, H.P. & Brunner, D. (2021): Bericht aus dem Experimentierfeld DIWA-KOPTER. In: Meyer-Aurich, A. et al. „Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten, Lecture Notes in Informatics (LNI)“, Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 385-390.
- Kliem, L.; Wagner, J.; Olk, C.; Keßler, L.; Lange, S.; Krachunova, T.; Marples, M.; Schwiertz, F. & Bellingrath-Kimura, S. (2022): Chancen und Risiken der Digitalisierung der Landwirtschaft aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Berlin, Müncheberg, 74 S.
- Klindtworth, M. (2020): Technik für den Hackfruchtanbau - Kartoffeltechnik. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge. S. 1-17. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202001201537-0>
- Knittel, H. (1975): Auswirkungen der Minimalbestelltechnik auf physikalische Bodeneigenschaften (Doctoral dissertation, Technische Universität München), 182 S.
- Köller, K. & Hensel, O. (2019): Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 293 S.
- König, H.P. (2014): Einfluss der Düngung auf die Ausnutzung von Bodenwasser durch Kartoffeln. *Kartoffelbauer* 3, S. 34-36.
- Kramer, H. (2019): Die Trends der Agritechnica 2019. *Kartoffelbauer* 11, S. 12-15.
- Länder AK Moorschutz (2017): "Paludikultur-nasse torferhaltende und klimaschonende Bewirtschaftung von organischen Böden."
- Lati, R.N.; Rosenfeld, L.; David, I.B. & Bechar, A. (2021): Power on! Low-energy electrophysical treatment is an effective new weed control approach. *Pest Management Science* 77, pp. 4138-4147.
- LfL (2008): Bewässerung im Ackerbau und in gärtnerischen Freilandkulturen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan. [https://www.wetter-by.de/Internet/global/themen-BY.nsf/b81d6f06b181d7e7c1256e920051ac19/93586b2b98e42bc2c12574e9004bf982/\\$FILE/Be-waesserung.pdf](https://www.wetter-by.de/Internet/global/themen-BY.nsf/b81d6f06b181d7e7c1256e920051ac19/93586b2b98e42bc2c12574e9004bf982/$FILE/Be-waesserung.pdf) (abgerufen 10.03.2022)
- LFLUG (2011): Schnellwachsende Baumarten. Anbau auf landwirtschaftlichen Flächen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LFLUG), 12 S., Dresden. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/12641>
- Lilienthal, H.; Haneklaus, S. & Schnug, E. (2004): Immer mehr Daten für jeden Quadratmeter – Was machen wir daraus? In: Isermeyer, F. (Hrsg.): Ackerbau 2025. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft, 274 S.
- Lülfes-Baden, F.; Barrett, S.; Höping, M. S., & Stahl, H. (2020): Situation der Bodenbearbeitung in Sachsen, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Schriftenreihe des LfULG Heft 5/2020, 215 S.
- LWK NRW (2015): Probenahme zur Bodenuntersuchung, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 3 S. <https://binged.it/3mcNFwx>

- LWK NRW (2021): Stickstoff (N) als Nährstoff, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/guelle/duenger/stickstoffduenger.htm>
- LWK SH (2021): Ratgeber Herbst 2021 Pflanzenschutz im Ackerbau. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (LWK) Abteilung Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Umwelt, Rendsburg.
- LWK SH (2022): Ratgeber Frühjahr 2022 Pflanzenschutz im Ackerbau. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein Abteilung Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Umwelt, Rendsburg.
- Maltchik, L.; Rolon, A. S.; Stenert, C.; Machado, I. F. & Rocha, O. (2011): Can rice field channels contribute to biodiversity conservation in Southern Brazilian wetlands? *Revista de Biologia tropical* 59, pp. 1895-1914.
- Meinardi, D.; Schröder, J.; Riedel, A.; Röttcher, K.; Kraft, M.; Grocholl, J. & Dittert, K. (2021): Sensor-gestützte Berechnung von Kartoffeln: Entwicklung des Crop Water Stress Index für Nordostniedersachsen. Thünen Working Paper 179, Braunschweig, 120 S.
- Meinel, T. (2021): Sätechnik. In: Frerichs, L. (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2020*. Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 1-11. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111245-0>
- Meyer, S., W. Hilbig, K. Steffen, S. Schuch (2013) „Ackerwildkrautschutz – Eine Bibliographie“, Bonn (BfN-Skript 351)
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (2017): Umsetzung von Paludikultur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Mecklenburg-Vorpommern. Fachstrategie zur Umsetzung der nutzungsbezogenen Vorschläge des Moorschutzkonzeptes 2009. 104 S. Schwerin: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern.
- Minßen, T.-F.; Urso, L.-M.; Gaus, C.-C. & Frerichs, L. (2015): Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. *ATZoffhighway* 8, S. 6-11.
- Mudarisov, S.; Gainullin, I.; Gabitov, I.; Khasanov, E. & Farchutdinov, I. (2020): Soil compaction management: Reduce soil compaction using a chain-track tractor. *Journal of Terramechanics* 89, 1-12. [10.1016/j.jterra.2020.02.002](https://doi.org/10.1016/j.jterra.2020.02.002).
- Müller, E.; Becherer, U. & Hänsel, M. (2009): Erosionsminderung in der Landwirtschaft - Maßnahmen zur Erosionsminderung im konventionellen und ökologischen Landbau unter Einbeziehung der teilschlagspezifischen Bodenbearbeitung. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LFLUG), Heft 2/2009, 78 S.
- Närmann, F.; Birr, F.; Kaiser, M.; Nerger, M.; Luthardt, V.J.Z. & Tanneberger, F. (2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. *BfN-Schriften* 616, 342 S.
- Nitsch, H. & Schramek, J. (2021): Grundlagen für eine Moorschutzstrategie der Bundesregierung. <https://www.bfn.de/publikationen/broschuere/grundlagen-fuer-eine-moorschutzstrategie-der-bundesregierung>
- NDR-Nordreportage (2022): Ernten, wo andere nicht hinkommen. <https://bit.ly/3utEtVY> (verfügbar bis 18.03.2023)
- Nolte, R.; Behrendt, S.; Magro, M. & Pietras-Couffignal, K. (2018): HERBIE - Guidelines, State of the Art and Integrated Assessment of Weed Control and Management for Railways. *Assessment and Recommendations*, 140S.
- Passioura, J. (2006): Increasing crop productivity when water is scarce - from breeding to field management. *Agricultural water management* 80: 176-196.
- Peters, R. (2019). Kartoffeltechnik übernimmt weitere Aufgaben. *Kartoffelbauer* 11, 8-11.

- PflSchG (2012): Pflanzenschutzgesetz - Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen, BGBl. I S. 148, 41.
- Poppa, L. & Depenbrock, C. (2021): Halmgutbergung. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2021. 1-11, <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111256-0>
- Profi (2022): Agritechnica 2022: Neuheiten von Einböck. Zeitschrift profi, Landwirtschaftsverlag. <https://www.profi.de/aktuell/neuheiten/agritechnica-2022-neuheiten-von-einbock-28485.html>
- Quade, J. (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau., 12. Auflage, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 618 S. ISBN 3-7843-2512-2
- Robert (2015): Jahrbuch Agrartechnik 2014, 26, Assistenz-und Automatisierungslösungen, S. 40-47. <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055044>
- Romano, A.; Salvidio, S.; Mongillo, D. & Olivari, S. (2014): Importance of a traditional irrigation system in amphibian conservation in the Cinque Terre National Park (NW Italy). Journal for nature conservation 22, pp. 445-452.
- Romano, A.; Salvidio, S.; Mongillo, D. & Olivari, S. (2014): Importance of a traditional irrigation system in amphibian conservation in the Cinque Terre National Park (NW Italy). Journal for nature conservation 22, pp. 445-452.
- Romano, A.; Salvidio, S.; Mongillo, D. & Olivari, S. (2014): Importance of a traditional irrigation system in amphibian conservation in the Cinque Terre National Park (NW Italy). Journal for nature conservation 22, pp. 445-452.
- Ropohl, G. (2009): Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik. KIT Scientific Publishing, ISBN 3866443749, 363 S.
- Rudolph, W. (2020): Konzeptvergleich Rad oder Raupe: Jenseits von Mythos und Marketing. Eilbote 43, 12-15. <https://www.eilbote-online.com/artikel/befragung-konzeptvergleich-rad-oder-raupe-jenseits-von-mythos-und-marketing-37887>
- Rudolph, W. (2020): Konzeptvergleich Rad oder Raupe: Jenseits von Mythos und Marketing. Eilbote 43, 12-15. <https://www.eilbote-online.com/artikel/befragung-konzeptvergleich-rad-oder-raupe-jenseits-von-mythos-und-marketing-37887>
- Sanders, J., & Heß, J. (2019a): Förderung des ökologischen Landbaus-Maßnahmen, Strategien und betriebliche Perspektiven. FOEL-Projektbericht 4, 394 S.
- Sanders, J., & Heß, J. (2019b): Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. Thünen Report 65, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, <https://doi.org/10.3220/REP1547040572000>
- Schimmelpfennig, S.; Heidecke, C. & Anter, J. (2018): Herausforderungen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Deutschland. Thünen Working Paper 85, Braunschweig, 137 S.
- Schwich, S.; Schattenberg, J.; Hildner, P. & Frerichs, L. (2021): Entwicklungen im Bereich von Automatisierungs-und Roboter-systemen – Übersicht und Einblick in ein Forschungsprojekt. - Jahrbuch Agrartechnik 2020 (L.H. Frerichs, ed.), Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, 14 S.
- Schwich, S.; Schattenberg, J.; Hildner, P. & Frerichs, L. (2021): Entwicklungen im Bereich von Automatisierungs-und Roboter-systemen – Übersicht und Einblick in ein Forschungsprojekt. - Jahrbuch Agrartechnik 2020 (L.H. Frerichs, ed.), Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig.
- Schulz, V.; Sharaf, H.; Weisenburger, S.; Morhart, C.; Werner, K.; Stolzenburg, K.; Spiecker, H. & Nahm, M. (2020): Agroforst-Systeme zur Wertholzerzeugung, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe, 40 S.

- Simon, M. (2009): Die landwirtschaftliche Bewässerung in Ostdeutschland seit 1949 - Eine historische Analyse vor dem Hintergrund des Klimawandels. Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Potsdam, 106 S.
- Sourell, H. (2005): Im Osten geht es meistens rund. Bauernzeitung (Thüringen) 46, 40. Woche, S. 27-28.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2010): Agrarstrukturen in Deutschland - Einheit in Vielfalt. Regionale Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart. 70 S.
- Stirnemann, R. & Renius, K.T. (2021): Gesamtentwicklung Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 1-14. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111226-0>
- Stirnemann, R.; Renius, K.T. & Geimer, M. (2021): Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2021. S. 1-13. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111227-0>
- StMELF (2020): Biodiversität: Die Robinie (*Robinia pseudoacacia*) - Eine heikle Gewinnerin Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) <https://www.lwg.bayern.de/weinbau/236291/index.php>
- Teichert, A. (2019): Alte Beregnungstechnik hinterfragen. Bauernblatt 33, S. 38-39.
- Thiesing, M. (2016): Kräfte und Kinematik an landtechnischen Pflügen. Kassel (Dissertation)
- Tsoulias, N.; Paraforos, D.; Fountas, S. & Zude-Sasse, M. (2019): Calculating the water deficit spatially using LiDAR laser scanner in an apple orchard. In: Proceedings of the European 12th Conference of Precision Agriculture, Montpellier, France, pp. 8-11.
- UBA (2021): Ökolandbau. Umweltbundesamt (UBA), 4 S.
- Unsel, R.; Reppin, N.; Eckstein, K.; Zehlius-Eckert, W.; Hoffmann, H. & Huber, T. (2011): Leitfaden Agroforstsysteme – Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen. Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, TU München, 48 S. https://www.bfn.de/sites/default/files/2023-03/BfN_Agroforst_Skript.pdf
- Uppenkamp, N. (2021): Mineralische Düngung. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 1-7. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111246-0>
- Wegener, J.K. (2020): Gezielter und flexibler – Trends in der Pflanzenschutztechnik. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 1-7. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202001201531-0>
- Wegener, J.K.; Urso, L.M.; von Hörsten, D.; Minßen, T.F. & Gaus, C.C. (2017): Neue Pflanzensysteme entwickeln - welche innovative Techniken werden benötigt? Landtechnik 74, 91-100.
- Werner, A.; Glemnitz, M.; Stein-Bachinger, K.; Berger, G. & Stachow, U. (2013): "Biologische Vielfalt mit der Landwirtschaft." In: Beck, E. [Hrsg.]: Die Vielfalt des Lebens: Wie hoch, wie komplex, warum? Erwin Beck, Hrsg. John Wiley & Sons, Weinheim. S. 163ff.
- Werner, A.; Roth, R.; Zander, P.; Meyer-Aurich, A. & Jarfe, A. (2006): Scientific background for a nature conserving agriculture. Nature conservation in agricultural ecosystems, pp. 529-572.
- Wichtmann, W.; Schröder, C. & Joosten, H. (Hrsg.) (2016). Paludikultur-Bewirtschaftung nasser Moore, Klimaschutz – Biodiversität – regionale Wertschöpfung, Schweizerbat Verlag, 227 S.
- Wichmann, S. & Wichtmann, W. (2009): Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM). Bericht, DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 192 S.

- Wikipedia (2023): Minimumgesetz. - <https://de.wikipedia.org/wiki/Minimumgesetz> (abgerufen am 02.04.2023)
- Wittern, J. (2019): Untersuchung zur Ertragsfähigkeit von Kartoffeln unter differenziertem Wassereinsatz. Kartoffelbauer 9&10, S. 16-20.
- Würdig, K.; Domin, T. & Skalda, S. (2020a): Vorstellung ausgewählter Maschinen für die Begründung und Pflege von Agrarholzflächen in mittel- bis kurzfristigen Umtrieb. Loseblatt 40.
- Würdig, K.; Domin, T. & Skalda, S. (2020b): Erfahrungen von der Pflanzung bis zur Pflege – ein Praxisbeispiel aus dem Landwirtschaftsbetrieb Domin aus Peickwitz. Loseblatt 40.
- Zehlius-Eckert, W.; Tsonkova, P. & Böhm, C. (2020): Umweltleistungen von Agroforstsystemen. Forschungsprojekt "Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie", TU München-Weihenstephan, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Loseblatt # 2, 55 S.
- Zorn, A. & Lips, M. (2016): Wirtschaftlichkeit der Bewässerung ausgewählter Kulturen im Kanton Basel-Landschaft. Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften, INH, 34 S.

II. Recherchierte Literatur zu Arten/Artengruppen

II.1 Literatur zu Säugetieren (Feldhamster)

Allgemeine Literatur (Kontext Artenbeschreibung, Kap. 4)

- LANUV NRW (2022): Geschützte Arten in NRW - Artensteckbrief Feldhamster (<https://arten-schutz.naturschutzinformationen.nrw.de/artenschutz/de/arten/gruppe/saeugetiere/kurzbeschreibung/152014>); abgerufen am 13.04.2022.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2022a): *Cricetus cricetus* – Feldhamster. Artenportrait. <https://www.bfn.de/artenportraits/cricetus-cricetus>; abgerufen am 13.04.2022.
- BfN - Bundesamt für Naturschutz: (2022b): Maßnahmenkonzept Feldhamster (*Cricetus cricetus*) entnommen aus BfN-Schriften 449. https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/natura2000/Dokumente/mam_criccric.pdf; abgerufen am 12.04.2022.
- Deutsche Wildtierstiftung (2022): Feldhamsterland – Der Feldhamster. <https://www.feldhamster.de/der-feldhamster/>; abgerufen am 13.04.2022.

Spezifische Literatur (Kontext Landtechnik, Kap. 5)

- Banaszek, A. & Ziomek, J. (2011): Genetic variation and effective population size in an isolated population of the common hamster, *Cricetus cricetus*. *Folia Zoologica* 61 (1): 34-43.
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2022b): Maßnahmenkonzept Feldhamster (*Cricetus cricetus*) entnommen aus BfN-Schriften 449. https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/natura2000/Dokumente/mam_criccric.pdf.
- Berger, G., Graef, F., Pallut, B., Hoffmann, J., Brühl, C. A. & Wagner, N. (2018): How Does Changing Pesticide Usage Over Time Affect Migrating Amphibians: A Case Study on the Use of Glyphosate-Based Herbicides in German Agriculture Over 20 Years. *Frontiers in Environmental Science* Vol. 6. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00006>.
- Breuer, W. (2016): Leitfaden „Berücksichtigung des Feldhamsters in Zulassungsverfahren und in der Bauleitplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 4/2016. 204 S.
- Brühl, C. A. & Zaller, J. G. (2020): Rückgang der biologischen Vielfalt: inwiefern ist eine unzureichende Umweltverträglichkeitsprüfung von Pestiziden mitverantwortlich? *Mitteilungen Umweltchemie und Ökotoxikologie*, 26. Jg. Nr. 1: 3-7.

- Esther, A., Schenke, D & Heim, W. (2022): Noninvasively Collected Fecal Samples as Indicators of Multiple Pesticide Exposure in Wild Birds. *Environmental Toxicology and Chemistry – Volume 41, Number 1*: 201–207.
- Flach, H., Lenz, A, Pfeffer, S., Kühl, M., Kühl, S. J. (2022) Impact of glyphosate-based herbicide on early embryonic development of the amphibian *Xenopus laevis*.; in: *Aquatic Toxicology*, 44:106081 – 2022, 19 Jan 2022; doi 10.1016/j.aquatox.2022.106081.
- Kayser, A., & Stubbe, M. (2002): Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftung auf den Feldhamster *Cricetus cricetus* (L.) einer Leit- und Charakterart der Magdeburger Börde. *Tiere im Konflikt*, 7, 1-148.
- Kayser, A., Weinhold, U. & Stubbe, M. (2003): Mortality factors of the common hamster *Cricetus cricetus* at two sites in Germany. *Acta Theriologica* 48 (1): 47-57.
- La Haye, M. J. J., Van Kats, R. J. M., Müskens, G. J. D. M., Hallmann, C. A. & Jongejans E. (2020): Predation and survival in reintroduced populations of the Common hamster *Cricetus cricetus* in the Netherlands. *Mammalian Biology* 100:569–579. <https://doi.org/10.1007/s42991-020-00063-5>.
- Meinig, H., Buschmann, A., Reiners, T. E., Neukirchen, M., Balzer, S., & Petermann, R. (2014): Der Status des Feldhamsters (*Cricetus cricetus*) in Deutschland. *Natur und Landschaft* 89.8 (2014): 338-343.
- Meinig, H.; Boye, P.; Dähne, M.; Hutterer, R. & Lang, J. (2020): Rote Liste und Gesamtartenliste der Säugetiere (Mammalia) Deutschlands. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 170 (2): 73 S.
- MKULNV NRW – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2015): Hilfe für den Feldhamster. Steckbriefe für den Vertragsnaturschutz. <http://www.naturschutzinformationen-nrw.de/vns/de/start>.
- Out, M. E., Van Kats, R. J. M., Kuiters, L., Müskens, G. J. D. & La Haye, M. J. J. (2011): Hard to stay under cover: Seven years of crop management aiming to preserve the Common hamster (*Cricetus cricetus*) in the Netherlands. *Säugetierkundliche Informationen, Jena* 8: 37-49.
- Siebert, L. & Kinast, P. (2019): Vertiefungsstudie agrarische Reststoffe: Einfluss der Strohentnahme auf die Bodenökologie landwirtschaftlicher Flächen. Gutachten im Auftrag von ifeu – Institut für Energie und Umweltforschung gGmbH. 35 S.
- Surov, A., Banaszek, A., Bongomolov, P., Feoktistova, N., & Monecke S. (2016): Dramatic global decrease in the range and reproduction rate of the European hamster *Cricetus cricetus*. *Endangered Species Research* Vol. 31: 119-145. doi: 10.3354/esr00749.
- Tissier, M. L., Marchandea, S., Hahold, C., Handrich, Y., Eidenschenck, J., Kourkgy, C. (2019): Weeds as a predominant food source: a review of the diet of common hamsters *Cricetus cricetus* in farmlands and urban habitats. *Mammal Review* Vol. 49, Issue 2: 152-170. <https://doi.org/10.1111/mam.12149>.
- Thimm, S. & D. Geiger-Roswora (2021): Artenschutzprogramm Feldhamster Nordrhein-Westfalen. *Natur in NRW* 3/2021: 11-17.
- Weinhold, U. (2013): Die Wiederansiedlung von Feldhamstern in Baden-Württemberg – Anforderungen, Ergebnisse und Erfahrungen. In: *Feldhamster in Sachsen*, Hrsg. NABU-Landesverband Sachsen e. V.: 53-71.

II.2 Literatur zu Feldvögeln (Kiebitz, Feldlerche, Rebhuhn)

Allgemeine Literatur (Kontext Artenbeschreibung, Kap 4)

- Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) (2022): Vögel in Deutschland online. – <https://www.dda-web.de/index.php?cat=service&subcat=vidonline>

- DO-G / Fachgruppe Vögel der Agrarlandschaft (2019): Weiterentwicklung der Gemeinsamen Agrarpolitik ab 2021. – Positionspapier vom 21.10.2019, Wilhelmshaven. 21 S.
- K. Gedeon, C. Grüneberg, A. Mitschke, C. Sudfeldt, W. Eickhorst, S. Fischer, M. Flade, S. Frick, I. Geiersberger, B. Koop, M. Kramer, T. Krüger, N. Roth, T. Ryslavy, S. Stübing, S. R. Sudmann, R. Stefens, F. Vökler, K. Witt (2014): Atlas Deutscher Brutvogelarten – Atlas of German Breeding Birds. Herausgegeben von der Stiftung Vogel-monitoring und dem Dachverband Deutscher Avifaunisten. Münster.
- Gerlach, B., R. Dröschmeister, T. Langgemach, K. Borkenhagen, M. Busch, M. Hauswirth, T. Heinicke, J. Kamp, J. Karthäuser, C. König, N. Markones, N. Prior, S. Trautmann, J. Wahl & C. Sudfeldt (2019): Vögel in Deutschland – Übersichten zur Bestandssituation. DDA, BfN, LAG VSW, Münster.
- LANUV NRW (2022a): Geschützte Arten in NRW – Artensteckbrief Kiebitz. - <https://artenschutz.naturschutzinformationen.nrw.de/artenschutz/de/arten/gruppe/voegel/schutzziele/103073>
- LANUV NRW (2022b): Geschützte Arten in NRW - Artensteckbrief Rebhuhn. - <https://artenschutz.naturschutzinformationen.nrw.de/artenschutz/de/arten/gruppe/voegel/schutzziele/103024>
- LANUV NRW (2022c): Geschützte Arten in NRW - Artensteckbrief Feldlerche. - <https://artenschutz.naturschutzinformationen.nrw.de/artenschutz/de/arten/gruppe/voegel/schutzziele/103035>
- Rote-Liste-Zentrum (2022): <https://www.rote-liste-zentrum.de/de/Vogel-Aves>

Spezifische Literatur (Kontext Landtechnik, Kap. 5)

- Bhusal, S., Karkee, M., Bhattarai, U., Majeed, Y. & Zhang, Q. (2022): Automated execution of a pest bird deterrence system using a programmable unmanned aerial vehicle (UAV). *Computers and Electronics in Agriculture* 198: 106972 DOI: 10.1016/j.compag.2022.106972.
- Cunningham, H. M., R. B. Bradbury, K. Chaney & A. Wilcox (2005) Effect of non-inversion tillage on field usage by UK farmland birds in winter. *Bird Study* 52, 173-179.
- Dicks, L.V., Ashpole, J.E., Dänhardt, J., James, K., Jönsson, A., Randall, N., Showler, D.A., Smith, R.K., Turpie, S., Williams, D.R. & Sutherland, W.J. (2018): Farmland Conservation: 283-321. In: W.J. Sutherland, L.V. Dicks, S.O. Petrovan & R.K. Smith (Hrsg.): *What Works in Conservation 2020*. Open Book Publishers, Cambridge, UK.
- Dietzen, C. (2017): Feldlerche *Alauda arvensis* Linnaeus, 1758. In: Dietzen, C. et al.: *Die Vogelwelt von Rheinland-Pfalz. Band 4 Singvögel (Passeriformes)*. Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz, Beiheft 49: 228-239.
- DO-G – Deutsche Ornithologen-Gesellschaft, Fachgruppe Vögel der Agrarlandschaft (2019): DO-G-Positionspapier: Weiterentwicklung der Gemeinsamen Agrarpolitik ab 2021: Erfordernisse zum Erhalt unserer Agrarvögel. Manuskript, 21 S.
- Egli, L., Schröter, M., Scherber, C., Tschardt, T., Seppelt, R.: Crop asynchrony stabilizes food production. *Nature* 588: E7–E12. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2965-6>.
- Everaars, J., K. Frank, A. Huth (2014): Species ecology and the impacts of bioenergy crops: an assessment approach with four example farmland bird species. *Global Change Biology* 6: 252-264. doi: 10.1111/gcbb.12135.
- Henderson, I. G., Ravenscroft, N., Smith, G. & Holloway, S. (2009) Effects of crop diversification and low pesticide inputs on bird populations on arable land. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129: 149-156.

- Hoffmann, J. & Wittchen, U. (2018): Abschätzung der Habitatwirkung veränderter Produktionsverfahren auf Indikatorvogelarten der Ackerbaugebiete im Forschungsvorhaben „Maisanbau für hohen Ertrag und biologische Vielfalt“ am Beispiel der Feldlerche (*Alauda arvensis*). Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 195. 44 S.
- Horvat, E. & Denac, D. (2019): Population dynamics and habitat use by Northern Lapwing *Vanellus vanellus* in agricultural landscape of Dravsko and Ptujsko polje (NE Slovenia). *Acrocephalus* Vol. 40, no.182-183: 3-22. <https://doi.org/10.1515/acro-2019-0009>.
- Odderskær, P., Toppin, C., Petersen, M. B., Rasmussen, J., Dalgaard, T. & Erlandsen, M. (2006): Ukrudtsstriglingens effekter på dyr, planter og ressourceforbrug. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen Nr. 105, 127 S. <https://www.researchgate.net/publication/255610319>.
- Pépin, D., M. Birkan & J. M. Angibault (2008) Factors affecting changes in grey partridge population dynamics in a French arable farmland over an eleven-year period. *European Journal of Wildlife Research* 54: 179-187.
- Püttmanns, M., Böttges, L., Filla, T., Lehmann, F., Martens, A. S., Siegel, F., Sippel, A., von Bassi, M., Balkenhol, N., Waltert, M., & Gottschalk, E. (2022): Habitat use and foraging parameters of breeding Skylarks indicate no seasonal decrease in food availability in heterogeneous farmland. *Ecology and Evolution* 12, e8461, 19 S. <https://doi.org/10.1002/ece3.8461>.
- Renard, D. & Tilman, D. (2019): National food production stabilized by crop diversity. *Nature* 571: 257–260. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y>.
- Schlotmann, F. (2015): Rebhuhn *Perdix perdix* (Linnaeus, 1758). In: Dietzen et al.: Die Vogelwelt von Rheinland-Pfalz. Band 2 Entenvögel bis Storchenvögel (Anseriformes – Ciconiiformes). Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz, Beiheft 47: 295-302.
- Sheldon, R., Bolton, M., Gillings, S., Wilson, A. (2004): Conservation management of Lapwing *Vanellus vanellus* on lowland arable farmland in the UK. *Ibis* 146 (Suppl. 2): 41– 49.
- TH Köln – Technische Hochschule Köln (2022): Neuartiges System für nachhaltigen Ackerbau: TH Köln entwickelt Technologie zur ultraflachen Stoppel- und Bodenbearbeitung. Pressemitteilung Referat für Kommunikation und Marketing, Team Presse- und Öffentlichkeitsarbeit vom 17.02.2022. <https://idw-online.de/de/news?print=1&id=788622>.

II.3 Literatur zu Amphibien (Knoblauchkröte)

Allgemeine Literatur (Kontext Artenbeschreibung, Kap. 4)

- G. Berger, H. Pfeffer & T. Kalettka (Hrsg.); 2011: Amphibienschutz in kleingewässerreichen Ackerbaugebieten: Grundlagen, Konflikte, Lösungen. Natur & Text, Rangsdorf, 383 S.
- Rote-Liste-Gremium Amphibien und Reptilien (2020): Rote Liste und Gesamtartenliste der Amphibien (Amphibia) Deutschlands. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 170 (4): 86 S.
- Wagner, Norman (2015): Amphibienschutz und Pestizideinsätze. Dissertation am Fachbereich VI (Raum- und Umweltwissenschaften) der Universität Trier. 387 S.

Spezifische Literatur (Kontext Landtechnik, Kap. 5)

- Aldrich, A., Junghans, M., Aeberli, C., Brühl, C. A., Streiss, F., & Schmidt, B. R. (2016): Amphibians and plant-protection products: what research and action is needed? *Environmental Sciences Europe* 28:17. DOI 10.1186/s12302-016-0085-6.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2022a): Maßnahmenkonzepte: Knoblauchkröte (*Pelobates fuscus*). https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/natura2000/Dokumente/am_pelofusc.pdf

- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2022b): Artenportrait *Pelobates fuscus* – Knoblauchkröte. <https://www.bfn.de/artenportraits/pelobates-fuscus#anchor-field-endangerment>.
- Bitz, A., König, H. & Simon, L. (1996): Knoblauchkröte – *Pelobates fuscus* (Laurenti, 1768). In: Bitz, A., Fischer, K., Simon, L., Thiele, R. & Veith, M.: Die Amphibien und Reptilien in Rheinland-Pfalz. Landau: 165-182.
- Bosman, W. & Van den Munckhof, P. (2006): Terrestrial habitat use of the common spadefoot (*Pelobates fuscus*) in an agricultural environment and an old sanddune landscape. In: Vences, M., Köhler, J., Ziegler, T. & Böhme, W. (Hrsg.): *Herpetologia Bonnensis II. Proceedings of the 13th Congress of the Societas Europaea Herpetologica*: 23-25.
- Brühl, C. A., Schmidt, T., Pieper, S. & Alscher, A. (2013): Terrestrial pesticide exposure of amphibians: An underestimated cause of global decline? – *Scientific Reports* 3: 1135, doi: 10.1038/srep01135.
- DGHT – Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde (2022a): Artensteckbrief Knoblauchkröte. <https://feldherpetologie.de/heimische-amphibien-artensteckbrief/artensteckbrief-knoblauchkrote-pelobates-fuscus>.
- DGHT – Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde (2022b): Gefährdung und Schutz der Knoblauchkröte. <https://feldherpetologie.de/lurch-reptil-des-jahres/lurch-des-jahres-2007-die-knoblauchkrote/gefaehrdung-schutz-knoblauchkroete>.
- LANUV NRW – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2022): Planungsrelevante Arten: Knoblauchkröte. Gefährdung / Erhaltungsziele. https://artenschutz.naturschutzinformationen.nrw.de/artenschutz/de/arten/gruppe/amph_rept/schutzziele/102328.
- Nyström, P., J. Hansson, J. Mansson, M. Sundstedt, C. Reslow & Brostrom, A. (2007) A documented amphibian decline over 40 years: Possible causes and implications for species recovery. *Biological Conservation*, 138: 399-411.
- Rote Liste-Zentrum (2022): *Pelobates fuscus*, Kommentar zur Gefährdung. https://www.rote-liste-zentrum.de/de/Detailseite.html?species_uid=4d81b327-787d-4913-b972-270de616b456&species_organismGroup=Amphibien&q=Knoblauchkröte
- Rückriem, C., Ikemeyer, D., & Mutz, T. (2016): Vorkommen und Verbreitung der Knoblauchkröte im Kreis Borken. In: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Die Knoblauchkröte (*Pelobates fuscus*) Verbreitung, Biologie, Ökologie, Schutzstrategien und Nachzucht. LANUV-Fachbericht 75:173-191.
- Schuler, J., C. Sattler, A. Helmecke, P. Zander, S. Uthes, J. Bachinger & Stein-Bachinger, K. (2013): The economic efficiency of conservation measures for amphibians in organic farming - Results from bio-economic modelling. *Journal of Environmental Management* 114: 404-413.
- Schulte, U., Ellwanger, G., Koch, M., Vischer-Leopold, M., Neukirchen, M. (2016): Verbreitung, Arealentwicklung und Erhaltungszustand der Knoblauchkröte in Deutschland. In: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Die Knoblauchkröte (*Pelobates fuscus*) Verbreitung, Biologie, Ökologie, Schutzstrategien und Nachzucht. LANUV-Fachbericht 75: 7-15.
- Siebert, L. & Kinast, P. (2019): Vertiefungsstudie agrarische Reststoffe: Einfluss der Strohentnahme auf die Bodenökologie landwirtschaftlicher Flächen. Gutachten im Auftrag von ifeu – Institut für Energie und Umweltforschung gGmbH. 35 S.
- Tobias, M. (2000): Zur Populationsökologie von Knoblauchkröten (*Pelobates fuscus*) aus unterschiedlichen Agrarökosystemen. Dissertation, Gemeinsame Naturwissenschaftliche Fakultät der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 149 S.

II.4 Literatur zu Wildbienen

Allgemeine Literatur (Kontext Artenbeschreibung, Kap. 4)

- FIBL (2021): Handbuch Biodiversitätsmaßnahmen in der Agrarlandschaft. - https://www.fibl.org/fileadmin/.../de/.../handbuch_biodiversitaet_21.pdf (aufgerufen am 14.06.2021)
- Forum Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutz (2016): Biodiversität im NAP – Ziele und Zielerreichung. – Sitzung des Forums NAP (BLE).
- Julius-Kühn-Institut: Ergebnisse der Untersuchungen. - <https://bienenuntersuchung.julius-kuehn.de/index.php> (aufgerufen am 11.04.2022)
- Klein, A.M. et al. (2007): Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. - *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 274, no. 1608. Royal Society, pp. 303–313. doi: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Pe’er, G.; Birkenstock, M.; Lakner, S. & Röder, N. (2021): The Common Agricultural Policy post-2020: Views and recommendations from scientists to improve performance for biodiversity. – *Thünen Working Paper 175 (2)*: 265 S.
- Scheuchl, E. & Schwenninger, H.R. (2015): Kritisches Verzeichnis und aktuelle Checkliste der Wildbienen Deutschlands (Hymenoptera, Anthophila) sowie Anmerkungen zur Gefährdung. *Critical Inventory and Checklist of the Wild Bees of Germany (Hymenoptera, Anthophila) with Remarks on their Threat*. - *Mitt. Ent. Ver. Stuttgart*, Jg. 50, Heft 1: 225 S.
- Schwenninger, H.R. (1992): Untersuchungen zum Einfluss der Bewirtschaftungsintensität auf das Vorkommen von Insektenarten in der Agrarlandschaft, dargestellt am Beispiel der Wildbienen (Hymenoptera: Apoidea). – *Zool. Jb. Syst.* 119: 543-561.
- Westrich, P. (2019): Die Wildbienen Deutschlands. 2. Auflage, Ulmer Verlag, 821 S.
- Westrich, P.; Frommer, U.; Mandery, K.; Riemann, H.; Ruhnke, H.; Saure, C. & Voith, J. (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen (Hymenoptera, Apidae) Deutschlands. – In: Binot-Hafke, M.; Balzer, S.; Becker, N.; Gruttke, H.; Haupt, H.; Hofbauer, N.; Ludwig, G.; Matzke-Hajek, G. & Strauch, M. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1). – Münster (Landwirtschaftsverlag). – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (3): 373-416.

Spezifische Literatur (Kontext Landtechnik, Kap. 5)

- Alkassab, A.T. & Kirchner, W.H. (2017): Sublethal exposure to neonicotinoids and related side effects on insect pollinators: honeybees, bumblebees, and solitary bees. *Journal of Plant Diseases and Protection* 124, 1–30, <https://doi.org/10.1007/s41348-016-0041-0>
- Angelella, G.M. & O’Rourke, M.E. (2017): Pollinator Habitat Establishment after Organic and No-till Seedbed Preparation Methods. - *HortScience*, 52, 1349-1355.
- Angelella, G.M.; Stange, L.; Scoggins, H.L. & O’Rourke, M.E. (2019): Pollinator Refuge Establishment and Conservation Value: Impacts of Seedbed Preparations, Seed Mixtures, and Herbicides. *HortScience*, 54, 445-451.
- Appenfeller, L.R.; Lloyd, S. & Szendrei, Z. (2020): Citizen science improves our understanding of the impact of soil management on wild pollinator abundance in agroecosystems. - *Plos One*, 15.
- Barbosa, F.M.; Lima, J.T.; Santos, M.A. & Campos, L.A.D. (2019): Effects of irrigation method on pollination and pollinators (Hymenoptera: Apoidea) in an open-field tomato crop. *Florida Entomologist*, 102, 130-133.
- Batáry, P. & Tscharrntke, T. (2022): Scale-dependent effectiveness of on-field vs. off-field agri-environmental measures for wild bees. - *Basic and Applied Ecology*, 62, 55-60.

- Bergmeier, E.; Meyer, S.; Pape, F.; Dierschke, H.; Härdtle, W.; Heinken, T.; Hölzel, N.; Remy, D.; Schwabe, A.; Tischew, S. & Schneider, S. (2021): Ackerwildkraut-Vegetation der Kalkäcker (Caucalidion): Pflanzengesellschaft des Jahres 2022. – *Tuexenia* 41: 299-350.
- Betts, M.G.; Hadley, A.S. & Kormann, U. (2019): The landscape ecology of pollination. – *Landscape Ecology*, 34, 961-966.
- Beyer, N.; Gabriel, D. & Westphal, C. (2022): Landscape composition modifies pollinator densities, foraging behavior and yield formation in faba beans. – *Basic and Applied Ecology* 61, 30-40.
- Blacquiére, T.; Smagghe, G.; van Gestel, C.A.M. & Mommaerts, V. (2011): Neonicotinoids and bees: an overview on concentrations, side effects and risk assessment. In 11th International Symposium of the ICP-BR-Bee-Protection-Group on Hazards of Pesticides to bees, 61-61. Wageningen, Netherlands.
- Blacquiére, T. & Steen, J.J.M. van der (2017): Three years of banning neonicotinoid insecticides based on sub-lethal effects: can we expect to see effects on bees? – *Pest Management Science* 73, 1299-1304.
- BLE (2022): <https://www.praxis-agrar.de/umwelt/biologische-vielfalt/biodiversitaet-foerdern/massnahmen-auf-dem-acker> (aufgerufen am 10.06.2022).
- BMEL (2021): Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Jahresbericht 2021. BMEL - Pflanzenschutz - Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (aufgerufen am 09.06.2022)
- Bonmatin, J.-M.; Giorio, C.; Girolami, V.; Goulson, D.; Kreutzweiser, D.P.; Krupke, C.; Liess, M.; Long, E.; Marzaro, M.; Mitchell, E.A.D.; Noome, D.A.; Simon-Delso, N. & Tapparo, A. (2015): Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. – *Environ Sci Pollut Res* (2015) 22:35–67. DOI 10.1007/s11356-014-3332-7.
- Botias, C.; David, A.; Horwood, J.; Abdul-Sada, A.; Nicholls, E.; Hill, E. & Goulson, D. (2015): Neonicotinoid Residues in Wildflowers, a Potential Route of Chronic Exposure for Bees. – *Environmental Science & Technology*, 49, 12731-12740.
- Carvell, C.; Bourke, A.F.G.; Osborne, J.L. & Heard, M.S. (2015): Effects of an agri-environment scheme on bumblebee reproduction at local and landscape scales. – *Basic and Applied Ecology* 16, 519-530.
- Cecala, J.M. & Rankin, E.E.W. (2021): Pollinators and plant nurseries: how irrigation and pesticide treatment of native ornamental plants impact solitary bees. – *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 288.
- Chan, D.S.W.; Prosser, R.S.; Rodríguez-Gil, J.L. & Raine, N.E.R. (2019): Assessment of risk to hoary squash bees (*Peponapis pruinosa*) and other ground-nesting bees from systemic insecticides in agricultural soil. – *Scientific Reports* 9: 11870. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47805-1>
- Christmann, S. (2022): Regard and protect ground-nesting pollinators as part of soil biodiversity. *Ecol Appl*, 32, e2564.
- Cole, L.J.; Kleijn, D.; Dicks, L.V.; Stouts, J.C.; Potts, S.G.; Albrecht, M.; Balzan, M.V.; Bartomeus, I.; Bebeli, P.J.; Bevk, D.; Biesmeijer, C.; Chlebo, R.; Dautartè, A.; Emmanouil, N.; Hartfield, C.; Holland, J.M.; Holzschuh, A.; Knoben, N.T.J.; Kovácsostyánski, A.; Mandelik, Y.; Panou, H.; Paxton, R.J.; Petanidou, T.; Pinheiro, D.E.; Carvalho, M.A.A.; Rundlöf, M.; Sarthou, J.-P.; Stavrínides, M.C.; Suso, M.J.; Szentgyörgyi, H.; Vaissière, B.E.; Varnava, A.; Vilà, M.; Zemeckis, R. & Scheper, J. (2020): A critical analysis of the potential for EU Common Agricultural Policy measures to support wild pollinators on farmland. – *Journal of Applied Ecology* 57: 681-694.
- Cullen, M.G.; Thompson, L.J.; Carolan, J.C.; Stout, J.C. & Stanley, D.A. (2019): Fungicides, herbicides and bees: A systematic review of existing research and methods. – *Plos One*, 14.

- Dance, C.; Botías, C. & Goulson, (D): The combined effects of a monotonous diet and exposure to thiamethoxam on the performance of bumblebee micro-colonies. - *Ecotox Environ Safe* 2017; 139:194–201.
- Dietzsch, A.C.; Kunz, N.; Wirtz, I.P.; Stahler, M.; Heimbach, U. & Pistorius, J. (2019): Does winter oilseed rape grown from clothianidin-coated seeds affect experimental populations of mason bees and bumblebees? A semi-field and field study. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 14, 223-238.
- Efsa (2018): Peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance imidacloprid considering the uses as seed treatments and granules. - *Efsa Journal*, 16.
- Elzay, S.D. & Baum, K.A. (2021): Landscape characteristics predict body sizes in wild bees: implications for pollination services and foraging range. - *Journal of Insect Conservation*, 25, 243-253.
- Faupel, M.; von Blanckenhagen, F.; Luckmann, J.; Ruf, D.; Wiedemann, G. & Ludwigs, J.D. (2022): Precision farming and environmental pesticide regulation in the EU - how does it fit together? *Integr Environ Assess Manag.*
- Fechtler, T.; Pape, F.; Gardein, H.; Meyer, S. & Grau, F. (2021): Bemerkenswerte Wildbienen-Nachweise aus Südniedersachsen (Hymenoptera: Apiformes). – *Ampulex* 12: 54–70.
- Forum Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutz (2016): Biodiversität im NAP – Ziele und Zielerreichung. – Sitzung des Forums NAP (BLE).
- Friedle, C.; Wallner, K.; Rosenkranz, P.; Martens, D. & Vetter, W. (2021): Pesticide residues in daily bee pollen samples (April-July) from an intensive agricultural region in Southern Germany. - *Environ Sci Pollut Res Int*, 28, 22789-22803.
- Ganser, D.; Knop, E., & Albrecht, M. (2019): Sown wildflower strips as overwintering habitat for arthropods: Effective measure or ecological trap? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 275, 123–131. doi:10.1016/j.agee.2019.02.010
- Gayer, C.; Berger, J.; Dieterich, M.; Galle, R.; Reidl, K.; Witty, R. et al. (2021). Flowering fields, organic farming and edge habitats promote diversity of plants and arthropods on arable land, 58, 11551166. 10.1111/1365-2664.13851
- Goulson, D. (2013): An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology* 50, 977–987, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12111>
- Haberey, P; Hodel, D.; Collet, L.; Bucher, C.; Anken, T.; Total, R. & Keller, M. (2021): Efficiency evaluation of automated insecticide spot spraying in lettuce and bok choy fields. - *Precision agriculture '21*. June 25, Hrsg. John V. Stafford, Wageningen Academic Publishers.
- Hadrava, J.; Talašová, A.; Straka, J.; Benda, D.; Kazda, J. & Klečka, J. (2022): A comparison of wild bee communities in sown flower strips and semi-natural habitats: A pollination network approach. *Insect Conservation and Diversity*.
- Hellwig, N.; Schubert, N.F.; Kirmer, A.; Tischew, S. & Dieker, P. (2022): Effects of wildflower strips, landscape structure and agricultural practices on wild bee assemblages – A matter of data resolution and spatial scale? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 326.
- Hodel, D.; Collet, L.; Steiner, R.; Bucher, C.; Möri, H.; Wyssa, T.; Duckert, F.; Hauenstein, S.; Matter, R.; Anken, T.; Total, R. & Keller, M. (2020): Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Pflanzenschutz: Einzelpflanzenbehandlung in Pak-Choi mit dem Steketee Pflanzenschutzroboter.
- Hoesel, W. van; Tiefenbacher, A.; König, N.; Dorn, V.M.; Hagenguth, J.F.; Prah, U.; Widhalm, T.; Wiklicky V.; Koller, R.; Bonkowski, M.; Lagerlöf, J.; Ratzenböck, A. & Zaller, J.G. (2017): Single and combined effects of pesticide seed dressings and herbicides on earthworms, soil microorganisms, and litter decomposition. - *Frontiers in Plant Science* 8:215. DOI: 10.3389/fpls.2017.00215

- Isaacs, R.; Williams, N.; Ellis, J.; Pitts-Singer, T.L.; Bommarco, R. & Vaughan, M. (2017): Integrated Crop Pollination: combining strategies to ensure stable and sustainable yields of pollination-dependent crops. *Basic Appl. Ecol.* 22: 44–6.
- Jones, A.; Harrington, P. & Turnbull, G. (2014): Neonicotinoid concentrations in arable soils after seed treatment applications in preceding years. *Pest Management Science* 70, 1780–1784, <https://doi.org/10.1002/ps.3836>
- Julius-Kühn-Institut: Ergebnisse der Untersuchungen. - <https://bienenuntersuchung.julius-kuehn.de/index.php> (aufgerufen am 11.04.2022)
- Keller, M.; Haberey, P.; Hodel, D.; Collet, L.; Steiner, R.; Bucher, C.; Möri, H.; Wyssa T.; Duckert, F.; Hauenstein, S.; Matter, R.; Anken, T. & Total, R. (2021): Spot Spraying im Gemüsebau: Deutliche Pflanzenschutzmittelreduktion möglich, aber anspruchsvoll. *Agroscope Transfer*, 353, 2020, 1–2.
- Klaus, F.; Tschardtke, T.; Bischoff, G. & Grass, I. (2021): Floral resource diversification promotes solitary bee reproduction and may offset insecticide effects—evidence from a semi-field experiment. *Ecology Letters*, 24, 668–675.
- Klein, A.M. et al. (2007): Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. - *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 274, no. 1608. Royal Society, pp. 303–313. doi: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Lundin, O.; Rundlöf, M.; Smith, H.G.; Fries, I. & Bommarco, R. (2015): Neonicotinoid insecticides and their impacts on bees: a systematic review of research approaches and identification of knowledge gaps. *PLoS One*. 10: e0136928. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136928>
- Marja, R.; Tschardtke, T. & Batary, P. (2022): Increasing landscape complexity enhances species richness of farmland arthropods, agri-environment schemes also abundance a metaanalysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 326, 107822. doi:10.1016/j.agee.2021.107822
- May, E.; Stuligross, C. & Isaacs, R. (2014): Does insecticide drift into adjacent wildflower plantings affect bumble bee (*Bombus impatiens* L.) foraging activity and reproduction? In 12th International Symposium of the ICP-PR Bee Protection Group - Hazards of Pesticides to Bees, 232–232. Ghent Univ, Fac Bioscience Engn, Ghent, Belgium.
- Meisel, K. (1985): Gefährdete Ackerwildkräuter – historisch gesehen. - *Natur und Landschaft* 60: 62–66.
- Meyer, S. & Leuschner, C. (2015): 100 Äcker für die Vielfalt. Initiativen zur Förderung der Ackerwildkrautflora in Deutschland. – Universitätsverlag Göttingen, 355 S.
- Mokkapati, J.S.; Bednarska, A.J. & Laskowski, R. (2021): The development of the solitary bee *Osmia bicornis* is affected by some insecticide agrochemicals at environmentally relevant concentrations. - *Science of the Total Environment*, 775.
- Neumüller, U.; Burger, H.; Schwenninger, H.R.; Hopfenmüller, S.; Krausch, S.; Weiß, K. & Ayasse, M. (2021): Prolonged blooming season of flower plantings increases wild bee abundance and richness in agricultural landscapes. - *Biodiversity and Conservation* 30: 3003–3021.
- Nichols, R.N.; Goulson, D. & Holland, J.M. (2019): The best wildflowers for wild bees. *Journal of Insect Conservation* 23, 819–830.
- Nooten, S.S. & Rehan, S.M. (2022): Effects of land use type and seasonal climate on ground nesting wild bees. - *Agricultural and Forest Entomology* 24, 229–236.
- Oppermann, R.; Buhk, C. & Pfister, S. (2019): Handlungsperspektiven für eine insektenfreundliche Landnutzung. – *Natur und Landschaft* 94 (6/7): 279–288.

- Osterman, J.; Landaverde-González, P.; Garratt, M.P.D.; Gee, M.; Mandelik, Y.; Langowska, A.; Miñarro, M.; Cole, L.J.; Eeraerts, M.; Bevk, D.; Avrech, O.; Koltowski, Z.; Trujillo-Elisea, F.I.; Paxton, R.J.; Boreux, V.; Seymour, C.L. & Howlett, B.G. (2021): On-farm experiences shape farmer knowledge, perceptions of pollinators, and management practices. - *Global Ecology and Conservation* 32.
- Panziera, D.; Requier, F.; Chantawannakul, P.; Pirk, C.W.W. & Blacquiére, T. (2022): The Diversity Decline in Wild and Managed Honey Bee Populations Urges for an Integrated Conservation Approach. - *Frontiers in Ecology and Evolution* 10.
- Pe'er, G.; Birkenstock, M.; Lakner, S. & Röder, N. (2021): The Common Agricultural Policy post-2020: Views and recommendations from scientists to improve performance for biodiversity. – *Thünen Working Paper* 175 (2): 265 S.
- Rondeau, S. & Raine, N.E. (2022): Fungicides and bees: a review of exposure and risk. - *Environment International*.
- Rundlöf, M.; Andersson, G.K.S.; Bommarco, R.; Fries, I.; Hederstrom, V. & Herbertsson, L. (2015): Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. - *Nature* 521, 77–80. <https://doi.org/10.1038/nature14420>.
- Sandrock, C.; Tanadini, L.G.; Pettis, J.S.; Biesmeijer, J.C.; Potts, S.G. & Neumann, P. (2014): Sublethal neonicotinoid insecticide exposure reduces solitary bee reproductive success. - *Agricultural and Forest Entomology* 16, 119-128.
- Santa, F.; Aguado, L.O.; Falco-Gari, J.V.; Jimenez-Peydro, R.; Schade, M.; Vasileiadis, V.; Miranda-Barroso, L. & Peris-Felipo, J.F. (2021): Effectiveness of Multifunctional Margins in Insect Biodiversity Enhancement and RTE Species Conservation in Intensive Agricultural Landscapes. - *Agronomy-Basel*, 11.
- Scheuchl, E. & Schwenninger, H.R. (2015): Kritisches Verzeichnis und aktuelle Checkliste der Wildbienen Deutschlands (Hymenoptera, Anthophila) sowie Anmerkungen zur Gefährdung. Critical Inventory and Checklist of the Wild Bees of Germany (Hymenoptera, Anthophila) with Remarks on their Threat. - *Mitt. Ent. Ver. Stuttgart*, Jg. 50, Heft 1: 225 S.
- Schwenninger, H.R. (1992): Untersuchungen zum Einfluss der Bewirtschaftungsintensität auf das Vorkommen von Insektenarten in der Agrarlandschaft, dargestellt am Beispiel der Wildbienen (Hymenoptera: Apoidea). – *Zool. Jb. Syst.* 119: 543-561.
- Shaw, R.F.; Phillips, B.B.; Doyle, T.; Pell, J.; Redhead, J.; Savage, J.; Woodcock, B.; Bullock, J. & Osborne, J. (2020): Mass-flowering crops have a greater impact than semi-natural habitat on crop pollinators and pollen deposition. – *Landscape Ecology* 35, 513-527. DOI:10.1007/s10980-019-00962-0
- Sirami, C.; Gross, N.; Baillod, A.B.; Bertrand, C.; Carrie, R.; Hass, A. et al. (2019): Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 16442–16447. doi:10.1073/pnas.1906419116.
- Sterk, G.; Peters, B.; Gao, Z.L. & Zumkier, U. (2016): Large-scale monitoring of effects of clothianidin-dressed OSR seeds on pollinating insects in Northern Germany: effects on large earth bumble bees (*Bombus terrestris*). - *Ecotoxicology*, 25, 1666-1678.
- Straub, F.; Kuppler, J.; Fellendorf, M.; Teuscher, M.; Vogt, J. & Ayasse, M. (2022): Land-use stress alters cuticular chemical surface profile and morphology in the bumble bee *Bombus lapidarius*. - *PLoS One*, 17, e0268474.
- Strobl, V.; Albrecht, M.; Villamar-Bouza, L.; Tosi, S.M.; Neumann, P. & Straub, L. (2021): The neonicotinoid thiamethoxam impairs male fertility in solitary bees, *Osmia cornuta*. – *Environ. Pollut.* 284. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117106>.

- Tamburini, G.; Bommarco, R.; Wanger, T. C.; Kremen, C.; Van der Heijden, M. G.; Ließman, M. & Hallin, S. (2020): Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. – *Science advances* 6, 1715 pp.
- Tscharntke, T.; Grass, I.; Wagner, T.C.; Westphal, C. & Batáry, P. (2021): Beyond organic farming – harnessing biodiversity-friendly landscapes. – *Trends in Ecology and Evolution* 36 (10): 919-930.
- Tscharntke, T.; Grass, I.; Wanger, T.C.; Westphal, C. & Batáry, P. (2022): Restoring biodiversity needs more than reducing pesticides. – *Trends in Ecology & Evolution* 37 (2): 115-116.
- Tsvetkov, N.; Samson-Robert, O.; Sood, K.; Patel, H.S.; Malena, D.A.; Gajiwala, P.H.; Maciukiewicz, P.; Fournier, V. & Zayed, A. (2017): Chronic exposure to neonicotinoids reduces honey bee health near corn crops. – *Science* 356, 1395-1397.
- Twerski, A.; Albrecht, H.; Fründ, J.; Moosner, M. & Fischer, C. (2022): Effects of rare arable plants on flower-visiting wild bees in agricultural fields. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 323.
- Viik, E.; Mand, M.; Karise, R.; Laaniste, P.; Williams, I.H. & Luik, A. (2012): The impact of foliar fertilization on the number of bees (Apoidea) on spring oilseed rape. – *Zemdirbyste-Agriculture*, 99, 41-46.
- Vojvodic, M. & Bazok, R. (2021): Future of Insecticide Seed Treatment. – *Sustainability*, 13.
- Wen, A.; Elgersma, K.J.; Sherrard, M.E.; Jackson, L.L.; Meissen, J. & Myers, M.C. (2022): Wild bee visitors and their association with sown and unsown floral resources in reconstructed pollinator habitats within an agriculture landscape. *Insect Conservation and Diversity*, 15, 102-113.
- Westrich, P. (2019): *Die Wildbienen Deutschlands*. 2. Auflage, Ulmer Verlag, 821 S.
- Westrich, P.; Frommer, U.; Mandery, K.; Riemann, H.; Ruhnke, H.; Saure, C. & Voith, J. (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen (Hymenoptera, Apidae) Deutschlands. – In: Binot-Hafke, M.; Balzer, S.; Becker, N.; Gruttke, H.; Haupt, H.; Hofbauer, N.; Ludwig, G.; Matzke-Hajek, G. & Strauch, M. (Red.): *Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands*, Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1). – Münster (Landwirtschaftsverlag). – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (3): 373-416.
- Williams, N.M.; Ward, K.L.; Pope, N.; Isaacs, R.; Wilson, J.; May, E.A.; Ellis, J.; Daniels, J.; Pence, A.; Ullmann, K. & Peters, J. (2015): Native wildflower plantings support wild bee abundance and diversity in agricultural landscapes across the United States. – *Ecological Applications*, 25, 2119-2131.
- Wintermantel, D.; Locke, B.; Andersson, G.K.S.; Semberg, E.; Forsgren, E.; Osterman, J.; Pedersen, T.R.; Bommarco, R.; Smith, H.G.; Rundlöf, M. & de Miranda, J.R. (2018): Field-level clothianidin exposure affects bumblebees but generally not their pathogens. – *Nature Communications*, 9.
- Wintermantel, D.; Pereira-Peixoto, M.H.; Warth, N.; Melcher, K.; Faller, M.; Feurer, J.; Allan, M.J.; Dean, R.; Tamburini, G.; Knauer, A.C.; Schwarz, J.M.; Albrecht, M. & Klein, A.M. (2022): Flowering resources modulate the sensitivity of bumblebees to a common fungicide. – *Science of the Total Environment*, pp. 829.
- Woodcock, B.A., Bullock, J.M.; Shore, R.F.; Heard, M.S.; Pereira, M.G.; Redhead, J.; Ridding, L.; Dean, H.; Sleep, D.; Henrys, P.; Peyton, J.; Hulmes, S.; Hulmes, L.; Sarospataki, M.; Saure, C.; Edwards, M.; Genersch, E.; Knabe, S. & Pywell, R.F. (2017): Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science*, 356, pp. 1393.
- Woodcock, B.A.; Isaac, N.J.B.; Bullock, J.M.; Roy, D.B.; Garthwaite, D.G.; Crowe, A. & Pywell, R.F. (2016): Impacts of neonicotinoid use on long-term population changes in wild bees in England. *Nature Communications* 7, pp. 12459.

II.5 Literatur zu Regenwürmern

Allgemeine Literatur (Kontext Artenbeschreibung, Kap. 4)

- Dinter, A., C. Oberwalder, P. Kabouw, M. Coulson, G. Ernst, T. Leicher, M. Miles, G. Weyman & O. Klein (2013) Occurrence and distribution of earthworms in agricultural landscapes across Europe with regard to testing for responses to plant protection products. *Journal of Soils and Sediments*, 13, 278-293.
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Hg.) (2012) 17 Jahre Regenwurmerfassung auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Sachsen-Anhalt. Online verfügbar unter https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Bodenschutz/Bodenbeobachtung/Boden_Dauerbeobachtung/Dateien/Regenwurmerfassung_Endbericht.pdf.
- Plaas, E., F. Meyer-Wolfarth, M. Banse, J. Bengtsson, H. Bergmann, J. Faber, M. Potthoff, T. Runge, S. Schrader & A. Taylor (2019) Towards valuation of biodiversity in agricultural soils: A case for earthworms. *Ecological Economics*, 159, 291-300.
- Sanders, J. & J. Heß (2019) Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. Thünen-Institut (Thünen Report, 65).
- Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2012) Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie (UBA-Texte, 33). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/255791958_Erfassung_und_Analyse_des_Bodenzustands_im_Hinblick_auf_die_Umsetzung_und>Weiterentwicklung_der_Nationalen_Biodiversitätsstrategie/citation/download.

Spezifische Literatur (Kontext Landtechnik, Kap. 5)

- Antille, D.L., S. Peets, J. Galambošová, G.F. Botta, V. Rataj, M. Macak, J.N. Tullberg, W.C.T. Chamen, D.R. White, P.A. Misiewicz, P.R. Hargreaves, J.F. Bienvenido & R.J. Godwin (2019) Review: Soil compaction and controlled traffic farming in arable and grass cropping systems. *Agronomy Research*, 17(3), 653–682.
- Arai, M., T. Miura, H. Tsuzura, Y. Minamiya & N. Kaneko (2018) Two-year responses of earthworm abundance, soil aggregates, and soil carbon to no-tillage and fertilization. *Geoderma*, 332, 135-141.
- Bakken, A. K., L. O. Brandsæter, R. Eltun, S. Hansen, K. Mangerud, R. Pommeresche & H. Riley (2009) Effect of tractor weight, depth of ploughing and wheel placement during ploughing in an organic cereal rotation on contrasting soils. *Soil and Tillage Research*, 103, 433-441.
- Bart, S., C. Laurent, A. R. R. Péry, C. Mougin & C. Pelosi (2017) Differences in sensitivity between earthworms and enchytraeids exposed to two commercial fungicides. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 140, 177-184.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hg.) (2019) Vielfalt und Leistungen nutzen Regenwürmer in bayerischen Ackerböden. Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/merkblaetter/regenwuermer-ackerboeden_lfl-merkblatt.pdf
- Bertrand, M., S. Barot, M. Blouin, J. Whalen, T. de Oliveira & J. Roger-Estrade (2015) Earthworm services for cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 553-567.
- Bogužas, V., A. Kairyte & D. Jodaugiene (2010) Soil physical properties and earthworms as affected by soil tillage systems, straw and green manure management. *Zemdirbyste*, 97, 3-14.

- Bosch & Partner GmbH; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (Hg.: Indikatorbasiertes Klimafolgenmonitoring für Baden-Württemberg. Indikator-Factsheets. Regenwurmfauna. Stand 27.9.2016. Online verfügbar unter https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/539850/I-BO-2_Indikator_Regenwurm-fauna.pdf/3b903edb-ae90-402d-acca-facc2115730d
- Briones, M. J. I. & O. Schmidt (2017) Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*, 23, 4396-4419.
- Crittenden, S. J., T. Eswaramurthy, R. G. M. de Goede, L. Brussaard & M. M. Pulleman (2014) Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farming. *Applied Soil Ecology*, 83, 140-148.
- Crittenden, S. J., E. Huerta, R. G. M. de Goede & M. M. Pulleman (2015) Earthworm assemblages as affected by field margin strips and tillage intensity: An on-farm approach. *European Journal of Soil Biology*, 66, 49-56.
- Datta, S., J. Singh, S. Singh & J. Singh (2016) Earthworms, pesticides and sustainable agriculture: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 8227-8243.
- De Oliveira, T., M. Bertrand & J. Roger-Estrade (2012) Short-term effects of ploughing on the abundance and dynamics of two endogeic earthworm species in organic cropping systems in northern France. *Soil & Tillage Research*, 119, 76-84.
- Dekemati, I., B. Simon, S. Vinogradov & M. Birkas (2019) The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. *Soil & Tillage Research*, 194.
- Ehrmann, O. 2015. Regenwürmer in den Böden Baden-Württembergs - Vorkommen, Gefährdung und Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit. *Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau*, 2015 (105), 125–176. Online verfügbar unter https://www.zobodat.at/pdf/Berichte-naturf-Ges-Freiburg-Br_105_0125-0176.pdf
- Eriksen-Hamel, N. S., A. B. Speratti, J. K. Whalen, A. Légère & C. A. Madramootoo (2009) Earthworm populations and growth rates related to long-term crop residue and tillage management. *Soil and Tillage Research*, 10 (2), 311-316.
- Ernst, G. & C. Emmerling (2009) Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. *European Journal of Soil Biology*, 45, 247-251.
- Euteneuer, P., H. Wagentristsl, S. Steinkellner, M. Fuchs, J. G. Zaller, H.-P. Piepho & K. R. Butt (2020) Contrasting effects of cover crops on earthworms: Results from field monitoring and laboratory experiments on growth, reproduction and food choice. *European Journal of Soil Biology*, 100, 103225. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2020.103225
- Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) (Hg.) (2013) Regenwürmer: Baumeister fruchtbarer Böden. Online verfügbar unter <https://orgprints.org/id/eprint/30567/2/1610-regenwuermer.pdf>
- Fraser, P. M., N. L. Schon, J. E. Piercy, A. D. Mackay & M. A. Minor (2012) Influence of summer irrigation on soil invertebrate populations in a long-term sheep irrigation trial at Winchmore (Canterbury). *New Zealand Journal of Agricultural Research* 55 (2), 165–180. DOI: 10.1080/00288233.2012.662902
- Fox, C. A., J. J. Miller, M. Joschko, C. F. Drury & W. Reynolds (2017) Earthworm population dynamics as a consequence of long-term and recently imposed tillage in a clay loam soil. *Canadian Journal of Soil Science*.

- Frazão, J., R. G. M. de Goede, L. Brussaard, J. H. Faber, J. C. J. Groot & M. M. Pulleman (2017) Earthworm communities in arable fields and restored field margins, as related to management practices and surrounding landscape diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 248, 1–8. DOI: 10.1016/j.agee.2017.07.014.
- Gaupp-Berghausen, M., M. Hofer, B. Rewald & J. G. Zaller (2015) Glyphosate-based herbicides reduce the activity and reproduction of earthworms and lead to increased soil nutrient concentrations. *Sci Rep*, 5, 12886.
- HFFA Research GmbH (2022) Technologische und politikbedingte Reduktionspotenziale für Pflanzenschutz- und Düngemittel sowie deren Kosten für Landwirtschaft und Gesellschaft. Online verfügbar unter https://www.iva.de/sites/default/files/2022-03/Studie_HFFA%20Research.pdf.
- Huerta Lwanga, E., H. Gertsen, H. Gooren, P. Piet, T. Salánki, M. van der Ploeg et al. (2016) Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental science & technology*, 50 (5), 2685–2691. DOI: 10.1021/acs.est.5b05478.
- Isbister, B., P. Blackwell, G. Riethmuller, S. Davies, A. Whitlock & T. Neale (2013) Controlled traffic farming technical manual. v. NACC. Online verfügbar unter https://www.nacc.com.au/wp-content/uploads/2015/05/NACC_Controlled_Traffic_Farming_Technical_Manual.pdf.
- Jaskulska, I. & D. Jaskulski (2020) Strip-till one-pass technology in central and eastern Europe: A MZURI pro-til hybrid machine case study. *Agronomy*, 10.
- Kanianska, R., J. Jaďuďová, J. Makovńíková & M. Kizeková (2016) Assessment of Relationships between Earthworms and Soil Abiotic and Biotic Factors as a Tool in Sustainable Agricultural. *Sustainability*, 8 (9), 906. DOI: 10.3390/su8090906
- Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (Hg.) (2017) Pflanzenbauliche und bodenökologische Auswirkungen von Pflug-, Mulch- und Direktsaat. „Systemvergleich Bodenbearbeitung“ Abschlussbericht 2017. Online verfügbar unter https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E987949595/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Service/Schriftenreihen/Informationen%20f%C3%BCr%20die%20Pflanzenproduktion/IfPP%2005-2017%20Systemvergleich/IfPP%2005-2017%20Systemvergleich%20Bodenbearbeitung.pdf.
- Lees, K. J., A. J. McKenzie, J. P. N. Price, C. N. Critchley, C. M. Rhymer, B. J. Chambers & M. J. Whittingham (2016) The effects of soil compaction mitigation on below-ground fauna: How earthworms respond to mechanical loosening and power harrow cultivation. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 232, 273–282.
- Lehmitz, R., J. Römbke, U. Graefe, A. Beylich & S. Krück (2016) Rote Liste und Gesamtartenliste der Regenwürmer (Lumbricidae et Criodrilidae) Deutschlands (2016). In: Gruttke, H.; Balzer, S.; Binot-Hafke, M.; Haupt, H.; Hofbauer, N.; Ludwig, G.; Matzke-Hajek, G. & Ries, M. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 4: Wirbellose Tiere (Teil 2). – Münster (Landwirtschaftsverlag). – Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (4), S. 565–590.
- Lieder, S. & C. Schröter-Schlaack (2021) Smart Farming Technologies in Arable Farming: Towards a Holistic Assessment of Opportunities and Risks. *Sustainability*, 13.
- Lüscher, G., P. Jeanneret, M. K. Schneider, L. A. Turnbull, M. Arndorfer, K. Balázs, A. Báldi, D. Bailey, K. G. Bernhardt, J. P. Choisis, Z. Elek, T. Frank, J. K. Friedel, M. Kainz, A. Kovács-Hostyánszki, M. L. Oschatz, M. G. Paoletti, S. Papaja-Hülsbergen, J. P. Sarthou, N. Siebrecht, S. Wolfrum & F. Herzog (2014) Responses of plants, earthworms, spiders and bees to geographic location, agricultural management and surrounding landscape in European arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 186, 124–134.
- Manono, B. O., H. Moller & R. Morgan (2016) Effects of irrigation, dairy effluent dispersal and stocking on soil properties of the Waimate District, New Zealand. *Geoderma Regional*, 7 (1), 59–66. DOI: 10.1016/j.geodrs.2016.01.002

- Marwitz, A., E. Ladewig & B. Marlander (2012) Impact of herbicide application intensity in relation to environment and tillage on earthworm population in sugar beet in Germany. *European Journal of Agronomy*, 39, 25-34.
- Moos, J. H., S. Schrader, H. M. Paulsen & G. Rahmann (2016) Occasional reduced tillage in organic farming can promote earthworm performance and resource efficiency. *Applied Soil Ecology*, 103, 22-30.
- Nuutinen, V., M. Hagner, H. Jalli, L. Jauhiainen, S. Rämö, I. Sarikka & J. Uusi-Jämsä (2020) Glyphosate spraying and earthworm *Lumbricus terrestris* L. activity: Evaluating short-term impact in a glasshouse experiment simulating cereal post-harvest. *European Journal of Soil Biology* (96). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2019.103148>.
- Pangnakorn, U., D. L. Geore, J. N. Tullberg & M. L. Gupta (2003) Effect of tillage and traffic on earthworm populations in a Vertosol in South-East Queensland. *Proceedings of the 16th International Soil and Tillage Research Organisation Conference*, 881–885.
- Panico, S. C., C. A. M. van Gestel, R. A. Verweij, M. Rault, C. Bertrand, C. A. Menacho Barriga, M. Coeurdassier, C. Fritsch, F. Gimbert & C. Pelosi (2022) Field mixtures of currently used pesticides in agricultural soil pose a risk to soil invertebrates. *Environmental Pollution*, 305.
- Pelosi, C., S. Barot, Y. Capowiez, M. Hedde & F. Vandebulcke (2014a) Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 199-228.
- Pelosi, C., C. Bertrand, G. Daniele, M. Coeurdassier, P. Benoit, S. Nelieu, F. Lafay, V. Bretagnolle, S. Gaba, E. Vulliet & C. Fritsch (2021) Residues of currently used pesticides in soils and earthworms: A silent threat? *Agriculture Ecosystems & Environment*, 305.
- Pelosi, C., M. Bertrand & J. Roger-Estrade (2009) Earthworm community in conventional, organic and direct seeding with living mulch cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 287-295.
- Pelosi, C.; M. Bertrand, J. Thénard & C. Mougin (2015) Earthworms in a 15 years agricultural trial. *Applied Soil Ecology*, 88, 1–8. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.12.004.
- Pelosi, C., B. Pey, G. Caro, D. Cluzeau, J. Peigne, M. Bertrand & M. Hedde (2016) Dynamics of earthworm taxonomic and functional diversity in ploughed and no-tilled cropping systems. *Soil & Tillage Research*, 156, 25-32.
- Pelosi, C., B. Pey, M. Hedde, G. Caro, Y. Capowiez, M. Guernion, J. Peigne, D. Piron, M. Bertrand & D. Cluzeau (2014b) Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Applied Soil Ecology*, 83, 79-87.
- Pfiffner, L. & H. Luka (2007): Earthworm populations in two low-input cereal farming systems. *Applied Soil Ecology*, 37 (3), S. 184–191. DOI: 10.1016/j.apsoil.2007.06.005.
- Roarty, S. & O. Schmidt (2013) Permanent and new arable field margins support large earthworm communities but do not increase in-field populations. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 170, 45-55.
- Schrader, S., C. van Capelle & F. Meyer-Wohlfarth (2020) Die Servicekräfte des Bodens. Regenwürmer als Partner bei der Bodennutzung. *Biol. Unserer Zeit*, 50 (3), S. 192–198. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn062359.pdf.
- Strumpf, T., J. Strassemer, N. Herwig, P. Horney, D. Felgentreu, B. Hommel & S. Krück (2015) Regenwurmzönose - Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau. Online verfügbar unter <https://orgprints.org/id/eprint/28689/1/28689-12NA010-jki-strumpf-2015-regenwurmzoenose.pdf>
- Treder, K., M. Jastrzębska, M. K. Kostrzevska & P. Makowski (2020) Do long-term continuous cropping and pesticides affect earthworm communities? *Agronomy*, 10.

- Tamirat T. W., S. M. Pedersen, R. J. Farquharson, S. de Bruin, P. D. Forristal, C. G. Sørensen, D. Nuytens, H. H. Pedersen, M. N. Thomsen (2022) Controlled traffic farming and field traffic management: Perceptions of farmers groups from Northern and Western European countries. *Soil and Tillage Research*, 217, March 2022, 105288.
- Tullberg, J., D. L. Antille, C. Bluett, J. Eberhard & C. Scheer (2018) Controlled traffic farming effects on soil emissions of nitrous oxide and methane. *Soil and Tillage Research*, 176, 18–25. DOI: 10.1016/j.still.2017.09.014.
- Turlin, J. P. (2016) Conservation agriculture: Direct seeding through a permanent white-clover soil cover. *Fourrages*, 2016, 265-270.
- van Capelle, C., S. Schrader & J. Brunotte (2012) Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*, 50, 165–181. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2012.02.005.
- van Hoesel, W., A. Tiefenbacher, N. König, V. M. Dorn, J. F. Hagenguth, U. Prah, T. Widhalm, V. Wiklicky, R. Koller, M. Bonkowski, J. Lagerlöf, A. Ratzenböck & J. G. Zaller (2017) Single and Combined Effects of Pesticide Seed Dressings and Herbicides on Earthworms, Soil Microorganisms, and Litter Decomposition. *Frontiers in Plant Science* (2017), Vol. 8, Article 215.
- van Schaik, L., J. Palm, J. Klaus, E. Zehe & B. Schroder (2016) Potential effects of tillage and field borders on within-field spatial distribution patterns of earthworms. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 228, 82-90.
- Walter, R., J. Burmeister & R. Brandhuber (2015) Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden. In: BMEL und LfL (Hrsg.) Tagungsband "Jahr des Bodens": Schwere Maschinen, enge Fruchtfolgen, Gärreste - eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit. Fachtagung 13. Kulturlandschaftstag, 25–39.
- Zaller, J. G., M. Weber, M. Maderthaner, E. Gruber, E. Takács, M. Mörtl et al. (2021) Effects of glyphosate-based herbicides and their active ingredients on earthworms, water infiltration and glyphosate leaching are influenced by soil properties. *Environ Sci Eur*, 33 (1). DOI: 10.1186/s12302-021-00492-0

II.6 Literatur zu Laufkäfern

Allgemeine Literatur (Kontext Artenbeschreibung, Kap. 4)

- Arndt, K. (1989) Beiträge zur Insektenfauna der DDR: Gattung Carabus LINNÉ (Coleoptera-Carabidae). Beitr. Ent. Berlin 39/1: 63-103
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2019) Laufkäfer in Agrarlandschaft: vielfältig – zahlreich – nützlich
- Dornieden, K. (2005) Laufkäfer – Carabidae. Hrsg. Naturschutzverband Niedersachsen e.V. und Biologische Schutzgemeinschaft Hunte Weser-Emser e.V. (Ökoportrait 38)
- Eyre, M.D., Sanderson P.A., McMillan, S.D., & Critchley C.N.R. (2016) Crops cover the principal influence on non-crop ground beetle (Coleoptera, Carabidae) activity and assemblages at the farm scale in a long-term assessment. Bulletin of Entomological Research 106: 242-248
- Hartmann, M. (2011) Rote Liste der Laufkäfer (Insecta: Coleoptera: Carabidae) Thüringens (3. Fassung 08/2011).
- Hürka, K (1993) Fortpflanzung und Entwicklung der mitteleuropäischen Carabus- und Procerus-Arten. IN Studie CSAV 9
- Jowett, K., Milne, E., Garrett, D., Potts, S.G, Senapathi, D. Storkey J (2020) Above- and below-ground assessment of carabid community to crop type and tillage. Agricultural and Forest Entomology
- Larsson S.G. (1939) Entwicklungstypen und Entwicklungszeiten der dänischen Carabiden. IN: Ent. Medd. Kopenhagen
- Lorenz, W.M.T. (2003) Rote Liste gefährdeter Lauf- und Sandlaufkäfer Bayerns (Coleoptera Carabidae s.l.) Bayerns. Hrsg. BayLfU 166: 102-111
- Luff M.L. & Larsson S.G. (1993) The Carabidae (Coleoptera) Larvae of Fennoscandia and Denmark, Vol. 27, Leiden, NL
- Paarmann, W. (1979) Ideas, about the evolution of the various annual reproduction rhythms. IN Carabid beetles of the different climatic zones. IN Miscellaneous Papers. Wageningen 18: 118-132.
- Sasakawa, K., Ikeda, H., Kubata, T. (2020) Feeding ecology of granivorous carabid larvae: a stable isotope analysis. Journal of Applied Entomology 134: 116-122.
- Schernay, F. (1957) Über Biologie und Zucht von Carabus-Arten. Bericht der Wanderversammlung Deutscher Entomologen. Tag.ber. 11: 120-126.
- Schmidt, J.; Trautner, J. & Müller-Motzfeld, G. (2016): Rote Liste und Gesamtartenliste der Laufkäfer (Coleoptera: Carabidae) Deutschlands. – In: Gruttke, H.; Balzer, S.; Binot-Hafke, M.; Haupt, H.; Hofbauer, N.; Ludwig, G.; Matzke-Hajek, G. & Ries, M. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 4: Wirbellose Tiere (Teil 2). – Münster (Landwirtschaftsverlag). – Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (4): 139-204.
- Schütz, Lukas; Lettow, Niels; Dachbrodt-Saaydeh, Silke (2020): Vorbeugende Pflanzenschutzmaßnahmen im Ackerbau und ihre Eignung zur Förderung von Arthropoden. 545-560 Seiten / Journal für Kulturpflanzen, Bd. 72 Nr. 12 (2020).
- Suenaga, H. Hamamus, T. (1998) Laboratory evolution of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) as predators of tatonback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae. Environmental Entomology 27: 767-772.
- Redwitz, C. von, M. Glemnitz, J. Hoffmann, R. Brose, G. Verch, D. Barkusky, C. Saure, G. Berger & S. Bellingrath-Kimura (2019) Microsegregation in Maize Cropping—a Chance to Improve Farmland Biodiversity. Gesunde Pflanzen, 71, 87-102.

- Talarico F., Giglio A, Pizzolotto R, & P. Brandmayr (2016) A synthesis of feeding habitats and reproduction rhythm in Italian seed feeding beetles (Coleoptera, Carabidae) *European Journal of Entomology* 113:325-336
- Thiele H.-U. (1971) Die Steuerung der Jahresrhythmik von Carabiden durch exogene und endogene Faktoren. IN: *Zool. Jahrb. Ent. Jena* 98: 341-371.
- Wagner, C., Bachl-Staudinger, M., Baumholzer, S., Burmeister, J., Fischer, C., Karl, N., Köppl, A., Volz, H., Walter, R., Wieland, P. (2014): Faunistische Evaluierung von Blühflächen. – Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 1/2014, 1-150.

Spezifische Literatur (Kontext Landtechnik, Kap. 5)

- Allema, A. B, van der Werf, W., Groot, J.C.J., Hmerik, L., Gort, G., Rossing, A.H. & van Lenteren, J. C. (2015) Quantification of motility of carabid beetles in farmland. *Bulletin of Entomological Research*, 105: 234-244
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (2019): Laufkäfer in der Agrarlandschaft. vielfältig - zahlreich - nützlich.
- Bertrand, C., Burel, F., Baudry, J. (2016) Spatial and temporal heterogeneity of the crop mosaic influences carabid beetles in agricultural landscapes. *Landscape Ecology* 31: pp. 451-466.
- Birkhofer, K, Ekroos, J., Corlett, E.B., Smith, H.G. (2014) Winners and losers of organic cereal farming in animal communities across Central and Norther Europe. *Biological Conservation* 175: pp. 25-33.
- Boetzl, F.A., Krimmer, E., Krauss, J., Steffan-Dewenter, I. (2019) Agri-environmental schemes promote ground-dwelling predators in adjacent oilseed rape fields: Diversity, species traits and distance-decay functions. *Journal of Applied Ecology* 56: 10-20.
- Bohan, D. A., Boursault, A., Brooks, D. R. & Petit, S. (2011) National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology* 48: pp. 888–898.
- Boscutti, F., Sigura, M., Gambon, N., Lagazio, C., Kruis, B.O., Bonfanti (2015) Conservation tillage affects species composition but not species diversity: A comparative study in Northern Italy. *Environmental Management* 55: pp. 443-452.
- Burmeister, Johannes; Kreuter, Thomas; Walter, Roswitha (2016): Der Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die Laufkäferfauna eines Feldversuches in Bayern. In: *Angewandte Carabidologie* (11), S. 21–30.
- Churko, G., Gramlich, A. & Walter, T. (2021) Vascular plant and gound beetle diversity on wet arable land versus conventional crop fields. *Basic and Applied Ecology* 53: 86-99.
- García-Ruíz, E., Loureiro, I., Farinos, G.P., Gomez, P., Gutierrez, E., Sanchez, F.J., Escorial, M.C., Ortego, F., Cheuca, M.C. & Castanera, P. (2018): Weeds and ground-dwellung predators' response to two different weed management systems in glyphosate-tolerant cotton: A farm-scale study. *Plos One* 13.
- Depalo, L., Burgio, G., Magagnoli, S., Sommaggio, D., Montemurro, F., Canali S. & Masetti, A. (2020): Influence of cover crop termination on ground dwelling arthropods in organic vegetable systems. *Insects* 11.
- Eyre, M.D., Luff, M.L., Atlihna, R. & Leifert, C. (2012): Ground beetle species (Carabidae, Coleoptera) activity and richness in relation to croptype, fertility management and crop protection in a farm management comparison trial. *Annals of Applied Biology* 161: 169-179.

- Eyre, M.D., Sanderson, R.A., McMillan, S.D. & Critchley, C.N.R. (2016): Crop cover the principal influence on non-crop ground beetle (Coleoptera, Carabidae) activity and assemblages at the farm scale in a long-term assessment. *Bulletin of Entomological Research* 106: 242-248.
- Gareau, T.P., Voortman, C. & Barbercheck, M. (2020): Carabid beetles (Coleopter: Carabidea) differentially respond to soil management practices in feed and forage systems in transition to organic management. *Renewable Agriculture and Food Systems* 35: 608-625.
- Jacobsen, S.K., Sigsgaard, L., Johansen, A.B., Thorup-Kristensen, K. & Jensen, P.M. (2022): The impact of reduced tillage and distance to field margin on predator functional diversity. *Journal of Insect Conservation* 26: 491-501.
- Jowett, K., Milne, A.E., Garrett, D., Potts, S.G., Senapathi, D. & Storkey, J. (2021): Above- and below-ground assessment of carabid community responses to crop type and tillage. *Agricultural and Forest Entomology* 23: 1-12.
- Knapp, M. & Rezac, M. (2015): Even the Smallest Non-Crop Habitat Islands Could Be Beneficial: Distribution of Carabid Beetles and Spiders in Agricultural Landscape. *Plos One*, 10.
- Knapp, M., M. Seidl, J. Knappova, M. Macek & P. Saska (2019): Temporal changes in the spatial distribution of carabid beetles around arable field-woodlot boundaries. *Nature. Scientific Reports*, 9, Articlenumber: 8967.
- Kosewska, A., T. Skalski & M. Nietupski (2014): Effect of conventional and non-inversion tillage systems on the abundance and some life history traits of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) in winter triticale fields. *European Journal of Entomology*, 111, 669-676.
- Kosewska, A. (2016): Conventional and non-inversion tillage systems as a factor causing changes in ground beetle (Col. Carabidae) assemblages in oilseed rape (*Brassica napus*) fields. *Periodicum Biologorum* 118: 231-239.
- Kosewska, A., M. Nietupski, K. Nijak & T. Skalski (2016): Effect of plant protection on assemblages of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in pea (*Pisum L.*) and lupine (*Lupinus L.*) crops. *Periodicum Biologorum* 118: 213-222.
- Kosewska, A., K. Nijak, M. Nietupski, R. Kedzior & E. Ludwiczak (2020): Effect of plant protection on assemblages of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in sugar beet crops in four year rotation. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungarica* 66: 49-68.
- Kotze D, Brandmayr P, Casale A, Dauffy-Richard E, Dekoninck W, Koivula M, Lovei G, Mossakowski D, Noordijk J, Paarmann W, Pizzoloto R, Saska P, Schwerk A, Serrano J, Szyszko J, Taboada Palomares A, Turin H, Venn S, Vermeulen R, Zetto Brandmayr T (2011): Forty years of carabid beetle research in Europe – from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *ZooKeys* 100: 55-148.
- Lalonde, O., A. Legere, F. C. Stevenson, M. Roy & A. Vanasse (2012): Carabid beetle communities after 18 years of conservation tillage and crop rotation in a cool humid climate. *Canadian Entomologist*, 144, 645-657.
- Lami, F., F. Boscutti, R. Masin, M. Sigura & L. Marini (2020): Seed predation intensity and stability in agro-ecosystems: Role of predator diversity and soil disturbance. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 288.
- Légrand, A., Gaucherel, C., Baudry, J. & Meynard, J.-M. (2011): Long-term effects of organic, conventional, and integrated crop systems on Carabids. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 515-524.
- Massaloux, D., B. Sarrazin, A. Roume, V. Tolon & A. Wezel (2020): Complementarity of grasslands and cereal fields ensures carabid regional diversity in French farmlands. *Biodiversity and Conservation*, 29: 2861-2882.

- Navntoft, S., K. Kristensen, I. Johnsen, A. M. M. Jensen, L. Sigsgaard & P. Esbjerg (2016): Effects of weed harrowing frequency on beneficial arthropods, plants and crop yield. *Agricultural and Forest Entomology*, 18: 59-67.
- Nemec, K. T., C. R. Allen, S. D. Danielson & C. J. Helzer (2014): Responses of predatory invertebrates to seeding density and plant species richness in experimental tallgrass prairie restorations. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 183: 11-20.
- Ng, K., S. McIntyre, S. Macfadyen, P. S. Barton, D. A. Driscoll & D. B. Lindenmayer (2018): Dynamic effects of ground-layer plant communities on beetles in a fragmented farming landscape. *Biodiversity and Conservation* 27: 2131-2153.
- Norfolk, O., M. Abdel-Dayem & F. Gilbert (2012): Rainwater harvesting and arthropod biodiversity within an arid agro-ecosystem. *Agriculture Ecosystems & Environment* 162: 8-14.
- Piotrowska, N. S., S. Z. Czachorowski & M. J. Stolarski (2020): Ground Beetles (Carabidae) in the Short-Rotation Coppice Willow and Poplar Plants-Synergistic Benefits System. *Agriculture-Basel*, 10.
- Redwitz, C. von, M. Glemnitz, J. Hoffmann, R. Brose, G. Verch, D. Barkusky, C. Saure, G. Berger & S. Bellingrath-Kimura (2019): Microsegregation in Maize Cropping—a Chance to Improve Farmland Biodiversity. *Gesunde Pflanzen*, 71, 87-102.
- Rischen, T., Frenzel, T. & K. Fischer (2021): Biodiversity in agricultural landscapes: different non-crop habitats increase diversity of ground-dwelling beetles (Coleoptera) but support different communities. *Biodiversity and Conservation*, 30, 3965-3981.
- Schütz, L.; Lettow, N. & Dachbrodt-Saaydeh, S. (2020): Vorbeugende Pflanzenschutzmaßnahmen im Ackerbau und ihre Eignung zur Förderung von Arthropoden. 545-560 Seiten / *Journal für Kulturpflanzen*, Bd. 72 Nr. 12 (2020).
- Sivcev, L., I. Sivcev, D. Graora, V. Tomic & B. Dudic (2018): Ground Beetle Assemblages Affected by Oilseed Rape Management Practice. *Acta Zoologica Bulgarica* 70: 367-376.
- Skellern, M. P. & S. M. Cook (2018): The potential of crop management practices to reduce pollen beetle damage in oilseed rape. *Arthropod-Plant Interactions*, 12, 867-879.
- Suenaga, H. & Hamamura, T. (1998): Laboratory evaluation of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) as predators of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae. *Environmental Entomology*, 27: 767– 772.
- Tscharntke, T., Bommarco, R., Clough, Y., Crist, T.O., Kleijn, D., Rand, T.A., Tylianakis, J.M., van Nouhuys, S., Videl, S. (2007): Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, 43: 294-309.

III. Recherchierte FuE-Projekte mit Bezug zu modernisierter Agrartechnik

Auswertung der Förderdatenbanken FOEKAT (BMEL, BMBF, BMWK, BMUV), BLE und EIP (Länder)

- Abfrage
- FOEKAT, BLE Datenbank, EIP Datenbank
 - Stichwortsuche: "Agrartechnik",
 - Projektstatus: "laufend"
 - Abruf: 23.02.2022

Haupt-Relevanz für Kapitel				
	Ressort	Ausführende Stelle	Thema	Laufzeit
3.1	BLE	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Potsdam	Umweltgerechte Folienentsorgung und Vermeiden von Mikroplastik im Spargelanbau (SpaFo) – Teilprojekt 1	Beginn: 12.10.2020 /Ende: 31.10.2022
3.1	BLE	Universität Hohenheim - Fakultät Agrarwissenschaften - Institut für Agrartechnik (440), Stuttgart	Verbundprojekt: adaptive Interface-Systeme in Ackerschleppern 2.0 (aISA20) - Teilprojekt B	Beginn: 01.01.2021 /Ende: 28.02.2024
3.1	BLE	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf - Zentrum für Forschung und Weiterbildung - Institut für Gartenbau, Freising, RAM GmbH Mess- und Regeltechnik, Herrsching a. Ammersee, Humboldt-Universität zu Berlin - Lebenswissenschaftliche Fakultät - Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften - Fachgebiet Biosystemtechnik, Berlin	Verbundprojekt: Entwicklung eines sensorbasierten intelligenten Gewächshaus- Managementsystems (ProsiBor)	Beginn: 01.09.2017 /Ende: 31.12.2022
3.1	BLE	Universität Kassel - Fachbereich 11 Ökologische Agrarwissenschaften - Fachgebiet Agrartechnik, Witzenhausen	Verbundprojekt: Förderung der Weidehaltung durch Entwicklung eines sich selbst wartenden, digitalen Zaunsystems (SmartFence) - Teilprojekt A	Beginn: 01.10.2020 /Ende: 30.09.2023
3.1	BLE	Universität Hohenheim - Fakultät Agrarwissenschaften - Institut für Agrartechnik - FG Künstliche Intelligenz in der Agrartechnik (440g), Stuttgart; Smart Site Solutions GmbH, Nürtingen; EXA Computing GmbH, Hamm	Verbundprojekt: Künstliche Intelligenz für eine effiziente und resiliente Agrartechnik (KINERA) - Teilprojekt A	Beginn: 19.04.2021 /Ende: 18.04.2024
3.1	BLE	Ausf. Einrichtung: Verein Deutscher Ingenieure - Technologies of Life Sciences - Fachbereich Max-Eyth	Verbundprojekt: Vernetzungs- und Transferprojekt zur	Beginn: 01.09.2018 /Ende: 30.06.2022

		Gesellschaft Agrartechnik, Düsseldorf	Digitalisierung in der Landwirtschaft (DigiLand) - Teilprojekt 2	
3.1	BLE	Ausf. Einrichtung: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Potsdam	Entscheidungshilfesystem für eine nachhaltige und bezogen auf den Ausstoß von THG optimierte Milchproduktion in europäischen Schlüsselregionen	Beginn: 01.12.2019 /Ende: 28.02.2023
3.1	BMBF	Productivity Engineering Gesellschaft für Prozessintegration mbH - Zweigstelle Kesselsdorf; Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn - Landwirtschaftliche Fakultät - Institut für Landtechnik - Systemtechnik in der Pflanzenproduktion; Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS); X-FAB Global Services GmbH; PREMOSSYS GmbH;	Hochintegrierte nano-optische Filter für Agrar-Sensorik (INFI-MEDAR) - Verbundvorhaben: Plasmonische Dioden mit hochintegrierten Schaltungen als multispektrale optische Sensoren zur Demonstration in Systemen der Landwirtschaft (Verbundvorhaben)	Beginn :01.01.2019
3.1	BMBF	Technische Universität München - Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung u. Umwelt - Lehrstuhl f. Landnutzung u. Umwelt- Lehrstuhl für Produktions- u. Ressourcenökonomie	Bioökonomie International 2017: VCFCSAI - Finanzierung klimaintelligenter Technologien in der Landwirtschaft durch Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette	Beginn: 01.02.2020
3.1	BMBF	CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH	ProBioLNG- Nutzung von regenerativem Methan in landwirtschaftlichen Nutzmanischen (Verbundvorhaben)	01.09.2019
3.1	BMBF	R3DT GmbH	Agrarsysteme der Zukunft: 'Fahrerkabine4.0 - Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber (Verbundvorhaben)	01.04.2019 31.03.2022
3.1	BMBF	m2Xpert GmbH & Co KG; Universität Osnabrück - Fachbereich Mathematik/Informatik - Institut für Informatik	KMU-innovativ - CARPE MEMORIAM - Ein betriebsübergreifendes digitales Flächengedächtnis für die effizientere Landwirtschaft (Verbundvorhaben)	01.01.2020 31.12.2022
3.1	BMBF	Hochschule Kempten - Hochschule für angewandte Wissenschaften	Verbundprojekt: Modulares Elektroniksystem mit KI zur Überwachung und Regelung in landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen - ESKIMO - (Verbundvorhaben)	01.01.2021 31.12.2022
3.1	BMBF	IHP GmbH - Innovations for High Performance Microelectronics/Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik	WIR! - Land - Innovation - Lausitz - Elektronische Nasen für das Monitoring landwirtschaftlicher Flächen basierend auf miniaturisierten Arrays von Affinitäts-sensoren (AgriNose) (Verbundvorhaben)	01.01.2022 31.12.2024
3.1	BMBF	Budde Industrie Design GmbH	Agrarsysteme der Zukunft: 'Fahrerkabine4.0 - Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven Nutzerschnittstelle für	01.04.2019 30.06.2022

			Landmaschinenbetreiber - (Verbundvorhaben)	
3.1	BMBF	CiS GmbH	"Künstliche Intelligenz in landwirtschaftlichen Kommunikationsnetzen - KILANKO - : Kopter und Kabelkopter als Knoten für intelligente Kommunikation in der Landwirtschaft; Entwicklung von Hardware und Integration von Softwarealgorithmen für drohnengestützte Funkkommunikation; Entwicklung von Hardware und Integration von Softwarealgorithmen für drohnengestützte Funkkommunikation; Mobile und temporäre Drohnengestützte Funkkommunikation; Agrarischer Einsatz mobiler oder (semi-) stationärer selbstorganisierender Funkkommunikation; Systemarchitektur mit verteilter Künstlicher Intelligenz für nomadische Netzwerke (Verbundvorhaben)"	01.05.2020 30.04.2023
3.1	BMBF	Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme (ENAS)	Verbundprojekt: Leistungsfähige Sensorplattform für die Digitalisierung in der Landwirtschaft - PLANTAR - (Verbundvorhaben)	01.11.2020 31.10.2023
3.1	BMBF	Claas Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH - Systemtechnik Kabine	Agrarsysteme der Zukunft: 'Fahrerkabine4.0 - Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber - (Verbundvorhaben)	04.04.2019 30.06.2022
3.1	BMBF	"Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg - Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik - Institut für Boden, Wasser, Luft - LS für Bodenschutz und Rekultivierung; Universität Kassel - FB11 Ökologische Agrarwissenschaften - Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung; Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF) e.V.; Georg-August-Universität Göttingen - Fakultät für Forstwissenschaft und Waldökologi - Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung (CBL); Universität Hohenheim - Fakultät für Agrarwissenschaften - Institut für Bodenkunde und Standortlehre - FG Biogeophysik"	BonaRes (Modul A, Phase 3): SIGNAL - Nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft durch Agroforstsysteme (Verbundvorhaben)	01.09.2021 31.08.2024
3.1	BMBF	"Humboldt-Universität zu Berlin; Deutsches Institut für Ernährungsforschung Potsdam-Rehbrücke (DIfE); Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. (IGZ); Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung	Agrarsysteme der Zukunft: F4F - Nahrung der Zukunft (Verbundvorhaben)	01.03.2019 28.02.2023

		(ZMT) GmbH; pmp Projekt Gesellschaft für Projektentwicklung und Generalplanung mbH; Freie Universität Berlin - Fachbereich Wirtschaftswissenschaft - Institut für Management - Professur für Innovationsmanagement; Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung (IAP); Technische Hochschule Wildau (FH); Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB)"		
3.1	BMBF	"Universität zu Köln - Geographisches Institut; Georg-August-Universität Göttingen - Fakultät für Agrarwissenschaften - Abteilung Graslandwissenschaften; Horizont group gmbH Animal Care; Justus-Liebig-Universität Gießen Institut für Allgemeine & Spezielle Zoologie, Tierökologie; Humboldt-Universität zu Berlin - Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät - Geographisches Institut – Geomatik; Universität Kassel - Fachbereich 11 Ökologische Agrarwissenschaften - Fachgebiet Agrar- und Lebensmittelmarketing; Universität Hohenheim - Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410b); Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg - Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik - Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre, insbesondere Umweltökonomie; Humboldt-Universität zu Berlin, - Lebenswissenschaftliche Fakultät, Thier-Institut - FG Agrar- und Ernährungspolitik; Grünlandzentrum Niedersachsen/Bremen e.V.; Texas Trading GmbH"	Agrarsysteme der Zukunft: GreenGrass - Innovative Nutzung des Grünlands für eine nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft im Landschaftsmaßstab (Verbundvorhaben)	01.03.2019 29.02.2024
3.1	BMBF	Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. (IGZ); Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. - Programmbereich 2 Landnutzung und Governance - AG Co-Design von Wandel und Innovation	Agrarsysteme der Zukunft: ZenKo - Etablierung einer zentralen Koordinierungsstelle 'Agrarsysteme der Zukunft' (Verbundvorhaben)	01.07.2019 30.06.2024
3.1	BMBF	Modular Robotics UG (haftungsbeschränkt)	Serviceorientierter Hub zur Verwertung von Nachhaltigkeitsinformation für produzierende Unternehmen (EcoHub) (Verbundvorhaben)	01.07.2021 30.06.2024
3.1	BMBF	Julius-Maximilians-Universität Würzburg - Fakultät für Mathematik und Informatik - Institut für Informatik - Lehrstuhl für Informatik VIII, Informationstechnik für Luft- und Raumfahrt	Workshop zum Technologietransfer von der Luft- und Raumfahrt hin zur Landwirtschaft	15.05.2019 31.12.2022

3.1	BMBF	"Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Fachbereich II, Fachgebiet Nachhaltige Grünlandnutzungssysteme und Grünlandökologie; Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB) - Abt. Technik im Pflanzenbau; Forschungszentrum Jülich GmbH - Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG) - Agrosphäre (IBG-3); Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. - Arbeitsgruppe Bereitstellung von Ökosystemleistungen in Agrarsystemen; Hochschule Osnabrück - Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik; IHP GmbH - Innovations for High Performance Microelectronics/Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik; Europa-Universität Viadrina Frankfurt (Oder) - Lehrstuhl für Öffentliches Recht, Verwaltungs-, Europa-, Umwelt-, Agrar- und Ernährungswirtschaftsrecht; Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn - Landwirtschaftliche Fakultät - Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES); Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH - Robotics Innovation Center"	Agrarsysteme der Zukunft: DA-KIS - Digitales Wissens- und Informationssystem für die Landwirtschaft (Verbundvorhaben)	01.04.2019	31.03.2024
3.1	BMEF	EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH	"Verbundprojekt: Ein Bewertungstool für Kategorien der Schutzwürdigkeit und für ein fernerkundungsbasiertes Monitoring landwirtschaftlich genutzter Moore (BEWAMO) - (Verbundvorhaben) "	01.07.2018	31.12.2022
3.1	BMEF	Johann Heinrich von Thünen-Institut Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei - Institut für Agrartechnologie	Verbundprojekt: Vernetzungs- und Transferprojekt zur Digitalisierung in der Landwirtschaft (DigiLand) - (Verbundvorhaben)	01.09.2018	30.06.2022
3.1	BMVI	RLP AgroScience GmbH	timeStamp - Automatisiertes Hinweissystem zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen der Kontrollen auf Agrarförderflächen (GAP) und dem Monitoring von Kompensationsflächen der Eingriffsregelung (BNatschG) auf Basis zeitlicher Metriken aus Copernicus-Daten (Verbundvorhaben)	01.08.2018	30.04.2022
3.1	BMVI	Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften-Hochschule Braunschweig/Wolfenbüttel - Fakultät Bau-Wasser-Boden	5G in Landwirtschaft und Rettungswesen - (Verbundvorhaben)	07.12.2021	06.12.2024

3.1	BMVI	Landwirtschaftskammer Niedersachsen	5G Pionierprojekt im ländlichen Raum, Teilprojekt Landwirtschaftskammer Niedersachsen - Smart Farming - Smart Forestry (Verbundvorhaben)	18.11.2021	17.11.2024
3.1	BMVI	Hochschule Osnabrück - Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur - Professur für Tierhaltung und Produkte	5G Nachhaltige Agrarwirtschaft: Tierhaltung und Produkte (TuP) sowie Landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre (BWL) (Verbundvorhaben)	30.12.2020	31.12.2022
3.1	BMVI	"Georg-August-Universität Göttingen - Department für Nutztierwissenschaften - Abteilung Systeme der Nutztierhaltung; Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH - Labor Niedersachsen - Planbasierte Robotersteuerung; Landkreis Vechta; Big Dutchman Service GmbH; Universität Vechta - Koordinierungsstelle Transformationsforschung agrar; Josef Kotte Landtechnik GmbH & Co. KG; Universität Osnabrück - Fachbereich 10 – Rechtswissenschaften; Brand Qualitätsfleisch GmbH & Co. KG; BWE-Brütereier Weser-Ems GmbH & Co. Kommanditgesellschaft; VetVise GmbH; Böselers Goldschmaus GmbH & Co. KG"	"5G Nachhaltige Agrarwirtschaft (Verbundvorhaben)"	30.12.2020	31.12.2022
3.1	BMW i	Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH & Co. KG	Verbundvorhaben: AGRILIGHT - Entwicklung einer Leichtbau-Rahmenstruktur aus faserverstärkten Kunststoffen und innovativen, hybriden Verbindungsbereichen für den Einsatz in Agrarmaschinen, Verbundvorhaben: Entwicklung und Aufbau eines Funktionsdemonstrators einer Erntemaschine mit tragender Struktur aus Faserverbund (Verbundvorhaben)	01.06.2021	31.05.2024
3.1	BMW i	AgBRAIN - Agritechnical Basic Research for Advanced Innovation GmbH	Verbundprojekt: Agri-Gaia - ein agrarwirtschaftliches KI-Ökosystem, Verbundvorhaben: Personenerkennung und -Prozessanalyse (Verbundvorhaben)	01.01.2021	31.12.2023
3.1	BMW i	NT Neue Technologie AG	Verbundprojekt: NaLamKI - Nachhaltige Landwirtschaft mittels KI (Verbundvorhaben)	01.01.2021	31.12.2023
3.1	EIP - Datenbank	Leadpartner, 1 Landwirt, Pielmeier Automatisierungs GmbH & CoKG, Universität Höhenheim	Entwicklung und Verbesserung des Produktionssystems für Biozuckerrüben	12.03.2019	
3.1	EIP - Datenbank	ATB Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V.; Bauernhof Weggün GbR; Biohof Schöneiche GbR; ESM Ennepetaler Schneid- und Mähtechnik GmbH & Co. KG;	Emissionsfreie Strauchbeerenproduktion (SunBot)	06.09.2018	

		HNE Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde; HSD Hochschule Düsseldorf – FMDauto; HYDAC Software GmbH; MCE GmbH Energiespeichersysteme; Obsthof Raik Neumann; VKR Versuchs- und Kontrollring für den integrierten Anbau von Obst und Gemüse im Land Brandenburg e. V.		
3.1	EIP - Datenbank	5 Landwirte, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Fachhochschule Kiel-FB Agrarwirtschaft, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Landwirtschaftskammer NRW-Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse, Wissenschaftliche Gesellschaft der Milcherzeugerberater e.V., Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Bauwesen S.-H. e.V.	Entwicklung eines innovativen technikbasierten Analysewerkzeuges zur Foerderung des tiergerechten Melkens	06.07.2016
3.1	EIP - Datenbank	4 Landwirte, MGW Agrar Service Maschinengenossenschaft, Norddeutsche Pflanzenzucht Hans Georg Lembke KG, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Matthias Mahrenholtz, Hanse Agro Beratung&Entwicklung GmbH, Bauernverband	Innovative Technik im Ackerbau	30.06.2016
3.1	EIP - Datenbank	LMS Agrarberatung Mecklenburg-Vorpommern GmbH	Ressourcenschonende Produktion von Marktfrüchten (Dränfit)	17.06.2016
3.1	BMBF	"Helmholtz Zentrum München Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH) - Abt. für Umweltgenomik; Freie Universität Berlin - Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie - Institut für Biologie - Arbeitsbereich Botanik - Arbeitsgruppe Ökologie der Pflanzen"	Rhizo4Bio (Phase 1): µPlastik - Verständnis der Effekte von Mikroplastik auf Rhizosphärenprozesse und -wechselwirkungen in landwirtschaftlichen Böden (Verbundvorhaben)	01.02.2020 31.01.2024
3.1	BMBF	Universität Osnabrück - Fachbereich Mathematik/Informatik	BonaRes (Modul A, Phase 2): SOILAssist -Nachhaltige Sicherung und Verbesserung von Bodenfunktionen durch intelligente Landwirtschaft - ein Echtzeit-Assistenzsystem für die Praxis (Verbundvorhaben)	01.10.2018 31.01.2022
3.1	BMBF	"Freie Universität Berlin - Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie - Institut für Biologie - Arbeitsbereich Botanik - Arbeitsgruppe Ökologie der Pflanzen; Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen; Leuphana Universität Lüneburg - Fakultät Nachhaltigkeit - Institut für Ökologie (IE);	BonaRes (Modul A, Phase 3): IN-PLAMINT - Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz durch Optimierung von Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Wechselwirkungen (Verbundvorhaben)	01.06.2021 31.05.2024

		Technische Universität München, School of Life Sciences, Department für Ökologie und Ökosystemmanagement, Lehrstuhl für Bodenkunde; Universität zu Köln - Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät - Department für Biologie - Institut für Zoologie; Forschungszentrum Jülich GmbH - Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG) - Agrosphäre (IBG-3); Christian-Albrechts-Universität zu Kiel - Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät - Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung"		
3.2	BMBF	Forschungszentrum Jülich GmbH - Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG) - Agrosphäre (IBG-3)	Rhizo4Bio (Phase 1): μ Plastik - Verständnis der Effekte von Mikroplastik auf Rhizosphärenprozesse und -wechselwirkungen in landwirtschaftlichen Böden, TP C	15.02.2020 31.01.2024
3.2	BMEL	Keine Anzeige aufgrund datenschutzrechtlicher Regelungen.	"Verbundprojekt: Innovative und modellbasierte landwirtschaftliche Informationstechnologie zur Unterstützung von teilschlagspezifischem Bodenkohlenstoffmanagement zur Nutzung des Bodens als CO ₂ -Senke (CarboCheck) - (Verbundvorhaben) "	01.07.2018 31.12.2022
3.2	BMW i	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH - Robotics Innovation Center	RoBivaL - Roboter Bodeninteraktionsevaluierung in der Landwirtschaft	01.08.2021 31.07.2023
3.2	BMW i	Technische Universität Dresden - Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik - Institut für Nachrichtentechnik - Lehrstuhl Hochfrequenztechnik	Smartillage - Smarte radar-basierte Sensoren für Bodenbearbeitungswerkzeuge in der Landwirtschaft	01.07.2019 30.04.2022
3.2	EIP - Datenbank	Zürn Harvesting GmbH & Co KG, Landratsamt Hohenlohekreis - Amt für Landwirtschaft, Landwirtschaftlicher Beratungsdienst Buchen, 2 Landwirte	Entwicklung eines Hackverfahrens zur Bekämpfung von Beikraut und Beigras in landwirtschaftlichen Kulturen als leistungsfähige Alternative zum Herbizid	19.07.2019
3.2	EIP - Datenbank	DröschnerCarstens Bio GbR, Demeterbetrieb Rolf Hach, FH Westküste (FHW), Versuchs- und Beratungsring ÖkologischerLandbau im Norden e.V.	Roboter gestützte Unkrautregulierung im Praxistest	27.09.2018
3.2	EIP - Datenbank	Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Landwirte (Hessische Staatsdomäne Frankenhausen, Hofgut Marienborn, Christian Weber, Ottmar Rüdert), WEAG Wetterauer Entsorgungsanlagen GmbH, Naturland Fachberatung – Öko-Beratungs-Gesellschaft mbH, Bioland Hessen e.V., Humus und Erden Kontor GmbH, Assoziierte Partner:	Hochwertige Technik und Ökologischer Landbau - ein innovatives Verfahren zur Kontrolle von Rhizoctonia solani im Kartoffelbau	15.08.2016

		Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Fa. Grimme, Vogteier Erdenwerk GmbH		
	EIP - Datenbank	13 Baumschulen, Service Grün GmbH, Landesverband S.-h. im Bund deutscher Baumschulen e.V., Landwirtschaftskammer S.-H. - Abt. Gartenbau, BTB Baumschultechnik GmbH, Versuchs- und Beratungsring Baumschulen e.V.	Einführung und Optimierung eines mobilen, kontinuierlichen Verfahrens zur Bodendämpfung für erdgebundene Baumschulkulturen	01.07.2016
3.3	BMBF	"Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ - Department Analytik; Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT); Hochschule Osnabrück - Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur; ILS - Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH; Ruhrverband; Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Metro; Emscher-Genossenschaft, Justus-Liebig-Universität Gießen - FB 03 - Sozial- und Kulturwissenschaften - Institut für Politikwissenschaft; 45:45 Technische Universität Kaiserslautern - Fachbereich Bauingenieurwesen - Fachgebiet Ressourceneffiziente Abwasserbehandlung; YARA GmbH & Co. KG"	Agrarsysteme der Zukunft: SUS-KULT - Entwicklung eines nachhaltigen Kultivierungssystems für Nahrungsmittel resilienter Metropolregionen, (Verbundvorhaben)	01.04.2019
3.3	BMEL	Walterscheid GmbH; Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der Technischen Universität München	Verbundprojekt: Digitaler Wartungsassistent für landwirtschaftliche Anbaumaschinen (SMART-PTO) - (Verbundvorhaben)	01.10.2021
3.3	EIP - Datenbank	Niklas Jacob, Wahlheim; Peter Buschei, Osthofen; Adolf Dahlem, Gundersheim; TH Bingen, Dr. Jan Petersen; Beratungsring Ackerbau Rheinhessen/Pfalz, Knut Behrens;	Regenerativer Pflanzenbau mit Hilfe von Direktsaat und Zwischenfruchtanbau im Trockengebiet Rheinhessen	29.07.2021
3.3	EIP - Datenbank	FH Südwestfalen, Deula Westfalen-Lippe, Lohnunternehmen, Landwirte	Praxistest und -bewertung aktueller Precision-Farming-Saat- und Düngetechnologie für den überbetrieblichen Einsatz in kleinstrukturierten Regionen	16.07.2021 31.03.2022
3.3	EIP - Datenbank	TH-Bingen, Fachbereich Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Bingen am Rhein TH-Bingen, Fachbereich ökologischer Landbau, Landwirtschaftsbetrieb Hartmut Magin, Landwirtschaftsbetrieb Markus Frank, Weingut Bossert, Weingut und Rebenveredelung Kappner GbR, DLR-Rheinpfalz, Institut für Weinbau und Oenologie, Pfälzische Früh-, Speise- und Veredlungskartoffel-Erzeugergemeinschaft w.V.	E-HERB-RLP - Implementierung des Elektroherb-Verfahrens in die rlp. Landwirtschaft zur umweltrelevanten Verbesserung der Anbauverfahren	30.04.2020 30.09.2022

3.4	BLE	Ausf. Einrichtung: Universität Kassel - Fachbereich 11 Ökologische Agrarwissenschaften - Fachgebiet Agrartechnik, Witzenhausen	Verbundprojekt: Zuchtoptimierung von Honigbienen in der ökologischen Imkerei mit Hilfe von Sensoren (Breedwatch) - Teilprojekt A	Beginn: 02.02.2021 /Ende: 01.02.2024	
3.4	BMBF	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg - Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen - Professur für Naturschutz und Landschaftsökologie	Zentrale Koordination und Faktencheck Artenvielfalt' (ZK-FA) für die BMBF Forschungsinitiative zum Erhalt der Artenvielfalt (FEa) - Faktencheck - Agrar- und Offenland (FA-FEa) (Verbundvorhaben)	01.04.2021	31.03.2024
3.4	BMEL	Forschungsring e.V.; Demeter Beratung e. V.	Förderung widerstandsfähiger Bienenpopulationen auf landwirtschaftlichen Betrieben durch extensive Bienenhaltung als Motor für ein insektenfreundliches Biodiversitätsmanagement (Verbundvorhaben)	01.11.2021	31.10.2024
3.4	BMEL	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg - Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen - Institut für Forstwissenschaften - Professur für Waldwachstum und Dendroökologie	Integration von Habitatstrukturen in landwirtschaftlich genutzte Flächen zur Förderung von Bestäuberinsekten (INTEGRA)	02.06.2021	21.06.2024
3.4	BMEL	Eurofins Agrosience Services Ecotox GmbH; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ - Department Ökologische Systemanalyse; apic.ai GmbH; FZI Forschungszentrum Informatik; disy Informationssysteme GmbH	Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI) (Verbundvorhaben)	07.06.2021	06.06.2024
3.4	BMEL	Universität Hohenheim - Fakultät für Agrarwissenschaften - Institut für Bodenkunde und Standortlehre (310)	Integration von Habitatstrukturen in landwirtschaftlich genutzte Flächen zur Förderung von Bestäuberinsekten (INTEGRA)	22.06.2021	21.06.2024
3.4	BMU	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg - Naturwissenschaftliche Fakultät I - Institut für Biologie - Zoologie	Insektenfreundliches Günztal - naturschonende Gründlandwirtschaft im Biotopverbund', Verbundvorhaben: Genetischer Fitness-Check (Verbundvorhaben)	01.01.2020	31.12.2022
3.4	BMU	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.; Universität Osnabrück - Fachbereich Biologie/Chemie - Abt. Biodiversität und Landschaftsökologie; Stiftung KulturLandschaft Günztal	Biosphärenreservate als Modelllandschaften für den Insektenschutz, Verbundvorhaben: Agrarökologische und ökonomische Bewertung und Weiterentwicklung insektenfördernder Maßnahmen	01.01.2020	31.12.2025
3.4	BMU	"Landschaftspflegeverband Südharz/Kyffhäuser e. V.; Landschaftspflegeverband Mittelthüringen e.V.; Wildtierland Hainich gemeinnützige GmbH - Natura 2000-Station Unstrut-Hainich/Eichsfeld; Stiftung Naturschutz Thüringen; Naturforschende Gesellschaft Altenburg e.	VIA Natura 2000 - Vernetzung für Insekten in der Agrarlandschaft zwischen Natura 2000-Gebieten in Thüringen (Verbundvorhaben)	01.05.2020	30.04.2026

		V. - NATURA 2000-Station Gotha/ Ilm-Kreis; Landschaftspflegeverband Altenburger Land e.V.; U.A.S. Umwelt- und Agrarstudien GmbH"		
3.4	BMU	STATTwerke e.V.	Modellvorhaben: Waldgartensysteme als insektenfördernde, landwirtschaftliche Produktionsmethode - Insektenlebensräume und Strukturvielfalt in der Agrarlandschaft schaffen	01.06.2020 31.05.2025
3.4	BMU	Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft Mitteldeutschland e.V.	Gezielte Insektenförderung für die Landwirtschaft: ein Win-Win für Landwirte und Natur', Teilprojekt: 'Projektkoordination, Konzeption und Anwendung der nützlingsfördernden Blühmischungen und Öffentlichkeitsarbeit (Verbundvorhaben)	01.08.2020 15.07.2026
3.4	EIP - Datenbank	Bioland-Imkerei-Curic (Imkerei), Communis Projektbüro, Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Bienenkunde, Herzblut-Bienen (Imkerei), Jürgen Prag- Imkerei Glückshonig (Imkerei), LLH Bieneninstitut, Martin Höhn (Imkerei)	Praxis-Forschung-Bienen: Verbesserung der Varroa-Management-Strategien für hessische Imkereibetriebe	20.02.2020
3.4	BMU	VDI e.V., Gesellschaft Technologies of Life Science, Verbundpartner: Universität Ulm, Institute of Evolutionary Ecology and Conservation Genomics	Standardisierte Erfassung von Wildbienen zur Evaluierung des Bestäuberpotenzials in der Agrarlandschaft (BienABest)	01.05.2017 30.04.2023
3.5	BLE	Universität Kassel - Fachbereich 11 Ökologische Agrarwissenschaften - Fachgebiet Agrartechnik, Witzenhausen	Elektrische Antriebstechnik im nicht-chemischen Pflanzenschutz Ausf. Einrichtung	Beginn: 01.04.2022 /Ende: 31.03.2025
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Potsdam	Multikriterielle Bewertung, Entscheidungshilfe und Managementinstrumente für Milchproduktion in nachhaltigen Systemen, die Kreisläufe schließen und Tierhaltung und Pflanzenbau integrieren (DairyMix)	Beginn: 01.03.2022 /Ende: 28.02.2025
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Potsdam	Prognose von Sonnenbrand- und Hitzeschäden im Obstbau	Beginn: 01.12.2020 /Ende: 30.11.2023
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Georg-August-Universität Göttingen - Fakultät für Agrarwissenschaften - Department für Nutzpflanzenwissenschaften - Agrartechnik, Göttingen	Verbundprojekt: Ein landwirtschaftliches Experimentierfeld zur Implementierung digitaler Technologien für den Pflanzenschutz. (FarmerSpace) - Teilprojekt 2	Beginn: 17.02.2020 /Ende: 16.02.2023
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Potsdam	Verbundprojekt: Entwicklung eines digitalen Monitoringsystems für unionsgeregelte Nicht-Quarantäneschadorganismen in Obstanlagen und der	Beginn: 01.03.2021 /Ende: 29.02.2024

			obstbaulichen Züchtung (MONI-QUA) - Teilprojekt B	
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Potsdam	Verbundprojekt: Entwicklung eines intelligenten UAV-gestützten Unkrautmonitoringsystems für den selektiven und teilflächen-spezifischen Herbizideinsatz (weed-AI-seek) - Teilprojekt A	Beginn: 28.05.2021 /Ende: 27.05.2024
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Potsdam	Verbundprojekt: Entwicklung eines smarten 4D-Insektenmonitors für einen integrierten Pflanzenschutz im Erwerbsobstbau (PHLIP) - Teilprojekt 1	Beginn: 01.01.2020 /Ende: 31.12.2022
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Universität Kassel - Fachbereich 11 Ökologische Agrarwissenschaften - Fachgebiet Agrartechnik, Witzenhausen	Verbundprojekt: Qualitätssteigerung im Gemüsebau durch robotergestützte Schneckenbekämpfung in Beetkulturen (MORE-bot) - Teilprojekt A	Beginn: 01.10.2021 /Ende: 30.11.2024
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Universität Hohenheim - Fakultät Agrarwissenschaften - Institut für Agrartechnik - FG Agrartechnik in den Tropen und Subtropen (440e), Stuttgart	Verbundprojekt: UAV-basiertes Monitoringsystem für Spinnmilben im Unterglasanbau (Mite-Sens) - Teilprojekt 1	Beginn: 01.02.2020 /Ende: 31.03.2023
3.5	BLE	Ausf. Einrichtung: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Potsdam	Verbundprojekt: Wissensbasierte Standortanalyse für ein umweltgerechtes Unkrautmanagement im integrierten Pflanzenbau (BETTER-WEEDS) - Teilprojekt B	Beginn: 20.04.2021 /Ende: 19.04.2024
3.5	BMBF	LXP Group GmbH	"WIR! - Land-Innovation-Lausitz - Verbundvorhaben: Intelligente Agrarfolien (Verbundvorhaben)"	01.05.2021 30.04.2023
3.5	BMBF	Universität Hohenheim - Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410b)	Agrarsysteme der Zukunft: NOcsPS - Landwirtschaft 4.0 ohne chemisch-synthetischen Pflanzenschutz, (2 Verbundvorhaben)	01.06.2019 30.11.2023
3.5	BMBF	"Technische Universität München - Fakultät für Chemie - Bayerisches NMR Zentrum - Professur für Strukturelle Membranbiochemie; PerNaturam GmbH"	Entwicklung von Bio-Pestiziden und -Herbiziden für den nachhaltigen landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Verbundvorhaben)	01.06.2021 31.05.2025
3.5	BMBF	Hochschule Anhalt - Standort Köthen - Fachbereich Elektrotechnik, Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen	FH-Kooperativ 1-2020: Biodiversität im Solarpark - Innovative Konzepte und Aufbau von Demonstratoren zur besseren Vereinbarkeit von Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Naturschutz und Landwirtschaft (BIODIV-SOLAR)	01.09.2021 30.04.2025
3.5	BMBF	Johannes-Gutenberg-Universität Mainz - FB 10 Biologie - Institut für Molekulare Physiologie (IMP)	Entwicklung von Bio-Pestiziden und -Herbiziden für den nachhaltigen landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Verbundvorhaben: Zytotoxische und Genotoxische Einflüsse der neuartigen	01.09.2022 31.05.2025

			Biopestiziden aus Pflanzen auf Säugerzellen (Verbundvorhaben)		
3.5	BMEL	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof - Institut für angewandte Biopolymerforschung	Technische Machbarkeitsuntersuchung zum Thema Agrarstretchfolie aus nachwachsenden Rohstoffen	01.04.2020	31.03.2022
3.5	BMEL	"Johann Heinrich von Thünen-Institut Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei - Institut für Biodiversität; Julius-Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI) - Institut für Strategien und Folgenabschätzung; Landwirtschaftskammer Niedersachsen; Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. - Programmbereich 2 Landnutzung und Governance"	Förderung von Insekten in Agrarlandschaften durch integrierte Anbausysteme mit nachwachsenden Rohstoffen - Ein wissenschaftlich begleitetes Modell- und Demonstrationsvorhaben in Landschaftslaboren (Verbundvorhaben)	01.10.2018	30.09.2022
3.5	BMEL	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg - Naturwissenschaftliche Fakultät I - Institut für Biologie - Zoologie	Wechselwirkungen der Landschaftsstruktur und kombinierter Agrarumweltmaßnahmen auf die Diversität, die Populationsentwicklung und den Gesundheitszustand von Wild- und Honigbienen	15.03.2021	30.06.2024
3.5	BMEL	Georg-August-Universität Göttingen - Funktionelle Agrobiodiversität	Wechselwirkungen der Landschaftsstruktur und kombinierter Agrarumweltmaßnahmen auf die Diversität, die Populationsentwicklung und den Gesundheitszustand von Wild- und Honigbienen	17.02.2021	30.04.2024
3.5	BMEL	Universität Kassel - Fachbereich 11 Ökologische Agrarwissenschaften - Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz	Neue Zwischenfrüchte für eine innovative Landwirtschaft	15.07.2019	31.03.2022
3.5	BMU	"Kompetenzzentrum Ökolandbau Niedersachsen GmbH; Netzwerk Ackerbau Niedersachsen e.V."	Förderung der Biodiversität von Insekten im Ackerbau durch den Verzicht auf chemisch-synthetische Insektizide und Herbizide (Verbundvorhaben)	01.04.2020	31.12.2025
3.5	BMU	Julius-Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI) - Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland	Gezielte Insektenförderung für die Landwirtschaft: ein Win-Win für Landwirte und Natur, Teilprojekt: Evaluation der Effektivität von Nützlingsblühstreifen gegen Schadinsekten	01.08.2020	15.07.2026
3.5	BMU	Manfred-Hermesen-Stiftung	Das Projekt fördert den Schutz der Biodiversität und des Klimas durch die Umstellung des Wald- und Agrarmanagements auf eine nachhaltige und wildtierfreundliche, von den lokalen Gemeinden getragene Bewirtschaftungsweise.	01.09.2021	31.08.2024

3.6	BLE	Ausf. Einrichtung: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB) - Abt. Technikbewertung und Stoffkreisläufe, Potsdam	Wirtschaftsdüngermanagement zur Minderung von Methanemissionen: Verbesserte Modellierung in Emissionsinventaren als Unterstützung für politische Handlungsoptionen	Beginn: 01.12.2019 /Ende: 28.02.2023	
3.6	BMBF	Universität Rostock - Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät - Professur Pflanzenbau	InFertRes - Innovative Düngemittel und Ressourceneffizienz in der Landwirtschaft	01.03.2018	31.12.2022
3.6	BMBF	"Universität Rostock - Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät - Professur für Wasserwirtschaft; PONDUS Verfahrenstechnik GmbH; P.C.S. Pollution Control Service GmbH "	KMU-innovativ Verbundprojekt PNC-Processing: Optimierung der Stoffkreisläufe in der Landwirtschaft durch gezielte Fraktionierung von Gülle in Phosphor, Stickstoff und organischen Kohlenstoff (Verbundvorhaben)	01.07.2019	30.06.2022
3.6	BMBF	Landwirtschaftskammer Niedersachsen - LUFA Nord-West, Institut für Düngemittel und Saatgut; Josef Kotte Landtechnik GmbH & Co. KG; ADVES GmbH & Co. KG; Universität Bremen – Fachbe2.6reich 01 Physik/Elektrotechnik – Institut für Theoretische Elektrotechnik und Mikroelektronik (ITEM); sdnord Systeme & Dienste GmbH	Echtzeitfähiges Sensorsystem zur bedarfsgerechten Düngung in der Landwirtschaft - iDent -, Verbundvorhaben: Entwicklung eines Qualitätssicherungssystems zur Überwachung und Kalibrierung vom echtzeitfähigen Nah-Infrarot-Sensorsystem zur Inhaltstoffanalyse (Verbundvorhaben)	01.01.2020	31.12.2022
3.6	BMBF	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ - Fachbereich Umwelttechnologie - Department Umweltmikrobiologie	Verwertung landwirtschaftlicher Rückstände durch anaerobe Vergärung. Von Biogas bis zu Carboxylaten. Verbundvorhaben: Identifizierung geeigneter Biomasse-Typen in Europa und Entwicklung eines kontinuierlichen Fermentationsprozesses zur Säureproduktion (ERANet Verbundprojekt)	01.06.2019	31.05.2022
3.6	BMBF	"FH Münster - Institut für Infrastruktur, Wasser, Ressourcen, Umwelt (IWARU); Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig - Fakultät 3 - Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften - Institut für Geoökologie - Abt. Bodenkunde und Bodenphysik; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ - Department Analytik; Humboldt-Universität zu Berlin - Lebenswissenschaftliche Fakultät - Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften - Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung; MANN+HUMMEL Water & Fluid Solutions GmbH; UV-EL GmbH & Co. KG UV Applications & Electrodeless UV Lamps"	Wiederverwendung - Verbundprojekt PU2R: Point-of-Use Re-Use: Dezentrale landwirtschaftliche Wiederverwendung von häuslichem Abwasser zur Verringerung von Nutzungskonkurrenzen (Verbundvorhaben)	01.02.2021	31.01.2024
3.6	BMBF	"iat-Ingenieurberatung GmbH; Universität Stuttgart - Fakultät 2 Bau- und	Agrarsysteme der Zukunft: RUN - Nährstoffgemeinschaften für	01.04.2019	30.06.2022

		Umweltingenieurwissenschaften - Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) - Siedlungswasserwirtschaft und Wasserrecycling; Universität Heidelberg - Max-Weber Institut für Soziologie, Centrum für soziale Investitionen und Innovationen; Technische Universität Kaiserslautern - Fachbereich Bauingenieurwesen - Fachgebiet Ressourceneffiziente Abwasserbehandlung; Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)"	eine zukunftsfähige Landwirtschaft (Verbundvorhaben)	
3.6	BMBF	Universität Greifswald - Institut für Botanik und Landschaftsökologie - Experimentelle Pflanzenökologie	BiodivERsA: Gesellschaftliche Synergien und Trade-offs zwischen Biodiversitätserhalt, Klimaschutz und landwirtschaftlicher Nutzung von Mooren in einer eutrophierten Umwelt (PRINCESS)"	01.04.2021 31.03.2024
3.6	BMEL	DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH; Förderverband Humus e.V.; TERRA URBANA Umlandentwicklungsgesellschaft mbH	Klimaschutzorientierte Bioabfallverwertung für die Landwirtschaft (KlimaBioHum) (Verbundvorhaben)	01.10.2018 31.12.2022
3.6	BMEL	RLP AgroScience GmbH; Universität Trier; Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (DLR - RNH); PREMOSYS GmbH	Verbundprojekt: Sensordatenbasierte Services zur bodenschonenden Bewirtschaftung und umweltgerechten Düngung durch Kombination unterschiedlich skalierter Geodaten. Kooperation und Beratung von Maschinenringen beim Praxistransfer durch Mobile AgrarPortale (SOFI) - (Verbundvorhaben)	06.09.2018 31.12.2022
3.6	EIP - Datenbank	Universität Bonn, FZ Jülich, Landwirte, Unternehmen	Optimierung des Kohlanbaus durch Messungen mit UAVs und maschinellem Lernen	30.07.2021
3.6	EIP - Datenbank	CM Büro- und Dienstleistungs-service, Gut Westerwald Johann Fröhlich, Landwirtschaftsbetrieb Sascha, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Westerwald – Osteifel, Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V.	DaLeA – Dauerhafter Lebendmulch im Ackerbau	30.04.2020
3.6	EIP - Datenbank	Professur für Ökologischen Landbau, Justus-Liebig-Universität Gießen	Mulchgemüse Hessen - Wirtschaftlicher Gemüseanbau in naturnahem Mulchsystem	20.02.2020
3.6	EIP - Datenbank	Professur für Ökologischen Landbau Justus-Liebig-Universität Gießen, Live2give gGmbH (Landwirtschaftlicher Betrieb), Jürgen Scheld (Landwirtschaftlicher Betrieb),	Humuvation - Innovative Anbausysteme zur Förderung der Ertragsstabilität und des Humusaufbaus	20.02.2020

		Bioland Sonnenhof Solawi Braunfels (Landwirtschaftlicher Betrieb), Pappelhof Wollinski & Preuß GbR (Landwirtschaftlicher Betrieb), Ines Reinisch Design&Film, Philipp Fay Hof Obersteinberg (Landwirtschaftlicher Betrieb), Ackerlei Birkenhof KG (Landwirtschaftlicher Betrieb)		
3.6	EIP - Datenbank	Landbauschule Dottenfelderhof e.V.; Forschungsring e.V.; 3 landwirtschaftliche Unternehmen (Götz Wollinsky, Christoph Förster, Karl-Heinrich Kohl); Taifun-Tofu GmbH, Landwirtschaftliches Zentrum für Sojaanbau & Entwicklung	Anbau von Soja ohne Flächenkonkurrenz durch Mischanbau in Weizen und Silomais	03.04.2018
3.6	EIP - Datenbank	Agrargenossenschaft Tauche e.G.; Berlinton Projects GmbH; Fürstentwälder Agrarprodukte GmbH Beerfelde; G. & G. Tierproduktion Bredow GmbH; Gut Rüdow GmbH & Co KG; Humboldt-Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftliche Fakultät, Albrecht Daniel-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften, Lehr- und Forschungsgebiet Pflanzenernährung und Düngung; HYDRO-AIR international irrigation systems GmbH; IT-Direkt Business Technologies GmbH; TTZ Bremerhaven	Entwicklung einer bedarfsgerechten und schlagbezogenen Flüssigdüngungstechnologie zur Verwertung organisch basierten Flüssigdüngers (Green-Cycle)	02.11.2017
3.6	EIP - Datenbank	FGL Handelsgesellschaft mbH; Gut Wilmersdorf GbR; LAB Landwirtschaftliche Beratung der Agrarverbände Brandenburg GmbH; Land- und Forstwirtschaft Komturei Lietzen GmbH & Co KG; Landwirtschaft Petra Philipp; Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB); Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V., iXMAP Services GmbH & Co. KG	Präzise Kalkung in Brandenburg (pH BB)	02.02.2017
3.7	BMBF	Forschungszentrum Jülich GmbH - Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG) - Agrosphäre (IBG-3)	PALM-IRRI: Integration von elektrischer Widerstandstomographie und Saftflussmessungen in Agrarökosystemmodelle zur Verbesserung der Bewässerungseffizienz von Dattelpalmen (Deutsch-Israelische Wassertechnologie-Kooperation)	01.06.2019 31.05.2022
3.7	BMBF	"Technische Universität Dresden - Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD) - Professur für Wasserbau; Landeshauptstadt Dresden - Bürgermeisteramt; Umweltzentrum Dresden e.V.; Biomasse Schraden e.V. (BS e.V.)"	Stadt-Land-Plus - Verbundvorhaben: OLGA - Optimierung der Landnutzung an Gewässern und auf Agrarflächen zur nachhaltigen Entw. der Region Dresden auf Basis hydrolog., forstwissenschaftl., umweltpsycholog. und ökonom. FE- und Umsetzungsarbeiten - (Verbundvorhaben)	01.04.2020 31.03.2023

3.7	BMBF	"Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg - Forschungszentrum Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaften (FZLB); Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF) e.V.; ZGJ Landwirtschafts GmbH Groß Jehser; "	WIR! - Wandel durch Innovation in der Region - Verbundvorhaben: Agroforstliche Kreislaufwirtschaft als Basis für eine klimaresiliente Landwirtschaft mit hohem Wertschöpfungspotential (AgroBaLa) (Verbundvorhaben)	01.01.2021	31.12.2023
3.7	BMBF	"Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig - Fakultät 3 - Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften - Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH; Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB); Aqua-Tune GmbH; Universität Hohenheim - Fakultät Agrarwissenschaften - Institut für Tropische Agrarwissenschaften (Hans-Ruthenberg-Institut) - FG Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen; Wasserverband Gifhorn; Abwasserverband Braunschweig; Ankermann GmbH & Co. KG; INTEGAR - Institut für Technologien im Gartenbau GmbH; Huber SE; IseBauern GmbH & Co. KG"	HypoWaveplus: Implementierung eines hydroponischen Systems als nachhaltige Innovation zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung (Verbundvorhaben)	01.02.2021	31.01.2024
3.7	BMBF	"Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen - Fakultät 3 - Bauingenieurwesen - Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütwirtschaft und Institut für Siedlungswasserwirtschaft; Universitätsklinikum Bonn - Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit; KWB Kompetenzzentrum Wasser Berlin gemeinnützige GmbH; Abwasserverband Braunschweig; Erftverband; Analytik Jena GmbH; AUTARCON GmbH; PEGASYS Gesellschaft für Automation und Daten-systeme mbH; inge GmbH; Xylem Services GmbH; p2m berlin GmbH"	Wiederverwendung - Verbundprojekt FlexTreat: Flexible und zuverlässige Konzepte für eine nachhaltige Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft (Verbundvorhaben)	01.02.2021	31.01.2024
3.7	BMBF	"Technische Universität München - Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt - Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft; DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. - Technisch-wissenschaftlicher Verein - Technologiezentrum Wasser (TZW); IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH; Regierung von Unterfranken - Sachgebiet Wasserwirtschaft; Bayerische Akademie der Wissenschaften - Leibniz-Rechenzentrum (LRZ); Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau - Institut für Erwerbs- und	Wiederverwendung - Verbundprojekt Nutzwasser: Nutzwasserbereitstellung und Planungsoptionen für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung (Nutzwasser als alternative Wasserressource) (Verbundvorhaben)	01.04.2021	31.03.2024

		Freizeitgartenbau; Stadt Schweinfurt - Eigenbetrieb Stadtentwässerung; Xylem Services GmbH; Brandt-Gerdes-Sitzmann Umweltplanung GmbH; COPLAN Aktiengesellschaft; HOLINGER Ingenieure GmbH"		
3.7	BMBF	WAZIUP e.V.	Intelligentes Bewässerungssystem für kosten-effizientes Wassermanagement in kleinen landwirtschaftlichen Betrieben, Verbundvorhaben: 'Plug-&-Sense' - ein intelligentes Bewässerungssystem 'in-the-box (Verbundvorhaben)	01.06.2021 31.05.2024
3.7	BMBF	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Technische Universität Berlin - Fakultät III - Prozesswissenschaften - Institut für Technischen Umweltschutz - Fachgebiet Umweltverfahrenstechnik; Inter 3 GmbH Institut für Ressourcenmanagement	MEWAC - Verbundprojekt HighRec: Erhöhung der Nutzungseffizienz in der Brackwasserentsalzung für landwirtschaftliche Anwendungen (Verbundvorhaben)	01.07.2021 30.06.2024
3.7	EIP - Datenbank	RLP AgroScience Breitenweg 71 67435 Neustadt an der Weinstraße Dr. Matthias Trapp Tel.: 06321/671-426 e-mail: matthias.trapp@agrosience.rlp.de Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Rüdesheimer Str. 60 – 68, 55545 Bad Kreuznach Dr. Herwig Köhler Tel.: 0671/820-211 Handy: 0172-8207088 e-mail: herwig.koehler@dlr.rlp.de Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Mosel, Gartenstrasse 18, 54470 Bernkastel-Kues Dr. Matthias Porten Tel.: 06531 956-0 e-mail: matthias.	Raumzeitlich hochauflösende Erfassung mikroklimatischer Parameter im Weinbau zur Optimierung von Prognosemodellen und betriebswirt	14.02.2022
3.7	EIP - Datenbank	Blackwood GbR	Hydro-Agrar-Solar - Errichtung einer Agrar-Photovoltaik-Anlage mit Unterflur-Tropfbewässerung bei gleichzeitiger landwirtschaftlicher Nutzung	24.08.2021
3.7	EIP - Datenbank	AGRO-SAT Consulting GmbH, Gut Mennewitz GmbH, Ingenieurbüro Irriprojekt Dirk Borsdorff, Assoziierte Partner: Obsthof am Süßen See; Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft Bernburg; Hochschule Anhalt; DHI WASY GmbH	Standortangepasste vollautomatische Echtzeitprozessoptimierung von solarbetriebener Bewässerung in der regionalen Landwirtschaft Sachsen-Anhalts	05.10.2017
3.8	BMU	Justus-Liebig-Universität Gießen	Wissenschaftliche Begleituntersuchungen zum Einfluss innovativer Mähdrusch-Technik und zur Verwendung von dabei aufgefangenem Samenmaterial in Blühstreifen auf die Vielfalt der Segetalflora in der Agrarlandschaft im Rahmen einer	01.11.2018 31.12.2022

			Pilotstudie im Landkreis Marburg-Biedenkopf	
3.8	BMU	Eberhard-Karls-Universität Tübingen - Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät - Fachbereich Biologie - Institut für Evolution und Ökologie - Evolutionsbiologie der Invertebraten	Entwicklung und Evaluierung insekten- und spinnenfreundlicher Mähetechniken als Beitrag zu einer nachhaltigen Form der landwirtschaftlichen Grünlandnutzung, Teilprojekt: Evaluierung insektenfreundlicher Mähetechnik	01.09.2021 31.08.2025
3.8	BMU	Universität Hohenheim - Fakultät Naturwissenschaften - Institut für Biologie - Chemische Ökologie	Entwicklung und Evaluierung insekten- und spinnenfreundlicher Mähetechniken als Beitrag zu einer nachhaltigen Form der landwirtschaftlichen Grünlandnutzung, Teilprojekt: Entwicklung insektenfreundlicher Mähetechnik	01.09.2021 31.08.2025
3.8	EIP - Datenbank	Forstunternehmen Lohse, Forstbetrieb, Forstbetrieb Eschenbach, Erlebniswelt-Waldarbeit; assoziierte Wissenschaftspartner: Technische Universität Ilmenau Fakultät für Maschinenbau FG Kraftfahrzeugtechnik; ThüringenForst AdÖR	Verfahrensentwicklung für den Harvarder zur Rohholzbereitstellung auf parzellierten Flächen (OG: Harvard 21)	22.07.2021

IV. Recherchierte FuE-Projekte mit Bezug zu den ausgewählten Arten/Artengruppen

Auswertung der Förderdatenbank des Bundes

*) <https://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do?actionMode=list>, erfasst geförderte Projekte der Bundesressorts BMBF, BMUV, BMWK, BMEL, BMDV, BMJ, Abrufe 01.05.-15.6.2022

FELDHAMSTER	BMU	Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz - Arbeitsgemeinschaft Feldhamsterschutz	Verbundvorhaben: FELDHAMSTERLAND - Landwirtschaft und Ehrenamt arbeiten gemeinsam für eine Zukunft des bedrohten Feldhamsters - Projektregion Hessen	01.05.2018	31.05.2023	351.240 €
FELDHAMSTER	BMU	Landschaftspflegeverband Mittelthüringen e.V.	Verbundvorhaben: FELDHAMSTERLAND - Landwirtschaft und Ehrenamt arbeiten gemeinsam für eine Zukunft des bedrohten Feldhamsters - Projektregion Thüringen	01.05.2018	31.05.2023	882.719 €
FELDHAMSTER	BMU	Deutsche Wildtier Stiftung	Verbundvorhaben: FELDHAMSTERLAND - Landwirtschaft und Ehrenamt arbeiten gemeinsam für die Zukunft des bedrohten Feldhamsters - Projektregionen Niedersachsen und Sachsen-Anhalt	01.06.2018	30.06.2023	1.067.076 €
FELDHAMSTER	BMU	Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz	Verbundvorhaben: FELDHAMSTERLAND - Landwirtschaft und	01.07.2018	31.07.2023	952.697 €

			Ehrenamt arbeiten gemeinsam für eine Zukunft des bedrohten Feldhamsters - Projektregion Rheinland-Pfalz			
FELDHAMSTER	BMU	Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung - Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt - Fachgebiet Naturschutzgenetik	Verbundvorhaben: FELDHAMSTERLAND - Landwirtschaft und Ehrenamt arbeiten gemeinsam für eine Zukunft des bedrohten Feldhamsters - Teilprojekt Wissenschaftliche Begleitung	01.07.2018	31.07.2023	242.760 €
KIEBITZ	BMU V	Naturschutzbund Deutschland (NABU), Landesverband Mecklenburg-Vorpommern e.V.	Der Sympathieträger Kiebitz als Botschafter der Agrarlandschaft: Umsetzung eines Artenschutzprojektes zur Förderung des Kiebitzes in der Agrarlandschaft, Teilvorhaben: Umsetzungsmaßnahmen und Monitoring in Mecklenburg-Vorpommern	01.04.2014	31.03.2019	76.780 €
KIEBITZ	BMU V	NABU-Naturschutzstation Münsterland e.V.	Der Sympathieträger Kiebitz als Botschafter der Agrarlandschaft: Umsetzung eines Artenschutzprogrammes zur Förderung des Kiebitzes in der Agrarlandschaft, Teilvorhaben: Umsetzungsmaßnahmen und Monitoring im Münsterland	01.04.2014	31.03.2020	313.182 €
REBHUHN	BMU	Georg-August-Universität Göttingen - Fakultät für Biologie und Psychologie - Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie und Anthropologie - Abt. Naturschutzbiologie	Rebhuhn retten - Vielfalt fördern! Teilvorhaben B: Maßnahmenoptimierung	01.04.2021	31.03.2023	290.647 €
REBHUHN	BMU	Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) e.V.	Rebhuhn retten - Vielfalt fördern! Teilvorhaben A: Koordination	01.04.2021	31.03.2023	305.720 €
REBHUHN	BMU	Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) e.V.	Rebhuhn retten - Vielfalt fördern! Teilvorhaben C: Datenanalysen	01.04.2021	31.03.2023	165.790 €
WILDBIENEN	BMU	Verein Deutscher Ingenieure - Technologies of Life Sciences	Verbund: Standardisierte Erfassung von Wildbienen zur Evaluierung des Bestäuberpotenzials in der Agrarlandschaft (BienABest) - Standardisierung, Öffentlichkeitsarbeit und Evaluierung	01.05.2017	30.04.2023	483.172 €
WILDBIENEN	BMU	Universität Ulm - Fakultät für Naturwissenschaften - Institut für Evolutionsökologie und Naturschutzgenomik	Verbund: Standardisierte Erfassung von Wildbienen zur Evaluierung des Bestäuberpotenzials in der Agrarlandschaft (BienABest) - Umsetzung	01.05.2017	30.04.2023	2.104.473 €
WILDBIENEN	BMEL	Georg-August-Universität Göttingen - Funktionelle Agrobiodiversität	Wechselwirkungen der Landschaftsstruktur und kombinierter Agrarumweltmaßnahmen auf die Diversität, die Populationsentwicklung und den Gesundheitszustand von Wild- und Honigbienen	17.02.2021	30.04.2024	430.940 €

WILDBIENEN	BMEL	Ruhr-Universität Bochum - Fakultät für Biologie und Biotechnologie	Interaktion von abiotischen Stressoren und Nahrungslimitierung auf Bienengesundheit und Entwicklung von Jungvölkern im Freiland	01.05.2021	30.04.2024	81.678 €
WILDBIENEN	BMEL	Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau - Institut für Bienenkunde und Imkerei	Interaktion von abiotischen Stressoren und Nahrungslimitierung auf Bienengesundheit und Entwicklung von Jungvölkern im Freiland	01.05.2021	30.04.2024	82.821 €
WILDBIENEN	BMEL	Eurofins Agrosience Services Ecotox GmbH	Verbundprojekt: Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI) - Teilprojekt C	07.06.2021	06.06.2024	95.574 €
WILDBIENEN	BMEL	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ - Department Ökologische Systemanalyse	Verbundprojekt: Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI) - Teilprojekt E	07.06.2021	06.06.2024	361.088 €
WILDBIENEN	BMEL	apic.ai GmbH	Verbundprojekt: Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI) - Teilprojekt B	07.06.2021	06.06.2024	280.581 €
WILDBIENEN	BMEL	FZI Forschungszentrum Informatik	Verbundprojekt: Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI) - Teilprojekt A	07.06.2021	06.06.2024	396.316 €
WILDBIENEN	BMEL	disy Informationssysteme GmbH	Verbundprojekt: Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI) - Teilprojekt D	07.06.2021	06.06.2024	179.488 €
WILDBIENEN	BMEL	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg - Naturwissenschaftliche Fakultät I - Institut für Biologie - Zoologie	Wechselwirkungen der Landschaftsstruktur und kombinierter Agrarumweltmaßnahmen auf die Diversität, die Populationsentwicklung und den Gesundheitszustand von Wild- und Honigbienen	15.03.2021	30.06.2024	249.662 €
WILDBIENEN	BMEL	Forschungsring e.V.	Förderung widerstandsfähiger Bienenpopulationen auf landwirtschaftlichen Betrieben durch extensive Bienenhaltung als Motor für ein insektenfreundliches Biodiversitätsmanagement	01.11.2021	31.10.2024	209.855 €
WILDBIENEN	BMEL	Demeter Beratung e. V.	Förderung widerstandsfähiger Bienenpopulationen auf landwirtschaftlichen Betrieben durch extensive Bienenhaltung als Motor für ein insektenfreundliches Biodiversitätsmanagement	01.11.2021	31.10.2024	105.921 €
WILDBIENEN	BMU	Julius-Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI) - Institut für Bienenschutz	'BeesUp - intelligentes Planungswerkzeug zur wildbienengerechten Flächengestaltung und Städteplanung', Teilprojekt 'BeesUp - Koordination, Ökologie'	30.12.2020	29.12.2026	1.459.159 €

WILDBIENEN	BMU	Technische Universität Ilmenau - Fakultät für Informatik und Automatisierung - Institut für Technische Informatik und Ingenieurinformatik - Fachgebiet Softwaretechnik für sicherheitskritische Systeme	'BeesUp - intelligentes Planungswerkzeug zur wildbienengerechten Flächengestaltung und Städteplanung', Teilprojekt 'BeesUp - Datenwissenschaften'	30.12.2020	29.12.2026	711.156 €
WILDBIENEN	BMU	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg - Naturwissenschaftliche Fakultät I - Institut für Biologie - Zoologie	'BeesUp - intelligentes Planungswerkzeug zur wildbienengerechten Flächengestaltung und Städteplanung', Teilprojekt 'BeesUp - Populationsgenetik'	30.12.2020	29.12.2026	224.340 €
REGENWÜRMER	BMEL	Julius-Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI) - Institut für Ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz	Regenwurmzönose - Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau	15.08.2012	28.02.2015	323.302 €
LAUFKÄFER	BMEL	Universität Rostock - Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät - Institut für Landnutzung - Phytomedizin	Entwicklung von Strategien zur Kontrolle von Lupinenblattrandkäfern (<i>Sitona</i> spp.) im integrierten und ökologischen Lupinenanbau	01.03.2015	28.02.2019	245.147 €
LAUFKÄFER	BMEL	Saatzucht Steinach GmbH & Co KG	Entwicklung von Strategien zur Kontrolle von Lupinenblattrandkäfern (<i>Sitona</i> spp.) im integrierten und ökologischen Lupinenanbau (SiLu)	01.03.2015	28.02.2018	91.590 €
LAUFKÄFER	BMEL	Freie Universität Berlin - Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie - Angewandte Zoologie - Arbeitsgruppe Ökologie der Tiere	Chemisch-ökologisch vermittelte Resistenz bei Raps gegen den Rapsglanzkäfer <i>Meligethes aeneus</i> (CHEMOEOKORAPS)	01.05.2016	31.12.2019	350.569 €
LAUFKÄFER	BMEL, BLE, BfN et al.	Thünen-Institute für Lebensverhältnisse in Ländlichen Räumen, Betriebswirtschaft und Biodiversität, Universität Göttingen, Michael-Otto-Institut im NABU	Für Ressourcen, Agrarwirtschaft & Naturschutz mit Zukunft (F.R.A.N.Z.)			

Förderdatenbank BLE *)

WILDBIENEN	BLE	Bestäuberfreundliche Agrarlandschaften - derzeitige Situation und Entwicklungspotenziale Ausf. Einrichtung: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) - Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz (IAB), Freising	01.01.2022 /	31.12.2024
WILDBIENEN	BLE	Bestäuberfreundliche Agrarlandschaften - derzeitige Situation und Entwicklungspotenziale Ausf. Einrichtung: Bioland Beratung GmbH, Mainz	01.01.2022 /	31.12.2024

WILDBIENEN	BLE	Bestäuberfreundliche Agrarlandschaften - derzeitige Situation und EntwicklungspotenzialeAusf. Einrichtung: Bioland Erzeugerring Bayern e.V., Augsburg	01.01.2022 /	31.12.2024
WILDBIENEN	BLE	Bestäuberfreundliche Agrarlandschaften - derzeitige Situation und EntwicklungspotenzialeAusf. Einrichtung: Julius-Maximilians-Universität Würzburg - Fakultät für Biologie - Biozentrum - Lehrstuhl für Tierökologie und Tropenbiologie (Zoologie III), Würzburg	01.01.2022 /	31.12.2024
WILDBIENEN	BLE	Integration von Habitatstrukturen in landwirtschaftlich genutzte Flächen zur Förderung von Bestäuberinsekten (INTEGRA)Ausf. Einrichtung: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg - Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen - Institut für Forstwissenschaften - Professur für Waldwachstum und Dendroökologie, Freiburg im Breisgau	02.06.2021 /	21.06.2024
WILDBIENEN	BLE	Integration von Habitatstrukturen in landwirtschaftlich genutzte Flächen zur Förderung von Bestäuberinsekten (INTEGRA)Ausf. Einrichtung: Universität Hohenheim - Fakultät für Agrarwissenschaften - Institut für Bodenkunde und Standortlehre (310), Stuttgart	22.06.2021 /	21.06.2024
WILDBIENEN	BLE	Verbundprojekt: Rapsanbausystemen mit Begleitpflanzen zur Schadinsektenabwehr und Insektizid-Reduktion (Raps-OP) - Teilprojekt AAusf. Einrichtung: Fachhochschule Südwestfalen - Standort Soest - Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest	01.07.2021 /	31.12.2024
WILDBIENEN	BLE	Verbundprojekt: Rapsanbausystemen mit Begleitpflanzen zur Schadinsektenabwehr und Insektizid-Reduktion (Raps-OP) - Teilprojekt BAusf. Einrichtung: Feldsaaten Freudenberger G.m.b.H. & Co. Kommanditgesellschaft, Krefeld	01.07.2021 /	31.12.2024
		Übersicht (Regenwürmer)		
REGENWÜRMER	BLE	Standortspezifische Risikobewertung von Verfahren mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen als Baustein eines nachhaltigen PflanzenschutzesAusf. Einrichtung: Julius-Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI) - Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Braunschweig	01.03.2019 /	31.10.2022
REGENWÜRMER	BLE	Standortspezifische Risikobewertung von Verfahren mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen als Baustein eines nachhaltigen PflanzenschutzesAusf. Einrichtung: Verein der Zuckerindustrie e.V. - Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen	01.03.2019 /	31.10.2022
		Übersicht (Laufkäfer)		
LAUFKÄFER	BLE	Entwicklung eines innovativen Bodenbearbeitungs-Gerätesystems zur energiesparenden Strohkonditionierung und ultraflachen Bodenbearbeitung (Grinder)	15.05.2020 /	31.07.2023

LAUFKÄFER	BLE	Literaturstudie zur Bedeutung der landwirtschaftlichen Nutzung (Acker- und Grünlandnutzung) für die biologische Vielfalt wildlebender Tiere und Pflanzen in Deutschland Ausf. Einrichtung: Institut für landwirtschaftliche Botanik Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn	01.08.2001 /	31.01.2002
------------------	-----	---	--------------	------------

*) https://www.ble.de/DE/Projektfoerderung/Projektsuche/Suche_node.html, erfasst geförderte Projekte in den Förderprogrammen des BMEL, betreut durch den Projektträger BLE (ptble), Abrufe 01.05.-15.6.2022

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Methodischer Rechercheansatz am Beispiel der Suche in Google Scholar zu Bewässerung. (Quelle: ATB/DLR-PT 2022).....	14
Abb. 2:	Verteilung der ausgewerteten Artikel mit Fokus auf Agrartechniken entlang landwirtschaftlicher Bearbeitungsschritte (vgl. Kap. 3.1; n= 25.624; Quelle: ATB/DLR-PT 2022).	15
Abb. 3:	Verteilung der recherchierten Forschungsprojekte zu modernisierter Agrartechnik in Deutschland entlang der Bearbeitungsschritte (Quelle: DLR-PT 2022; Auswertung der Förderdatenbanken FOEKAT [BMEL, BMBF, BMWK, BMUV], BLE und EIP (Länder); n=124 Projekte; Mehrfachnennung möglich; Stichtag 14.03.2022).....	16
Abb. 4:	Methodischer Rechercheansatz für die Literatursuche zu Auswirkungen auf ausgewählte Arten(-gruppen) (Quelle: ATB/DLR-PT 2022).....	17
Abb. 5:	Schematische Darstellung der Entwicklung der Agrartechnik (nach: Schwich et al. 2021).....	22
Abb. 6:	Modernisierte Agrartechnik – Groß- und Kleintechnik (Quelle: eigene Zusammenstellung nach Amazone 2005, NEXAT 2023, Farmdroid 2023).	25
Abb. 7:	Verfahrenstechnische Darstellung unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren. (Legende der Agrartechnik: s. Anhang A.1; Quelle: ATB 2022, modifiziert und ergänzt nach Köller & Hensel [2019]).	27
Abb. 8:	Werkzeuge der mechanischen Beikrautbekämpfung (Köller &Hensel 2019).....	34
Abb. 9:	Minimumgesetz von Justus Liebig: Wachstum wird durch die knappste Ressource begrenzt (Wikipedia 2023).....	40
Abb. 10:	Anzahl der Ökologisch wirtschaftenden Betriebe in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt, BLE).....	45
Abb. 11:	Anteil der jeweiligen Fruchtarten am Gesamtackerland in 1.000 ha (links) bzw. aufgeschlüsseltes Getreide in % (rechts) (2021). Daten: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen) (Destatis 2021a).....	62
Abb. 12:	Verbreitungskarte Feldhamster (Quelle: Nationaler FFH-Bericht 2019).	68
Abb. 13:	Mögliche Kontaminationswege von Wildbienen mit Neonikotinoiden (Alkassab & Kirchner 2017).	107

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Suchstring für die Literaturrecherche zu Agrartechnik.....	13
Tab. 2:	Recherchierte, ausgewertete und als relevant eingestufte Publikationen zu modernisierter Agrartechnik.....	15
Tab. 3:	Gesamtergebnis der Literaturrecherche zu Auswirkungen von Agrartechnik auf ausgewählte Arten(gruppen) im Überblick.....	18
Tab. 4:	Suchstring für die FuE-Projekt Recherche (Schlagworte und Suchkriterien), hier beispielhaft für den Förderkatalog des Bundes (Foekat).	19
Tab. 6:	Überblick über die Bearbeitungsschritte bei einer ackerbaulichen Nutzung im landwirtschaftlichen Betriebssystem: Kategorisierung entlang einzelner Bearbeitungsschritte und übergeordneter Techniken.....	21
Tab. 7:	Tabellarische Darstellung der modernisierten Agrartechnik: Übergreifende modernisierte Techniken: Digitalisierung, Traktoren / Reifen.....	24
Tab. 8:	Tabellarische Darstellung der modernisierten Agrartechnik: Bodenbearbeitung – Aussaat.	29
Tab. 9:	Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Bestäubung.	33
Tab. 10:	Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Pflanzenschutz. ...	35
Tab. 11:	Tabellarische Darstellung modernisierter Agrartechnik: Pflanzenschutz.....	37
Tab. 12:	Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Düngung.	41
Tab. 13:	Tabellarische Darstellung modernisierter Agrartechnik: Düngung.	43
Tab. 14:	Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Bewässerung.	47
Tab. 15:	Tabellarische Darstellung modernisierter Agrartechnik: Bewässerung.....	49
Tab. 16:	Tabellarische Darstellung der herkömmlichen Agrartechnik: Ernte.....	51
Tab. 17:	Tabellarische Darstellung modernisierter Agrartechnik: Ernte.	52
Tab. 18:	Charakteristika und aktueller Status Feldvögel (Kiebitz, Rebhuhn, Feldlerche) (eigene Zusammenstellung).	71
Tab. 19:	Kurzbeschreibung zu thematisch relevanten Merkmalen bzw. Eigenschaften des ausgewählten Wildbienenkollektivs <i>Andrena agillissima</i> -Gruppe.....	76
Tab. 20:	Kurzbeschreibung zu thematisch relevanten Merkmalen bzw. Eigenschaften des ausgewählten Wildbienenkollektivs <i>Halictus sexcinctus</i> -Gruppe.....	77
Tab. 21:	Kurzbeschreibung zu thematisch relevanten Merkmalen bzw. Eigenschaften des ausgewählten Wildbienenkollektivs <i>Melitta leporina</i> -Gruppe).....	78
Tab. 22:	Allgemeine Gefährdungsursachen für Feldvögel durch Landwirtschaft (Quelle: eigene Zusammenstellung).	95
















Tab. 23:	Übersicht der Rechercheergebnisse zu den ausgewählten Arten(-gruppen) sowie Ableitung von potentiellen Vermeidungsmaßnahmen mit einer Evaluation aus Sicht der Landwirtschaftspraxis. Ergänzt werden Hinweise auf Synergien bzw. Konflikte mit anderen Schutzzielen oder Maßnahmen.....	123
----------	---	-----

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
AFR	Automatische Feldroboter
BBCH	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
FOEKAT	Förderkatalog des Bundes https://foerderportal.bund.de
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
DBV	Deutscher Bauernverband e.V.
DüV	Düngeverordnung
EIP-Datenbank	European Innovation Partnership-Agri Datenbank
JKI	Julius-Kühn-Institut
KUP	Kurzumtriebsplantagen
LWK	Landwirtschaftskammer
PAG	Projektbegleitende Arbeitsgruppensitzung
PFS	Precision Farming Systeme
PflSchG	Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz)

A Anhang

A.1 Zuordnung der Technik-Piktogramme

	Pflug
	Egge
	Fräse
	reine Sämaschine
	Fräse + Sämaschine
	Saatbettbereitung + Sämaschine
	Packerkombination (Pflug + Saatbettbereitung + Sämaschine)
	Grubber
	Parapflug
	Grubber + Fräse
	Tiefenlockerer
	Grubber+ Fräse+ Sämaschine
	Tiefenlockerer + Saatbettbereitung + Sämaschine
	Fräse + Sämaschine
	Saatbettbereitung + Sämaschine
	Egge/Scheibenegge + Sämaschine

