

Schadenschwellen und Biodiversität im Pflanzenschutz - ein ökonomischer Ansatz ökologisch erweitert

Johanna Bensch, Friederike de Mol, Joachim Kakau,
Horst-Henning Steinmann und Bärbel Gerowitt

BfN-Schriften

767

2026





Bundesamt für
Naturschutz

Schadenschwellen und Biodiversität im Pflanzenschutz - ein ökonomischer Ansatz ökologisch erweitert

Johanna Bensch
Friederike de Mol
Joachim Kakau
Horst-Henning Steinmann
Bärbel Gerowitt

unter Mitarbeit von:

Han Zhang
Naomi Bosch

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Zusammenfassung	4
Abstract	5
1 Einleitung	6
2 Schwellenwertkonzepte im Ackerbau Deutschlands und Stand der Umsetzung ...	9
2.1 Methodik	9
2.2 Ergebnisse	10
2.2.1 Übersicht über Schwellenkonzepte	10
2.2.2 SWOT-Analyse	10
2.2.3 Umsetzung von Schadensschwellen in Ackerbaubetrieben mit Raps- und Weizenanbau	11
3 Vorteile von Unkräutern für die Biodiversität in das Konzept der ökonomischen Schadensschwelle integrieren	14
3.1 Vorteile von Unkräutern für die Biodiversität	14
3.2 Vorteile von Unkräutern für die Biodiversität in ökonomische Schwellenwerte integrieren	14
3.3 Ertragsverlusten durch Unkräuter mit einem Entscheidungshilfesystem abschätzen	15
3.4 Fallstudie: Existenzwert von Ackerkrautarten in Schadensschwellen integrierten..	15
4 Bedeutung von in Deutschland verbreiteten Ackerunkräutern für Arthropoden und Vögel – eine Open-Access-Referenzsammlung	18
4.1 Material und Methoden	18
4.2 Ergebnisse	18
5 Unkräutern Ökosystemwerte zuordnen mithilfe von funktionalen Eigenschaften	19
6 Ackerkraut-Biodiversität und Herbizidintensität im Zusammenhang mit einem Entscheidungshilfesystem	20
7 Diskussion	22
8 Ausblick	27
Literaturverzeichnis	28
Abbildungsverzeichnis	32
Tabellenverzeichnis	33
Abkürzungsverzeichnis	34
A Anhang	35

Zusammenfassung

Schadens- und Bekämpfungsschwellen sind für zahlreiche Feldfrüchte und ihre Schaderreger im Ackerbau erarbeitet worden und stehen für die Praxis als Beratungsgrundlage zur Verfügung. Sehr gut abgedeckt sind die Kulturarten mit großem Anbauumfang bzw. wirtschaftlicher Bedeutung. Für Kulturpflanzenarten mit geringerem Anbauumfang sind dagegen nur wenig Schwellenwerte erarbeitet. In einer Umfrage unter Betriebsleitern wurde gezeigt, dass auch nach Jahrzehnten der Beratung nicht immer restlose Klarheit über die Schwellenkonzepte besteht. Die überwiegende Zahl der Betriebsleiter setzt jedoch nach eigenen Aussagen Schwellenwertkonzepte in den wichtigen Ackerbaukulturen um. Ein Nutzen für Ökonomie und Ökologie wird anerkannt.

Schadensschwellen für Unkräuter sind ein wichtiges Beispiel hierfür, sie stehen im Zentrum der weiteren Untersuchungen. Unkräuter auf Ackerflächen (hier: Ackerkräuter) sind ein zweiseitiges Schwert: Einerseits beeinträchtigen sie Ertrag und Qualität von Nutzpflanzen, andererseits bieten sie Vorteile für die Biodiversität. Diese Vorteile umfassen die Unterstützung von Bestäubern, Prädatoren, Parasitoiden sowie den Existenzwert von Unkräutern. Seit 1950 ist die Vielfalt von Ackerkräutern, Arthropoden und Vögeln in Deutschland und darüber hinaus zurückgegangen. In einer Studie zur Rolle von Ackerkräutern für die Förderung der Biodiversität wurden 51 in Deutschland häufig vorkommende Ackerkrautarten sowie drei Gattungen hinsichtlich ihrer Bedeutung als Nahrungs- und Lebensraum für Arthropoden und Vögel untersucht. Direkte und indirekte Verknüpfungen wurden anhand von Daten aus der Fachliteratur erfasst. Insgesamt wurden 5180 Verknüpfungen identifiziert. Die Ergebnisse zeigen, dass Ackerkräuter zahlreiche Ökosystemleistungen unterstützen.

Aufbauend auf dem traditionellen ökonomischen Schadensschwellenmodell für Schädlinge wurde ein erweitertes Modell entwickelt, das Biodiversitätsvorteile integriert. Basierend auf einem deutschen Entscheidungshilfesystem, wurden Schwellenwerte für Winterweizen berechnet, die Existenzwerte für verschiedene Unkrautdichten berücksichtigen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Schwellenwerte ansteigen. Dieses Modell fördert einen ganzheitlichen, agroökologischen Ansatz im Unkrautmanagement.

Abstract

Damage and control thresholds have been developed for numerous crops and their pests in arable farming and are available as a basis for practical advice. Crops with a large cultivation volume or economic importance are very well covered. In contrast, only a few threshold values have been developed for crops with a smaller cultivation volume. A survey of farm managers showed that even after decades of consultation, there is not always complete clarity about the threshold concepts. However, according to their statements, most farm managers implement threshold concepts in the important arable crops. A benefit for the economy and ecology is recognised.

Weed economic thresholds are an important example and the focus of further investigations. Weeds on arable land are a double-edged sword: on the one hand, they impair the yield and quality of crops; on the other hand, they offer advantages for biodiversity. These benefits include the support of pollinators, predators, parasitoids and the existence value of weeds. Since 1950, the diversity of arable weeds, arthropods and birds has declined in Germany and beyond. In a study on the role of arable weeds in promoting biodiversity, 51 arable weed species commonly found in Germany and three genera were examined concerning their importance as food and habitat for arthropods and birds. Direct and indirect links were recorded using data from the specialist literature. A total of 5180 links were identified. The results show that arable weeds support numerous ecosystem services.

An extended model integrating biodiversity benefits was developed based on the traditional economic damage threshold model for pests. Based on a German decision support system, threshold values for winter wheat were calculated considering existence values for different weed densities. The results show that the thresholds are increasing. This model promotes a holistic, agroecological approach to weed management.

1 Einleitung

Schadensschwellen sind ein Kernelement des Integrierten Pflanzenschutzes. Sie werden gebraucht, um im Einzelfall zu entscheiden, ob eine Bekämpfung von Schadorganismen notwendig ist. Schadensschwellen markieren dafür den Übergang zwischen „nicht notwendig“ und „notwendig“, die Schadensschwelle ist die Befallsdichte oder –intensität eines landwirtschaftlichen Schaderregers, ab der ein nachweisbarer Ertragsverlust eintritt. Die wirtschaftliche Schadensschwelle ist die Befallsdichte oder –intensität ab der Schäden eintreten, die den Kostenaufwand einer Bekämpfung rechtfertigen. Die Bekämpfungsschwelle ist die Befallsdichte oder –intensität zu einem bestimmten Zeitpunkt, bei der eine Schadensabwehr den zu erwartenden Befall unter der ökonomischen Schadensschwelle hält. Dies sind drei Definitionen, die, neben zahlreichen aber inhaltlich ähnlichen Variationen, die beiden Begriffe erklären, die im Zentrum des Integrierten Pflanzenschutzes stehen.

Das Konzept von Schadens- bzw. Bekämpfungsschwellen reicht weit zurück in das 20. Jahrhundert. Einen lesenswerten Überblick mit zahlreichen, noch immer aktuellen, Gedanken geben Stern et al. (1959). In Deutschland wurden erste wegweisende Schadensschwellensysteme für den Obstbau, besonders im Südwesten des Landes, entwickelt (Steiner und Bosch 1968). Die Wurzeln bei den einjährigen Ackerbaukulturen in Deutschland wurden in den 1970er Jahren gelegt. Die Datengrundlage ist allerdings divers. Für manche Schaderregerkomplexe liegen umfangreiche empirische Studien zu Bekämpfungsschwellenwerten vor. Für andere, z. B. zahlreiche tierische Schaderreger, wurden pragmatische Richtwerte eingeführt (Diercks und Heitefuß 1990, Ramsden 2017). Solche pragmatischen Richtwerte wurden ebenfalls für Ackerunkräuter geschaffen (Gerowitt und Heitefuß 1990), bevor die Entwicklung zu komplexeren Systemen vorangetrieben wurde.

Biodiversität auf Ackerflächen schließt alle dort vorkommenden Organismen ein, die sich aus Arten und auch deren genetischer Vielfalt zusammensetzen. Das sind viel mehr als blütenbesuchende Insekten oder Feldvögel, es gehören auch die verborgenen, unscheinbaren und letztendlich auch alle unbekanntes Arten und Genotypen dazu. Diese umfassende Sicht auf Biodiversität ist - obwohl richtig - eher ungeeignet, um in Entscheidungen von Landwirten operationalisiert zu werden. Bekannte, sichtbare und bereits untersuchte Arten sind besser geeignet, um Zielorganismen in Biodiversitätskonzepten zu sein. Sie sollten auch eine Indikatoreignung für weitere Arten und Funktionen haben. Im Ökosystem Acker erfüllen spontan wachsende Pflanzen diese Anforderung. Um die Bezeichnung dieser Pflanzen brodelt ein kleiner Kulturstreit: traditionell hießen sie „Ackerunkräuter“ – in der Landwirtschaft aber auch im Naturschutz (Kästner et al. 2001). Seit langer Zeit ersetzt der Naturschutz den Begriff durch „Ackerwildkraut“. Rund um den ökologischen Landbau findet der Begriff „Ackerbeikraut“ immer mehr Freunde. Vegetationsökologisch umfassend ist „Segetalflora“ (Ulber et al. 2025), für die Beschreibung von Managementkonzepten ist dieser Begriff aber ungeeignet, da Segetalarten, also die Artebene, nicht nur Pflanzen umfasst. Wir wollen mit diesem Bericht offenes Interesse gleichermaßen bei Landwirtschaft und Naturschutz wecken. Darum lassen wir den strittigen Mittelteil Acker-(un, bei, wild)-kraut weg und nennen die Pflanzen i.d.R. „Ackerkräuter“. Wenn wir doch gelegentlich davon abweichen, hat es nur stilistische Gründe, wir nutzen den Begriff „Ackerkraut“ dabei vollständig synonym zu „Ackerwildkraut“, „Ackerunkraut“ oder „Ackerbeikraut“. Dabei sind ausdrücklich immer alle auf dem Acker vorkommenden Arten eingeschlossen sind – sie werden nie in „erwünscht“ und „unerwünscht“ eingeteilt.

Die Kategorie „Ackerkräuter“ ist nicht taxonomisch hergeleitet, nur das Vorkommen auf dem Standort „Acker“ bestimmt, dass Pflanzen Ackerkräuter genannt werden. Einzigartig macht diese Pflanzengruppe, dass nur sie spontan auf Ackerflächen auftreten können. Nur sie haben sich dem jährlichen Wechsel von Bodenbearbeitung und einjährigen dichten Pflanzenbeständen angepasst, andere Arten halten dies nicht aus.

Spontane Pflanzen auf Ackerflächen stellen ein zweiseitiges Schwert dar: Mit 359 Arten in Mitteleuropa (Glaser et al. 2024) gefährden sie häufig die wirtschaftlichen Ziele der Landwirtschaft, bieten jedoch auch Vorteile für die Biodiversität. In Deutschland, wo 50,4 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt werden (Statista 2024a), hat die effektive chemische Bekämpfung der Unkräuter zu einem starken Rückgang ihrer Vielfalt geführt (Sutcliffe und Kay 2000). Auf konventionellen Äckern wird das Unkrautmanagement seit ca. 70 Jahren durch den Einsatz von Herbiziden dominiert. An den insgesamt eingesetzten Pflanzenschutzmitteln in Ackerkulturen haben Herbizide den größten Anteil. Dem chemischen Pflanzenschutz wird von Wissenschaftlern ein erheblicher Anteil am Verlust von Biodiversität zugesprochen, auch wenn es schwer ist, den Beitrag mit einer konkreten Zahl zu beschreiben (Niggli et al. 2019).

Mit ökonomischen Schadensschwellen für Unkräuter wird die Notwendigkeit der Bekämpfung abgeschätzt. Die Schadensschwelle ist erreicht, wenn die Kosten der Unkräuter die Kosten der Bekämpfung übersteigen. Zu den Kosten, die durch Unkräuter entstehen können, gehören Ertragsverluste, Reinigungs- und Trocknungsaufwand sowie Ernteerschwernisse. Ackerkräuter sind im Vergleich mit Schadinsekten und Krankheitserregern gut geeignet, um Schadensschwellen anzuwenden: sie sind nicht mobil und vermehren sich auch nicht schlagartig, ohne das durch Bekämpfung nachgesteuert werden kann.

Artenschutz fokussiert die vorkommenden Arten, deren Vielfalt und Abundanzen. Arten, die den Lebensraum Acker besiedeln, haben aus Naturschutzsicht – wie alle Arten – einen Eigenwert, unabhängig von ihrem Nutzen oder Schaden. In Nahrungsketten oder genauer in mehrdimensionalen Nahrungsnetzen wirken die Organismen ganz verschiedener Arten zusammen. Die Biodiversität, die Grundlage aller Ökosysteme, wird seit über 50 Jahren wirtschaftlich bewertet (Randall 1988). Traditionell wird der ökonomische Schadensschwellenwert für die Unkrautkontrolle anhand von Kosten-Nutzen-Abwägungen definiert (Cousens 1985). Neuere Untersuchungen (DiTommaso et al. 2016) zeigen jedoch, dass Biodiversitätsvorteile in diese Schwellenwerte integriert werden können.

Das Vorhaben hatte drei Ziele:

- **Verfügbare Schwellenwerte und Konzepte systematisieren und den Status der Umsetzung abschätzen.** Über den tatsächlichen Umfang des Einsatzes von Schwellenwerten in der Ackerbaupraxis gibt es nur wenig Erkenntnisse. Im Gegensatz zu Kulturen, in denen die Integrierte Produktion durch Verträge, Zertifizierungen ö. ä. geregelt ist (z.B. Sonderkulturen wie Obst oder Wein) existieren im Ackerbau keine Zahlen über die Anwendung von Schwellenkonzepten. Es war daher erforderlich, zunächst einen Überblick über diese Rahmenbedingungen zu geben (Kap. 2).
- **Ein ökonomisches Gerüst schaffen, um ökosystemare Effekte in Schadensschwellen einzubeziehen.** Dieses Ziel bearbeiten wir anhand der Unkrautbekämpfung (Kap. 3). Mit der Integration von Vorteilen für die Biodiversität wird das methodische Gerüst geschaffen, um Schadensschwellenwerte für Unkräuter im Getreide zu entwickeln, die sowohl ökonomische als auch ökologische Aspekte berücksichtigen. Für gewöhnliche Ackerunkräuter

haben wir deren ökosystemare Wirkungen systematisiert. Dafür quantifizieren wir die Verbindungen zwischen häufigen Ackerunkräutern in Deutschland und Ökosystemleistungen wie Bestäubung, natürliche Schädlingsbekämpfung sowie Nahrung für Herbivore und Samenfresser (Kap. 4).

- **Beispielhaft operationalisierte Prozesse für neue Schwellenwerte ableiten.** Für die Unkrautbekämpfung werden operationalisierte Prozesse für eine Biodiversitätsleistung am Beispiel des Existenzwerts von Unkräutern in einer Fallstudie abgeleitet (enthalten in Kap. 3). Kap. 5 umreißt, wie der Prozess für weitere Nutzenwerte von Biodiversität erweitert wird. Eine zweite Fallstudie, die auf vorhandenen experimentellen Daten basiert, untersucht darüber hinaus den Zusammenhang zwischen Unkrautartendiversität und Herbizidintensität im Winterweizen (Kap. 6).

2 Schwellenwertkonzepte im Ackerbau Deutschlands und Stand der Umsetzung

2.1 Methodik

Eine Zusammenstellung über verfügbare praxiseingeführte Schwellenkonzepte im Ackerbau erfolgte durch eine Auswertung von gedruckten Pflanzenbau- und Pflanzenschutzratgebern. Solche Ratgeber werden in Buchform alljährlich von den Beratungs- und Pflanzenschutzdiensten der Länder herausgegeben. Sie beinhalten die jeweils aktuellen Grundlagen von Sortenwahl, Düngung und Pflanzenschutz. Schwellenwerte werden im Kontext der Themenkomplexe zum Pflanzenschutz mit abgehandelt. Mit Blick auf die föderal organisierte amtliche Pflanzenschutzberatung wurde eine Auswahl getroffen, mit der die regionalen, geographischen und agrarstrukturellen Besonderheiten Deutschlands abgebildet werden konnten. Erscheinungsjahr war jeweils 2019. Folgende Quellen wurden herangezogen:

- Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Empfehlungen - Pflanzenbau und Pflanzenschutz.
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz.
- Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen. Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland.
- B. Bundschuh, LTZ Augustenberg (Baden-Württemberg). Überblick über die amtlichen Schadensschwellen.
- Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Augsburg gemeinsam mit Landesanstalt für Landwirtschaft. Integrierter Pflanzenbau.
- Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bayreuth gemeinsam mit Landesanstalt für Landwirtschaft. Integrierter Pflanzenbau.

Eine SWOT Analyse über Stärken (**strength**), Schwächen (**weaknesses**), Chancen (**opportunities**) und Risiken (**threats**) wurde im Rahmen einer konzeptionellen Studie über „Ökologische Schadensschwellen“ erarbeitet (Steinmann et al. 2021). Die Studie bildete den Grundstein für den folgenden Projektverlauf. Für detaillierte Informationen sei auf diesen Text verwiesen.

Die Abschätzung der tatsächlichen Nutzung von Schwellenwerten im Ackerbau erfolgte mit Hilfe einer Befragung praktizierender Landwirte. Das Marktforschungsunternehmen Produkt & Markt wurde mit der Durchführung dieser Befragung beauftragt. Eine telefonische Umfrage fand im Spätsommer 2020 statt. Die Auswahl war nicht repräsentativ, sondern der Fokus bestand auf professionellen Ackerbaubetrieben mit bedeutenden Anbauanteilen von Raps und Weizen aus dem gesamten Bundesgebiet. Die Befragten mussten eine verantwortliche Rolle bei Planung und Anwendung der Pflanzenschutzmaßnahmen haben. Die Betriebsgrößen lagen oberhalb des deutschlandweiten Durchschnitts mit 235 ha (Nordwest), 161 ha (Süden) und 883 ha (Osten). Der Anteil der gepflügten Fläche lag bei 34 %. Eine Aufschlüsselung nach Genderdimensionen fand nicht statt. In der Beschreibung dieser Umfrage wird das generische Maskulinum verwendet, aber es dürften sich auch Betriebsleiterinnen unter den Befragten

befunden haben. Insgesamt lagen 300 vollständige Interviews vor. Es wurden Frage Konstrukte mit Freitextangaben sowie gestützte Fragen zu Pflanzenschutz, Ackerbau sowie zu Einstellungen und Einschätzungen bearbeitet. Quantitative Einschätzungen der Befragten wurden mit fünfstufigen Likert-Skalen ermittelt.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Übersicht über Schwellenkonzepte

Deutschlandweit sind gut 100 Schwellenwerte für den Ackerbau verfügbar. Eine genaue Summe kann allerdings nicht angegeben werden, da in den einzelnen Bundesländern für manche Schaderreger die verwendeten Schwellen bzw. die Quantifizierungsmethoden modifiziert werden. Das macht exakte Übersichten mitunter schwierig. Die zugrunde liegenden Konzepte ähneln sich jedoch in ihren Grundmustern und ihren Größenordnungen. Ein Schwerpunkt der verfügbaren Schwellen liegt auf dem Wintergetreide, dem Raps und der Zuckerrübe. Die durch Schwellen abgedeckten Erregergruppen sind Unkraut, pilzliche Krankheiten (vor allem Blattkrankheiten) und Insekten.

Einige Schwellen werden in mehreren Ländern deckungsgleich verwendet, bei anderen bestehen Abweichungen hinsichtlich der Formulierungen bzw. Erklärungen oder der Bezugsebene (Einheit oder Pflanzenteil). Bei einzelnen Schwellen sind aber unterschiedliche Versionen zwischen Bundesländern zu beobachten. Ein markantes Beispiel für einen solchen Fall sind die Blattläuse (Aphidoidea) im Getreide (besonders bei Winterweizen) sowie die Situation beim Rapserrdfloh (*Psylliodes chrysocephalus*). Hier verfolgen die Pflanzenschutzdienste zum Teil etwas voneinander abweichende Konzepte.

Unterschiede bestehen ebenfalls beim Wording der Konzepte. Der Begriff „Bekämpfungsrichtwert“ wird vielfach in den östlichen Bundesländern verwendet, während die Bundesländer im Westen üblicherweise von „Schadensschwelle“ reden. Es wird aber offenkundig, dass beides im gleichen Sinnzusammenhang verwendet wird. Hin und wieder wird der Term „Wirtschaftliche Schadensschwelle“ benutzt, wobei unklar bleibt, ob dies in dem zugrundeliegenden Ratgeber tatsächlich in einer von „Schadensschwelle“ unterschiedlichen Bedeutung zu sehen ist.

In einigen Fällen wird in einzelnen Bundesländern von Schwellen abgeraten, die in anderen noch gelten. Das kann auf aktuellen nachteiligen Erfahrungen oder einer speziellen Nicht-Anerkennung einer einzelnen Schwelle beruhen (Beispiel Gallmücke im Weizen). Es findet sich jedoch auch grundsätzliches Abraten von ganzen Schwellengruppen. Dies ist bei der Empfehlung zu Unkräutern im Getreide der Fall. Hierzu heißt es in einem der Ratgeber, dass diesen Schwellen, die aus den 80er Jahren stammen, heute nicht mehr vertraut werden kann. Weiterhin sei auch die Problematik der Resistenzen bei den Unkräutern ein Sachverhalt, der gegen die Schwellen spreche.

2.2.2 SWOT-Analyse

Die mittlerweile über 80-jährige Arbeit zu Entscheidungshilfen im Pflanzenschutz mittels Schadensschwellen hat eine Fülle von Lösungen hervorgebracht. Im Grundsatz sind alle Maßnahmen zu begrüßen, die dabei helfen, den chemischen Pflanzenschutz zu reduzieren. Die Stärke der Schwellenwerte ist, dass sie den Kern des Integrierten Pflanzenschutzes bilden, sobald die

Anwendung der Pflanzenschutzmittel ins Spiel kommt. Der Integrierte Pflanzenschutz ist laut Definition des Pflanzenschutzgesetzes ein Zusammenwirken von verschiedenen Elementen ackerbaulicher wie auch chemischer Praktiken, wobei die Letztgenannten erst nach dem Ausschöpfen aller nicht-chemischen Möglichkeiten zum Einsatz kommen sollen (Crop Protection Act of 14 May 1998). Die Berücksichtigung von Entscheidungshilfen und Schwellensystemen vor der Anwendung der Pflanzenschutzmittel ist somit der zentrale Bestandteil, um den chemischen Pflanzenschutz nicht zur Routine werden zu lassen.

Zur Gesamtschau gehört aber auch die Feststellung, dass die Berücksichtigung von Schwellen nach wie vor mühsam ist und dass sie sich trotz großer Öffentlichkeitsarbeit wohl in vielen Fällen nicht durchgesetzt haben. Über die tatsächliche Anwendung liegen allerdings keine oder nur wenige Erkenntnisse vor. Bei der konzeptionellen Arbeit des Projektes wurden folgende Charakteristika festgestellt:

Tab. 1: Ergebnisse der SWOT-Analyse

Stärken	Schwächen
<p>Pragmatischer Ansatz, der sowohl als einfache Daumenregel, als auch in Form komplexer Decision-Support-Systeme implementiert werden kann</p>	<p>Datengrundlage tlw. schon jahrzehntealt. Als biologisches Konzept besteht ein Rest von Unsicherheit. Gelegentliches Misslingen wird als Untauglichkeit aufgefasst. Fehlender Anreiz, erhöhter wahrgenommener Arbeitsaufwand</p>
Chancen	Risiken
<p>Lange eingeführtes Konzept, weitgehend bekannt. Vielfaches Bekenntnis zu Schwellenwerten durch Agrarverbände.</p>	<p>Individuelles Risikoverhalten führt zur Ablehnung von Schwellenwerten bzw. zur Wahl einer Versicherungsoption durch PSM. Präparatekosten sind tlw. sehr niedrig (bes. bei Insektiziden). Agronomische Risiken werden höher gewichtet als Nutzen von Schwellen (Resistenzen, Folgeverunkrautung)</p>

2.2.3 Umsetzung von Schadensschwellen in Ackerbaubetrieben mit Raps- und Weizenanbau

Bei den professionellen Betriebsleitern bestand ein heterogenes Verständnis, was überhaupt unter einer Schadensschwelle zu verstehen ist. Auf die Frage „– Was verstehen Sie unter Schadens- und Bekämpfungsschwellen?“ mit freier Antwortmöglichkeit ergaben sich vier Antwortmuster, die gemäß den Originalantworten gruppiert wurden:

- **Treffende Bedeutung:** Die Antworten ergaben eine zutreffende Beschreibung. 26 % der Befragten gaben entsprechende Statements. Beispiel: *„Die wirtschaftliche Schwelle, ab der der Schaden größer ist als die Kosten des Pflanzenschutzes.“*
- **Bedeutung im Sinne von „Spritzbeginn“:** Bei diesen Antworten fehlte das Argument der Kosten/Nutzen-Balancierung. Daher können die in dieser Gruppe zusammengefassten Umschreibungen möglicherweise richtig gemeint sein, aber es ist auch ein Verständnis herauszulesen, dass vorrangig auf eine Terminierung von Pflanzenschutzmaßnahmen schließen lässt. Mit 40 % der Befragten ist diese Gruppe am stärksten repräsentiert. Beispiel: *„Sobald es sich lohnt, Pflanzenschutz einzusetzen.“*
- **Unklare Angaben:** 22 % der Antworten ließen kein inhaltliches Element herauslesen, dass einer Definition für Schadensschwelle nahekommen würde. Beispiel: *„Vermeidung von Insektenschäden“.*
- **Bedeutungsumkehr:** 12 % der Antworten ließen eine Bedeutung erkennen, die dem Konzept der Schadensschwelle nicht gerecht wurde. Bei diesen Zuschreibungen ließen sich eher gegenteilige Bedeutungen erkennen. Beispiel: *„Vorbeugender Pflanzenschutz gegen Alles. Eine gut abgesicherte Ernte“.*

Die Befragten hatten die Möglichkeit, die von Ihnen im Betrieb verwendeten Schadensschwellenkategorien in den Kulturen Raps und Weizen anzugeben. Aus Vereinfachungsgründen waren die Antwortmöglichkeiten stark reduziert, so dass insgesamt 5 Möglichkeiten bestanden (Weizen: Unkraut, Krankheiten, Insekten. Raps: Unkraut, Insekten). Ein Schwellenwertkonzept für die Blattkrankheiten des Rapses wurde mangels Praktikabilität nicht als Option aufgeführt.

In 43 % der Betriebe wird mit allen verfügbaren Schwellenkategorien (5) gearbeitet (Abb. 1, rechts). Die Zahl der Betriebe mit geringerer Anwendungsintensität ist damit aber insgesamt größer. Die Intensität des Pflanzenschutzes, die näherungsweise als Summe aller Maßnahmen in Raps und Weizen abgefragt wurde, steht in keiner statistisch absicherbaren Beziehung zur Intensität der Anwendung von Schwellen.

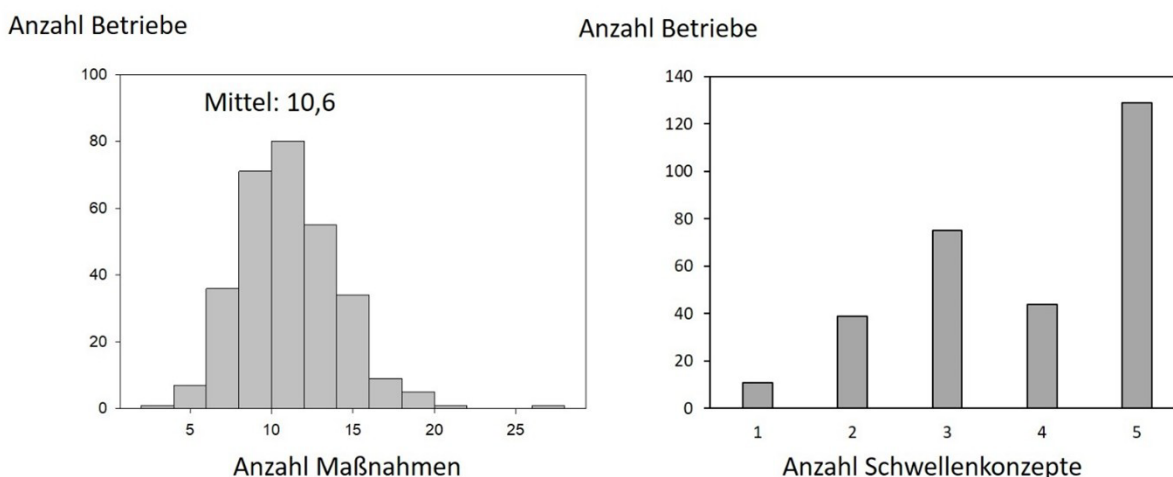


Abb. 1: Summe der Pflanzenschutzmaßnahmen in Raps und Weizen (links) und Anzahl der verwendeten Schwellenkonzepte (rechts) in den Betrieben.

Auf die Frage, ob die Anwendung von Schwellenwerten in wirtschaftlicher Hinsicht eher Einbußen oder Mehrerlöse verursacht, gab die Mehrzahl der Befragten eine positive Einschätzung ab. Diese Optimisten schätzen im Mittel einen Nutzen von 57 €/ha (Abb. 2). Die Zahl der skeptischen Landwirte ist mit 8 % deutlich geringer. Diese Gruppe rechnet mit Einbußen in Höhe von 50 €/ha.

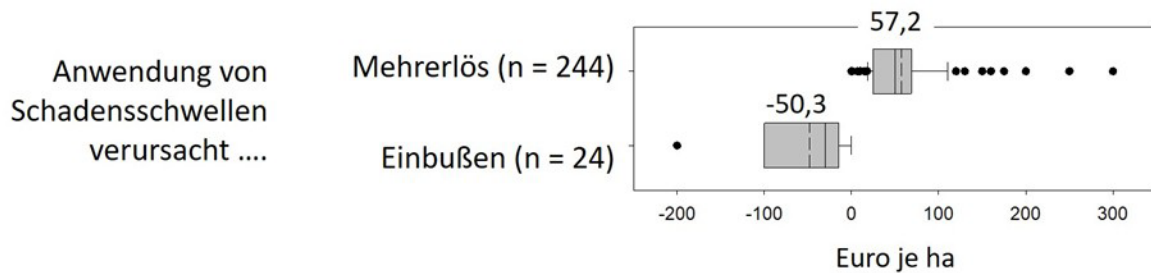


Abb. 2: Einschätzungen über die wirtschaftliche Wirkung der Anwendung von Schadensschwellen in Raps und Weizen (spontane Angaben ohne nähere Spezifizierungen; die Zahlen an der Box bilden den Mittelwert ab).

Die Einstellung der Befragten, im Rahmen des Pflanzenschutzsystems zum Schutz des Ökosystems beizutragen, wurde mit einer Frage zur Toleranz gegenüber Insektenbefall ermittelt. Die Befragten geben eine Bereitschaft an, im Mittel auf 5,7 % Ertrag zu verzichten, um Insekten zu fördern (Abb. 3).

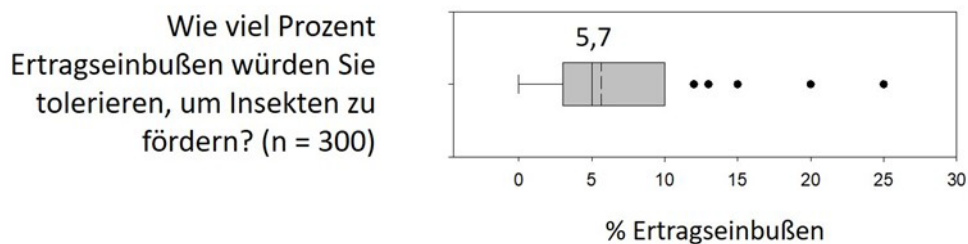


Abb. 3: Angaben zur Bereitschaft zur Förderung von Insekten beizutragen.

3 Vorteile von Unkräutern für die Biodiversität in das Konzept der ökonomischen Schadensschwelle integrieren

3.1 Vorteile von Unkräutern für die Biodiversität

Pflanzen sind als primäre Produzenten auf der ersten trophischen Ebene essenziell für komplexe Nahrungsnetze (Power 1992; Agrawal und Gopal 2013). Sie liefern wichtige Ökosystemleistungen und lassen sich nach Laurila-Pant et al. (2015) in Nutz- und Nichtnutzwerte unterteilen.

Nutzwerte entstehen, wenn Unkräuter natürliche Schädlingsbekämpfung fördern, indem sie Prädatoren und Parasitoiden alternative Nahrung, Schutz und Fortpflanzungsmöglichkeiten bieten (Norris und Kogan 2005). Beispielsweise verringerten *Myosotis arvensis* und *Viola arvensis* die Übertragung von Viruskrankheiten bei Weizen (Powell et al. 1986). Sie unterstützen Bestäuber, indem sie zusätzliche Nahrungsquellen und Blütezeiten bieten (Gibson et al. 2006). Unkräuter sind auch Nahrung für Herbivoren und Granivoren, was deren Lebenszyklen und biologische Unkrautbekämpfung beeinflusst (Fenner 1985; Sarabi 2019).

Unter Nicht-Nutzwerten werden Beiträge gefasst, denen kein aktueller Nutzen zugeordnet werden kann. Dazu gehört ein ethisch begründbarer Existenzwert für jede Art aber auch mögliche Beiträge für künftige Generationen (Pearce und Moran 2013). Trotz der Bedeutung wurde dieser Nicht-Nutzen-Werte bislang kaum bewertet.

3.2 Vorteile von Unkräutern für die Biodiversität in ökonomische Schwellenwerte integrieren

Unkräuter verursachen Ertragsverluste durch Ressourcenkonkurrenz, aber nicht direkte Beeinträchtigungen der Kulturpflanzen.

Unkräuter bringen jedoch nicht nur Kosten, sondern auch ökologische Vorteile. Daher erweitern wir die traditionelle Berechnung der ökonomischen Schwelle:

$$\text{Monetärer Ertragsverlust durch Unkräuter} - \text{Biodiversitätsvorteile durch Unkräuter} =$$

$$\text{Bekämpfungskosten} - \text{verbleibende Biodiversitätsvorteile durch überlebende Unkräuter}$$

Die Biodiversitätsvorteile von Unkräutern können in Nutz- und Nichtnutzwerte unterteilt werden. Nutzwerte umfassen die Unterstützung von Bestäubern und natürlichen Schädlingsbekämpfern, während Nichtnutzwerte den Existenzwert von Arten darstellen. Diese Vorteile werden durch die Bekämpfung beeinträchtigt, wobei die Effizienz der Maßnahmen eine zentrale Rolle spielt.

Die angepasste Schwellenwert-Formel lautet:

$$WET = \frac{C + f(B)}{VU}$$

Hierbei stehen C für Bekämpfungskosten, $f(B)$ für Biodiversitätsvorteile, U für Ertragsverlust pro Unkraut und V für den Marktwert pro Produktionseinheit.

Unsere Berechnungen konzentrieren sich auf Artenreichtum und Dichten pro Quadratmeter, um sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Aspekte in das Unkrautmanagement zu integrieren. Dieses Modell fördert einen ökologischeren Ansatz im Ackerbau, indem Biodiversitätsvorteile berücksichtigt werden.

3.3 Ertragsverlusten durch Unkräuter mit einem Entscheidungshilfesystem abschätzen

Das Entscheidungshilfemodell CeBrUs wurde in den frühen 2000er-Jahren in Deutschland entwickelt, um Entscheidungen zur Unkrautbekämpfung in Winterkulturen wie Weizen, Gerste, Roggen und Raps zu unterstützen (Werner et al. 2004). Es basiert auf Erhebungen der Unkrautdichte getrennt für die Arten, um ertragsbedingte Verluste zu prognostizieren. Für die Berechnung wird der Ertragsverlustparameter (YLP) verwendet, der den proportionalen Ertragsverlust durch eine spezifische Unkrautart mit einer Dichte von $1/m^2$ quantifiziert.

Fehlende YLP-Werte wurden durch eine Regression geschätzt, die die Unkrautmerkmale Größe und Keimzeit berücksichtigt. Diese Parameter dienen als Grundlage für die Berechnung von Ertragsverlusten bei intra- und interspezifischer Konkurrenz. Die Berechnung erfolgt in zwei Schritten: zunächst wird der Ertragsverlust durch intraspezifische Konkurrenz innerhalb einer Unkrautart berechnet, und anschließend wird durch hyperbolische Funktionen die Konkurrenz zwischen verschiedenen Arten berücksichtigt.

Das Modell begrenzt theoretische Ertragsverluste auf 50 % des unkrautfreien Ertrags, was den realistischen Bedingungen in Mitteleuropa entspricht. Diese Anpassung der Gesamtverluste ($Y_{loss_{sum}}$) erlaubt die Integration in traditionelle ökonomische Schwellenwerte (WET) und deren Erweiterungen, die Biodiversitätsvorteile einbeziehen. Die aktualisierte Formel lautet:

$$Y_{loss_{sum}} = \frac{g(WET)}{Y_{weedfree}} = \frac{C}{Y_{weedfree} \times V} + \frac{f(B)}{Y_{weedfree} \times V}$$

wobei $g(WET)$ den nicht-linearen Zusammenhang zwischen Unkrautdichte und Ertragsverlust darstellt und $f(B)$ die monetären Biodiversitätsvorteile beschreibt.

Dieses System ermöglicht eine differenzierte Betrachtung, die sowohl ökonomische als auch ökologische Aspekte berücksichtigt, und stellt eine innovative Erweiterung traditioneller Unkrautmanagementmodelle dar.

3.4 Fallstudie: Existenzwert von Ackerkrautarten in Schadensschwellen integrierten

Ackerkräuter haben neben ihrem Nutzwert (z. B. Unterstützung von Bestäubern) auch Nicht-Nutzwerte, wie den Existenzwert (Ev). Dieser Wert ist unabhängig von jeglichen Funktionen oder Dienstleistungen und wird als gleich für jede Art angenommen. Ähnlich wie der Ertragsverlust (Yloss) erfordert die Implementierung dieses Werts eine Dichteabhängigkeit und eine obere Grenze. In dieser Studie wurde eine log-logistische Funktion verwendet, die am besten zu den Kriterien passte, und jedes Ackerkraut hat einen eigenen Existenzwert.

Die Existenzwert-Funktion wurde wie folgt modelliert:

$$Ev_{Art} = d + \frac{-d}{1 + \exp(0.3x(\log(Dichte_i) - 9))}$$

mit

d: horizontal Asymptote repräsentiert maximum Existenzwert,

Dichte_i: Dichte der Art_i

wobei d die horizontale Asymptote darstellt, die den maximalen Existenzwert repräsentiert, und $Dichte_i$ die Dichte des jeweiligen Ackerkrauts ist. Der Existenzwert wird als relativer Ertragsverlust ausgedrückt. Für die Berechnung des Existenzwerts wurde der Wert von d auf 0,005 gesetzt. In diesem Szenario wird Weichweizen als Kulturpflanze verwendet, und es werden drei hypothetische Unkrautaufnahmen mit verschiedenen Arten und Dichten betrachtet.

Tab. 2: Mögliche Ackerkrautbefalls-Szenarien im Winterweizen.

	typisch; artenarm	typisch; artenreich	schwer; artenreich
Gesamtdichte (Pflanzen/m ²)	35.5	35.5	35.5
Anzahl Arten	4	10	10
Ertragsverlust (%)	4.22	4.22	5.41
Existenzwert (%)	0.85	1.86	1.86

Die Ergebnisse der Fallstudie zeigen, dass die wirtschaftliche Schadensschwelle (WET) mit und ohne Berücksichtigung des Existenzwerts variiert. Die Unkrautschadensschwelle verschiebt sich aufgrund des Hinzufügens des Existenzwerts nach oben, was zu höheren Unkrautdichten an der Schwelle führt, aber die resultierenden Ertragsverluste sind höher als bei der traditionellen Methode.

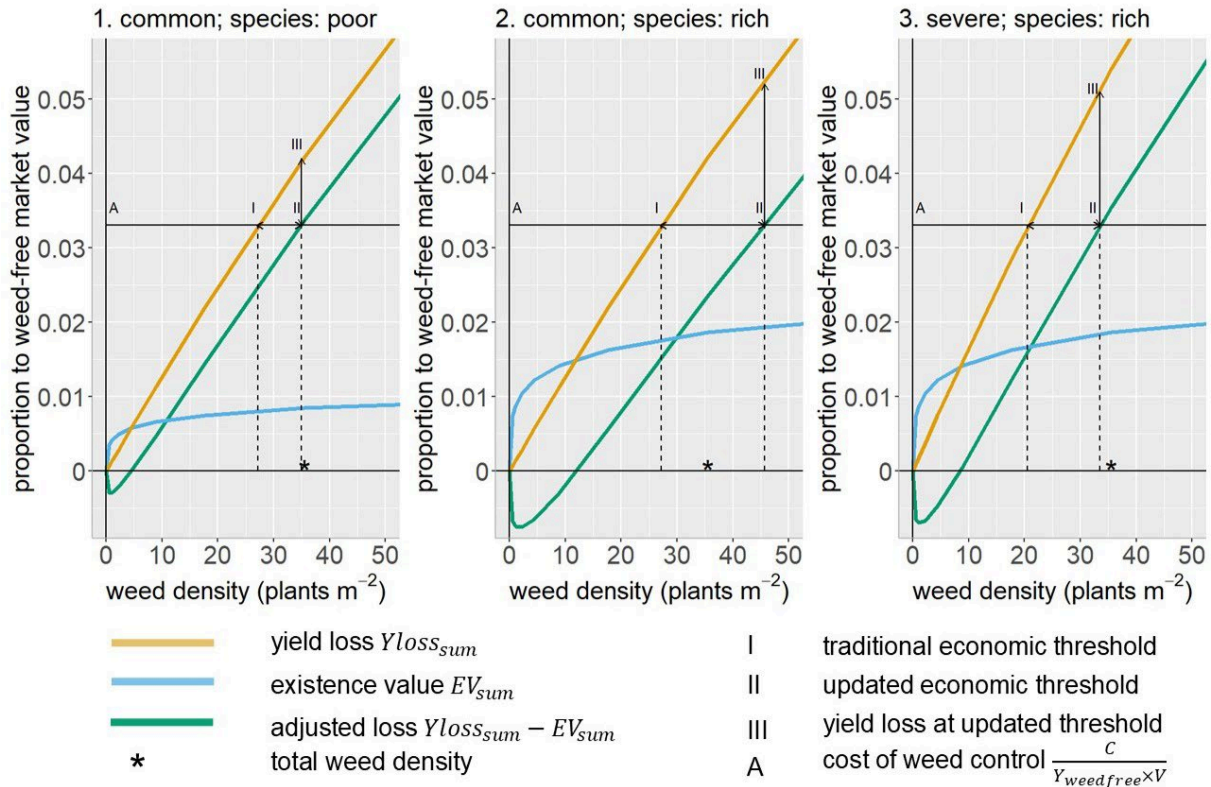


Abb. 4: Ertragsverlust von Winterweizen (gelb), Existenzwert (blau) und der bilanzierte Verlust (Ertragsverlust - Existenzwert) (grün) für drei Ackerkrautszenarien (1. typisch, artenarm; 2. typisch, artenreich; 3. starke Unkrautarten, artenreich); (Tab. 2); (aus Bensch et al. in review).

Diese Anpassung der Unkrautschadensschwellen unter Berücksichtigung des Existenzwerts bietet einen agrarökologischen Ansatz zur Unkrautbekämpfung, in dem das wirtschaftliche Gleichgewicht zwischen Ertragsverlusten und den positiven Auswirkungen der Unkräuter auf die Biodiversität besser berücksichtigt ist.

4 Bedeutung von in Deutschland verbreiteten Ackerunkräutern für Arthropoden und Vögel – eine Open-Access-Referenzsammlung

4.1 Material und Methoden

Die Liste häufiger Unkrautarten aus Wintergetreide und Raps wurde auf Grundlage von Werner et al. (2004) erstellt und durch häufige Unkrautarten im Maisanbau ergänzt (Bensch et al. 2023; de Mol et al. 2015). Insgesamt umfasste die Liste 51 Ackerkrautarten und drei Gattungen, die in Deutschland weit verbreitet sind (Tab. 4). Eine Literatur- und Datenbankrecherche schätzte die Bedeutung dieser Unkräuter für Arthropoden und Vögel ein. Diese Referenzsammlung erfasste die Anzahl der Verbindungen pro Ackerkrautart/-gattung.

Verbindungen für Arthropoden wurden als direkt klassifiziert, wenn diese in allen Lebensstadien auf der Pflanze lebten oder sich von ihr ernährten. Die Verbindungen zu Vögeln wurden als direkt oder indirekt unterschieden, wobei direkte Verbindungen die Vögel betrafen, die sich direkt von der Pflanze ernährten, und indirekte Verbindungen jene, die sich von Arthropoden auf der Pflanze ernährten.

4.2 Ergebnisse

Die Bedeutung von Ackerkräutern variiert stark je nach Kategorie der Arthropoden (Tab. 4). Signifikant Ackerkrautarten für Arthropoden (mehr als 200 Verknüpfungen pro Wirtspflanze) sind *Rumex acetosella*, *Taraxacum officinale*, *Cirsium arvense* und *Poa annua*. *Rumex acetosella* steht hauptsächlich mit Vögeln in Verbindung, gefolgt von *Fallopia convolvulus*, *Polygonum aviculare*, *Chenopodium album*, *Spergula arvensis*, *Stellaria media*, *Geranium dissectum*, *Lamium purpureum* und *Persicaria lapathifolia*, die jeweils mit mehr als 30 Vogelarten assoziiert sind.

Mehrere Arthropodenarten sind für ihren Lebenszyklus auf bestimmte Ackerunkräuter angewiesen. Insgesamt 25 Ackerkrautarten und eine Gattung beherbergen 92 monophage Arthropodenarten. Während etwa die Hälfte aller untersuchten Unkrautarten mindestens eine monophage Arthropodenart unterstützt, sind *Raphanus raphanistrum* und *S. arvensis* besonders relevant.

Natürliche Feinde von Schädlingen stehen in Verbindung mit *T. officinale*, *C. arvense* und *Capsella bursa-pastoris*. *C. arvense*, *T. officinale*, *Vicia spp.*, *Sinapis arvensis* und *R. raphanistrum* sind besonders wichtig für Bestäuber.

5 Unkräutern Ökosystemwerte zuordnen mithilfe von funktionalen Eigenschaften

Das öffentliche Interesse an der Erhaltung der Biodiversität nimmt zu. Für die Landwirtschaft wird es immer wichtiger, natürliche Mechanismen bei der Schädlingsbekämpfung zu nutzen. Dabei sollte der Erhalt und die Förderung der Biodiversität in dem Unkrautmanagement berücksichtigt werden, beispielsweise durch eine Erweiterung des Schadensschwellenkonzepts durch die Ökosystemleistungen bestimmter Unkrautarten.

Um die Ökosystemleistungen der gewöhnlichen, in Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Mais vorkommenden Ackerunkräuter zu beschreiben, werden die Leistungen in vier Kategorien eingeteilt, die den Gesamtwert für das Ökosystem bestimmen (Ökosystemwert): Bestäubung, Nahrung für Pflanzenfresser, Nahrung für Samenfresser und natürliche Schädlingskontrolle. Um den Wert der gewöhnlichen Ackerkräuter für diese Kategorien zu bestimmen, wurden funktionale Eigenschaften verwendet, mit deren Hilfe eingeordnet wird, welche und zu welchem Zeitpunkt Ökosystemleistungen durch die Ackerkrautarten angeboten werden. Bei der Bestäubung liegt das Hauptaugenmerk auf dem Merkmal "Blüte". Neben dem Zeitpunkt der Blüte wird auch die Blühdauer und die Blütenform berücksichtigt, da diese eine entscheidende Rolle bei der Anziehung von Bestäubern und der Förderung der Bestäubungsdienste spielen. Für die Kategorie Nahrung für Pflanzenfresser sind Merkmale der Blätter von großer Bedeutung. Die Eigenschaften der Blätter (Behaarung, Drüsen, Dicke, Härte etc.) bestimmen, welche Arten von Pflanzenfressern sich von den Ackerkräutern ernähren können. Damit wird die Verfügbarkeit von Nahrung für diese Tiere beeinflusst. In der Kategorie Nahrung für Samenfresser ist es wichtig, den Zeitpunkt und die Art der Samen zu berücksichtigen. Die Samenbeschaffenheit bestimmt, welche Samenfresser von den Ackerkrautarten angezogen werden. Für die natürliche Schädlingskontrolle werden morphologische Merkmale betrachtet, die dafür sorgen, dass räuberische Insekten angelockt und dadurch in das Ökosystem eingeführt werden.

Somit ermöglichen funktionale Eigenschaften von Unkräutern es, den typischen Ackerkrautarten entsprechende Ökosystemleistungen zuzuordnen. Damit können Ökosystemwerte dieser Unkräuter in den Schadensschwellen berücksichtigt und quantitativ eingepflegt werden.

6 Ackerkraut-Biodiversität und Herbizidintensität im Zusammenhang mit einem Entscheidungshilfesystem

Es gibt (mindestens) zwei grundsätzlich unterschiedliche Herangehensweisen, die Auswirkungen der Biodiversität auf den Nutzen der Unkräuter und damit die Höhe von Schadensschwellen zu ermitteln.

Die erste schreibt einzelnen Unkrautarten bestimmte Ökosystemdienstleistungen zu (s. Kap. 3-5). Um die Gesamt-Ökosystemdienstleistung zu bestimmen, die die Verunkrautung eines Schlags liefert, wird mit der Dichte der einzelnen Arten gewichtet.

Eine zweite Herangehensweise geht direkt von Diversitätsmaßen aus. Bekannt sind unter anderem der Artenreichtum, der Shannon-Index und der Dominanzindex. Die Frage ist, ob eine hohe Unkraut-Diversität bzw. eine geringe Dominanz unabhängig von den vorhandenen Arten, also art-unspezifisch zu einer geringeren Herbizidintensität und damit auch zu geringeren Kosten für Herbizide führt. Wenn das so ist, so kann dieser Zusammenhang zwischen Biodiversität und Herbizideinsatz verknüpft werden mit dem sehr einfachen Konzept der „Festen Schadensschwellen“ (Gerowitt und Heitefuß, 1990; Schatke et al. 2024), die nur zwischen den großen Gruppen Monokotyle und Dikotyle sowie dem Sonderfall *Galium aparine* unterscheiden.

Für die Überprüfung des Zusammenhangs standen Daten aus 15 Feldversuchen auf konventionellen Winterweizenfeldern in Mecklenburg-Vorpommern aus zwei Jahren zur Verfügung. Getestet wurden in den Versuchen vier unterschiedliche Wege der Entscheidungsfindung für Herbizidapplikationen: Entscheidung von Vor-Ort-Beratern, Entscheidung nach Pflanzenschutzamt-Unterlagen und zwei Varianten Entscheidungshilfesystem-Empfehlung. Dem Entscheidungshilfesystem, das hier genutzt wurde, lag die Architektur des dänischen Crop Protection Online Weed zugrunde, das nicht auf Schadensschwellen beruht. Die Versuche waren nach EPPO-Standards als Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt. Für diese Auswertung wurden die Herbizid- und Biodiversitätsdaten über die Blöcke zusammengefasst. Statistisch wurde die Abhängigkeit des Behandlungsindex (BI, Maß für die Herbizidintensität) und der Kosten von den Diversität mit gemischten Modellen ausgewertet mit jeweils einem von drei Diversitätsmaßen (Artenreichtum, Äquivalent-Artenreichtum (= $\exp(\text{Shannon-Index})$), Dominanz nach Berger-Parker) als fixem Effekt und der Art der Entscheidungsfindung als Zufallseffekt. Als Signifikanzlevel wurde $\alpha = 0.05$ gewählt. Vorab-Auswertungen mit Linearen Modellen zeigten, dass es keine Wechselwirkung zwischen Einflüssen von Entscheidungsfindung und Biodiversität gab.

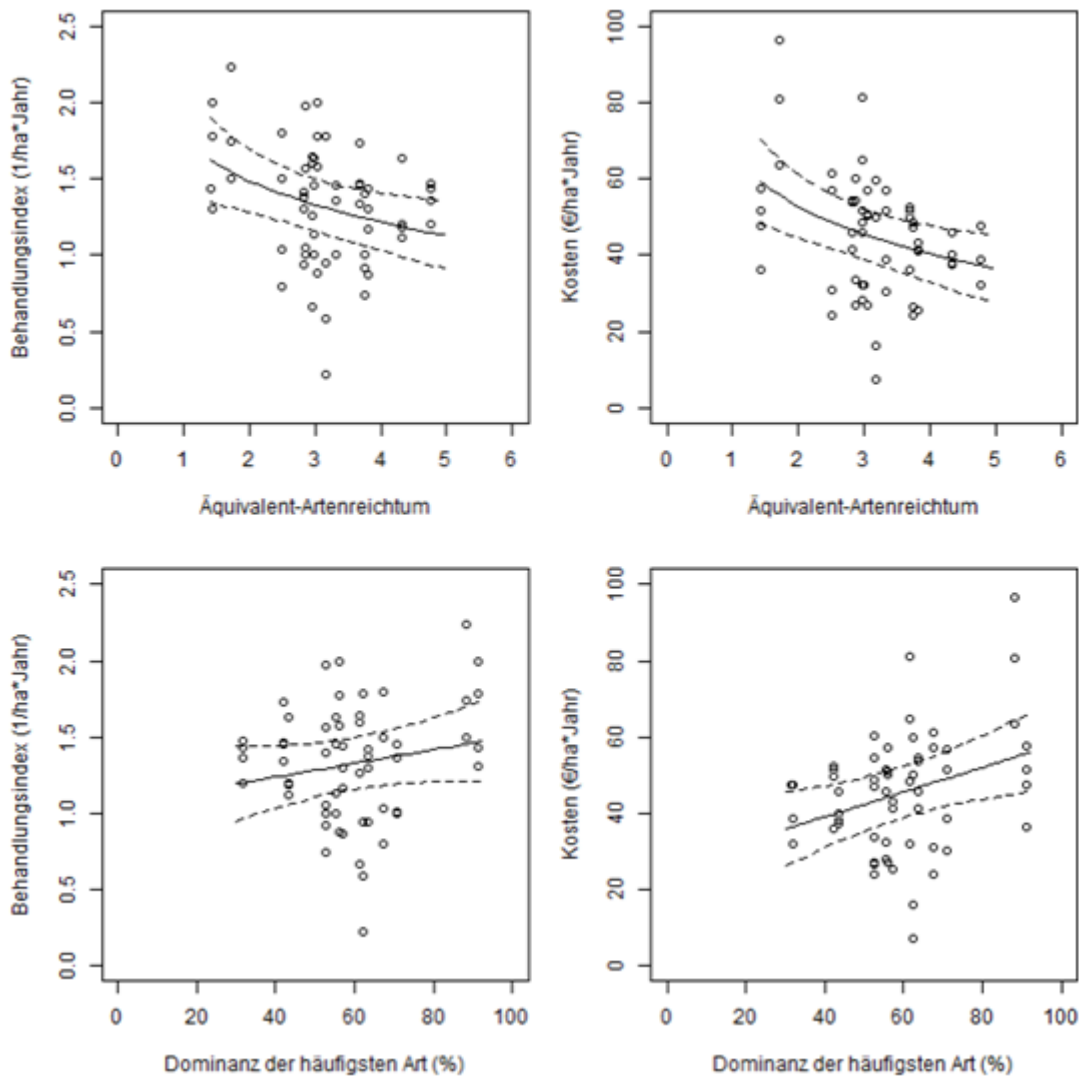


Abb. 5: Herbizidintensität (Behandlungsindex) und Herbizidkosten in Abhängigkeit von der Unkrautdiversität, bestimmt als Äquivalentartenreichtum und als Berger-Parker-Dominanzindex. Daten aus 15 Feldversuchen in Winterweizen (aus de Mol et al. in review).

Mit steigender Unkrautdiversität (berechnet als Äquivalent-Artenreichtum) sanken sowohl der BI ($p \leq 0,007$) als auch die Kosten ($p \leq 0,002$) signifikant. Mit steigender Dominanz der häufigsten Art stiegen auch der BI (nicht signifikant, $p \leq 0,14$) und die Kosten (signifikant, $p \leq 0,006$) (Abb. 5). Erhöhte sich der Äquivalent-Artenreichtum um 1, so sanken die Herbizidkosten um ca. 12 %. Wenn der Anteil der dominantesten Art um 10 % stieg, erhöhten sich die Herbizidkosten um 3,24 €. Das marginale Bestimmtheitsmaß, das als R^2 für die fixen Effekte ausgewiesen wird, lag bei keinem der Modelle höher als 13 %. Das Diversitätsmaß „Artenreichtum“ beeinflusste den BI und die Kosten für Herbizidmaßnahmen nicht.

7 Diskussion

Ökonomische Schadensschwellen, wurden in den 1970-90er Jahren für zahlreiche Organismen entwickelt. Effekte für die Biodiversität auf Ackerflächen wären mit der Berücksichtigung von Schwellenwerten bei Bekämpfungsentscheidungen möglich. Zwei Gründe können das verhindern: Schadensschwellen werden bei Bekämpfungsentscheidungen nicht berücksichtigt und/oder Biodiversitätsleistungen spielen in Schadensschwellen keine ausreichende Rolle.

Der Stand der Umsetzung von Schadensschwellen im Ackerbau ist unterschiedlich aber insgesamt nicht zufriedenstellend. Die Schlüsselposition von Ackerkrautarten für die Biodiversität von Äckern liegt in deren Bedeutung als Nahrungsgrundlage und Habitat. Fallstudien zum Winterweizen zeigen, dass und wie biologische Vielfalt an einer Unkrautart oder Vielfalt bei Ackerkrautarten in ökonomische Schadensschwellen integriert werden könnten (e.g., DiTommaso et al. 2016; Bensch et al. in review).

Die in der Praxis zur Verfügung stehenden Schadensschwellen konzentrieren sich auf die großen Kulturen Getreide, Raps und Zuckerrüben. Hier wurden seit Jahrzehnten umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt. Gemessen an seiner Anbaubedeutung ist der Mais deutlich weniger bei den Schwellenkonzepten repräsentiert. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Forschung zur Entwicklung von Schwellenwerten ihren Höhepunkt vor dem Bedeutungszuwachs des Mais hatte. Fruchtarten mit geringem Anbauumfang (z. B. Leguminosen) sind nur mit sehr wenigen Schadensschwellen abgedeckt.

Die Auflistung bundesweiter Schwellenwerte beinhaltet einige Inkonsistenzen. Eine Inkonsistenz ist der Gebrauch der Begriffe. Der „Bekämpfungsrichtwert“ als Synonym zur „Schadensschwelle“ ist in den östlichen Bundesländern stark verbreitet. Diese aus den Forschungs- und Entwicklungskontexten der beiden ehemals getrennten deutschen Staaten herrührende begriffliche Trennung gibt auf den ersten Blick Anlass zur Verwirrung. Für die konkrete Definitionslage zu Schadens- und Bekämpfungsschwellen trifft die Vermutung einer Unschärfe auch sicher zu. In einem Übersichtsbeitrag wurde bereits darauf eingegangen (Steinmann et al. 2021). Jedoch für die praktische Arbeit, die überwiegend in einer Region stattfindet, ist es sicher unerheblich, ob in einem anderen Landesteil ein anderer Begriff verwendet wird.

Wenn aber Begriffe nicht ganz klar sind, kann auch die Umsetzung von Konzepten nur begrenzt gelingen. Dies zeigt sich in den Antworten auf die Freitextfrage zur Bedeutung von Schadens- und Bekämpfungsschwellen, auch nach jahrzehntelanger Beratungsarbeit bestehen weiterhin noch viele Unklarheiten.

In einzelnen weiteren Punkten sind die bundesweiten Schwellenkonzepte nicht einheitlich. Dies betrifft die detaillierte Ausgestaltung von Kontrolltermin, Anzahl Individuen und Bezugsebene. Bei einigen Erregergruppen gehen die Pflanzenschutzdienste der Länder mit mehr oder weniger leichten Nuancierungen vor. Das verwirrt zunächst, sollten die Schwellen doch aus exakten Studien hervorgegangen sein. Allerdings ist die Studienlage oftmals gar nicht so stark und etliche Schwellen sind aus Befunden abgeleitet, die als methodisch schwach gelten können (Ramsden et al. 2017). Die unterschiedlichen Herangehensweisen in den Regionen sind daher vermutlich dem pragmatischen Umgang geschuldet. Für manche der Regionalvarianten könnte es sogar konkrete regionale Daten geben. Manche Schwellen dürften im Lauf der Jahrzehnte aber auch mit Intuition abgeändert und angepasst worden sein. Das lässt sich heute nicht mehr nachvollziehen.

Dass in denjenigen Betrieben, die in hohem Maße Schadensschwellen anwenden, die Pflanzenschutzintensität niedriger ist als bei solchen mit geringerer Anwendung, konnte nicht gezeigt werden. Überhaupt konnte das in dieser Umfrage sehr einfach abgefragte Intensitätsniveau des Pflanzenschutzes mit den in den erhobenen Items zu Betriebsstruktur und sonstigen Einstellungen nicht sicher erklärt werden. Offenbar spielen andere Leitbilder oder Motivationen bei der Intensität der Anwendungen eine Rolle, die wohl eher auf der sehr individuellen Ebene der Entscheider zu suchen sind.

Die Umfrage zeigt, dass die Anwendung von Schwellenkonzepten in den untersuchten Kulturen keineswegs als flächendeckend bezeichnet werden kann. Offenbar sprechen im Tagesgeschäft der Betriebe etliche Gründe gegen eine stärkere Anwendung. Nach wie vor ist ein Informationsdefizit vorhanden, wie an den Freitextantworten zum Begriff ersehen werden kann. Potenzial ist in den Betrieben aber durchaus vorhanden, wie die Einschätzung zu den durch Schadensschwellen zu erzielenden Mehrerlösen zeigt. Auch die Bereitschaft, zu Gunsten der Förderung von Insekten Ertragseinbußen hinzunehmen ist ein grundsätzlich positives Bild.

Schadensschwellenkonzepte für Unkräuter spielen eine herausragende Rolle im Integrierten Pflanzenschutz. In der angewandten Forschung wurden sie von festen Grenzwerten zu Computer-gestützten Entscheidungsmodellen entwickelt (Gerowitt und Heitefuß 1990; z.B. Werner et al. 2004). Im Zusammenhang mit Schadensschwellen für Unkräuter wurde stets auch mit Beiträgen für die Biodiversität argumentiert (z.B. BVL 2019), quantitativ eingeflossen sind Biodiversitätsleistungen aber bisher nie.

Die Intensivierung der Landwirtschaft und der verstärkte Einsatz von Breitbandherbiziden haben zu erheblichen Veränderungen im Spektrum der spontanen Arten auf den Äckern geführt. Seit 1950 ist sowohl die Häufigkeit als auch die Diversität von Ackerkräutern deutlich zurückgegangen (Meyer et al. 2014). Dieser Rückgang ist ebenfalls in höheren trophischen Ebenen zu beobachten (Hallmann et al. 2017). Ist dies nur ein Zufall?

Traditionell werden Ackerkräuter als schädlich wahrgenommen. Für gewöhnliche Ackerkräuter, die in einem Entscheidungsunterstützungssystem zur Unkrautbekämpfung modelliert werden, belegen wir aber, dass ihnen entscheidende Funktionen im Agrarökosystem zugesprochen werden. Dazu gehört die Unterstützung von Arthropoden- und Vogelarten, darunter sind auch Arten die auf wenige oder nur einen Wirt spezialisiert sind. Alle untersuchten Arten werden im Zusammenhang mit solchen Ökosystemfunktionen genannt, keine der Arten wäre also „überflüssig“. Einige Arten stechen heraus durch häufige Nennungen (Bensch et al. 2024).

Konzeptionell ist der Zusammenhang zwischen Pflanzenarten und Nahrungsnetzen unstrittig (Altieri und Nicholls, 2004; Gerowitt et al. 2017). Verbindungen zwischen Ackerunkräutern und der Biodiversität auf höheren trophischen Ebenen landwirtschaftlicher Flächen wurden beschrieben (Marshall et al. 2003; Holland et al. 2005; Hyvönen und Huusella-Veistoal 2008). Zudem gibt es eine positive Korrelation zwischen Artenreichtum und verbesserten Ökosystemfunktionen (Hooper et al. 2005). Ein Zusammenhang zwischen unkrautfreien Äckern und weniger begleitender Biodiversität ist deshalb eher kein Zufall, sondern sehr wahrscheinlich.

Trotz ihrer fundamentalen Rolle in Ökosystemen sind die Beiträge von Ackerkräutern zu Biodiversität und Ökosystemleistungen bisher nicht so spezifisch und intensiv untersucht, dass Leistungen ökonomisch quantifiziert werden können, insbesondere wie viel sie für wichtige

Ökosystemleistungen wie Bestäubung, natürliche Schädlingsbekämpfung sowie Nahrung für Herbivoren und Samenfresser erbringen (Bensch et al. in prep).

Ein Rückgang von Biodiversität in der Landwirtschaft gefährdet allerdings diese Ökosystemleistungen. Deswegen besteht ein dringender Bedarf, den Wert von Ackerkräutern für Entscheidungen bei gängigen Unkrautmanagementpraktiken neu zu bewerten. Der Verlust an Unkrautdiversität selbst gefährdet darüber hinaus die Resilienz und Selbstregulation in Agrarökosystemen. Der verstärkte Einsatz von Herbiziden schränkt nicht nur die Biodiversität ein, sondern hat auch negative Auswirkungen auf Umwelt und menschliche Gesundheit, etwa durch die Beeinträchtigung von Nichtzielarten und der Wasserqualität (Qi et al. 2020; Parven et al. 2024).

Die Einbeziehung der Vorteile der biologischen Vielfalt von Ackerkräutern in das Konzept der wirtschaftlichen Schwellenwerte für Unkräuter ist theoretisch gerechtfertigt und rational. In der Praxis sind die verschiedenen nachgewiesenen Vorteile von Unkräutern jedoch schwer zu quantifizieren. Daher gibt es kaum relevante Daten, die für dieses aktualisierte Schwellenwertmodell verwendet werden könnten. In der Fallstudie in Kapitel 3 zeigen wir in der Theorie auf, dass ökologische Vorteile von Unkräutern sowohl in der direkten Wirkung für Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen liegen als auch in der Reduktion der Bekämpfung z.B. mit Herbiziden gemessen werden können (Bensch et al. in review). Wir haben uns für den ersten Weg entschieden, der Vorteil liegt darin, dass er unabhängig von der Art der Bekämpfung angewendet werden kann. Ob die Pflanzen da sind oder nicht ist das Ergebnis, nicht wie sie bekämpft wurden. Dieses Vorgehen blendet Nebenwirkungen der Unkrautbekämpfung (auf Wasser, Luft, Boden) bei dieser Bewertung aus. Das bedeutet keinesfalls, dass es diese Nebenwirkungen nicht gibt. Sie werden nur in gänzlich anderen Ansätzen erfasst und bewertet als dem feldspezifischen der ökonomischen Schadensschwelle (z.B. Waibel and Fleischer 1998, Pretty and Waibel 2005, Leach and Mumford, 2007, Li et al. 2023).

Schadensschwellen, die auch positive Wirkungen von Unkräutern berücksichtigen, werden in der Regel höher ausfallen als die bisher bekannten, die nur Schädwirkungen kennen. Das einleitend zitierte Beispiel von DiTommaso et al. (2016) ist unseres Wissens die einzige Studie, die die Beziehungen zwischen einer Pflanzenart (Mais), einer Unkrautart (Gewöhnliche Seidenpflanze (*Asclepias syriaca* L.)), und mehreren Schädlingsarten und Nutzinsekten quantifiziert hat: Während Mais und *A. syriaca* um Ressourcen konkurrieren, nutzt der Monarchfalter (*Danaus plexippus* L.) das Unkraut als Wirtspflanze. Blattläuse, die ebenfalls von gewöhnlichen Seidenpflanzen beherbergt werden, versorgen Trichogramma-Wespen und andere nützliche Insekten mit ihrem Honigtau. Die Trichogramma-Wespen parasitieren dann die Eier des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis* Hübner), eines weiteren Schädlings für Mais. DiTommaso et al. (2016) sammelten alle Daten, um die ökologischen Beziehungen zwischen diesen Organismen und ihre Auswirkungen auf den Maisertrag quantitativ zu untermauern. Dieses Beispiel verdeutlicht die große Menge an Daten, die erforderlich ist, um die Interaktion zwischen nur einer Kulturpflanze und einer Unkrautart mit anderen Organismen vollständig zu verstehen. DiTommaso et al. (2016) zeigten auch, wie die wirtschaftliche Schadensschwelle der Seidenpflanze steigt, wenn der ökosystemare Nutzen für Landwirte berücksichtigt wird.

In den Modellrechnungen in Kapitel 3 nutzen wir zunächst den Existenzwert von Ackerkräutern als Beispiel für eine Leistung. Das Konzept des Eigen- oder Existenzwerts von Unkräutern, berücksichtigt, dass Ackerkräuter wie alle Arten einen Wert allein durch ihre Existenz haben. Es ist kein klassischer Ökosystem-Nutzen-Wert, sondern repräsentiert einen Nicht-Nutzen-

Wert. Er ist deswegen auch nicht über Ökosystemeffekte erfassbar, sondern erfordert eine ethisch-moralische Setzung, bei der Augenmaß erforderlich ist. In der Fallstudie haben wir einen Existenzwert von ca. 10 €/ha pro Unkrautart angesetzt. Der Existenzwert ist dichteabhängig modelliert, nach wenigen ersten Individuen steigt er nicht mehr an. Es ist ein feldspezifischer Eigenwert für alle Arten, unabhängig von deren Schutz- oder Problemstatus. Rote-Liste-Unkrautarten haben ihn auf dem jeweiligen Feld genauso wie konkurrenzkräftige Unkräuter. Er repräsentiert und bewertet die Feldpopulation, nicht den Verbreitungsstatus auf Landes- oder Bundesebene. Diese Art der Bewertung erfordert keine aufwendige Datensammlung. Wir zeigen, dass er unmittelbar in bestehende Systeme zur Entscheidungsunterstützung integriert werden kann. Dadurch werden Schadensschwellen für die Kontrolle von Unkräutern erhöht, was bedeutet, dass die ersten Ackerkräuter weniger streng bekämpft werden sollten. Die von uns gewählte Größe ist als konservativ zu betrachten, da die Ergebnisse der Umfrage in Kap. 2 zeigten, dass im Durchschnitt bis zu 5,7 % Ertragsverlust toleriert werden könnten um Insekten zu fördern. Der gewählte Wert nimmt maximal 0,5 % Ertragsverlust pro Ackerkrautart an.

Mit diesem Bewertungsweg für einen Nicht-Nutzen-Wert haben wir eine methodische Blaupause geschaffen, um ökologische Nutzen-Aspekte in bestehende Entscheidungssysteme zu integrieren. DiTommaso et al (2016) liefern eine andere Blaupause, nämlich durch die Integration einer multi-trophische Kultur-Unkraut-Beziehung spezifisch für Nordamerika in Schadensschwellen für diese Unkrautart. Es erscheint allerdings ausgeschlossen, Daten wie sie DiTommaso et al. (2016) für diese eine Kombination gesammelt haben, für die Vielfalt von Ackerkrautarten in Deutschland zu generieren.

Die Erweiterung des Modells (Kap. 3) ist herausfordernd, weil quantitative Daten zur ökonomischen Messung des Biodiversitätsnutzens von Ackerkrautarten und -mengen fehlen. Wir nutzen deshalb das Wissen um die Beiträge von Ackerkrautarten für die Kategorien von Ökosystemnutzen (Tab. 4). Am Beispiel der Winterweizenproduktion wird dann gezeigt, wie die Berücksichtigung der ökologischen Vorteile von Unkräutern – wie die Unterstützung natürlicher Schädlingsbekämpfung und Nahrung für Bestäuber – die Schwellenwerte für deren Kontrolle erhöht. Je nach den auf dem jeweiligen Feld vorkommenden Arten werden dann mehr Pflanzen toleriert, bevor eine Bekämpfung als „ökonomisch notwendig“ eingeordnet wird.

Die zweite Fallstudie basiert auf einer zurückliegenden, zweijährigen Versuchsserie im Winterweizen (Kap. 6). Die Ergebnisse zeigen, dass viele vorhandene Ackerkrautarten, also Phyto-diversität auf dem Acker zur Verminderung des Herbizideinsatzes beiträgt (de Mol et al. in review). Letzteres ist auch ein Ziel von Entscheidungen nach Schadensschwellen. Man kann sich die Frage stellen, ob die Verminderung der Herbizidintensität eigentlich eine Ökosystemleistung ist. Sie ist es insofern, als die Selbstregulation des Ökosystems offenbar gestärkt wird, so dass Landwirte weniger regulierend eingreifen müssen. Die Ergebnisse der Kostensenkung durch Ackerkrautdiversität können in bestehende Schadensschwellen-Modelle eingearbeitet werden, indem bei erhöhter Diversität die Schwellenwerte steigen. Für diesen Ansatz wird nur die Anzahl vorkommender Unkrautarten benötigt. Das hätte für praktische Anwendungen den Vorteil, dass detaillierte Artenkenntnisse nicht gefordert sind – es ist nur notwendig zu erkennen, wie viele unterschiedliche Arten auf dem Feld wachsen. Praxisreife Empfehlungen sind damit noch nicht zu generieren, da in dieser Auswertung sowohl die Datengrundlagen mit 15 Versuchen noch nicht sehr umfangreich ist als auch die gefundenen Effektstärken gering sind.

In den Bekämpfungsvarianten der Versuchsserie im Winterweizen zeigte sich auch, dass es nicht einfach ist, Herbizide so selektiv einzusetzen, dass damit Diversität in Ackerkräutern gemanagt werden kann. Das war bisher auch kein Ziel der chemischen Unkrautbekämpfung, im Gegenteil, es wurden vor allem mehr breit wirksame Herbizide zugelassen. Den Einsatz von Herbiziden zu reduzieren, zieht sich schon seit vielen Jahren durch die nationale und EU- Pflanzenschutzpolitiken (verschiedene Deutsche Nationale Aktionspläne zum Pflanzenschutz seit 2000, EU-Sustainable Use Directive, Green Deal). Biodiversität auf dem Acker ist aber kein automatisch anfallendes Nebenprodukt, wenn Konzepte für weniger Pflanzenschutzmittel in der Praxis nicht auch neue Ziele avisieren. Herbizideinsätze zu reduzieren ist eine Seite der Medaille, Erhalten und Fördern der Biodiversität auf dem Acker eine andere. Für das Überleben von Pflanzen auf dem Acker ist es nicht relevant, ob sie chemisch, physikalisch oder biologisch beseitigt wurden. Entscheidungshilfen, die gezielt Biodiversität auf dem Acker berücksichtigen, sind deshalb für alle Bekämpfungsverfahren hilfreich.

Wir modellieren, wie die Biodiversität von Ackerkräutern in ökonomische Schwellenwertmodelle integriert werden kann. Langfristig sind beide modellierten Ansätze geeignet, um als Grundlage für ein nachhaltigeres Unkrautmanagement zu dienen, das chemische und nicht-chemische Methoden kombiniert (Riemens et al. 2022). Durch eine Neubewertung gängiger Managementpraktiken und die Wertschätzung der Biodiversitätsleistungen von Ackerkräutern kann ein besseres Gleichgewicht zwischen wirtschaftlicher Produktivität und ökologischer Nachhaltigkeit erreicht werden.

8 **Ausblick**

Ein ungebremster Rückgang von Biodiversität in der Landwirtschaft gefährdet Ökosystemleistungen. Angesichts dessen ist der Bedarf dringend, den Wert von Ackerkräutern so neu zu bewerten, dass dies in Entscheidungen beim Unkrautmanagement Eingang finden kann. Trotz dieses allgemeinen Erkenntnisstands sind konkrete Daten für ökonomische Wertzuweisungen für Biodiversitätsleistungen rar. Auch wenn zukünftige Forschung den resultierenden Datenbedarf wahrscheinlich nie vollständig decken kann, sollten auf Skalenebenen, die ackerbaulich genutzte Einzelflächen einbeziehen, bessere Daten zu Biodiversitätsleistungen von Ackerkräutern gesammelt werden, um die ökonomischen Schwellenwerte weiter zu verfeinern.

Die Unkrautbekämpfung verändert sich. Smarte und autonome Verfahren fokussieren nicht mehr die Gesamtackerfläche, sondern lösen diese räumlich auf (Gerowitt 2022). Es können Arten und/oder Mengen von erwünschten Ackerkräutern erkannt, erfasst und ihr Auftreten gespeichert und für Entscheidungen bereitgestellt werden. Auch die mechanische, chemische oder thermische Bekämpfung kann dann räumlich präzise durchgeführt werden. Entscheidungsalgorithmen für oder gegen eine Bekämpfung sind dafür noch notwendiger als bisher. Um darin Biodiversitätsleistungen von Ackerkräutern zu berücksichtigen, können sowohl Arten und Mengen als auch Gemeinschaftskennwerte der Unkrautarten einfließen. Eine notwendige Bekämpfung müsste dann auch nicht alle Ackerkräuter avisieren, sondern könnte sich selektiv gegen einzelne Arten richten oder weniger effizient gegen die Ackerkräuter insgesamt ausgelegt werden.

Literaturverzeichnis

'*') = aus dem Projekt

- Agrawal, A.; Gopal, K. (2013): Biomass Production in Food Chain and Its Role at Trophic Levels. In: Agrawal, A.; Krishna, G. (Hrsg.): *Biomonitoring of Water and Waste Water*. Springer. New Delhi, New York: S. 59–70. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-0864-8_6.
- Altieri, M.; Nicholls, C. (2004): *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. 2. Auflage. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482277937>.
- Bensch, J.; Pannwitt, H.; Gerowitt, B. (2023): Traits of weed species present in maize respond to tillage and cropping systems. *Frontiers in Agronomy* 5: 1284887. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1284887>.*)
- Bensch, J.; Bosch, N.; Gerowitt, B. (2024): The potential contribution of common arable weeds to birds' and arthropods' biodiversity- an open-access reference collection. *IOBC-WPRS Bulletin Vol. 170: 20-23*.*)
- Bensch, J.; de Mol, F.; Gerowitt, B.; Zhang, H. (in review): Integrating biodiversity benefits of weeds into the economic threshold concept. *Journal of Crop Health*.*)
- Bensch, J., de Mol, F.; Gerowitt, B. (in prep): Estimating an ecosystem value: A practical approach to value ecosystem services of arable weeds. To be submitted to *Ecological Indicators*.*)
- Bosch, N.; Zhang, H.; Gerowitt, B. (2022): Ackerunkräuter in Deutschland unterstützen die Artenvielfalt von Arthropoden und Vögeln. *Julius-Kühn-Archiv* 468: 48–54. <https://doi.org/10.5073/20220117-064519>.*)
- BVL (2019): Mehr Verunkrautung wagen: Plädoyer für einen Perspektivwechsel in der Unkrautbekämpfung im Ackerbau. Positionspapier des Fachbeirates für nachhaltigen Pflanzenbau. URL (Letzter Zugriff: 08. Januar 2025): https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Fachmeldungen/04_pflanzenschutzmittel/2019/2019_11_18_Fa_Positionspapier_Fachbeirat.html.
- Cousens, R. (1985): A simple model relating yield loss to weed density. *Annals of Applied Biology* 107: 239–252.
- De Mol, F.; Redwitz, C. von; Gerowitt, B. (2015): Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* 55: 574–585. <https://doi.org/10.1111/wre.12169>.
- De Mol, F.; Fritzsche, R.; Gerowitt, B. (in review): Weed biodiversity and herbicide intensity as linked via a decision support system. *Pest Management Science*.*)
- Diercks, R.; Heitefuss, R. (1990): *Integrierter Landbau*. BLV. München.
- DiTommaso, A.; Averill, K. M.; Hoffmann, M. P.; Fuchsberg, J. R.; Losey, J. E. (2016): Integrating Insect, Resistance, and Floral Resource Management in Weed Control Decision-Making. *Weed Science* 64 (4): 743–756. DOI: 10.1614/WS-D-16-00052.1.
- Fenner, M. (Hg.) (1993, 1985): *Seed Ecology*. Chapman and Hall. London, New York: (Outline studies in ecology).
- Gerowitt, B. (2022): Biodiversität auf Ackerflächen – neue Chancen durch neue Techniken im Unkrautmanagement? In: KTBL (Hg.): *Kinder haften für ihre Eltern – Impulse aus dem Ökolandbau*. S. 58–63.*)
- Gerowitt, B.; Heitefuss, R. (1990): Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. *Crop Protection* 9: 323–331. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(90\)90001-N](https://doi.org/10.1016/0261-2194(90)90001-N).

- Gerowitt, B.; Bàrberi, P.; Darmency, H.; Petit, S.; Storkey, J.; Westerman, P. (2017): Weeds and Biodiversity. In: Hatcher, P. E.; Froud-Williams, R. J. (Hg.): Weed Research: Expanding Horizons (Kapitel 5, S. 115–147). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-38070-2.
- Gibson, R. H.; Nelson, I. L.; Hopkins, G. W.; Hamlett, B. J.; Memmott, J. (2006): Pollinator webs, plant communities and the conservation of rare plants: arable weeds as a case study. *Journal of Applied Ecology* 43 (2): 246–257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01130.x>.
- Glaser, M.; Dullinger, S.; Moser, D.; Wessely, J.; Chytrý, M.; Lososová, Z. et al. (2024): Pronounced turnover of vascular plant species in Central European arable fields over 90 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 361: 108798. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108798>.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongjans, E., Siepel, H., Hofland, N. & Schwan, H. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS One* 12 (10): e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>.
- Holland, J. M.; Hutchison, A. S.; Smith, B.; Aebischer, N. J. (2006): A review of invertebrates and seed-bearing plants as food for farmland birds in Europe. *Annals of Applied Biology* 148 (1): 49–71. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00039.x>.
- Hooper, D. U.; Chapin, F. S.; Ewel, J. J.; Hector, A.; Inchausti, P.; Lavorel, S. (2000): Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75 (1): 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>.
- Hyvönen, T.; Huusela-Veistola, E. (2008): Arable weeds as indicators of agricultural intensity – A case study from Finland. *Biological Conservation* 141 (11): 2857–2864. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.08.022>.
- Kästner, A.; Jäger, E. J.; Schubert, R. (2001): *Handbuch der Segetalpflanzen Mitteleuropas*. With assistance of Braun, U.; Feyerabend, G.; Karrer, G.; Seidel, D.; Tietze, F.; Werner, K. 1st ed. Wien: Springer-Verlag.
- Laurila-Pant, M.; Lehtikoinen, A.; Uusitalo, L.; Venesjärvi, R. (2015): How to value biodiversity in environmental management? *Ecological Indicators* 55: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.034>.
- Leach, A. W.; Mumford, J. D. (2007): Pesticide Environmental Accounting: A method for assessing the external costs of individual pesticide applications. *Environmental Pollution* 151: 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.02.019>.
- Li, Q.; Si, R.; Guo, S.; Waqas, M. A.; Zhang, B. (2023): Externalities of Pesticides and Their Internalization in the Wheat-Maize Cropping System – A Case Study in China’s Northern Plains. *Sustainability* 15: 12365. <https://doi.org/10.3390/su151612365>.
- Marshall, E. J. P.; Brown, V. K.; Boatman, N. D.; Lutman, P. J. W.; Squire, G. R.; Ward, L. K. (2003): The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* 43 (2): 77–89. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x>.
- Meyer, S.; Wesche, K.; Krause, B.; Brütting, C.; Hensen, I.; Leuschner, C. (2014): Diversitätsverluste und floristischer Wandel im Ackerland seit 1950. *Natur und Landschaft* 89: 392–398. ISBN 978-3-00-153293-0.
- Niggli, U.; Gerowitt, B.; Brühl, C.; Liess, M.; Schulz, R.; Altenburger, R.; Bokelmann, W.; Büttner, C.; Hartenbach, M.; Heß, J.; Märländer, B.; Miedaner, T.; Nödler, K.; Petercord, R.; Reineke, A.; von Kröcher, C.; Zwerger, P. (2019): *Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft*. 1. Auflage. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Bonn

- Norris, R. F.; Kogan, M. (2005): Ecology of interactions between weeds and arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 50 (1): 479–503. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123218>.
- Parven, A.; Meftaul, I. Md.; Venkateswarlu, K.; Megharaj, M. (2024): Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*: 1–22. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05818-y>.
- Pearce, D. W.; Moran, D. (2013): *The economic value of biodiversity*. London: Routledge
- Powell, W.; Dean, G. J.; Wilding, N. (1986): The influence of weeds on aphid-specific natural enemies in winter wheat. *Crop Protection* 5 (3): 182–189. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(86\)90100-6](https://doi.org/10.1016/0261-2194(86)90100-6).
- Power, M. E. (1992): Top-Down and Bottom-Up Forces in Food Webs: Do Plants Have Primacy. *Ecology* 73 (3): 733–746. <https://doi.org/10.2307/1940153>.
- Pretty, J.; Waibel, H. (2005): Paying the price: the full costs of pesticides. In: Pretty, J. (Hrsg.): *The Pesticide Detox*. Earthscan, London: 39–54.
- Randall, A. (1988): What Mainstream Economists Have to Say About the Value of Biodiversity. In: Wilson, E. O.; Peter, F. M. (Hrsg.): *Biodiversity*. Washington (DC): National Academies Press (US), Kapitel 25. Online verfügbar unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK219316/>.
- Riemens, M.; Sønderskov, M.; Moonen, A. C.; Storkey, J.; Kudsk, P. (2022): An Integrated Weed Management framework: A pan-European perspective. *European Journal of Agronomy* 133: 126443. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126443>.
- Sarabi, V. (2019): Factors that influence the level of weed seed predation: A review. *Weed Biology and Management* 19 (3): 61–74. <https://doi.org/10.1111/wbm.12186>.
- Schatke, M.; Bensch, J.; Ulber, L.; von Redwitz, C.; de Mol, F.; Gerowitt, B. (2024): Comparing threshold concepts for weed control. *IOBC-WPRS Bulletin Vol. 170: 15-19.* *)
- Schatke, M.; Bensch, J.; Ulber, L.; Gerowitt, B.; von Redwitz, C. (In prep): Decisions for Site-Specific Weed Management: Comparing common and novel decision concepts for weed. To be submitted to *European Journal of Agronomy*. *)
- Schatke, M.; Ulber, L.; Musavi, T.; Wäldchen, J.; von Redwitz, C. (2024). From unwanted to wanted: Blending functional weed traits into weed distribution maps. *Weed Research* 64 (2). <https://doi.org/10.1111/wre.12664>.
- Statista (2024): Nutzungsarten der Bodenfläche in Deutschland 2022 | Statista. URL (Letzter Zugriff: 20. September 2024): <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164934/umfrage/nutzungsarten-der-bodenflaeche-in-deutschland-2009/>,
- Steinmann, H.-H.; de Mol, F.; Kakau, J.; Gerowitt, B. (2021): Was ist eine ökologische Schadenschwelle? *Gesunde Pflanzen* 73: 135–147, <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00551-9>. *)
- Steiner, H.; Bosch, J. (1968): Integrierter Pflanzenschutz im Obstbau. *Anzeiger für Schädlingskunde* 41: 135–139.
- Stern, V.; Smith, R.; van den Bosch, R.; Hagen, K. (1959): The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid. *Hilgardia* 29: 81–100
- Sutcliffe, O. L.; Kay, Q. O. N. (2000): Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biological Conservation* 93 (1): 1–8. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00119-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00119-6).
- Ulber, L.; von Redwitz, C.; Gottwald, F.; Wehke, S.; Meyer, S. (2025): A concept for monitoring the status and development of the segetal flora in Germany. *Natur und Landschaft* 100(1): 9–15. <https://doi.org/10.19217/NuL2025-01-02>.
- Waibel, H.; Fleischer, G. (1998): *Kosten und Nutzen des chemischen Pflanzenschutzes in der Deutschen Landwirtschaft aus gesamtwirtschaftlicher Sicht*. Vauk-Verlag. Kiel.

Werner, B.; de Mol, F.; Gerowitt, B. (2004): Schadensprognosen und Bekämpfungsempfehlungen für Unkräuter in Raps und Getreide mit CeBrUs. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* (Sonderheft XIX): 982–988.

Weiterer Output aus dem Projekt:

Bensch, J.; Bosch, N.; Wandelt, E.; Gerowitt, B. (2023): NAVIA- Nahrungsvielfalt Ackerkraut- Eine Quellensammlung für Naturschützer*innen und Landwirt*innen. 63. Deutsche Pflanzenschutztagung: Pflanzenschutz morgen - Transformation durch Wissenschaft; 26. bis 29. September 2023, - Kurzfassungen der Vorträge und Poster -; Göttingen, Deutschland: 55-65. <https://doi.org/10.5073/20230803-074309-0>.

Bensch, J.; de Mol, F.; Gerowitt, B. (2024): Unkräutern Ökosystemwerte zuordnen mithilfe von funktionalen Eigenschaften. *Julius-Kühn-Archiv* 478: 11. <https://doi.org/10.5073/20240108-095243-0>.

Bensch, J.; de Mol, F.; Gerowitt, B. (2024): Schadensschwellen um Biodiversität erweitern - am Beispiel des Existenzwertes von Unkrautarten. *Julius-Kühn-Archiv* 478: 15. <https://doi.org/10.5073/20240108-100516-0>.

Gerowitt, B.; Bensch, J.; de Mol, F. (2024): Schadensschwelle und Biodiversität - passt das in ein Konzept?. *Julius-Kühn-Archiv* 478: 9-10. <https://doi.org/10.5073/20240108-094829-0>.

Steinmann, H.-H. (2021): Was ist eine Ökologische Schadensschwelle?. Fachbeirat "Pflanzenschutz und Nachhaltigkeit" beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.

Steinmann, H.-H., de Mol, F., Kakau, J., Gerowitt, B., (2021): Was sind „ökologische Schadensschwellen“?. 62. Deutsche Pflanzenschutztagung: Gesunde Pflanzen in Verantwortung für unsere Welt; 21. - 23. September 2021, -Kurzfassungen der Vorträge und Poster-, Julius-Kühn-Archiv. Online-Veranstaltung: 185. <https://doi.org/10.5073/20210721-093221>.

Steinmann, H.-H., de Mol, F., Zhang, H., Kakau, J., Gerowitt, B., (2021): Anwendung von Schadensschwellen im Raps und Weizen – Eine Übersicht. 62. Deutsche Pflanzenschutztagung: Gesunde Pflanzen in Verantwortung für unsere Welt; 21. - 23. September 2021, -Kurzfassungen der Vorträge und Poster-, Julius-Kühn-Archiv. Online-Veranstaltung: 185–186. <https://doi.org/10.5073/20210721-093221>

Steinmann, H.-H. (2022): Pflanzenschutz und Biodiversität - Geht das zusammen? BfN Workshop Insel Vilm.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Summe der Pflanzenschutzmaßnahmen in Raps und Weizen (links) und Anzahl der verwendeten Schwellenkonzepte (rechts) in den Betrieben.	12
Abb. 2:	Einschätzungen über die wirtschaftliche Wirkung der Anwendung von Schadensschwellen in Raps und Weizen (spontane Angaben ohne nähere Spezifizierungen; die Zahlen an der Box bilden den Mittelwert ab).....	13
Abb. 3:	Angaben zur Bereitschaft zur Förderung von Insekten beizutragen.	13
Abb. 4:	Ertragsverlust von Winterweizen (gelb), Existenzwert (blau) und der bilanzierte Verlust (Ertragsverlust - Existenzwert) (grün) für drei Ackerkrautszenarien (1. typisch, artenarm; 2. typisch, artenreich; 3. starke Unkrautarten, artenreich); (Tab. 2); (aus Bensch et al. in review).	17
Abb. 5:	Herbizidintensität (Behandlungsindex) und Herbizidkosten in Abhängigkeit von der Unkrautdiversität, bestimmt als Äquivalentartenreichtum und als Berger-Parker-Dominanzindex. Daten aus 15 Feldversuchen in Winterweizen (aus de Mol et al. in review).	21

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Ergebnisse der SWOT-Analyse	11
Tab. 2:	Mögliche Ackerkrautbefalls-Szenarien im Winterweizen.....	16
Tab. 3:	Anzahl genannter Verbindungen zwischen Ackerunkrautarten und den natürlichen Feinden von Arthropoden (Feinde), phytophagen Arthropoden (Phytophag), Arthropoden-Schädlinge (Schädlinge) und Bestäuber, sowie Anzahl der direkt und indirekt mit den Wirtspflanzen verknüpft mit Vögeln. ¹ https://gd.eppo.int/	35

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
Abb	Abbildung
BBCH	Entwicklungsstadium der Kultur gemäß Codeliste
BFH	Behandlungshäufigkeit
BI	Behandlungsindex (Maß der Behandlungsintensität)
BKR	Bekämpfungsrichtwert
CeBrUs	Entscheidungshilfemodell zur Unkrautbekämpfung in Winterkulturen
DIKO	Dikotyle Unkräuter
EPPO	European and Mediterranean Plant Protection Organization. Verwalten Standards.
Ev	Existenzwert
ha	Hektar
Kap.	Kapitel
o.ä.	Oder ähnliches
PSM	Pflanzenschutzmittel
SWOT	Stärken (Strengths), Schwächen (Weaknesses), Chancen (Opportunities), Risiken (Threats)
WET	Wirtschaftliche Schadenschwelle (Economic Threshold)
YLP	Ertragsverlustparameter (Yield Loss Parameter)
z.B.	Zum Beispiel

A Anhang

Tab. 3: Anzahl genannter Verbindungen zwischen Ackerunkrautarten und den natürlichen Feinden von Arthropoden (Feinde), phytophagen Arthropoden (Phytophag), Arthropoden-Schädlinge (Schädlinge) und Bestäuber, sowie Anzahl der direkt und indirekt mit den Wirtspflanzen verknüpft mit Vögeln.¹<https://gd.eppo.int/>

Unkrautart	EPO ¹	Arthropoden Kategorien				Vögel	
		Feinde	Phytophag	Schädlinge	Bestäuber	direkt	indirekt
<i>Aethusa cynapium</i>	AETCY	0	7	2	1	0	0
<i>Alopecurus myosuroides</i>	ALOMY	3	48	26	3	0	0
<i>Amaranthus retroflexus</i>	AMARE	1	10	8	1	9	15
<i>Anchusa arvensis</i>	LYCAR	3	19	3	1	0	0
<i>Apera spica-venti</i>	APESV	3	36	25	3	0	0
<i>Aphanes arvensis</i>	APHAR	0	26	2	0	0	0
<i>Arabidopsis thaliana</i>	ARBTH	0	15	9	1	0	0
<i>Bromus sterilis</i>	BROST	0	35	3	1	0	0
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	10	40	13	7	7	0
<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	3	74	7	28	1	12
<i>Chenopodium album</i>	CHEAL	3	40	8	7	20	17
<i>Cirsium arvense</i>	CIRAR	14	158	16	107	8	19
<i>Convolvulus arvensis</i>	CONAR	6	76	15	7	5	12
<i>Descurainia sophia</i>	DESSO	0	23	11	6	0	0

Unkrautart	EPPO ¹	Arthropoden Kategorien				Vögel	
		Feinde	Phytophag	Schädlinge	Bestäuber	direkt	indirekt
<i>Digitaria sanguinalis</i>	DIGSA	2	37	25	4	1	24
<i>Echinochloa crus-galli</i>	ECHCG	3	35	26	8	3	19
<i>Elymus repens</i>	AGRRE	0	49	5	5	2	0
<i>Euphorbia helioscopia</i>	EPHHE	7	48	5	10	1	0
<i>Fallopia convolvulus</i>	POLCO	0	12	2	1	13	27
<i>Galium aparine</i>	GALAP	0	147	3	19	8	0
<i>Geranium dissectum</i>	GERDI	0	28	5	2	5	25
<i>Glebionis segetum</i>	CHYSE	2	62	17	7	0	0
<i>Lactuca serriola</i>	LACSE	0	36	6	3	4	21
<i>Lamium purpureum</i>	LAMPU	0	73	5	22	5	25
<i>Lapsana communis</i>	LAPCO	0	16	4	13	2	0
<i>Lithospermum arvense</i>	LITAR	5	11	2	0	0	0
<i>Lolium perenne</i>	LOLPE	0	63	5	0	4	18
<i>Matricaria spec.</i>	1MATG	2	47	12	13	1	0
<i>Matricaria inodora</i>	MATIN	3	70	16	11	1	0
<i>Myosotis arvensis</i>	MYOAR	4	25	2	7	7	0
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	1	14	6	4	0	0
<i>Persicaria lapathifolia</i>	POLLA	2	58	8	12	6	25
<i>Poa annua</i>	POAAN	3	150	34	16	6	10

Unkrautart	EPPO ¹	Arthropoden Kategorien				Vögel	
		Feinde	Phytophag	Schädlinge	Bestäuber	direkt	indirekt
<i>Polygonum aviculare</i>	POLAV	2	139	11	24	9	30
<i>Polygonum persicaria</i>	POLPE	4	61	9	6	11	22
<i>Raphanus raphanistrum</i>	RAPRA	0	21	19	28	26	1
<i>Rumex acetosella</i>	RUMAA	1	278	13	16	20	23
<i>Senecio vulgaris</i>	SENVU	8	79	8	14	6	20
<i>Setaria viridis</i>	SETVI	2	43	27	3	7	18
<i>Sinapis arvensis</i>	SINAR	0	49	26	30	6	12
<i>Sisymbrium officinale</i>	SSYOF	0	35	16	4	0	0
<i>Solanum nigrum</i>	SOLNI	1	34	9	3	3	2
<i>Sonchus arvensis</i>	SONAR	2	55	10	24	8	10
<i>Sonchus oleraceus</i>	SONOL	3	51	16	6	2	17
<i>Spergula arvensis</i>	SPRAR	0	14	5	2	33	0
<i>Stellaria media</i>	STEME	7	113	7	15	21	10
<i>Taraxacum officinale</i>	TAROF	16	201	12	56	4	10
<i>Thlaspi arvense</i>	THLAR	1	17	12	7	6	4
<i>Veronica spec.</i>	1VERG	5	57	16	4	1	5
<i>Veronica agrestis</i>	VERAG	3	33	12	2	0	0
<i>Veronica hederifolia</i>	VERHE	3	32	11	2	0	0
<i>Vicia spec.</i>	1VICG	2	136	16	31	0	0

Unkrautart	EPPO ¹	Arthropoden Kategorien				Vögel	
		Feinde	Phytophag	Schädlinge	Bestäuber	direkt	indirekt
<i>Viola arvensis</i>	VIOAR	2	49	6	8	13	0

Die „BfN-Schriften“ sind eine seit 1998 unperiodisch erscheinende Schriftenreihe in der institutionellen Herausgeberschaft des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) in Bonn. Sie sind kurzfristig erstellbar und enthalten u.a. Abschlussberichte von Forschungsvorhaben, Workshop- und Tagungsberichte, Arbeitspapiere oder Bibliographien. Viele der BfN-Schriften sind digital verfügbar. Printausgaben sind auch in kleiner Auflage möglich.

DOI 10.19217/skr767