

Alternativen zu chemisch- synthetischen Pestiziden in der Landwirtschaft

**Zusammenfassung und Überblick
zum aktuellen wissenschaftlichen Stand**

Alternativen zu chemisch-synthetischen Pestiziden in der Landwirtschaft



Ecologic Institut gemeinnützige GmbH

Pfalzburger Straße 43/44
10717 Berlin
Tel: 030 8 68 80-0
Fax: 030 8 68 80-100
E-Mail: berlin@ecologic.eu

Auftraggeber:



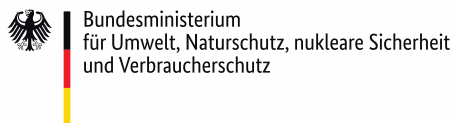
Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)

Kaiserin-Augusta-Allee 5
10553 Berlin
Tel: 030 2 75 86-40
Fax: 030 2 75 86-440
E-Mail: bund@bund.net
www.bund.net/landwirtschaft
Titelfoto: Peggychoucair/pixabay.com
V.i.S.d.P.: Petra Kirberger
September 2022

In der Broschüre werden sowohl die neutrale Schreibweise als auch das Gender-Sternchen (*) verwendet, um alle Geschlechter anzusprechen.

Die Studie des Ecologic Institut wurde vom BUND e.V. beauftragt und muss nicht in allen Punkten die Position des BUND e.V. wiedergeben. Sie ist als Diskussionspapier für eine gesellschaftliche Debatte gedacht.

Diese Broschüre wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz im Rahmen des Förderprojektes „GAP nach 2020: Für einen zukunftsfähigen Gesellschaftsvertrag mit der Landwirtschaft – Umsetzung gesamtgesellschaftlicher Anforderungen“ des Bundesamtes für Naturschutz finanziert (Förderkennzeichen: 3517841400).



Bundesamt für
Naturschutz

VORWORT

Liebe Leser*innen,

Insektensterben, Verlust der Biodiversität in der Agrarlandschaft, aber auch Pestizidrückstände in Obst, Gemüse und Brot? Das möchte sicher niemand. Genauso wenig wie Pestizide oder deren Abbauprodukte im Boden, im Wasser und in der Luft. Dennoch werden jährlich in Deutschland knapp 30.000 Tonnen chemisch-synthetische Pestizide ausgebracht, um gegen Beikräuter, Schadinsekten und Pilzkrankungen an Kulturpflanzen vorzugehen. Die bisherigen anzuerkennenden Anstrengungen für einen reduzierten Einsatz der Pestizide reichen leider nicht aus, um das Insektensterben zu stoppen.

Viele dieser Chemikalien sind hochgiftig, schädigen die Artenvielfalt, sind krebserregend oder sogar hormonell wirksam. Chemisch-synthetische Pestizide – auch Pflanzenschutzmittel genannt – sind dafür gemacht, um bestimmte Organismen, zum Beispiel spezifische Insekten zu töten oder zu schädigen. Doch leider gibt es auch große Schäden an Nichtzielorganismen, denn es trifft auch Nützlinge wie Wildbienen, Schmetterlinge, Käfer und Amphibien. Neben diesen direkten Effekten gibt es auch indirekte negative Auswirkungen von Pestiziden auf das Ökosystem: Totalherbizide wie Glyphosat töten alle Ackerwildkräuter ab, so dass blütenbesuchende Insekten keine Nahrung mehr finden. Insekten sind allerdings eine wichtige Lebensgrundlage unserer Ökosysteme. Sie bestäuben unsere Nahrungspflanzen, zersetzen organische Abfälle zu wertvollem Humus und sind Nahrungsgrundlage für zahlreiche Tiere wie Vögel, Fledermäuse und Fische.

Um das Artensterben in der Agrarlandschaft zu stoppen, brauchen wir deshalb dringend ein Umdenken in der Landwirtschaft. Der Bund für Umwelt und Naturschutz setzt sich für eine zukunftsfähige Landwirtschaft ein, die ökologischen Ansprüchen und dem Gemeinwohl gerecht wird. Wir benötigen eine sozial-ökologische Transformation der Land- und Ernährungswirtschaft. Ein wichtiger Teil dessen ist der Erhalt unserer struktur- und nutzungsreichen Kulturlandschaft als gesamtgesellschaftliche Aufgabe, die nicht den Landwirt*innen allein auferlegt werden kann. Ein weiterer Teil davon ist der Pestizidverzicht. Langfristig müssen wir aus der Nutzung chemisch-synthetischer Pestizide aussteigen. Die EU-Kommission hat das bereits erkannt und in ihrer Farm-to-Fork-Strategie ein Reduktionsziel von 50 Prozent vorgegeben und auch der Koalitionsvertrag sieht eine deut-

liche Pestizidreduktion vor. Die Umsetzung ist jedoch eine Herausforderung, daher ist jetzt die Bundesregierung gefragt, die Pestizidreduktion auf den Weg zu bringen.

Die negativen Folgen des Pestizideinsatzes sind längst bekannt. Doch warum ändert sich dennoch nichts in der Praxis? Da ist zum einen das Interesse der Pestizidkonzerne, denn einmal entwickelte und zugelassene Mittel sollen natürlich auch Gewinn bringen. Zum anderen wollen Bäuerinnen und Bauern mit der Ausbringung von Pestiziden in der Landwirtschaft sowie im Obst- und Weinbau ihre Ernte sichern und den Schädlingsbefall verhindern – was ein wichtiges Ziel ist. Landwirtschaftliche Beratung ist aber immer noch stark auf den Einsatz chemisch-synthetischer Pestizide ausgerichtet und weniger auf umweltfreundliche Alternativen.

Dabei gibt es sie, die Alternativen zum Pestizideinsatz. Die Ökolandwirtschaft kommt ohne chemisch-synthetische Pestizide aus und auch in der konventionellen Landwirtschaft gibt es viele gute Beispiele. Hier gilt der integrierte Pflanzenschutz: Dieses Prinzip gibt der Kombination von vorbeugenden Maßnahmen wie Fruchtfolgen, Mischkulturen, Saatabständen, angepassten Sorten und Förderung von Lebensräumen für Nützlinge Vorrang vor chemischen Maßnahmen, die nur als letztes Mittel eingesetzt werden dürfen. Doch die Praxis sieht leider oft gegenteilig aus.

Damit Bäuerinnen und Bauern motiviert sind, nicht chemische Alternativen einzusetzen, muss sich einiges ändern. Finanzielle Mittel müssen als Anreiz für die Umsetzung umweltfreundlicher Maßnahmen zur Verfügung stehen. Integrierter Pflanzenschutz muss tatsächlich umgesetzt werden und dazu ordnungsrechtlich verankert sein. Aber auch ein Verbot von besonders schädlichen Stoffen ist unumgänglich, um die Biodiversität zu schützen.

Statt die Forschung an weiteren chemisch-synthetischen Pestiziden voranzutreiben, muss die Forschung zu deren Alternativen gefördert werden, wobei es essentiell ist, die ökosystemaren Zusammenhänge im Blick zu behalten. In der landwirtschaftlichen Ausbildung und Weiterbildung muss zukünftig der Schutz der Biodiversität stärker auf dem Lehrplan stehen. Eine wichtige Rolle für die Akzeptanz von nicht chemischen Maßnahmen spielt die landwirtschaftliche Beratung, die ebenfalls ökologischere Alternativen stärker

einbeziehen muss. Für all diese Veränderungen ist die Bundesregierung gefragt, die entsprechenden Mittel zur Verfügung zu stellen und klare Zielvorgaben zu kommunizieren.

Was sind nun die Alternativen zum Einsatz von Fungiziden, Herbiziden und Insektiziden? Welche Potenziale haben sie und was sind Voraussetzungen für ihren Einsatz? Welche ackerbaulichen Maßnahmen minimieren Beikraut- und Schädlingsbefall? Wodurch können Nützlinge angelockt werden? Wie kann Pestizideinsatz bei Dauerkulturen wie Obst- und Weinbau reduziert werden? Welche Elemente aus dem Ökolandbau sind in die konventionelle Landwirtschaft übertragbar?

Diese und weitere Fragen haben wir dem Ecologic Institut gestellt und um Input für die Diskussion für einen zukünftig umweltfreundlicheren Pflanzenschutz gebeten. Wir wollen mit dieser Zusammenstellung einen Überblick darüber bieten, welche Potenziale, aber auch Schwierigkeiten mit den Alternativen zu chemisch-synthetischen Pestiziden verbunden sind, und auch darüber, wo es bei der Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes Ansatzpunkte gibt, die bisher zu wenig berücksichtigt werden. Die Forderungen, die sich daraus ableiten, werden wir in die politische Debatte einspeisen. Ich wünsche an dieser Stelle aber zunächst eine angenehme und erkenntnisreiche Lektüre.

Mit freundlichen Grüßen



Olaf Bandt
Vorsitzender des BUND

ZUSAMMENFASSUNG

Chemisch-synthetische Pestizide werden in der landwirtschaftlichen Praxis ausgebracht, um Schadinsekten, Pilze oder Beikräuter zu bekämpfen. Dadurch sollen Ertrag und Qualität der landwirtschaftlichen Kulturen gesichert und gesteigert werden. Das Ausbringen dieser Substanzen kann jedoch zu langfristigen negativen Effekten für die Umwelt und die Menschen führen. In der Europäischen Union gelten deshalb auch verbindliche Regelungen zur Anwendung des integrierten Pflanzenschutzes, der allerdings weiterhin nur lückenhaft angewendet wird. Die vom Ecologic Institut im Auftrag des BUND erstellte Kurzstudie widmet sich der Frage, welche Alternativen zu chemisch-synthetischen Pestiziden in der Landwirtschaft bereits vorhanden sind. Sie gibt einen Überblick zu nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen und ihren Potenzialen. Außerdem beleuchtet sie mögliche Ertrags- und Einkommensverluste und die Voraussetzungen für die Umsetzung der vorgestellten Alternativen. Zudem werden Praxisbeispiele aus der Landwirtschaft dargestellt, die zeigen, wie Bäuerinnen und Bauern bereits heute nicht chemisch ihre Ackerkulturen schützen.

Nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen und ihre Potenziale

Die Kurzstudie gibt einen Überblick über eine Vielzahl nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen. Wo es möglich ist, werden die damit einhergehenden Potenziale zur Reduktion chemisch-synthetischer Pestizide aufgeführt. Dabei wird zwischen indirekten und direkten Pflanzenschutzmaßnahmen sowie systemischen Ansätzen unterschieden. Ackerbauliche Maßnahmen und das Anlegen von landwirtschaftlichen Strukturelementen zur Förderung von Nützlingen gehören zu den vorbeugenden, indirekten Maßnahmen, während physikalische und biologische Maßnahmen zu den direkten Pflanzenschutzmaßnahmen zählen. Zu den ackerbaulichen Maßnahmen gehören unter anderem eine vielseitige Fruchtfolge, Mischkulturen, Zwischenfrüchte, Untersaaten und eine gezielte Sortenwahl. Landwirtschaftliche Strukturelemente wie Hecken, Baumreihen und Blühstreifen fördern die Lebensbedingungen und damit die Ansiedlung von Nützlingen. Zu den physikalischen und biologischen Maßnahmen zählen die mechanische und thermische Unkrautbekämpfung sowie die physikalische Saatgutbehandlung. Auch der Einsatz von Makro- und Mikroorganismen hat das Potenzial, chemisch-synthetische Pestizide effektiv zu ersetzen. So wird etwa die gezielte Ansiedlung von Makroorganismen wie Insekten, Spinnentieren und Nematoden im biologischen Pflanzenschutz als Gegenspieler von Schädlingen eingesetzt.

Systemische Ansätze wie der integrierte Pflanzenschutz, aber genauso der Ökolandbau und die Agrarökologie kombinieren indirekte und direkte Maßnahmen und zielen darauf ab, die Widerstandskraft der Kulturpflanze zu stärken, und die Kultur weniger anfällig gegenüber Krankheiten, Schädlingen und konkurrenzfähiger gegen Beikräuter zu machen. Der integrierte Pflanzenschutz als Basis des europäischen Rechtsrahmens der Pestizidanwendung sieht dabei vor, dass zunächst indirekte, also vorbeugende Maßnahmen anzuwenden, und direkte Eingriffe (insbesondere die Anwendung von Pestiziden) nur nachgelagert zu nutzen sind. Während der Integrierte Pflanzenschutz bislang nicht ausreichend umgesetzt wird, zeigt vor allem der Ökolandbau, dass sich mit dem kombinierten Einsatz aus vorbeugenden und direkten Maßnahmen der Einsatz von Pestiziden überflüssig machen lässt.

Das Ecologic Institut geht ebenfalls auf den Sonderkulturanbau ein. Im Wein-, Gemüse-, Obst- und Hopfenanbau wird ein Großteil der Pestizide ausgebracht. Gründe hierfür sind vor allem, dass viele der vorbeugenden ackerbaulichen Maßnahmen nicht eingesetzt werden können, da die Kulturen eine längere Standzeit haben, in der sich mehr Schaderreger ansiedeln können. Deshalb ist die Etablierung eines stabilen, langfristigen und tragfähigen Systems zentral, das auf eine Kombination von Pflanzenschutzmaßnahmen setzt. Dazu gehören beispielsweise durchlüftete Standorte, ausreichend Abstand, Ansiedlung von Nützlingen, robuste Sortenwahl und physikalische Maßnahmen. Kaolin, ein weißes Tongestein, wird zum Beispiel zur Bekämpfung der Kirschesigfliege im Weinbau eingesetzt.

Mögliche Ertrags- und Einkommensverluste

Die Sorge um Ertrags- und Einkommensverluste gehört zu den am meisten genannten Gründen, warum Landwirtinnen und Landwirte nicht auf Pestizide verzichten wollen. Diese Sorge ist nicht immer berechtigt, denn die aktuelle Studienlage ist divers und reicht von potenziellen Ernteausfällen durch Krankheiten und Schädlinge zwischen 17 und 40 Prozent bis hin zu Studien, die aufzeigen, dass insgesamt eine Reduktion von Pestiziden ohne negative Auswirkungen auf die Produktivität und Rentabilität der Betriebe möglich ist. Mit Blick auf Einzelwirkstoffe wie Glyphosat können laut Studienlage unter guten landwirtschaftlichen Bedingungen sogar Kosteneinsparungen möglich sein.

Voraussetzungen für den Einsatz nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen

Die Autor*innen kommen zu dem Schluss, dass die in der Studie genannten nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen Alternativen darstellen können, wenn die Rahmenbedingungen stimmen und Landwirt*innen bei der Umsetzung unterstützt werden. Sie stellen daher verschiedene Instrumente vor, die dazu beitragen können, dass Landwirt*innen nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen bevorzugt anwenden und der integrierte Pflanzenschutz umgesetzt wird. Neben ökonomischen und ordnungsrechtlichen Instrumenten heben sie das Monitoring sowie eine entsprechende landwirtschaftliche Ausbildung und Pflanzenschutzberatung hervor und nennen auch weitere Instrumente wie beispielsweise Ernteausfallversicherungen. Dies und eine (stärkere) Ausrichtung insbesondere der Ausbildung und Beratung am integrierten Pflanzenschutz können ein unterstützendes Umfeld für Landwirt*innen schaffen, um nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen vorrangig anzuwenden. Klassische ökonomische Instrumente wie Förderung des Nicht-Einsatzes, aber auch Steuern oder Abgaben auf die Anwendung von Pestiziden (wie die Pestizidabgabe) führen dagegen eher auch bei potenziell sinkenden Erträgen zu einer veränderten Kosten-Nutzen-Erwägung der Landwirt*innen. Durch die Schaffung von ordnungsrechtlichen Vorgaben – damit sind beispielsweise Verbote gemeint – kann der Einsatz von nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen verringert werden. Darunter fällt das vorgesehene Anwendungsverbot des Pestizidwirkstoffs Glyphosat zu Ende 2023.

Politikempfehlungen

Die Kurzstudie gibt Politikempfehlungen zur Umsetzung von Förderungen, Beratungen und ordnungsrechtlichen Maßnahmen. Dass der kombinierte Einsatz aus präventiven (ackerbauliche Maßnahmen, landwirtschaftliche Strukturelemente) und direkten Maßnahmen (physikalische und biologische Pflanzenschutzmaßnahmen) den Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden signifikant mindern oder unnötig machen kann, zeigt insbesondere der Ökolandbau. Daher ist der Ausbau auf 30 Prozent im Jahr 2030 abzusichern.


Insgesamt, so fordern es die Autor*innen, müssen sich Maßnahmen am Ziel des integrierten Pflanzenschutzes ausrichten. Die Officialberatung der Bundesländer ist dabei ein wichtiges Instrument, muss jedoch finanziell und personell deutlich besser ausgestattet werden. Zudem sind eine ein-

deutige EU-übergreifende rechtliche Definition des biologischen Pflanzenschutzes, eine Anpassung des Zulassungssystems auf EU-Ebene sowie die politische Diskussion über das Ausmaß externer Kosten des chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes dringend notwendig. Eine zentrale Rolle spielt außerdem der Nationale Strategieplan zur gemeinsamen Europäischen Agrarpolitik (GAP), der unbedingt nachgebessert werden muss.

Das Ecologic Institut stellt eine Vielzahl von nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen vor und gibt Impulse, wie chemisch-synthetische Pestizide reduziert oder ersetzt werden können. Die Autor*innen raten, dass die Einführung einer Pestizidabgabe in Erwägung gezogen werden sollte. Damit Landwirt*innen beim Übergang zu einer pestizidarmen Landwirtschaft begleitet werden, sind aber vor allem sinnvolle Anreize beim Ordnungsrecht, der Förderung und der Beratung für umweltverträgliche Alternativen zu chemisch-synthetischen Pestiziden gefragt.

Alternativen zu chemisch-synthetischen Pestiziden in der Landwirtschaft

Zusammenfassung und Überblick zum aktuellen wissenschaftlichen Stand

A decorative graphic on the left side of the page consists of several overlapping geometric shapes: a large grey triangle pointing right, a smaller grey triangle pointing left, and a blue triangle pointing right, all overlapping each other and the page content.

Aaron Scheid
May Hobeika
Antonia Riedel

Kurzstudie
Juni 2022

Kontakt

Aaron Scheid
Fellow
Ecologic Institut
Pfalzburger Straße 43/44
10717 Berlin
E-Mail: aaron.scheid@ecologic.eu

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Zusammenfassung	5
Abkürzungsverzeichnis	10
Glossar	11
1 Warum wir alternative Pflanzenschutzmaßnahmen brauchen.....	13
2 Nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen und ihre Potenziale.....	15
2.1 Ackerbauliche Maßnahmen.....	17
2.2 Landwirtschaftliche Strukturelemente zur Förderung von Nützlingen.....	21
2.3 Physikalische und mechanische Maßnahmen im Anbau.....	23
2.4 Biologische Pflanzenschutzmaßnahmen.....	25
2.5 Systemische Ansätze.....	27
2.6 Exkurs: Sonderkulturen (Apfel- und Weinanbau)	29
3 Mögliche Ertrags- und Einkommensverluste	30
4 Voraussetzungen für den Einsatz nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen.....	33
4.1 Ökonomische und ordnungsrechtliche Instrumente.....	33
4.2 Diagnose, Monitoring und Schwellenwerte.....	34
4.3 Landwirtschaftliche Ausbildung und Pflanzenschutzberatung.....	35
4.4 Ernteausfallversicherungen.....	36
5 Politikempfehlungen.....	36
6 Danksagung.....	38
7 Das Ecologic Institut: Wissenschaft und Forschung für eine nachhaltige Welt.....	40
8 Quellenverzeichnis.....	41

Abkürzungsverzeichnis

BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
° C	Grad Celsius
ESFA	European Food Safety Authority, die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EU	Europäische Union
FDP	Freie Demokratische Partei
GAP	Gemeinsame EU-Agrarpolitik
HLPE	High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition
INRA	Institut national de la recherche agronomique, Nationales Institut für Agronomieforschung
JKI	Julius Kühn-Institut
NAP	Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development, Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
PAN	Pestizid Aktions-Netzwerk e.V.
PAPA	Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen
PfISchG	Pflanzenschutzgesetz
PfISchAnwV	Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
SUD	Sustainable Use Directive, Aktionsrahmen für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden
UBA	Umweltbundesamt
USA	United States of America, Vereinigte Staaten von Amerika
US-Dollar	United States dollar

Glossar

Allelochemikalien	Botenstoff, der die Kommunikation zwischen Individuen verschiedener Arten ermöglicht
Arthropoden	Wirbellose Tiere wie Insekten oder Spinnen
Befallsdruck	Risikoindex, der jährlich die Belastung durch Schadorganismen beschreibt
Biologische Pflanzenschutzmittel	Förderung der Pflanzengesundheit durch naturbasierte Pflanzenschutzverfahren, ohne negative Auswirkungen für menschliche Gesundheit, Biodiversität und Umwelt
Biozide	Substanzen, die Schädlinge wie Insekten, Mäuse, Algen, Pilze oder Bakterien bekämpfen (zum Beispiel Reinigungs- und Desinfektionsmittel). Nicht für die direkte Anwendung an Pflanzen geeignet
Chemisch-synthetische (Pestizide)	Bezeichnet den Vorgang (Synthese) zur Herstellung von Wirkstoffen im Labor
Egge	Bodenbearbeitungsgerät zur Lockerung des Bodens und zur Bekämpfung von Unkraut
Fungizide	Chemisch-synthetische Wirkstoffe zur Bekämpfung von Schadpilzen
Herbizide	Chemisch-synthetische Wirkstoffe zur Bekämpfung von Unkraut und Gräsern
Inerte Gase	Gase, die im Vorratsschutz angewendet werden und dadurch Pflanzenerzeugnissen vor Schadorganismen schützen
Insektizide	Chemisch-synthetische Wirkstoffe zur Bekämpfung von Schadinsekten
Leguminosen	Artenreiche Pflanzenfamilie, die auch Hülsenfrüchte genannt werden, und dessen Wurzelknöllchen eine Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien (Rhizobien) eingehen (zum Beispiel Kichererbsen, Bohnen, Lupinen, Klee, Luzerne, Akazien)
Neonicotinoide	Hochwirksame systemische Insektizide, von denen viele als hochgefährliche chemische-synthetische Pestizide (HHPs) eingestuft sind
Nematoden	Fadenwürmer, die meistens nur wenige Millimeter klein und deshalb schwer zu erkennen sind
Nicht-Zielorganismen	Organismen (wie zum Beispiel Insekten), die bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nicht geschädigt werden sollen

Oomyzeten	Verwandt mit Malariaerregern und Braunalgen. Bauen Pflanzenreste ab, parasitieren Tiere, Pflanzen, Pilze, Einzeller und Grund für verschiedene Pflanzenkrankheiten
Parasitierung	Vorgang, bei dem ein Nützling in den Schädling eindringt, um sich von ihm zu ernähren oder seine Eier in ihm abzulegen, wodurch der Schädling stirbt
Pestizide	Als chemisch-synthetische Pestizide werden viele unterschiedliche Stoffe und Stoffkombinationen bezeichnet, die als Pflanzenschutzmittel oder als Biozide eingesetzt werden. Sie sind giftig insbesondere für Pflanzen (Herbizide), Insekten (Insektizide) oder Pilze (Fungizide). Chemisch-synthetische Pestizide sind dazu gemacht, unerwünschte Organismen zu töten oder zu schädigen und damit die landwirtschaftliche Kultur zu schützen.
Saatbett	Ackerboden, der für Kulturpflanze vorbereitet wurde (zum Beispiel durch Pflügen)
Striegel	Landtechnikgerät zum Ausreißen und Verschütten von Unkraut
Unkrautkur	Oder auch „falsches Saatbett“ genannt. Kann dabei helfen, den Samenvorrat von einjährigen Unkräutern im Boden vor der Aussaat der Kulturpflanze deutlich zu reduzieren. Mit dieser Methode werden die Samen der Unkräuter im Boden im Vorfeld durch das Anlegen des Saatbetts zur Keimung angeregt und anschließend werden die Keimlinge durch mechanische Bearbeitung (Striegel oder Egge) zerstört.
Untersaat	Anbau einer Zweitfrucht neben der Hauptfrucht. Dient als Bodenbedeckung, Gründüngung oder Erosionsschutz
Viroide	Kleinste bisher bekannte nur bei Pflanzen nachgewiesene Krankheitserreger

1 Warum wir alternative Pflanzenschutzmaßnahmen brauchen

Seit Jahren schafft es das Totalherbizid Glyphosat regelmäßig in die Schlagzeilen der Presse. Es ist aufgrund der negativen Auswirkungen auf Natur und Umwelt und die Debatte um seine Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit wohl das bekannteste auf dem Markt¹. Dabei ist Glyphosat nur eines von sehr vielen chemisch-synthetischen Pestiziden, die regelmäßig in großen Mengen in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen.

Chemisch-synthetische Pestizide werden in der landwirtschaftlichen Praxis ausgebracht, um Ertrag und Qualität der landwirtschaftlichen Kulturen zu steigern, indem sie Schadinsekten, Pilze oder Beikräuter beseitigen oder dezimieren. Sie sollen Nutzpflanzen und deren Erzeugnisse vor Schädlingen, Krankheitserregern und Unkräutern schützen. Das Ausbringen dieser Substanzen in der Landwirtschaft führt zu langfristigen negativen Effekten für Mensch und Umwelt. Dazu gehört vor allem: 1) der dramatische Rückgang von Insekten, Vögeln und anderen Arten (Sanchez-Bayo & Wickhuis, 2019; Geiger et al., 2010), 2) die Belastung von Gewässern und Böden (Stehle & Schulz, 2015; Techen & Helming, 2017) und 3) die Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch Kontamination von Lebensmitteln (Nougadère et al., 2020), Inhalation über die Luft oder direkten Hautkontakt (Nicolopoulou-Stamati et al., 2016; Kim, 2017).

In Deutschland wurden 2020 circa 27.840 Tonnen Pestizidwirkstoffe² (44,3 Prozent Insektizide, 30,4 Prozent Herbizide und 19,8 Prozent Fungizide) verkauft (BVL, 2022). Die Absatzmenge ist ein erster Indikator für den Umfang des Einsatzes von chemisch-synthetischen Pestiziden in der Landwirtschaft. Genaue Daten zur Ausbringung werden jedoch nicht erhoben.

Moderne chemisch-synthetische Pestizide zeigen eine immer effizientere Wirkung: verglichen mit älteren chemisch-synthetischen Pestiziden haben geringere Mengen eine stärkere Wirkung (Schäffer et al., 2018). Umgerechnet auf durchschnittliche Aufwandsmengen und landwirtschaftliche Fläche wurden 2,8 Kilogramm Wirkstoff pro Hektar im Jahr 2020 ausgebracht. Unter Berücksichtigung von Beistoffen (zum Beispiel Lösungsmittel und Wirkverstärker) kann man von 8,8 Kilogramm Pflanzenschutzmittel pro Hektar Ackerfläche ausgehen (Frische et al., 2016). In Sonderkulturen (Wein-, Gemüse-, Obst- und Hopfenanbau) wird aufgrund der besonderen Anfälligkeit der Kulturen, aber auch deren ökonomischer Bedeutung, ein Großteil der chemisch-synthetischen Pestizide ausgebracht (circa 44 Prozent aller Wirkstoffe) (Niggli et al., 2020).

Der Klimawandel beschleunigt die Verbreitung und Weiterentwicklung von Schädlingen, Unkräutern sowie Krankheiten und erhöht dadurch den Druck auf Kulturpflanzen (Krengel-Horney et al., 2021). Die Entwicklung von Resistenzen gegenüber chemisch-synthetischen Pestiziden ist ein zunehmendes Problem (Hawkins et al., 2019). Durch den Einsatz von mehr chemisch-synthetischen Pestiziden und neuen chemischen Formulierungen werden diese Probleme, unter Berücksichtigung der vielfältigen Risiken, nicht nachhaltig gelöst werden können. Stattdessen ist ein grundsätzliches Umdenken bei der Anwendung von Pflanzenschutzmaßnahmen gefordert. Der Einsatz und die Förderung nicht chemischer

¹ Laut der fünften Verordnung zur Veränderung der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung ist ein Anwendungsverbot ab 2024 vorgesehen.

² Ohne inerte Gase. Inerte Gase werden vor allem im Vorratsschutz angewendet.

Pflanzenschutzmaßnahmen leisten einen wichtigen Beitrag hin zu einer pestizidfreien Landwirtschaft in den kommenden Jahrzehnten (INRA, JKI, Leibniz & ZALF, 2018).

Diese Kurzstudie gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft zu nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen und ihren Potenzialen, mögliche Ertrags- und Einkommensverluste und den Voraussetzungen für die Umsetzung dieser Pflanzenschutzmaßnahmen. Praxisbeispiele aus der Landwirtschaft zeigen, wie nicht chemische Alternativen bereits heute Anwendung finden.

Politische Einordnung

Die Diskussion um mögliche Alternativen zu chemisch-synthetischen Pestiziden hat in den vergangenen Jahren an Fahrt aufgenommen. Im April 2013 hat die deutsche Bundesregierung den „Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“ (NAP) beschlossen und damit die in Artikel 4 der EU-Richtlinie 2009/128/EG (Richtlinie über einen Aktionsrahmen für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden (SUD) festgelegten Ausführungen gesetzlich verankert. Ziel des NAP war es, die Risiken durch chemisch-synthetische Pestizide für die Natur und insbesondere für bestäubende Insekten bedeutend zu minimieren, nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen einzuführen und weiterzuentwickeln sowie chemisch-synthetische Pestizide auf das notwendige Maß zu begrenzen und damit integrierten Pflanzenschutz umzusetzen. Das Umweltbundesamt und Umweltverbände sehen die Ziele und vor allem die Umsetzung des NAP jedoch kritisch unter anderem aufgrund fehlender Reduktionsziele und einer nicht ausreichenden Definition „unnötiger Anwendungen“ (Pestizid Aktions-Netzwerk e.V et al., 2012; Frische et al., 2016). Damit ist die Anwendung von chemisch-synthetischen Pestiziden weiterhin gegenüber den nicht chemischen Pflanzenschutzmitteln bevorzugt, da sie aus Sicht der Landbewirtschaftler*innen direkt wirksam, einfacher anwendbar und ökonomischer sind (Schäffer et al., 2018). Die gesetzlich vorgeschriebene Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes bleibt damit lückenhaft (Thiel, 2021).

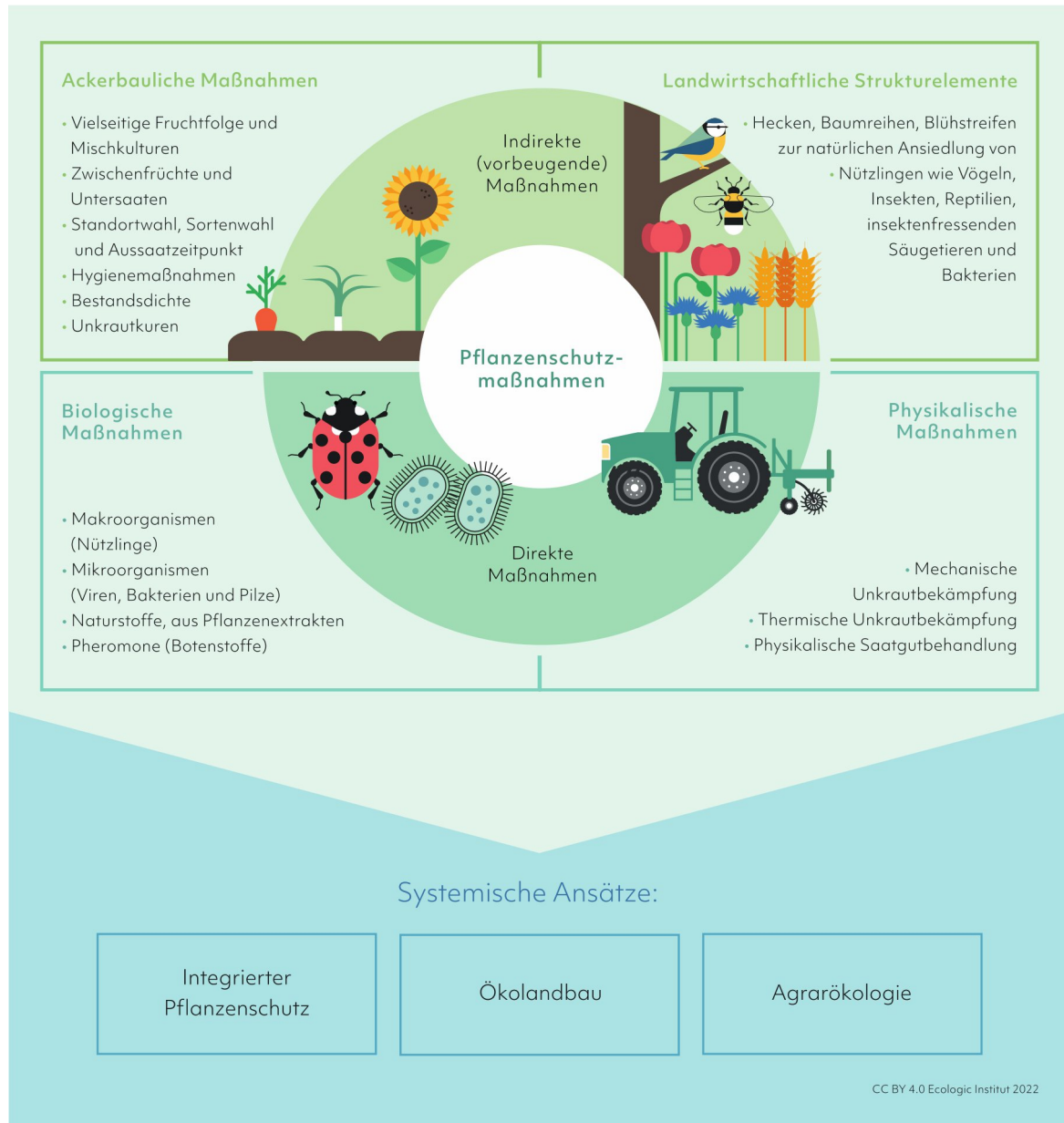
Mit der Farm-to-Fork-Strategie und dem Vorschlag einer Reform der SUD hat die EU-Kommission signifikante Minderungsziele identifiziert. In dem Reformvorschlag werden erstmalig verbindliche Reduktionsziele für chemisch-synthetische Pestizide um 50 Prozent bis 2030 vorgeschlagen (Europäische Kommission, 2020; 2022). Zuletzt hat die deutsche Bundesregierung (SPD, Bündnis 90/DIE GRÜNEN, FDP) die Reduktion von chemisch-synthetischen Pestiziden im Koalitionsvertrag verankert. Darüber hinaus sollen natur- und umweltverträgliche Alternativen gefördert werden (SPD, Bündnis 90/DIE GRÜNEN & FDP, 2021).

2 Nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen und ihre Potenziale

Es gibt eine Vielzahl nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen, die in indirekte (vorbeugende) und direkte Pflanzenschutzmaßnahmen unterschieden werden können (siehe Abbildung 1). Zu den vorbeugenden Maßnahmen zählen ackerbauliche Maßnahmen und das Anlegen von landwirtschaftlichen Strukturelementen zur Förderung von Nützlingen (oberer Rahmen in Abbildung 1), während physikalische und biologische Maßnahmen zu den direkten Pflanzenschutzmaßnahmen zählen (unterer Rahmen in Abbildung 1). Der integrierte Pflanzenschutz sieht vor, dass die indirekten Maßnahmen vorrangig zum Einsatz kommen sollen, während die direkten Maßnahmen nachgelagert den Schadensfall begrenzen können. Nur wenn die nicht chemischen Maßnahmen ordnungsgemäß angewendet wurden und nicht ausreichend sind, ist der Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden als letztes Mittel denkbar. Diese Herangehensweise wird aus unterschiedlichen Gründen bisher nicht ausreichend umgesetzt (Niggli et al., 2019).

Abbildung 1: Übersicht nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen (Eigene Abbildung).

Übersicht nicht chemischer
Pflanzenschutzmaßnahmen



Nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen können in indirekte (oberer Rahmen) und direkte Pflanzenschutzmaßnahmen (unterer Rahmen) unterteilt werden. Die systemischen Ansätze Ökolandbau, Agrarökologie und der integrierte Pflanzenschutz bestehen überwiegend aus einer kombinierten Anwendung nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen.

Die einzelnen nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen können immer nur einen Teil zur Lösung beitragen und entfalten erst in ihrer Kombination die volle Wirksamkeit. Bei der Anwendung nicht chemischer Alternativen geht es daher nicht um den Eins-zu-Eins-Ersatz von chemisch-synthetischen Pestiziden, sondern um die Stärkung der Widerstandskraft eines Pflanzenbausystems, das aufgrund dieser Maßnahmen deutlich weniger anfällig gegenüber

Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern ist. Systemische Ansätze wie der Ökolandbau oder die Agrarökologie stellen genau das in den Fokus und bieten eine Kombination von verschiedenen Maßnahmen an, um die Anwendung von chemisch-synthetischen Pestiziden vorzubeugen oder zu reduzieren. Die Reduktionspotenziale von chemisch-synthetischen Pestiziden durch den Einsatz nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen sind stark abhängig von der Kulturart, der Art der Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter, dem Standort und den äußeren Einflüssen wie dem Wetter. Eine ökonomische Bewertung und Vergleichbarkeit zwischen den Maßnahmen ist daher schwierig (BVL, 2011).

In den folgenden Kapiteln werden die nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen vorgestellt und wo möglich Potenziale zur Reduktion des Einsatzes chemisch-synthetischer Pestizide angeführt. Die Besonderheiten im Sonderkulturanbau und insbesondere im Apfel- und Weinanbau werden in einem Exkurs (Kapitel 2.6) dargestellt.

2.1 Ackerbauliche Maßnahmen

Ackerbauliche Maßnahmen zur Pestizidreduktion verfolgen das Ziel, Boden und Pflanzen gesund zu halten, um das natürliche Abwehrsystem gegenüber Krankheitserregern und Schädlingen zu stärken und gleichzeitig Bedingungen zu schaffen, die sich ungünstig auf die Entwicklung von Unkräutern, Krankheitserregern und Schädlingen auswirken. Dadurch lässt sich der Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden zu einem späteren Zeitpunkt vermeiden. Zu den wichtigsten Maßnahmen gehören (Lamichhane et al., 2015):

- **eine vielseitige Fruchtfolge und Mischkulturen,**
- **Zwischenfrüchte und Untersaaten,**
- **Unkrautkuren,**
- **Standortwahl, Sortenwahl und Aussaatzeitpunkt,**
- **Bestandsdichte,**
- **Bodenfruchtbarkeit und**
- **Hygienemaßnahmen.**

Eine vielseitige und gut durchdachte **Fruchtfolge** mit Anbaupausen kann das Auftreten von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern gezielt verhindern und beeinflussen (Böhm, 2014). Der Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden kann dadurch reduziert (Andert et al., 2016) oder wie im Ökolandbau sogar komplett verzichtbar werden. Je nach Ackerkultur können Fruchtfolgen jedoch sehr unterschiedlich aussehen. Vor allem im Ökolandbau kommt der Fruchtfolge eine besondere Bedeutung zu. Zu den Grundregeln für Fruchtfolgen im Biobetrieb gehören mindestens 20 Prozent Dauerbegrünung (zum Beispiel Klee gras und Luzerne), um die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen und die Entwicklung von Disteln zu unterdrücken, maximal 50 Prozent Getreide, je nach Getreideart ein bis drei Jahre Anbaupause und der Wechsel zwischen Winter- und Sommerkulturen sowie Früh- und Spätsaaten (siehe dazu auch Tabelle 1) (Dierauer et al., 2021).

Tabelle 1: Typische achtegliedrige Fruchtfolge im Ökolandbau bei einem viehhaltenden Betrieb mit tonigem Boden und guter Wasserversorgung (Dierauer et al., 2021)

1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr	6. Jahr	7. Jahr	8. Jahr
Klee-grass	Klee-grass	Silo-mais	Winter-weizen	Raps	Dinkel	Körner-leguminosen	Roggen

Ein langfristig angelegter Feldversuch in vier Regionen Norddeutschlands hat deutlich gezeigt, dass der Ertrag einer ausgewählten Fruchtfolge im Getreideanbau weniger abhängig von Herbiziden ist und im Gegensatz dazu der Anbau von Mais drei Jahre in Folge ohne Fruchtwechsel eines deutlich höheren Herbizideinsatzes bedarf (Andert et al., 2016). Ein seit 1998 laufender Dauerfeldversuch³ des Julius Kühn-Instituts an verschiedenen Standorten in Deutschland zeigt, dass das Auftreten einer Unkrautart in einer vielfältigen Fruchtfolge generell niedriger ist als auf den Vergleichsfeldern mit Winterroggen im Daueranbau. Beim Kartoffelanbau sieht es ähnlich aus. Die Aufnahme von einjährigen Sommer- als auch einjährigen Winterkulturen in die Fruchtfolge sowie ein Wechsel aus Ackerkulturen, die früh und spät gepflanzt werden, können dazu führen, den Unkrautdruck zu reduzieren (Stark & Thornto, 2020). Eines der Sorgenkinder unter den Landwirt*innen ist die Ausbreitung des Ackerfuchsschwanzes insbesondere beim Anbau von Wintergetreide und Raps. Durch eine angepasste Fruchtfolge mit Sommergetreide und Blattfrüchten wie zum Beispiel Mais und Kartoffeln kann dieses Schadgras ohne Einsatz von Herbiziden zurückgedrängt werden (LfL, 2019). Im Kartoffelanbau kann durch eine Fruchtfolgeplanung der Befallsdruck von Drahtwürmern erheblich gesenkt werden (siehe Praxisbeispiel 1).

Auch der Anbau von **Mischkulturen** kann eine Möglichkeit sein, den Unkrautdruck zu reduzieren. Dabei geht es um den Anbau von mindestens zwei Ackerkulturen auf derselben Fläche zur selben Zeit. Die Feldfrüchte müssen miteinander harmonieren, zum Beispiel, wenn es um Erntezeitpunkt und Wasserbedarf geht. Bewährt hat sich die Kombination aus Körnerleguminosen (wie Erbse oder Ackerbohne) und Getreide. Das schnellwüchsige Getreide schirmt den Boden ab und dient damit den Körnerleguminosen als Stützfrucht. Dies reduziert die Spätverunkrautung. Solche Mischkulturen erzielen gemeinsam häufig einen höheren Flächenertrag als der Anbau der einzelnen Kultur (Dierauer et al., 2021).

Schnellwüchsige **Zwischenfrüchte** decken den Boden nach der Ernte der Hauptkultur rasch ab und unterdrücken dadurch Samen- und Wurzelunkräuter wie zum Beispiel Quecken (Fogliatto et al., 2020). Zu den klassischen Zwischenfrüchten gehören Senf, Raps oder Ölrettich (Dierauer et al., 2021). **Untersaaten** hingegen werden bereits während des Hauptfruchtanbaus eingesetzt, um den Boden zu bedecken und damit Unkräuter zu unterdrücken. Dabei muss vor allem auf den Aussaattermin geachtet werden, da eine zu frühe Aussaat in Konkurrenz mit der Hauptfrucht stehen kann, während sich die Untersaat bei einer zu späten Aussaat nur ungenügend entwickeln kann.

Unkrautkuren, oder auch „falsches Saatbett“ genannt, können dabei helfen, den Samenvorrat von einjährigen Unkräutern im Boden vor der Aussaat der Kulturpflanze deutlich zu reduzieren. Mit dieser Methode werden die Samen der Unkräuter im Boden im Vorfeld durch das Anlegen des Saatbetts zur Keimung angeregt und anschließend werden die Keimlinge durch mechanische Bearbeitung (Striegel oder Egge) zerstört (Bartels et al., 2020).

³ Schwarz, Jürgen / Klocke, Bettina / Freier, Bernd: Einfluss von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz auf den Unkrautauflauf in einem Dauerfeldversuch, 2014.

Die **Standortauswahl** ist ein wichtiger Faktor, damit sich konkurrenzfähige Hauptkulturen entwickeln können. Bei einer falschen Standortauswahl können schnell Krankheiten und Unkräuter die Überhand gewinnen. Beispielsweise beim Rapsanbau sind vor allem mittelschwere bis schwere Böden zu bevorzugen, die über eine ausreichende Wasserversorgung verfügen (Bartels et al., 2020). Auch Winterweizen hat hohe Bodenansprüche, kann jedoch aufgrund hoher Wurzelbildung auch in niederschlagsarmen Gebieten hohe Erträge liefern (Guddat et al., 2015).

Die **Sortenwahl** kann ein wichtiger Faktor im Kampf gegen Krankheiten und Schädlinge sein. Nicht nur, aber vor allem im Ökolandbau spielt die Auswahl von resistenten und robusten Sorten, die auf die Region und den Standort angepasst sind, eine wichtige Rolle (Dierauer et al., 2021). Auch das Ertragspotenzial muss dabei berücksichtigt werden. Zum Beispiel schädigt der Rapsglanzkäfer den Raps nur im Knospenstadium. Werden Sorten mit frühem Blühzeitpunkt und einer kurzen Rapsblüte gewählt, kann sich der Rapsglanzkäfer deutlich weniger stark vermehren (Bartels et al., 2020).

Zu **dichte Bestände** begünstigen die Entstehung und Ausbreitung von Krankheiten aufgrund einer fehlenden Durchlüftung und eines schlechten Mikroklimas (LTZ, 2021). Daher ist die Abschätzung zur Bestandsdichte je nach Ackerkultur und Standort wichtig, um Krankheiten vorzubeugen. Anders ist es bei Leguminosen-Gras Mischbeständen, die eine zentrale Rolle im Ökolandbau spielen, um die Bodengesundheit zu fördern und Humus aufzubauen. Hier sind möglichst dichte Bestände wichtig, um Samen- und Wurzelunkräuter zu unterdrücken (Dierauer et al., 2021).

Auch der **Aussaatzeitpunkt** kann eine wichtige Rolle spielen, um dem Befall durch Schaderreger und der unkontrollierten Ausbreitung von Unkräutern und Schadgräsern vorzubeugen. So führt zum Beispiel eine spätere Aussaat des Winterraps zu weniger Befall mit Rapserrdfloh (Bartels et al., 2020). Der Ackerfuchsschwanz hat sich in den vergangenen Jahren beim Anbau von Wintergetreide und Raps immer weiter ausgebreitet. In Bayern ist der Wintergerstenanbau davon besonders betroffen, weil sich der Ackerfuchsschwanz in der Kultur besonders gut entwickeln kann. Durch eine späte Aussaat kann das Massenaufreten begrenzt werden (LfL, 2019).

Gesunde und ertragreiche Pflanzen sind auf **gesunde und fruchtbare Böden** angewiesen, die im Ökolandbau von zentraler Bedeutung sind (Böhler et al., 2021). Die Bodenfruchtbarkeit hängt sehr stark von der Bewirtschaftung und den oben genannten ackerbaulichen Maßnahmen ab. Hinzu kommt ein angepasstes Düngemanagement, auf das an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden kann.

Mit den richtigen **Hygienemaßnahmen** können in der Saatlagerung beispielsweise Pilzkrankheiten vor Ausbringung vermieden werden. Mit der Reinigung von Bodenbearbeitungsgeräten wird dem späteren Verschleppen von Unkrautsamen entgegengewirkt. Im Obstbau kann die Reinigung von Schnittwerkzeugen die Ausbreitung von Krankheiten verhindern (Dierauer et al., 2021).

Besonders wirkungsvoll ist die Kombination aus verschiedenen vorbeugenden ackerbaulichen Maßnahmen, wie das Praxisbeispiel 2 im Knoblauchanbau zeigt.

Praxisbeispiel 1: Drahtwürmer durch Fruchtfolgeplanung im Kartoffelanbau minimieren

Kulturart: Kartoffel

Schädlingsart: Drahtwurm

Eingesetzte Alternative zu chemisch-synthetischen Pestiziden: Fruchtfolgeplanung

Drahtwürmer, die Larven des Schnellkäfers, sind sowohl in konventionell als auch in ökologisch bewirtschafteten Flächen ein Problem. Die Tiere bohren sich durch die Kartoffelknollen und machen diese damit für den Verkauf unbrauchbar. Zudem fressen sich die Tiere auch durch unterirdische Pflanzenteile von Getreide, Mais, Hackfrüchten und Leguminosen und sind auch hier ein massives Problem. Eine direkte Bekämpfung der Drahtwürmer ist bisher nicht möglich.

Durch den Anbau von einjährigem Klee gras und dem Anbau von Kartoffeln erst im dritten oder vierten Jahr kann der Befallsdruck von Drahtwürmern erheblich gesenkt werden. Die gezielte Fruchtfolgeplanung ist die bisher wirkungsvollste Maßnahme gegen Drahtwurmschäden im Kartoffelanbau. Im vierten Jahr nach dem Klee grasanbau liegt das Befallsrisiko unter zehn Prozent. Auf stark befallenen Flächen sollte auf den Anbau von Kartoffeln grundsätzlich verzichtet werden. Auch der Zwischenanbau von Leguminosen (Erbsen, Ackerbohnen, Buschbohnen) und Kruziferen (Weißkohl, Ölrettich, Senfarten) kann zur Minimierung der Drahtwürmer beitragen.

Autor*innen: Hansueli Dierauer, Gilles Weidmann, Franziska Siegris

Quelle: www.fibl.org

Praxisbeispiel 2: Ackerbauliche Maßnahmen im Knoblauchanbau

Kulturart: Knoblauch

Schädlingsart: Pilze und Insekten

Eingesetzte Alternative zu chemisch-synthetischen Pestiziden: Sortenwahl, Warmwasserbad, Neemöl, zügiges Trocknen, trockene Lagerung

Neue Knoblauchpflanzen werden vegetativ über Zehen kultiviert. Um die nächste Pflanzengeneration vor Krankheiten durch Viren, Pilze, Bakterien oder Insekten zu schützen, kann eine Kombination aus vorsorgenden Maßnahmen eingesetzt werden, um den Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden zu minimieren. So kann zuerst die richtige Sortenwahl vor Ertragsausfällen schützen, denn standortangepasste Sorten ermöglichen stabile Erträge in der Langzeitvermehrung. Um Pilze oder Insektenbefall auszuschließen, eignet sich zusätzlich die Behandlung der Zehen durch ein Warmwasserbad. Sind schädliche Blattläuse enthalten, lassen sie sich über das im Ökolandbau zugelassene Neemöl, welches aus den Samen des Neembaumes gewonnen wird, eliminieren. Zu den typischen Lagerschädlingen des Knoblauchs gehören Gallmilben. Deren Saugschäden zeigen schnell trockene braune Stellen an den Zehen, eine visuelle Begutachtung kann einem späteren Pflanzenbefall und der Verbreitung vorbeugen, indem befallene Zehen entsorgt werden. Zügiges Trocknen des Knoblauchs nach der Ernte sowie eine trockene und kühle Lagerung der Zehen reduzieren zudem die Verbreitung der Schädlinge. Übrigens: Der starke Geruch von Knoblauch hält verschiedene Schädlinge fern. Ein Mischanbau von Knoblauch mit anderen Kulturpflanzen, wie zum Beispiel Kohlarten, kann deren Befall mit Kohlfiegen reduzieren.

Autorinnen: Christine Nagel, Sonja Lange, Dr. Katja R. Richert-Pöggeler

Quelle: www.julius-kuehn.de

2.2 Landwirtschaftliche Strukturelemente zur Förderung von Nützlingen

Der Erhalt und das Anlegen von landwirtschaftlichen Strukturelementen auf und am Rande des Ackers fördert die natürliche Ansiedlung von **Nützlingen**. Nützlinge – dazu gehören Vögel, Insekten, Reptilien, insektenfressende Säugetiere und Bakterien – sind natürliche Gegenspieler von Schädlingsorganismen und nehmen eine wichtige Rolle im integrierten Pflanzenschutz ein. Häufig wirken die Nützlinge selektiv auf einzelne oder wenige Schädlingsorganismen ein. Das macht sie effektiv und schont andere Organismen im Vergleich zum Rundumschlag vieler chemisch-synthetischer Pestizide und auch Biozide. Landwirtschaftliche Strukturelemente wie zum Beispiel Hecken, Baumreihen und Blühstreifen können dazu beitragen, die Lebensbedingungen für Nützlinge zu fördern und erhöhen dadurch die ökologische Schädlingsbekämpfung. Einer der bekanntesten Nützlinge ist der Marienkäfer. Vor allem im Obst- und Gemüseanbau kann der Marienkäfer dabei helfen, die Ausbreitung von Blattläusen zu unterdrücken (Dierauer et al., 2021). Im Rapsanbau zählen unter anderem Schlupfwespen und am Boden lebende Fressfeinde wie Laufkäfer und Spinnenarten zu den natürlichen Gegenspielern von Rapschädlingen (Bartels et al., 2020). Durch den Einsatz von breitenwirksamen Insektiziden, aber auch durch falsche Bodenbearbeitung werden hingegen in der Regel auch Nützlinge geschädigt und deren positive Wirkung reduziert. Auch das

Anlegen von Streifenmischkulturen kann dabei helfen, Strukturelemente in die Anbaupraxis zu integrieren und damit Nützlinge zu fördern, wie das Praxisbeispiel 3 zeigt.

Die Einführung von **Biodiversitätsmaßnahmen** (unter anderem Blühstreifen, Feldvogelinseln oder extensiv genutztes Grünland) in sieben Demobetrieben in Deutschland auf einer Fläche von insgesamt circa 60 Hektar zeigten eine reduzierte Verwendung von chemisch-synthetischen Pestiziden durch die Interaktion von Nützlingen sowie höhere Bodengesundheit und Artenvielfalt. Am höchsten war die Einsparung von Herbiziden (insgesamt 223 Liter/Jahr), gefolgt von Fungiziden und Insektiziden (zusammen 77 Liter/Jahr) auf circa 60 Hektar Maßnahmenfläche der Demobetriebe (Stupak & Sanders, 2021).

Praxisbeispiel 3: Mit Streifenmischkulturen Schädlingen in Weizen und Raps vorbeugen

Kulturart: Winterweizen und Raps

Ort: Goslar, Niedersachsen

Schädlingsart: Weizenblattläuse, Glanzkäfer

Eingesetzte Alternative zu chemisch-synthetischen Pestiziden: Streifenmischkulturen

Auf drei konventionellen Betrieben im Raum Goslar in Niedersachsen wurde zwischen 2018 und 2019 der Einfluss von Streifenmischkulturen im Winterweizenanbau in Kombination mit Raps auf Arthropoden-Vielfalt* und biologische Schädlingsbekämpfung getestet. Die Anbaustreifen hatten eine Breite von 27–36 Metern und waren damit auf die Erntemaschinen angepasst. Die Hauptschädlinge des Winterweizens in Deutschland sind drei Arten von Getreideblattläusen: *Sitobion avenae* (Fabricius), *Metopolophium dirhodum* (Walker) und *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus). Bei Raps gehören verschiedene Glanzkäfer (*Meligethes aeneus* Fabr. und *M. viridescens* Fabr., Coleoptera, Nitidulidae) zu den Hauptschädlingen, die erhebliche Ertragseinbußen verursachen. Spinnen- und Laufkäfergemeinschaften gelten als Nützlinge, die diese Schädlinge bekämpfen und durch strukturreiche Landschaften gefördert werden.

Die Wirksamkeit der Streifenmischkulturen wurde durch die Parasitierungsraten in beiden Kulturen berechnet. Parasitierung ist ein Vorgang, bei dem ein Nützing in den Schädling eindringt, um sich von ihm zu ernähren oder seine Eier in ihm abzulegen, wodurch der Schädling stirbt. In dieser Fallstudie wurde die Anzahl von in Folge von Parasitierung mumifizierten Blattläusen bei Weizen und von parasitierten Glanzkäferlarven bei Raps zu Grunde gelegt. Der Einsatz von Streifenmischkulturen führte zu einer Minderung von Weizenblattläusen um 50 Prozent und der Glanzkäferlarven um 20 Prozent im Vergleich zu Monokulturen. Die Parasitierungsrate von Weizenläusen stieg von zehn Prozent in Monokulturen auf 25 Prozent in Streifenmischkulturen. Die Anzahl an parasitierten Glanzkäferlarven blieb hingegen unverändert. Durch den kombinierten Anbau von Winterweizen und Raps wurde zudem eine ausgewogene Anzahl von Nützlingen (Spinnen- und Laufkäfergemeinschaften) geschaffen und die einseitige Zunahme von einzelnen Nützlingen verhindert.

Autor*innen: Viviana Alarcón- Segura, Ingo Grass, Gunnar Breustedt, Marko Rohlf, Teja Tschardt

Quelle: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com>

* Bei Arthropoden handelt es sich um wirbellose Tiere wie Insekten oder Spinnen.

2.3 Physikalische und mechanische Maßnahmen im Anbau

Auch beim Einsatz vorbeugender ackerbaulicher Maßnahmen muss Unkraut während der Standzeit der Ackerkulturen noch zusätzlich physikalisch reguliert werden. Physikalische Maßnahmen können in bestimmten Einsatzbereichen dazu beitragen, die Ausbringung von Herbiziden zu ersetzen und Bekämpfungslücken zu schließen. Dazu gehören insbesondere **die mechanische und thermische Unkrautbekämpfung. Die physikalische Saatgutbehandlung** zählt zu den vorbeugenden Maßnahmen, um das Saatgut gegen anhaftende oder ins Korn gedrungene Schadpilze vor der Aussaat zu behandeln.

Die **mechanische Unkrautbekämpfung** ist ein altbewährtes Mittel und eine wirkungsäquivalente Alternative zum Wirkstoff Glyphosat und anderen Herbiziden (Kehlbeck et al., 2016). Die flächige Unkrautbekämpfung nutzt Geräte unterschiedlicher Form, wie zum Beispiel Bürsten, Zinkenstriegele im Wintergetreide, Rotostriegele oder reihengebundene Rollhacken im Mais. Sie reguliert das Unkraut, in dem sie dieses ausreißt oder verschüttet (siehe Praxisbeispiel 4) (Bernet et al., 2020). Die mechanische Unkrautbekämpfung und Bodenbearbeitung beugt so der Zunahme von Unkräutern vor, reduziert die Anwendung von Herbiziden und beugt somit auch der Entwicklung herbizidresistenter Ackerunkräuter vor. Mechanische Maßnahmen wurden in den letzten Jahrzehnten vor allem im Ökolandbau verbessert. Diese Art der Unkrautregulierung kann den Unkrautdruck um bis zu 60 Prozent und unter günstigen Bedingungen sogar um 90 Prozent reduzieren (AELF, o. J.). Bei der mechanischen Unkrautbekämpfung können neue Technologien, wie zum Beispiel automatische Lenksysteme, leistungsfähige Sensoren, Kameras und GPS-Systeme eingesetzt und damit die Effektivität erhöht werden. Die Kombination von verschiedenen Steuersystemen erlaubt eine größere Genauigkeit und neuartige Technologien erhöhen den Wirkungsgrad (Titze, 2017; Heuser et al., 2018; Glück & Heitkämper, 2022). Die Entwicklung von automatisierten Bodenbearbeitungsgeräten für die exakte, sehr flache (sogenannte ultraflache) Unkrautbekämpfung ist ebenfalls ein zunehmender Trend (Herlitzius et al., 2020).

Mit der am 10. Februar 2021 vom Bundeskabinett gebilligten Fünften Verordnung zur Änderung der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung (PflSchAnwV) ist ein Anwendungsverbot von Glyphosat mit Ablauf des Jahres 2023 in Deutschland vorgesehen. Studienergebnisse im Silomaisanbau (Futtermais) zeigen, dass ein Verbot von Glyphosat eine Verlagerung zu mehr mechanischer Unkrautbekämpfung bewirkt (Böcker et al., 2020). Auch die kombinierte Anwendung von ackerbaulichen Maßnahmen und der mechanischen Unkrautbekämpfung können eine wirksame Alternative zur Anwendung von Herbiziden sein. Bei einer Studie in Alabama (USA) konnten so die Kosten im Vergleich zur Behandlung durch Herbizide um bis zu 26 US-Dollar pro Hektar gesenkt werden. Dazu wurden Zwischenfrüchten angebaut und anschließend mit einem „Roller-Crimper“ genannten Gerät zu einer vor Unkräutern schützenden Strohmatte verarbeitet (Ashford & Reeves, 2003). Die direkte Regulierung von Unkräutern durch die mechanische Unkrautbekämpfung hat jedoch ihre Grenzen, vor allem bei Problemunkräutern wie Ambrosia, Disteln, Quecken und Ampfer. Daher kommt es bei der Anwendung von Alternativen auf die Kombination von ackerbaulichen und physikalischen Maßnahmen an.

Die **thermische Unkrautbekämpfung** mit Hilfe von Abflamngeräten hat ihren Einsatzbereich insbesondere in Beet- und Dammkulturen (zum Beispiel Möhren) des ökologischen Gemüsebaus. Dabei werden die Unkräuter durch kurzfristige hohe Hitze (60–70 °C) in ihrer Struktur zerstört, sodass sie absterben (Gelencsér & Dierauer, 2021). Dieses im Ökolandbau zugelassene Verfahren ermöglicht die Beseitigung von unerwünschten Pflanzen, ohne in den Boden einzugreifen. Die Wahl des geeigneten Zeitpunkts für das Abflammen spielt eine wichtige Rolle, da beim Verbrennen auch die Hauptackerkultur beschädigt werden kann. Die

Kombination aus einer falschen Saatbettbereitung (Unkrautkur) und Abflammen ist eine effektive Methode, um Unkräuter noch vor der Keimung der Hauptkultur zu entfernen. Dabei wird das Saatbett schon einige Tage vor der Saat hergerichtet, um Unkräuter zum Keimen anzuregen, die dann mechanisch oder durch Abflammen entfernt werden, ohne dabei die Hauptkultur zu beschädigen (Gelencsér & Dierauer, 2021). Aufgrund des hohen Energieverbrauchs und entsprechender Kosten wird die Maßnahme überwiegend im Gemüse- und Kartoffelanbau angewendet (Gelencsér & Dierauer, 2021).

Die **Saatgutbehandlung** (Beizen) dient dem Schutz der Samenkörner gegen anhaftende oder ins Korn gedrungene Schadpilze (samenbürtige Erreger). Die eingesetzten Mittel bestehen häufig aus chemischen Wirkstoffen wie zum Beispiel Neonicotinoiden, die sich bereits in geringen Mengen schädlich auf Honigbienen, Wildbienen und andere Nützlinge auswirken können (EFSA, 2018). Ein Teil dieser hochwirksamen und gefährlichen Neonicotinoide haben in den vergangenen Jahren ihre Zulassung verloren. Alternativ gibt es auch eine Auswahl an **physikalischen Verfahren** zur Saatgutbehandlung, die dabei helfen, chemische Saatgutbehandlungen abzulösen und nicht nur für den Ökolandbau interessant sind. Ein effektives Verfahren ist die Elektronenbeizung, bei dem die Krankheitserreger am Saatgut mittels Elektronenbeschuss abgetötet werden. Bei der thermischen Beizung wird das Saatgut mit aktivem Dampf hygienisiert, wobei die Keimfähigkeit erhalten bleibt.

Praxisbeispiel 4: Ackerfuchsschwanz in Wintergetreide durch Hacken regulieren

Kulturart: Wintergetreide

Ort: Getreideanbau in Europa

Unkraut: Ackerfuchsschwanz

Eingesetzte Alternative zu chemisch-synthetischen Pestiziden:

Mechanische Unkrautkontrolle durch Gerätekombination aus Striegel und Hacke

Ackerfuchsschwanz ist eines der hartnäckigsten Unkräuter im modernen Ackerbau und ein erheblicher Ertragskonkurrent vor allem im früh gesäten Wintergetreide. Eine hohe Ausbreitung kann zu einem Ertragsverlust von 30 bis 50 Prozent führen.

Durch die kombinierte Anwendung von Striegel und Scharhacke zwischen den Reihen des Wintergetreides können selbst hartnäckige Unkräuter wie der Ackerfuchsschwanz erfolgreich entwurzelt werden. Auch andere Unkräuter wie Vogelwicke, Hohlzahn, Windhalm oder die Klette werden durch die Scharhacke erfasst. Damit die kombinierte Anwendung von Striegel und Hacke zwischen den Reihen funktioniert, muss das Wintergetreide mit einem Reihenabstand von mindestens 20 Zentimeter angesetzt werden. Versuchsergebnisse zeigen, dass eine Erhöhung des Reihenabstandes im Weizen geringe Auswirkungen auf den Ertrag hat. Die intensive Unkrautregulierung in weitem Abstand kann sich unter Umständen sogar positiv auf den Weizenertrag auswirken.

Autor*innen: Hansueli Dierauer, Franziska Siegrist und Gilles Weidman

Quelle: www.fibl.org

2.4 Biologische Pflanzenschutzmaßnahmen

Biologische Pflanzenschutzmaßnahmen haben das Potenzial, chemisch-synthetische Pestizide effektiv zu ersetzen. Der biologische Pflanzenschutz hat das Ziel, Pflanzengesundheit durch naturbasierte Pflanzenschutzverfahren und ohne negative Auswirkungen für Biodiversität, Umwelt und menschliche Gesundheit zu ermöglichen. Dazu gehören die Entwicklung und der Einsatz von natürlichen Gegenspielern, um Schädlinge und Krankheitserreger frühzeitig abzuwehren und die Abwehrkräfte der Pflanzen gegen die Schaderreger zu stärken. Eine EU-übergreifende rechtliche Definition existiert nicht.

Zu den klassischen Verfahren gehören:

- **Makroorganismen**, auch Nützlinge genannt,
- **Mikroorganismen**, wie zum Beispiel Viren, Bakterien und Pilze,
- **Naturstoffe** aus Pflanzenextrakten und
- **Pheromone (Botenstoffe)**, wie unter anderem Sexualpheromone (JKI, o. J.).

Die gezielte Ansiedlung von **Makroorganismen** wie Insekten, Spinnentieren und Nematoden (Fadenwürmer) wird im biologischen Pflanzenschutz als Gegenspieler von Schädlingen eingesetzt (JKI, o. J.). Hierbei handelt es sich ausschließlich um Nützlinge, die kommerziell zu erwerben sind und aktiv eingesetzt werden. Im Jahr 2014 standen circa 80 Arten zum kommerziellen Einsatz zur Verfügung, darunter Wespen, Milben, Käfer, Wanzen, verschiedene Larvenarten und Bestäuber (Koch et al., 2019). Eine Zulassungspflicht für Makroorganismen besteht nicht. Das Praxisbeispiel 5 stellt den Einsatz von Makroorganismen gegen Reiswanzen dar (siehe unten).

Mikroorganismen können Viren, Bakterien oder Pilze sein, welche für die Konsument*innen und Landwirt*innen ungefährlich sind und gezielt bestimmte Schadinsekten angreifen und töten. Im Gegensatz zu vielen chemisch-synthetischen Pestiziden zielen biologische Pflanzenschutzmittel in der Regel nur auf eine bestimmte Art von Schädlingen ab und schonen dadurch andere nützliche oder unproblematische Insekten. Durch die Anwendung des im biologischen Landbau zugelassenen Apfelwickler-Granulovirus wird zum Beispiel verhindert, dass sich die Larven des Apfelwicklers im Frühjahr zu Maden entwickeln und der Apfelelrnte schaden können. Damit ist das Virus ein effektives, direkt regulierendes, nicht chemisches Instrument (Ökolandbau.de, 2018).

Zu den **Naturstoffen** zählen vor allem pflanzliche Extrakte wie Neem-, Fenchel- oder Rapsöle. Diese eignen sich besonders gut als Ersatz chemisch-synthetischer Pestizide (Koch et al., 2019). Das Neemkernextrakt hat unterschiedliche Wirkungen wie zum Beispiel die Aktivierung der Abwehrkräfte in der Pflanze selbst sowie die Abweisung von Insekten (sogenannter Repellent-Effekt). In Folge der Einnahme des Extrakts stellt der Schädling die Nahrungsaufnahme ein, wodurch seine Entwicklung und Vermehrung gestoppt wird. Neemkernextrakte sind schonend für viele Nützlinge, werden jedoch bei wenigen Insektennützlinge als schwach-schädigend bis schädigend eingestuft (Koch et al., 2018; Kühne & Friedrich, o. J.). Ein weiterer natürlicher Wirkstoff ist Kaliumhydrogencarbonat, ein Kaliumsalz, das als Lebensmittelzusatzstoff verwendet wird. Es hat eine austrocknende Wirkung auf Schadpilze und wird vor allem im Sonderkulturanbau eingesetzt. Bei Tomaten, Freilandgurken, Mais oder Blattsalat konnte eine Wirksamkeit von über 90 Prozent festgestellt werden (Koller, 2009). Gesteinsmehl kann ein effektives Bekämpfungsmittel gegen den Rapsglanzkäfer sein (siehe Praxisbeispiel 6).

Pheromone sind Botenstoffe, die zur chemischen Kommunikation über die Luft dienen können. Der Einsatz von Sexualpheromonen kann die Vermehrung von Schädlingen einer Art, wie zum

Beispiel dem Traubenwickler im Weinbau, stören und dadurch Schäden vorbeugen (Ökolandbau.de, 2021). Dabei verhindert der Botenstoff, dass paarungswillige Traubenwickler-Männchen und Weibchen sich finden. Dadurch wird eine Befruchtung verhindert (Roßberg & Ipach, 2015). Das Verfahren ist sehr selektiv und verursacht keine Beeinträchtigungen anderer Nicht-Zielorganismen (Koch et al., 2018). Neben Pheromonen gibt es noch andere Botenstoffe, sogenannte Allelochemikalien, die im Gegensatz zu den Pheromonen eine Kommunikation zwischen Individuen verschiedener Arten ermöglichen. Schädlinge und Nützlinge einer befallenen Kulturpflanze kommunizieren zum Beispiel untereinander und auch die Pflanzen selbst senden Botenstoffe aus, um sich gegen ihre Fressfeinde zu wehren (JKI, o. J.). Der schädliche Sommerapfelblattsauger (*Cacopsylla picta*) zum Beispiel verteilt beim Saugen zellwandlose Bakterien (Phytoplasmen) auf den Apfelblättern, die Apfelfriebsucht bewirken, eine der häufigsten Apfelerkrankungen. Andere Blattsauger werden von dem Geruch infizierter Bäume angelockt und richten noch mehr Schaden an. Diese Botenstoffe können durch Forschung identifiziert werden, um daraus Lockstofffallen zu entwickeln, mit denen Schädlinge überwacht und gefangen werden können (JKI, o. J.).

Der biologische Pflanzenschutz ist besonders wirkungsvoll in funktionierenden Ökosystemen. Der vorherige Einsatz chemisch-synthetischer Pestizide kann teilweise dazu führen, dass biologischer Pflanzenschutz nur noch eingeschränkt nutzbar ist. Da der Einsatz chemisch-synthetischer Pestizide langfristig die Artenvielfalt an vielen Orten reduziert, nimmt zudem die Möglichkeit natürlicher biologischer Schädlingsbekämpfung weiter ab (Geiger et al., 2010).

Praxisbeispiel 5: Neue Nützlinge schaffen neue Perspektiven gegen Reiswanzen

Kulturart: Obst-, Gemüse und Zierpflanzen

Ort: Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald, Baden-Württemberg

Schädlingsart: Reiswanzen

Eingesetzte Alternative zu chemisch-synthetischen Pestiziden: *Trichopoda pennipes*

Im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald wurde eine neue Nützlingsart entdeckt. *Trichopoda pennipes*, eine Raupenfliegenart, eignet sich, um Populationen von Reiswanzen zu eliminieren. Die wärme- und trockenheitsliebenden Reiswanzen schädigen in der Region vermehrt Obst-, Gemüse und Zierpflanzenbestände. In einem von Reiswanzen befallenen Bohnenfeld zeigte *Trichopoda* Erfolge bei der Vernichtung der Schädlinge. Die Eier von *Trichopoda* kleben am Panzer der Reiswanzen. Die geschlüpften Maden dringen in den Wanzenkörper ein und töten den Wirt. *Trichopoda* stammt ursprünglich aus Nordamerika. Die Art hat sich bereits in den 1980er Jahren in Italien verbreitet. Im Jahre 2017 wurde dieser Nützling erstmals in Deutschland gesichtet und man kann davon ausgehen, dass sich die Populationen nun hier etablieren wird. Das Einsatzpotenzial zur Schädlingsbekämpfung durch Landwirt*innen muss noch weiter wissenschaftlich untersucht werden.

Organisation: Proplanta GmbH & Co. KG

Quelle: www.proplanta.de

Praxisbeispiel 6: Gesteinsmehl gegen Rapsglanzkäfer

Kulturart: Rapsanbau

Schädlingsart: Rapsglanzkäfer

Eingesetzte Alternative zu chemisch-synthetischen Pestiziden: Gesteinsmehl

Ergebnisse: Anstieg des Ertrags um circa 25 Prozent

Während im Rapsanbau Krankheiten durch eine Fruchtfolge über zwei Jahre einfach zu bekämpfen sind, ist die Bekämpfung von Schädlingen schwieriger. Da der Raps während elf Monaten auf dem Feld angebaut wird, besteht ein hohes Risiko für einen Befall mit Rapsglanzkäfern. Dieser kann besonders im Frühjahr zu hohen Ertragsausfällen führen.

Stäubende Substanzen wie das Gesteinsmehl reduzieren Fraßschäden. Das Gesteinsmehl wird gespritzt und hinterlässt auf den Blättern einen Belag, der die Käfer beim Bewegen und Fressen stört. Gesteinsmehl kann zu Beginn der Knospenentwicklung ab einer Temperatur von 15 °C appliziert werden. Eine Spritzung benötigt circa 0,5 Stunden pro Hektar mit der Feldspritze oder circa 1,0 Stunden pro Hektar pro Applikation mit dem Düngerstreuer.

Durch diese Maßnahme kann der Befall mit Rapsglanzkäfer im Durchschnitt um ein Drittel reduziert werden. Entsprechend sind sowohl der Schotenansatz pro Quadratmeter als auch der Ertrag in behandelten Versuchsflächen bis zu 25 Prozent höher.

Autor*innen: Claudia Daniel, Malgorzata Conder und Gilles Weidman

Quelle: www.fibl.org

2.5 Systemische Ansätze

2.5.1 Integrierter Pflanzenschutz

Der integrierte Pflanzenschutz hat eine effektive Schädlingsbekämpfung mit minimaler Anwendung von chemisch-synthetischen Pestiziden zum Ziel. Laut § 2 Nummer 2 des deutschen Pflanzenschutzgesetzes von 2012 ist der integrierte Pflanzenschutz eine „Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß beschränkt [wird]“ (Bundesministerium der Justiz, 2012). Der deutsche nationale Aktionsplan für Pflanzenschutz (NAP) wurde im Jahr 2013 verabschiedet, um die Europäische Sustainable Use of pesticides Directive (SUD) (Aktionsrahmen für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden, 2009/128/EG) in Deutschland umzusetzen (Europäischer Rat & Rat der EU, 2009). Die SUD definiert die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes und ist damit von zentraler Bedeutung. Zurzeit steht die SUD im Reformprozess. Die EU-Kommission hat mit ihrem Reformvorschlag erstmalig ein verbindliches Reduktionsziel von 50 Prozent chemisch-synthetischer Pestizide bis 2030 vorgelegt (Europäische Kommission, 2022). Dies kann als erster wichtiger Schritt gewertet werden, der im Zuge der Verhandlungen nicht verwässert werden darf.

Das zitierte „notwendige Maß“ im Pflanzenschutzgesetz bezieht sich auf die Intensität der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, um den Anbau von Kulturpflanzen zu sichern, vorausgesetzt, dass alle anderen Möglichkeiten zum Pflanzenschutz ausgeschöpft wurden (PflSchG, 2012, § 4). Dementsprechend priorisiert der integrierte Pflanzenschutz vorbeugende

Maßnahmen, gefolgt von physikalischen und biologischen Pflanzenschutzmaßnahmen, und zum Schluss chemische Maßnahmen. Der NAP ermöglicht zudem, kulturspezifische Leitlinien zu erstellen, um Praxis und Beratung bei der Umsetzung des Integrierten Pflanzenschutz zu unterstützen. Die Leitlinien werden auf freiwilliger Basis von Organisationen, Verbänden oder öffentlichen Einrichtungen erstellt und müssen ein Anerkennungsverfahren durchlaufen. Aktuell liegen für viele Kulturpflanzen noch keine Leitlinien vor (Thiel, 2021).

Obwohl der integrierte Pflanzenschutz von zentraler Bedeutung für die Umsetzung der SUD und des NAP ist, wird seine Umsetzung als schwach bewertet (IEEP, 2021). Eine Betrachtung der Umsetzung in Deutschland hat bisher nicht stattgefunden (Thiel, 2021). Laut Julius Kühn-Institut benötigt die Bewertung der Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in den deutschen Bundesländern zusätzliche Datenerhebungen (Koch et al., 2019). Gerade im Bereich der vorbeugenden Maßnahmen und dem Einsatz von Schadschwellen fehlen standortspezifische und praxistaugliche Handreichungen (Thiel, 2021). Obwohl der integrierte Pflanzenschutz bereits gesetzlich verankert ist, wird er nicht ausreichend umgesetzt (Pestizid Aktions-Netzwerk e.V., 2012; Frische et al., 2016; Thiel, 2021). Von vielen Landwirt*innen werden chemisch-synthetische Pestizide immer noch als einfachste und preiswerteste Option angesehen (Niggli et al., 2020). Laut dem Europäischen Rechnungshof sollte die Anwendung des integrierten Pflanzenschutzes eine Bedingung sein, um Zahlungen aus der Gemeinsamen EU-Agrarpolitik (GAP) zu erhalten (Europäischer Rechnungshof, 2020).

2.5.2 Ökolandbau

Der ökologische Landbau ist ein besonders ressourcenschonendes und umweltverträgliches landwirtschaftliches System ohne Einsatz chemisch-synthetischer Pestizide, auf das sich eine zunehmende Anzahl von Betrieben umstellt. Deshalb kann der Ökolandbau als Blaupause für eine pestizidfreie Landwirtschaft angesehen werden. Im ökologischen Landbau steht das Vorbeugen von Krankheiten und Schädlingen im Vordergrund. Alle landwirtschaftlichen Maßnahmen wie Fruchtfolge, Bodenbearbeitung oder Art- und Sortenwahl sind darauf ausgerichtet, die Ausbreitung von Schaderregern zu begrenzen oder durch natürliche Prozesse – wie zum Beispiel die Ansiedlung von Nützlingen durch landwirtschaftliche Strukturelemente – zu bekämpfen. Sollten doch Krankheiten oder Schädlinge auftreten, dürfen Wirkstoffe nur dann als Pflanzenschutzmittel angewendet werden, wenn sie nach EU-Recht für den Ökolandbau zugelassen sind (Ökolandbau, o. J.).

Im Jahr 2020 lag der Anteil des Ökolandbaus bei rund zehn Prozent (das sind 1.702.240 Hektar), Tendenz steigend (BLE, 2022). Auf diesen Flächen werden keine chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel ausgebracht. Ziel der Bundesregierung ist es, den Ökolandbau auf 30 Prozent bis 2030 auszubauen⁴. Allein dadurch würden bis 2030 auf ungefähr fünf Millionen Hektar landwirtschaftlicher Fläche in Deutschland keine chemisch-synthetischen Pestizide angewendet werden. Das deutsche Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) ging 2019 davon aus, dass für die Zielerreichung bis 2030 weitere 30.000 bis 40.000 Landwirt*innen ihren Betrieb umstellen müssen⁵ (BMEL, 2019).

2.5.3 Agrarökologie

Die Agrarökologie verfolgt einen ganzheitlichen und integrierten Managementansatz mit ökologischen und sozialen Zielen (FAO, o. J.). Dabei geht es in erster Linie um den Einsatz ökologischer Prozesse anstelle von chemisch-synthetischen Pestiziden (Wezel et al., 2014). Die Datenlage zum Reduktionspotenzial von chemisch-synthetischen Pestiziden eines

⁴ Die EU-Kommission fordert in ihrer Farm-to-Fork-Strategie mindestens 25 Prozent.

⁵ Aufgrund der neuen Zielmarke von 30 Prozent Ökolandbau bis 2030 müsste die Zahl der Landwirt*innen die auf Ökolandbau umstellen, deutlich über 40.000 liegen.

agrärökologischen Systems in Deutschland ist begrenzt. Agrärökologie vereint präventive, technische und biologische Pflanzenschutzmaßnahmen wie: Diversifizierung, Mischkulturen, Zwischenfruchtanbau, landwirtschaftliche Strukturelemente zur Förderung von Nützlingen, biologische Schädlingsbekämpfung und Verbesserung der Bodenstruktur und -gesundheit (HLPE, 2019). Eine abschließende Definition von agrärökologischen Managementpraktiken existiert nicht. Stattdessen gelten landwirtschaftliche Praktiken als mehr oder weniger „agrärökologisch“, je nachdem, in welchem Umfang: 1) sie ökologische Prozesse statt chemisch-synthetischer Inputs nutzen; 2) sie gerecht, umweltfreundlich, lokal angepasst und kontrolliert sind; 3) und sie einen systemischen Ansatz verfolgen, anstatt einzelne technische Maßnahmen.

2.6 Exkurs: Sonderkulturen (Apfel- und Weinanbau)

Sonderkulturen sind hinsichtlich der Anwendung von chemisch-synthetischen Pestiziden intensiver als Ackerbaukulturen. Gründe hierfür sind vor allem, dass viele der vorbeugenden ackerbaulichen Maßnahmen nicht eingesetzt werden können (zum Beispiel Fruchtfolge), weil die Kulturen eine längere Standzeit haben, weshalb sie auch Dauerkulturen genannt werden. Dieser Exkurs gibt einen Überblick über die nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen im Apfel- und Weinanbau.

Apfelbäume verbleiben durchschnittlich 15 bis 20 Jahre am Standort und Weinreben können bis zu 40 Jahre und länger stehen. In diesem langen Zeitraum kann sich ein entsprechendes Schaderregerpotenzial etablieren, anders als bei kurzlebigen Kulturen. Auch in gut eingespielten, jahrzehntealten Anlagen können einzelne Schädlinge oder Krankheiten zeitweise überhandnehmen. Umso zentraler ist die Etablierung eines stabilen, langfristigen und tragfähigen Systems, das auf die Kombination von Pflanzenschutzmaßnahmen setzt. Zu den wichtigsten Managementmaßnahmen gehören:

- sonnige und gut durchlüftete Standorte,
- ausreichend Abstand zwischen den Pflanzen,
- intensive Beobachtung des Befallsdrucks,
- Ansiedlung von Nützlingen und Singvogelarten durch Blühstreifen, um den Insektenbefall zu minimieren,
- möglichst effiziente Ausbringung von Pestiziden durch kalibrierte Applikationstechnik und
- Wahl von robusten Sorten gegenüber Krankheiten und Schädlinge (FiBL, 2005).

Letzteres ist laut einer Umfrage unter Landwirt*innen eines der wichtigsten Kriterien bei der Auswahl von Sorten (Biofruitnet, o. J.) und zeigt den großen Stellenwert der richtigen Sortenwahl insbesondere bei Sonderkulturen.

Ein großes Problem im modernen Apfelanbau stellt die genetische Verarmung dar. Die meisten der heute produzierten Apfelsorten lassen sich auf wenige Gründersorten zurückführen (Golden Delicious, Cox Orange, Jonathan, Red Delicious und James Grieve) (Broggini & Giovanni, 2021). Diese genetische Verengung ist ein Grund für die fehlende Widerstandsfähigkeit moderner Apfelsorten gegen Krankheiten und Schädlinge (Bannier, 2011). Die Verbreiterung der genetischen Basis und die Rückbesinnung auf alte Apfelsorten kann dabei helfen, den Kulturapfel auf Krankheiten und Schädlinge anzupassen (Broggini & Giovanni, 2021). Der Apfelanbau wird vor allem von Pilzkrankheiten wie zum Beispiel dem Apfelschorf unter Druck gesetzt, die sowohl zu Qualitätsverlusten und zu Ausfällen beim Lagern führen, aber auch eine Gefahr für die Bäume selbst sein können. Gegen diese Pilzkrankheiten

werden in Abhängigkeit von unter anderem der Witterung regelmäßig Fungizide ausgebracht. Fungizide machen im Apfelanbau im Durchschnitt zwischen 70 und 80 Prozent des Pestizideinsatzes aus (PAPA JKI, o. J.). Durch pilzresistente Sorten kann die Behandlungsintensität deutlich reduziert werden. Resistente Sortenwahl ist eines der wirksamsten Mittel von Landwirt*innen gegen Apfelschorf (Häseli et al., 2005). Auch diverse Schädlinge wie Milben- und Blattlausarten können dem Baumbestand gefährlich werden. Hier können Befallserhebungen und Schadschwellen dabei helfen, den Einsatz von Insektiziden zu reduzieren (PAPA JKI, o. J.).

Im Weinbau lag 2020 der Anteil von Fungiziden bei 94 Prozent (PAPA JKI, o. J.). Vor allem Pilzkrankheiten wie der Falsche und Echte Mehltau setzen Pflanze und Ernte unter Druck. Auch hier können pilzwiderstandsfähige Sorten den Einsatz von Fungiziden reduzieren (Häseli, 1999). Die Regulierung von Schädlingen im Weinbau kann durch den Einsatz von biologischen Pflanzenschutzmitteln wie Sexuallockstoffen (Pheromone) und Nützlingen erfolgen (Roßberg & Ipach, 2015). Eine neue Herausforderung insbesondere für rote Rebsorten stellt die seit einigen Jahren aus Japan eingeschleppte Kirschessigfliege dar. Hier gibt es mittlerweile gute Erfahrungen mit der Ausbringung von Kaolin zur Bekämpfung der Kirschessigfliege (siehe Praxisbeispiel 7) (FiBL, 2018).

Praxisbeispiel 7: Mit Kaolin gegen die Kirschessigfliege im Weinbau

Kulturart: Weich- und Wildobstarten und rote Weintraubensorten

Schädlingsart: Kirschessigfliege

Eingesetzte Alternative zu chemisch-synthetischen Pestiziden: Kaolin

Die vor einigen Jahren aus Japan eingeschleppte Kirschessigfliege stellt eine Herausforderung für viele Weich- und Wildobstarten wie Himbeeren und Kirschen, aber auch rote Weintraubensorten dar. Maßnahmen, die für ein trockenes Bestandsklima in den Reben sorgen, wie zum Beispiel Mulchen und Auslauben, können dabei helfen, den Befall vorzubeugen. Beim Auslauben werden insbesondere in der Traubenzone die Blätter entfernt. Auch eine regelmäßige Bestandskontrolle ist wichtig, um frühzeitig aktiv werden zu können. Kaolin, auch Porzellanerde genannt, ist ein weißes Tongestein und bietet eine wirksame Methode zur Bekämpfung der Kirschessigfliege, ohne auf synthetische Insektizide zurückgreifen zu müssen. Kaolin wird gespritzt und bildet eine Schicht auf den Trauben. Dadurch wird die Kirschessigfliege unter anderem in ihrer Nahrungsaufnahme und ihrem Paarungsverhalten gestört. Kaolin fällt unter die Kategorie der physikalischen Maßnahmen. Eine abtötende Wirkung hat Kaolin nicht. Zudem hat Kaolin keine Auswirkungen auf die Traubenqualität und Rückstände werden als gesundheitlich unbedenklich eingestuft.

Autor*innen: Claudia Daniel, Fabian Cahenzli, Sybille Stöckli

Quelle: <https://www.fibl.org/>

3 Mögliche Ertrags- und Einkommensverluste

Einer der häufig von Landwirt*innen genannten Gründe gegen den Verzicht auf chemisch-synthetische Pestizide ist, dass die Reduktion und die Anwendung von nicht chemischen Alternativen zu Ertrags- und Qualitätsverlusten und damit zu unmittelbaren

Einkommensverlusten führt (Bakker et al., 2021). Pflanzenschädlinge und Krankheitserreger können dabei die gesamte Produktionskette von Produktion, Transport, Haltbarkeit und Nährwert (Qualität) beeinflussen (Savary et al., 2017). Zudem stehen die Landwirt*innen einer großen Vielfalt an Schädlingen und Krankheitserregern gegenüber. Dazu gehören unter anderem die Viren und Viroiden, Bakterien, Pilze, Oomyzeten, Nematoden, Arthropoden, Weichtiere, Wirbeltiere und Parasiten (Savary et al., 2017).

Die aktuelle Studienlage zu potenziellen Ertrags- und Einkommensverlusten bei der Anwendung von alternativen Pflanzenschutzmaßnahmen und der damit einhergehenden Reduktion von chemisch-synthetischen Pestiziden zeigt widersprüchliche Ergebnisse, wenn die langfristige Ertragssicherheit und die externen Umweltkosten nicht einberechnet werden. Zu den externen Umweltkosten gehören Kontroll- und Überwachungskosten des Pestizideinsatzes, Reparaturkosten an der Umwelt wie die Trinkwasseraufbereitung, langfristige Auswirkungen auf die Biodiversität und Gesundheitskosten von Anwender*innen (Frische et al., 2016). Die Berechnung der Umweltkosten ist komplex und ist auch aufgrund fehlender Daten schwierig. Das Umweltbilanzierungsinstrument von Pestiziden (Pesticide Environmental Accounting, PEA) liefert erste monetäre Schätzungen der Umwelt- und Gesundheitskosten für Pestizide pro Hektar. Für Deutschland wurden die Kosten im Jahr 2005/2006 auf circa 202 Millionen Euro beziffert sowie umgerechnet 7,64 Euro pro Kilogramm an Wirkstoff (Leach & Mumford, 2008).

Savary et al. (2019) gehen davon aus, dass der potenzielle Ertragsausfall durch Krankheiten und Schädlinge je nach Nutzpflanze zwischen 17 und 40 Prozent liegt. Laut einer Folgenabschätzung der EU-Biodiversitätsstrategie 2030 könnten in Deutschland auf betrieblicher Ebene im Weizen und Rapsanbau die Erträge um zehn Prozent zurückgehen. Bei Zuckerrüben könnte der Ertrag sogar bis zu 15 Prozent und beim Hopfen bis zu 20 Prozent zurückgehen (Bremmer et al., 2021). Eine ähnliche Studie beziffert die jährlichen Ertragsverluste in der EU auf bis zu zehn Prozent (Barreiro-Hurle et al., 2021). Deutliche Preissteigerungen aufgrund der Reduktion von chemisch-synthetischen Pestiziden sind auf EU-Ebene vor allem bei den Sonderkulturen Wein und Hopfen zu erwarten (+ 20 Prozent). Der Ertragsausfall bei der Weizenproduktion in der EU und der dadurch rückgängige Export von Weizen kann laut der Studie auch zu erheblichen Landnutzungsänderungen und damit der Zerstörung natürlicher Ökosysteme wie Wälder, Savannen und Grasland außerhalb der EU führen (circa 1,6 Millionen Hektar) (Bremmer et al., 2021). Grundlage beider Studien ist der Ist-Zustand im Jahr 2021. Mögliche Veränderungen in der Gesellschaft zum Beispiel durch geänderte Ernährungsweisen, Veränderungen in der Nachfrage nach Futtermitteln oder technische Fortschritte werden hier nicht berücksichtigt.

Laut Poux und Aubert (2018) kann ein agrarökologisches System den Nahrungsmittelbedarf aller Europäer*innen decken und gleichzeitig die Exportkapazitäten für Getreide, Milcherzeugnisse und Wein erhalten, trotz eines Produktionsrückgangs von 35 Prozent⁶ im Vergleich zu 2010⁷. Die Studie zeigt jedoch, dass eine ausreichende Produktionsmenge nur in Kombination mit einer gesünderen Ernährung mit deutlich weniger tierischen Produkten und mehr Obst und Gemüse möglich ist (Poux & Aubert, 2018).

Es gibt jedoch auch Studien, die aufzeigen, dass insgesamt eine Reduktion von chemisch-synthetischen Pestiziden ohne negative Auswirkungen auf die Produktivität und Rentabilität der Betriebe umsetzbar ist (Böcker et al. 2020; Kehlbeck et al., 2016; Lechenet et al., 2017).

⁶ Produktionsmengen wurden jeweils in Kilokalorien umgerechnet.

⁷ Das TYFA-Szenario (Ten Years for Agroecology) berechnet landwirtschaftliche Erträge in der Europäischen Union bis 2030 mit einem absoluten Verzicht auf chemisch-synthetische Pestizide und Düngemittel, dem Ausbau von natürlichem Grünland und agrarökologischen Landschaftselementen (wie zum Beispiel Hecken und Bäume).

Die Produktionsverluste und finanzielle Einbußen der Landwirt*innen aufgrund des anstehenden Verbots des Pestizidwirkstoffes Glyphosat werden als minimal eingeschätzt (Böcker et al., 2018; 2020). Unter guten landwirtschaftlichen Bedingungen (Anbaulage und Wetterbedingungen) können sogar Kosteneinsparungen möglich sein (Kehlbeck et al., 2016). Es gibt Studien, die davon ausgehen, dass der Energieverbrauch durch die mechanische Unkrautbekämpfung deutlich steigen wird (Böcker et al., 2020). Diese Studien berechnen jedoch nicht die energieintensive Herstellung von chemisch-synthetischen Pestiziden mit ein, sondern nur die Ausbringung selbst. Insbesondere die Herstellung von Glyphosat ist sehr energieintensiv (Griffing et al., 2012).

In Frankreich, wo die Ausbringungsrate von chemisch-synthetischen Pestiziden deutlich höher ist als in Deutschland, liegt das Reduktionspotenzial bei 42 Prozent. Zudem geht die Studie davon aus, dass 77 Prozent der landwirtschaftlichen Betriebe aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Möglichkeit haben, die Ausbringung von chemisch-synthetischen Pestiziden zu reduzieren (Lechenet et al., 2017). Eine Studie auf 150 Winterweizenfeldern in Westfrankreich fand keinen Zusammenhang zwischen Ernteerträgen und Herbizideinsatz. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Pflanzenproduktion aufrechterhalten werden kann, trotz einer Verringerung des Herbizideinsatzes um bis zu 50 Prozent (Gaba et al., 2016).

Die Ausbringungsmenge an chemisch-synthetischen Pestiziden kann von einem hohen auf ein mittleres Niveau verringert werden, ohne dass es zu Einbußen bei Erträgen oder Produktivität kommt. Zu diesem Ergebnis kommt eine Studie mit 71 Landwirt*innen im französischen Eure-et-Loir, die Winterweizen anbauen. Die Studie identifizierte drei Arten von Einsätzen von chemisch-synthetischen Pestiziden in Bezug auf die Erträge: (1) 29 Prozent der Landwirt*innen setzen geringe Mengen an chemisch-synthetischen Pestiziden ein und erzielen geringe Erträge, (2) 38 Prozent der Landwirt*innen setzen mittlere Mengen ein und erzielen hohe Erträge, (3) 33 Prozent der Landwirt*innen setzen hohe Mengen ein und erzielen mittlere Erträge. Dementsprechend ist der Typ mit mittlerem Input der effizienteste mit besseren wirtschaftlichen Ergebnissen als der Typ mit hohem Input, unabhängig vom Weizenpreis (Nave et al., 2013). Eine weitere Studie schätzt, dass der Gesamteinsatz chemisch-synthetischer Pestizide in 59 Prozent der Betriebe von insgesamt 946 nicht ökologischen Ackerbaubetrieben in Frankreich ohne negative Auswirkungen auf Produktivität und Rentabilität um 42 Prozent gesenkt werden könnte. Dies entsprach einer durchschnittlichen Reduzierung des Herbizid-, Fungizid- und Insektizideinsatzes um 37, 47 beziehungsweise 60 Prozent (Lechenet et al., 2018).

In Deutschland ist die Studienlage etwas dünner. Ein Dauerfeldversuch in Brandenburg hat gezeigt, dass eine um 50 Prozent reduzierte Aufwandmenge an Fungiziden in Wintergetreide eine gleichwertige Wirkung erzielt. Lediglich bei hohem Befall mit Krankheiten führt die reduzierte Aufwandmenge zu einer deutlich reduzierten Wirkung (Jahn, 2010). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt ein Langzeitversuch der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2005 bis 2019). Dieser hat gezeigt, dass eine Minderung des Einsatzes von chemisch-synthetischen Pestiziden im Ackerbau um 25 Prozent zu keinen gravierenden Ertragsverlusten führt (LfL, 2019).

4 Voraussetzungen für den Einsatz nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen

Es ist davon auszugehen, dass Landwirt*innen die Vielzahl an nicht chemisch-synthetischen Alternativen zu Pestiziden nicht in höherem Umfang nutzen, weil vor allem ordnungsrechtliche, ökonomische und praktische Anreize zur Umsetzung fehlen. Die im Kapitel 2 aufgelisteten nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen können nur echte Alternativen darstellen, wenn die Rahmenbedingungen stimmen und Landwirt*innen bei der Umsetzung unterstützt werden. In den folgenden Kapiteln werden einzelne Instrumente vorgestellt, die Teil der Voraussetzungen sind, damit Landwirt*innen nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen bevorzugt anwenden und einen integrierten Pflanzenschutz umsetzen.

4.1 Ökonomische und ordnungsrechtliche Instrumente

Fehlende **ökonomische Anreize** führen dazu, dass chemisch-synthetische Pestizide häufig die erste Wahl sind, da sie direkt wirksam, einfach anwendbar und ökonomisch günstiger sind im Vergleich zu nicht chemischen Alternativen (Schäffer et al., 2018). Ökonomische Anreize sind daher Voraussetzung dafür, dass nicht chemische Pflanzenschutzmittel auch wirtschaftlich attraktiv für Landwirt*innen sind. Zu den klassischen ökonomischen Instrumenten gehören Steuern oder Abgaben, die dazu führen, dass die Kosten-Nutzen-Erwägungen der Landwirt*innen im Interesse umweltpolitischer Ziele beeinflusst werden. Konkret bedeutet das, dass die Kosten der Pestizidausbringung den Nutzen übersteigen und Landwirt*innen somit die reduzierte Ausbringung von chemisch-synthetischen Pestiziden oder die Ausbringung nicht chemischer Alternativen bevorzugen. Die Einführung einer Pestizidabgabe stellt ein ökonomisches Anreizinstrument dar, um sowohl den Einsatz als auch das Risiko von chemisch-synthetischen Pestiziden zu reduzieren (Möckel et al., 2021). Mit den Einnahmen aus der Abgabe könnten unter anderem Forschung und Entwicklung nicht chemischer Pflanzenschutzmittel finanziert werden.

Schweden ist ein weltweiter Vorreiter bei der Einführung einer Steuer auf chemisch-synthetische Pestizide, verbunden mit der Registrierung der angewendeten Pestizide und mit Maßnahmen zur Förderung des integrierten Pflanzenschutzes. Diese Maßnahmen ermöglichten es dem skandinavischen Land, den Absatz von chemisch-synthetischen Pestiziden und die Risiken für die menschliche Gesundheit sowie für die Umwelt zu halbieren. Darüber hinaus umfasst die schwedische Agrarpolitik Anforderungen an Umweltverträglichkeitsprüfungen für landwirtschaftliche Tätigkeiten, deren Kosten von den Landwirt*innen getragen werden (OECD, 2018).

Durch finanzielle Fördermaßnahmen können zusätzliche ökonomische Anreize geschaffen werden, um die Ausbringung von chemisch-synthetischen Pestiziden zu reduzieren oder die Anwendung nicht chemischer Alternativen zu fördern. Die gemeinsame EU-Agrarpolitik (GAP) trägt durch direkte Fördermaßnahmen dazu bei, den Ökolandbau zu erhalten und auszubauen. Laut dem deutschen Strategieplan der GAP für die Jahre 2023 bis 2027 werden den Landwirt*innen vorbeugende Maßnahmen und Maßnahmen, die zum Verzicht auf Pflanzenschutzmittel beitragen, angeboten. Zu Letzterem gehören die Ökoregelung „Verzicht auf Pflanzenschutzmittel“⁸ und die Agrar-Umwelt- und Klimamaßnahme „Verzicht auf beziehungsweise die Reduzierung von chemisch-synthetischen

⁸ Der offizielle Name der Ökoregelung lautet: „Bewirtschaftung von Acker- oder Dauerkulturflächen des Betriebes ohne Verwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln“.

Pflanzenschutzmitteln“ (BMEL, 2022). Insgesamt soll mit Geldern der GAP auf 9,09 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland eine nachhaltige Ausbringung von chemisch-synthetischen Pestiziden und eine allgemeine Reduktion der Pestizidausbringung gefördert werden (BMEL, 2022). Das entspricht etwa einer Fläche von 1.508.278 Hektar.

Ordnungsrechtliche Instrumente zeichnen sich dadurch aus, dass den Praktiker*innen Verbote, Gebote, einzuhaltende Grenzwerte, Verfahrensvorschriften oder technische Anleitungen vorgeschrieben werden. Durch Verbote können bestimmte besonders toxische Pestizidwirkstoffe auf EU- oder nationaler Ebene verboten oder deren Nutzung eingeschränkt werden. Zum Beispiel ist ein Anwendungsverbot von Glyphosat mit Ablauf des Jahres 2023 in Deutschland vorgesehen (Bundesanzeiger, 2021). Zudem müssen professionelle Anwender*innen eine Sachkunde nachweisen, und die Ausbringungsgeräte müssen den gesetzlich festgelegten Standards entsprechen. Auch die Koppelung von Fördermaßnahmen und ordnungsrechtlichen Vorgaben – wie zum Beispiel bei der gemeinsamen EU-Agrarpolitik über das sogenannte Cross-Compliance-Verfahren – bietet die Möglichkeit, die Ausbringung von chemisch-synthetischen Pestiziden zu reduzieren.

4.2 Diagnose, Monitoring und Schwellenwerte

Monitoring und Diagnose sind wichtige Bausteine bei der gezielten Bekämpfung von Schädlingen, Krankheiten und Unkräutern. Neben altbekannten Erregern können neue Organismen eingeschleppt werden, sich durch Mutationen verändern oder an Bedingungen anpassen. Die Entwicklung und Weiterentwicklung von Schädlingen, Krankheiten und Unkräutern muss erfasst und Behandlungsstrategien müssen abgeleitet werden. Dadurch haben Praktiker*innen die Möglichkeit, angemessen zu reagieren. In Deutschland findet die Diagnose regional in den Pflanzenschutzdiensten der Bundesländer statt. Im Idealfall wird das Auftreten der Schädlingsorganismen erfasst und in Prognosemodellen errechnet, wie sich Ausbreitung und Risiko zukünftig entwickeln. Zum Beispiel kommt es im Ackerbau seit einigen Jahren verstärkt zu Problemen mit verschiedenen Drahtwurmart, die im Boden leben und die Wurzeln der Kulturpflanzen fressen und damit große Schäden anrichten. Die verschiedenen Drahtwurmart sind selbst für Expert*innen nur schwer zu unterscheiden. Für eine gezielte und effektive Bekämpfung durch nicht chemische Pflanzenschutzmittel oder mit einem möglichst geringen Pestizideinsatz ist es jedoch erforderlich, die Unterschiede der Drahtwurmart zu kennen und zu erkennen. Eine schnelle Reaktionskette vom Entdeckungsort zum Labor und zurück zu den Landwirt*innen ist eine Voraussetzung für angepasstes Handeln.

Aufbauend auf Monitoring und Diagnose können **Frühwarnsysteme** entwickelt werden, die Auskunft über Zeitpunkt und Intensität des Schadensbefalls geben können. Zum Beispiel zeigt ein Monitoring- und Frühwarnsystem im Weinbau starke Schwankungen des Befalls der verschiedenen Schaderreger (Peronospora, Oidium, Botrytis, Roter Brenner und Phomopsis). In Kombination mit angepassten Handlungsempfehlungen zur Bekämpfung lässt sich schlussfolgern, dass der zeitpunktgenaue Einsatz dank eines Frühwarnsystems Einsparungen der chemisch-synthetischen Pestizide ermöglicht (Soja et al., 2010).

Solide und wissenschaftlich begründete **Schwellenwerte** sind eine wesentliche Orientierungshilfe für Landwirt*innen zur Ausbringung von chemisch-synthetischen Pestiziden und ein Teil des integrierten Pflanzenschutzes. Die Werte dienen als Richtwert für Schaderregerdichten, bei denen eine Behandlung durch chemisch-synthetische Pestizide erfolgen soll und außerdem wirtschaftlich effizient ist. Letztendlich müssen Praktiker*innen die Entscheidung für oder gegen die Ausbringung von chemisch-synthetischen Pestiziden fällen

(Freier & Dachbrodt-Saaydeh, 2018). Kritikpunkte an aktuellen Schwellenwerten sind, dass die Berechnungswege und Basisszenarien im Laufe der Jahre häufig abgeändert werden, weswegen früher definierte Werte unbrauchbar werden. Zudem ignoriert der Fokus auf Wirtschaftlichkeit mögliche negative Effekte auf Nicht-Zielorganismen, Ernährungssicherheit oder generell Biodiversität (Steinmann et al., 2021). Schwellenwerte als Teil des integrierten Pflanzenschutzes müssen daher das Prinzip „chemisch-synthetische Pestizide als letztes Mittel“ widerspiegeln.

4.3 Landwirtschaftliche Ausbildung und Pflanzenschutzberatung

Die landwirtschaftliche Ausbildung und Beratung von Landwirt*innen in Bezug auf Pflanzenschutzmaßnahmen ist ein wichtiges Mittel, um die Anwendbarkeit und Attraktivität von nicht chemischen Alternativen zu erhöhen und muss daher stärker auf den integrierten Pflanzenschutz ausgerichtet werden (Niggli et al., 2020). Häufig sind chemisch-synthetische Pestizide weiterhin die erste Wahl für Landwirt*innen, da sie einfacher anwendbar sind (Schäffer et al., 2018). Um den Übergang zu einer pestizidfreien Landwirtschaft zu erreichen, benötigen Landwirt*innen ein erweitertes Fachwissen (INRA, JKI, Leibniz & ZALF, 2018). Dafür stehen den Landwirt*innen verschiedene Beratungsangebote zur Verfügung. Der wissenschaftliche Beirat des NAP (Niggli et al., 2019) fordert eine Überarbeitung von landwirtschaftlicher Ausbildung und Praxisberatung, da diese momentan nicht ihren Zweck einer optimalen Informationsgrundlage erfüllen. Die offizielle Beratung zum Pflanzenschutz (Offizialberatung) ist Aufgabe der Bundesländer und gesetzlich im Pflanzenschutzgesetz verankert. Die Beratung findet unter anderem in Form von Broschüren, digitalen Medien, Fortbildungsveranstaltungen, Feldtagen und persönlicher Beratung statt. Die Beratungsaktivitäten der Bundesländer werden im Rahmen des NAP seit 2013 regelmäßig erhoben und in einem bundesweiten Beratungsindex⁹ veröffentlicht. Ein Zielindikator ist hier nicht definiert (BMEL, 2020). Der Beratungsbedarf und das Beratungsangebot sind bei den Sonderkulturen Wein, Hopfen und Obstanbau am größten. Der Vergleich des Beratungsindex zwischen 2016 und 2019 lässt keinen allgemeinen Trend erkennen. Jedoch ist in diesem Zeitraum das Beratungsangebot in den beratungsintensiven Dauerkulturen gesunken: im Weinbau von 1,44 auf 1,32 Punkte und beim Hopfenanbau von 1,69 auf 1,23. Im Bereich Obstanbau, Zierpflanzen und öffentliches Grün gab es einen leichten Anstieg des Beratungsangebots (BMEL, 2020).

Der landeseigene Beratungsetat ist teilweise sehr begrenzt (BLE, 2014; CAU, 2018). Kommerzielle Pflanzenschutzberater*innen aus der Pestizidindustrie sowie der örtliche Landhandel bedienen diese Leerstelle und stellen einen großen Teil der zusätzlichen Beratungsangebote mit eigenen Inhalten, die nicht unbedingt den übergeordneten Reduktionszielen des NAP zuträglich sind. Denn die Reduktion von chemisch-synthetischen Pestiziden oder der Einsatz von nicht chemischen Alternativen steht hierbei aufgrund der Industrienähe nicht im Vordergrund (Frische et al., 2016; Thiel, 2021). Eine EU-weite Studie zeigt auch, dass industrieabhängige Berater*innen generell höhere Ausbringungsraten von chemisch-synthetischen Pestiziden empfehlen als unabhängige Beratungsstellen (Pedersen et al., 2019). Die Offizialberatung bedarf daher einer Stärkung durch mehr unabhängige Beratungsressourcen und einer höheren Beratungsintensität. Zudem sollte der Fokus der Beratung klar auf dem Einsatz nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen liegen und auf eine größtmögliche Reduzierung von chemisch-synthetischen Pestiziden abzielen (Niggli et al., 2019).

⁹ Mit einem Indexwert von 1,0 stehen rechnerisch jedem Betrieb die definierten Beratungsangebote einmal im Jahr zur Verfügung.

4.4 Ernterausfallversicherungen

Ernterausfallversicherungen sind Teil des Risikomanagements von Landwirt*innen, um sich vor dem großflächigen Ausfall von Ernten und damit einer finanziellen Notlage zu schützen. Zu den möglichen Risiken gehören unter anderem Extremwetterereignisse wie Überschwemmungen, Hagel oder Spätfrost, aber auch der Ausbruch von Krankheiten oder Schaderregern. Letztere sind erhöhte Risiken, besonders zu Beginn einer Umstellung auf nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen. Diese Absicherung kann ein unterstützendes Umfeld für Landwirt*innen schaffen, um nicht chemische Pflanzenschutzmaßnahmen vorrangig anzuwenden.

Es lässt sich vorerst annehmen, dass Landwirt*innen, die eine gute Ernterausfallversicherung abgeschlossen haben, eher dazu geneigt sind, weniger chemisch-synthetische Pestizide auszubringen, da sie mögliche Ernteverluste von ihrer Versicherung erstattet bekommen. Doch eine Studie zeigt, dass Landwirt*innen, die eine Ernterausfallversicherung abgeschlossen haben, mehr Geld für chemisch-synthetische Pestizide ausgeben als Landwirt*innen, die keine Versicherung abgeschlossen haben (Möhring et al., 2020). Dieser Zusammenhang entsteht, da sich vornehmlich intensiv wirtschaftende Betriebe mit einem höheren Pestizideinsatz eine Ernterausfallversicherung leisten können als extensiv wirtschaftende Betriebe mit weniger Pestizideinsatz.

Eine Ernterausfallversicherung trägt in der Praxis momentan also noch nicht zu Pestizidreduktionen bei. Potenzial besteht allerdings und muss weiter an reelle Gegebenheiten angepasst werden. Denn die zitierte Studie zeigt auch, dass Ernterausfallversicherungen ein komplexes Gebilde sind und sehr stark von Betriebsgröße, Anbausystem und Kultur, klimatischen Bedingungen und der Fördermöglichkeit von Versicherungen abhängen. Mögliche negative Nebeneffekte durch Ernterausfallversicherungen sowie der Zugang zu ihnen müssen in Zukunft deutlich stärker berücksichtigt und auch im Rahmen der Europäischen Agrarpolitik überdacht werden.

5 Politikempfehlungen

Diese Kurzstudie legt dar, dass es eine Vielzahl von nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen gibt, um chemisch-synthetische Pestizide zu reduzieren oder zu ersetzen. Insbesondere der Ökolandbau zeigt, dass der kombinierte Einsatz aus präventiven (ackerbauliche Maßnahmen, landwirtschaftliche Strukturelemente) und direkten Maßnahmen (physikalische und biologische Pflanzenschutzmaßnahmen) den Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden signifikant mindern oder unnötig machen kann. **Der Übergang hin zu einer pestizidfreien Landwirtschaft ist daher ein Kernelement in der Landwirtschaftspolitik in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts und gleichzeitig eine enorme Herausforderung für Landwirt*innen, die zu einer völligen Neubewertung bisheriger Produktions- und Ausbringungspraktiken führen wird** (INRA, JKI, Leibniz & ZALF, 2018). Dazu muss ein grundsätzliches Umdenken in der deutschen und europäischen Agrar- und Chemikalienpolitik stattfinden unter Berücksichtigung der vielfältigen Umweltbelastungen durch chemisch-synthetische Pestizide.

Wesentliche Grundlage hierfür bietet die **konsequente Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes**. Der NAP muss dazu deutlich nachgebessert werden, um dauerhaft umweltgerechte Lösungen zu präsentieren. Die Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes liegt bei den Landwirt*innen und erfordert **ein umfassenderes Fachwissen und eine**

intensivere praxisnahe Unterstützung durch Schulungen, Beratungsangebote und standortspezifische, praxistaugliche Handreichungen. Dazu braucht es eine flächendeckende und unabhängige Beratung mit der klaren Zielsetzung, dass vorrangig die vorbeugenden und nicht chemischen Alternativen angewendet werden müssen und nur als letztes Mittel chemisch-synthetische Pestizide in Betracht gezogen werden (Ultima-Ratio-Prinzip). Insbesondere die indirekten ackerbaulichen Pflanzenschutzmaßnahmen sind Basis für ein gesundes und widerstandsfähiges Pflanzenbausystem und gehören ins Zentrum von Beratungsangeboten. Die **Offizialberatung der Bundesländer** spielt dabei eine zentrale Rolle und ist ein wichtiges Instrument, muss jedoch **finanziell und personell deutlich besser ausgestattet werden**, um den Zielen gerecht zu werden. Zudem braucht es verpflichtende kulturspezifische Leitlinien für den Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden, um ordnungsrechtliche Vorgaben und die Kontrolle dieser besser umsetzen zu können. Letztendlich ist eine umfassende Betrachtung der Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in Deutschland dringend notwendig.

Die Schaffung von ordnungsrechtlichen Vorgaben und deren Durchsetzung, von ökonomischen Anreizen und finanziellen Fördermaßnahmen und von Beratungsstrukturen sind wichtige Voraussetzungen für den Einsatz nicht chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmaßnahmen.

Die Schaffung eines langfristigen und widerstandsfähigen Systems ist Voraussetzung für den Anbau von Sonderkulturen, die derzeit eine hohe Abhängigkeit von chemisch-synthetischen Pestiziden aufweisen. **Umfassende und praxisnahe Schulungs- und Beratungsangebote sind wichtig, um die reduzierte Anzahl von vorbeugenden und nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen im Sonderkulturanbau vollumfänglich auszuschöpfen.**

Es kann davon ausgegangen werden, dass es in Zukunft eine **Verlagerung** von chemisch-synthetischen Pestiziden **hin zu physikalischen Maßnahmen** geben wird, insbesondere, wenn die chemisch-synthetischen Pestizide ihre Zulassung verlieren. Die **Entwicklung und Anwendung von neuen Technologien und Gerätschaften** können dabei helfen, den Wirkungsgrad zu erhöhen und den Energie- und Arbeitsaufwand zu reduzieren und damit die Akzeptanz bei Landwirt*innen zu steigern. Übermäßig hohe Kosten und komplizierte Bedienbarkeit technischer Geräte können das Gegenteil bewirken und müssen bei der Entwicklung im Blick behalten werden.

Der **Ausbau des Ökolandbaus auf 30 Prozent bis 2030** ist ein wichtiger Meilenstein mit der Botschaft, dass 30 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland ohne Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden nachhaltig (ökologisch, sozial, wirtschaftlich) bewirtschaftet werden können. Die Erreichung dieses Ziels muss daher gesichert werden.

Es gibt bisher nur wenige Naturstoffe, die als biologisches Pflanzenschutzmittel zugelassen sind. Momentan ist das Zulassungssystem für Pflanzenschutzmittel auf chemisch-synthetische Wirkstoffe ausgerichtet und damit nicht auf Naturstoffe angepasst. Das führt zu technischen Schwierigkeiten und erschwert die Zulassung von Naturstoffen. Eine **Anpassung des Zulassungssystems auf EU-Ebene zur deutlich schnelleren Bewertung und Zulassung von Naturstoffen** ist daher dringend notwendig (Calmels, 2022). Zudem muss die Forschung und Marktentwicklung im Bereich der Naturstoffe deutlich ausgebaut werden, um sie in der Praxis zur Regulierung von Pflanzenkrankheiten oder zur Stärkung der Kulturpflanze nutzen zu können.

Eine **eindeutige EU-übergreifende rechtliche Definition des biologischen Pflanzenschutzes** ist notwendig, um Missverständnisse zu vermeiden und die Funktionen des biologischen Pflanzenschutzes zu stärken. Die Aufnahme einer Definition in den in der Reform stehenden Aktionsrahmen für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden (SUD) durch die

EU-Kommission ist ein erster Schritt. Auch die Forschung und Entwicklung im Bereich des biologischen Pflanzenschutzes muss stärker vorangebracht werden, um den Landwirt*innen eine effektive und sichere Anwendung garantieren zu können.

Die Reduktion chemisch-synthetischer Pestizide und der Einsatz von nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen können zu Ertrags- und Einkommensverlusten führen, wobei die Studienlage nicht eindeutig ist. **Eine abschließende Bewertung möglicher direkter Ertragsverluste muss die langfristige Ertragsstabilität mit einberechnen.** Die Internalisierung externer Kosten für die Kontrolle und Überwachung des Pestizideinsatzes, für Reparaturen an der Umwelt wie die Trinkwasseraufbereitung oder Gesundheitskosten von Anwender*innen müssen dem kurzfristigen Nutzen des Einsatzes chemische-synthetischer Pestizide gegengerechnet werden. **Eine neue Entfaltung der politischen Diskussion über Ausmaß und Verteilung externer Kosten des chemisch-synthetischen Pestizideinsatzes in Deutschland ist daher notwendig.**

Die **gemeinsame Europäische Agrarpolitik (GAP) ist ein wichtiges Instrument** bei der **Anwendung nicht chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen.** Der deutsche Strategieplan der GAP Förderperiode 2023 bis 2027 sieht bisher vor, dass mit den Maßnahmen eine nachhaltige Ausbringung von chemisch-synthetischen Pestiziden auf 9,09 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche erreicht werden sollen. Das ist in Anbetracht der anstehenden Herausforderungen sowie der Ambitionen der Bundesregierung zu wenig und muss im Laufe der Beratungen mit der EU-Kommission deutlich nachgebessert werden. Zudem müssen die Maßnahmen „Bewirtschaftung von Acker- oder Dauerkulturflächen des Betriebes ohne Verwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln“ und „Verzicht auf beziehungsweise die Reduzierung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln“ finanziell deutlich besser ausgestattet werden, damit sich viele Landwirt*innen an den Maßnahmen beteiligen.

Eine Pestizidabgabe ist ein bereits viel diskutiertes Instrument, um die Kosten-Nutzen-Erwägung der Landwirt*innen neu zu ordnen, den Einsatz von chemisch-synthetischen Pestiziden zu reduzieren und die Anwendung nicht chemischer Alternativen attraktiver zu gestalten. Die Einführung in Schweden hat gezeigt, dass weniger toxische Pestizide eingesetzt wurden. Die Einführung eines solchen Instruments sollte in Erwägung gezogen werden. Die Beauftragung einer Machbarkeitsanalyse und Politikfolgenabschätzung können dabei helfen, eine breite politische Basis für die Umsetzung zu schaffen.

Schwellenwerte im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes sollten auch die externen Kosten wie die Effekte auf Nicht-Zielorganismen und Gesundheit der Menschen mit **einbeziehen** und nicht wie bisher nur auf die Wirtschaftlichkeit der Betriebe ausgerichtet sein. Eine Neuausrichtung des Schwellenwertkonzeptes kann dabei helfen, die Attraktivität von vorbeugenden ackerbaulichen Maßnahmen zu stärken.

6 Danksagung

Die Autor*innen danken Dr. Ana Frelih-Larsen (Ecologic Institut) und Dörthe Melanie Kemper (Ecologic Institut) für die fachliche Unterstützung, Hinweise und Beratung bei dieser Kurzstudie. Auch danken wir Noreen Matthes (Ecologic Institut) für die Erstellung der Grafik der nicht chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen. Zudem danken wir Marlene Ariana Milan (FiBL

Deutschland e.V.), Jennifer Mark (FiBL Schweiz) und Prof. Dr. Peter Fantke (Technische Universität von Dänemark) für den fachlichen Austausch im Zuge der Erstellung der Kurzstudie.

7 Das Ecologic Institut: Wissenschaft und Forschung für eine nachhaltige Welt

Das Ecologic Institut ist ein unabhängiger Think Tank für umweltpolitische Forschung, Analyse und Beratung. Seit seiner Gründung 1995 bringt das Institut neue Erkenntnisse und Ideen in die Umweltpolitik ein. Es fördert nachhaltige Entwicklung und trägt zur Verbesserung der umweltpolitischen Praxis bei. Seine Forschung zielt dabei auch auf die Integration von Umweltbelangen in andere Politikfelder. Ein besonderes Anliegen ist es darüber hinaus, die europäischen und internationalen Dimensionen in Forschung, Bildung und dem umweltpolitischen Diskurs zu stärken. Das Ecologic Institut ist mit Büros in Berlin, Brüssel und Washington DC präsent.

Heute arbeiten über 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für das Ecologic Institut. Sie kommen aus über 25 Ländern. Mit ihrer vielfältigen Expertise decken sie die gesamte Bandbreite der Umweltpolitik, nachhaltigen Entwicklung und sozial-ökologischen Forschung ab. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Ecologic Instituts forschen in inter- und transdisziplinären Projekten. Sie beforschen, begleiten und evaluieren nationale, europäische und internationale Politikprozesse und bringen Akteure aus Wissenschaft, Politik und Praxis zusammen. Das Ergebnis sind fundierte Analysen und praktische Empfehlungen. In Zusammenarbeit mit führenden US-amerikanischen und deutschen Universitäten ist das Institut in der Lehre aktiv.

Das Ecologic Institut finanziert sich als privates, gemeinnütziges Institut durch Projekte. Geldgeber sind unter anderem die [Europäische Kommission](#), das [Europäische Parlament](#), das [Bundesumweltministerium](#), das [Bundesforschungsministerium](#), das [Umweltbundesamt](#) sowie diverse Stiftungen.

Das Ecologic Institut ist Mitglied des [Ecological Research Network](#) (Ecornet).

Das Ecologic Institut ist gemeinnützig, Spenden sind steuerlich absetzbar.

Das Ecologic Institute in Washington DC ist eine IRC 501 (c) (3) Non-Profit-Organisation.

Weitere Informationen: www.ecologic.eu

8 Quellenverzeichnis

- AELF - Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bamberg (o. J.). Mechanische Unkrautregulierung. Ökologischer Landbau. <https://www.aelf-ba.bayern.de/landwirtschaft/oekolandbau/114413/index.php> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Alarcón-Segura, V., Grass, I., Breustedt, G., Rohlf, M., & Tschardt, T. (2022). Strip intercropping of wheat and oilseed rape enhances biodiversity and biological pest control in a conventionally managed farm scenario. *Journal of Applied Ecology*, 1365-2664.14161. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14161>
- Andert, S., Bürger, J., Stein, S., & Gerowitt, B. (2016). The influence of crop sequence on fungicide and herbicide use intensities in North German arable farming. *European Journal of Agronomy*, 77, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.003>
- Ashford, D.L. & Reeves, D.W. (2003). Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crops. *Am. J. Altern. Agric.* 18, S. 37–45. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300950264> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Bakker, L., Sok, J., van der Werf, W., Bianchi, F.J.J.A. (2021). Kicking the Habit: What makes and breaks farmers' intention to reduce pesticide use?. *Ecological Economics*, 180, 106868. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106868>
- Bannier, H.-J. (2011). Moderne Apfelzüchtung: Genetische Verarmung und Tendenzen zur Inzucht: Vitalitätsverluste erst bei Verzicht auf Fungizideinsatz sichtbar. *Erwerbs-Obstbau*, 52(3–4), 85–110. <https://doi.org/10.1007/s10341-010-0113-4>
- Barreiro Hurlé, J., Bogonos, M., Himics, M., Hristov, J., Perez Dominguez, I., Sahoo, A. & Elleby, C. (2021). Modelling environmental and climate ambition in the agricultural sector with the CAPRI model (No. JRC121368). Joint Research Centre (Seville site).
- Bartels, A., Haberlah-Korr, V., Schäfer, B.C. (2020). Leitlinie des integrierten Pflanzenschutzes im Rapsanbau. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP). https://www.nap-pflanzen-schutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/IPS/Integrierter_Pflanzenschutz/Leitlinien_IPS/Raps.pdf (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2019). Integrierter Pflanzenschutz. Leitunkräuter in Getreide. Institut für Pflanzenschutz 6. veränderte Auflage, Juli 2019. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/merkblaetter/leitunkraeuter-getreide_lfl-merkblatt.pdf (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Biofruitnet (o. J.). Ressourcen. <https://biofruitnet.eu/de/ressourcen/#WISSENSCHAFTLICHE-UND-TECHNISCHE-KENNTNISSE> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- BLE (2014). Empfehlung des Forums Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP). *Offizialberatung zum integrierten Pflanzenschutz. Sitzung des Forums Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) am 3. und 4. Dezember 2014 in Bonn.* https://www.nap-pflanzen-schutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Bilder/Forum_NAP/Empfehlungen_Forum_NAP/Anlage-04_Forum_NAP_141203_Empfehlung_Beratung.pdf (Aufgerufen am 30.05.2022)

- BLE (2022). Ökologischer Landbau in Deutschland. Verordnung (EG) Nr. 834/2007 i.V.m. Verordnung (EG) Nr. 889/2008. Aufschlüsselung der Gesamtzahl der Unternehmen nach Unternehmensformen.
- BMEL (2019). Zukunftsstrategie ökologischer Landbau - Impulse für mehr Nachhaltigkeit in Deutschland.
<https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ZukunftsstrategieOekologischerLandbau2019.html> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- BMEL (2020). Situation der Officialberatung in den Ländern (Beratungsindex) 2019.
<https://www.nap-pflanzenschutz.de/indikatorenforschung/indikatoren-und-deutscher-pflanzenschutzindex/deutscher-pflanzenschutzindex/situation-der-officialberatung-in-den-laendern-beratungsindex> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- BMEL (2022). DE-GAP-Strategieplan für die Bundesrepublik Deutschland. 2023DE06AFSP001.
https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/EU-Agrarpolitik-Foerderung/gap-strategieplan.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Böcker, T., Britz, W., & Finger, R. (2018). Modelling the effects of a glyphosate ban on weed management in silage maize production. *Ecological Economics*, 145, S. 182–193.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.027>
- Böcker, T., Britz, W., Möhring, N., Finger, R. (2020). An economic and environmental assessment of a glyphosate ban for the example of maize production. *European Review of Agricultural Economics*, 47(2), 371–402. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000341061>
- Böhler, D., Niggli, J., Hauenstein, S., Vieweger, A. (2021). Bodenschutz und Fruchtfolge - Einhaltung der Grünlandanteile in den Fruchtfolgen viehschwacher und viehloser Biobetriebe. Merkblatt Nr. 1432. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL. ISBN: 978-3-03736-412-3
- Böhm, H. (2014). Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren. *Julius-Kühn-Archiv*, 24–36.
<https://doi.org/10.5073/JKA.2014.443.002>
- Bremmer, J., Gonzalez-Martinez, A., Jongeneel, R., Huiting, H., Stokkers, R., & Ruijs, M. (2021). Impact assessment of EC 2030 Green Deal Targets for sustainable crop production. Wageningen Economic Research <https://doi.org/10.18174/558517>
- Broggini & Giovanni, A.L. (2021). Neues Wissen dank alten Apfelsorten – die Schweizerische Apfel-Kernsammlung. 27 p. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000490772>
- Bundesministerium der Justiz (2012). Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen."Pflanzenschutzgesetz vom 6. Februar 2012 (BGBl. I S. 148, 1281), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3908) geändert worden ist".
- Bundesanzeiger (2021). Fünfte Verordnung zur Änderung der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung (5. PflSchAnwVÄndV). Online verfügbar:
https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=%2F%2F%2A%5B%40attr_id=%27bgbl121s4111.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s4111.pdf%27%5D__1655726484201
- BVL (2011). Beratung zur Nachhaltigkeit im Pflanzenschutz. Empfehlungen des Fachbeirates für nachhaltigen Pflanzenbau im BVL.

https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/zul_dok_Nachhaltigkeit.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Aufgerufen am 30.05.2022)

- BVL (2022). Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland: Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2020. https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/01_meldungen_par_64/meld_par_64_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Calmels (2022). Deliverable No 7.4: European roadmap for reducing contentious plant protection products (copper, mineral oil). Replacement of Contentious Inputs in organic farming Systems. https://relacs-project.eu/wp-content/uploads/2022/04/RELACS_D7.4_European_roadmap_PPP_202204_final.pdf (Aufgerufen am 30.05.2022)
- CAU (2018). Umdruck 19/511. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. <https://www.landtag.ltsh.de/infothek/wahl19/umdrucke/00700/umdruck-19-00737.pdf> (Aufgerufen am 20.06.2022)
- Daniel, c., Cahenzli, F., Stöckli, S. (2018). Mit Kaolin gegen die Kirschessigfliege im Weinbau. Merkblatt Nr. 1073. FiBL <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1073-kaolin.pdf> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Daniel, C., Conder, M., Weidmann, G. (2017). Einsatz von Gesteinsmehl gegen Reislglanzkäfer. Praxistipp Nr. 032. FiBL. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/4902-gesteinsmehl-rapsglanzkaefer.pdf> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Dierauer, H., Niggli, J., Thanner, S., van den Berge, P. (2021). Biologischer Landbau - Grundprinzipien und gute Praxis. 1 Edition. Dossier / Faktenblatt. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, CH-Frick. <https://www.fibl.org/de/shop/1144-grundlagen-biolandbau.html> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Dierauer, H., Wiedmann, G., Sigrist, F. (2017a). Drahtwürmer durch Fruchtfolge minimieren. Praxistipp Nr. 027. FiBL. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1013-fruchtfolgeplanung-drahtwuermer.pdf> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Dierauer, H., Wiedmann, G., Sigrist, F. (2017b). Ackerfuchsschwanz in Wintergetreide durch Hacken regulieren. Praxistipp Nr. 004. FiBL. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/4941-wintergetreide-hacken.pdf> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- EFSA - European Food Safety Authority. (2018). Peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance clothianidin considering the uses as seed treatments and granules. EFSA Journal, 16(2). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5177>
- Europäische Kommission (2020). „Vom Hof auf den Tisch“ – eine Strategie für ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem. COM(2020) 381 final. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Europäische Kommission (2022). Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the sustainable use of plant protection products and amending Regulation (EU) 2021/2115. COM(2022) 305 final. https://ec.europa.eu/food/system/files/2022-06/pesticides_sud_eval_2022_reg_2022-305_en.pdf (Aufgerufen am 23.06.2022)

- Europäischer Rat & Rat der EU (2009). Richtlinie 2009/128/EG des vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union. <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/128/oj>
- Europäischer Rechnungshof (2020). Sustainable use of plant protection products: Limited progress in measuring and reducing risks. Special report No 05, 2020. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2865/349084> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Fogliatto, S., Ferrero, A., & Vidotto, F. (2020). Current and future scenarios of glyphosate use in Europe: Are there alternatives? In *Advances in Agronomy* 163. S. 219–278. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.05.005>
- Freier, B. & Dachbrodt-Saaydeh, S. (2018). Integrierter Pflanzenschutz. Bundesanstalt für Landwirtschaft & Ernährung (Hrsg.) <https://www.ble-medien-service.de/1032/integrierter-pflanzenschutz> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Frische, T., Egerer, S., Matezki, S., Pickl, C., Wogram, J. (2016). 5-Punkte-Programm für einen nachhaltigen Pflanzenschutz. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/5-punkte-programm-fuer-einen-nachhaltigen-0> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Gaba, S., Gabriel, E., Chadœuf, J., Bonneu, F., Bretagnolle, V. (2016). Herbicides do not ensure for higher wheat yield, but eliminate rare plant species. *Sci Rep* 6, 30112. <https://doi.org/10.1038/srep30112>
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tscharntke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L. W., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J. J., ... Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>
- Gelencsér, T. & Dierauer, H. (2021). Abflammen - Alternative Unkrautregulierung ohne Herbizide. Merkblatt Nr. 1155. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL. ISBN: 978-3-03736-395-9
- Griffing, E., Hayashi, K., Overcash, M. (2012). Cradle to gate life cycle inventory and impact assessment of glyphosate. In book: *Proceedings of the 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector* (pp.486–491). Online verfügbar: https://www.researchgate.net/publication/272902379_Cradle_to_gate_life_cycle_inventory_and_impact_assessment_of_glyphosate
- Guddat, C., Degner, J., Marschall, K., Zorn, W., Götz, R. (2015). Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Winterweizen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. 8. Auflage 2015. http://www.tll.de/www/daten/publikationen/leitlinien/ll_ww.pdf (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Häseli, A. (1999). Krankheits- und Schädlingsregulierung im biologischen Rebbau. Merkblatt FiBL. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1217-rebbau-krankheit.pdf> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Häseli, A., Weibel, F., Daniel, C., Schmid, A., Tamm, L., Wyss, E. (2005). Pflanzenschutz im Biokernobstanbau. Merkblatt FiBL. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1016-pflanzenschutz-kernobst.pdf> (Aufgerufen am 30.05.2022)

- Hawkins, N. J., Bass, C., Dixon, A., & Neve, P. (2019). The evolutionary origins of pesticide resistance: The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biological Reviews*, 94(1), 135–155. <https://doi.org/10.1111/brv.12440>
- Herlitzius, T., Grosa, A., Hengst, M., & Przybyla, M. (2020). Bodenbearbeitungstechnik. *Jahrbuch Agrartechnik*, 31 Jahrbuch Agrartechnik 2019. <https://doi.org/10.24355/DBBS.084-202001201528-0>
- Heuser, S., Demmel, M., Pfeiffer, J. & Gandorfer, M., (2018). Automatisierte mechanische Unkrautregulierung. In: Ruckelshausen, A., Meyer-Aurich, A., Borchard, K., Hofacker, C., Loy, J.-P., Schwerdtfeger, R., Sundermeier, H.-H. F. & Theuvsen, B. (Hrsg.), 38. GIL-Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. (S. 99–102). <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/23130> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- HLPE (2019). Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Ex-perts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome 2019. Online verfügbar: www.fao.org/cfs/cfs-hlpe. (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Hulot, J.F. and Hiller, N. (2021). Exploring the benefits of biocontrol for sustainable agriculture – A literature review on biocontrol in light of the European Green Deal. Institute for European Environmental Policy (IEEP).
- INRA, JKI, Leibniz & ZALF (2018). Towards chemical pesticide-free agriculture. https://www.julius-kuehn.de/media/Startseite/2019/PDF/PI2019-05-16_ZALF_Paper_Towards-chemical-pesticide-free-agriculture.pdf (Aufgerufen am 30.05. 2022)
- Jahn, M., Wagner, C., Moll, E., & Pallutt, B. (2010). Auftreten und Bekämpfung von Krankheiten in Wintergetreide in einem Dauerfeldversuch auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf. *Journal für Kulturpflanzen*, 62(7), 248–258.
- JKI (o. J.). Biologischer Pflanzenschutz. <https://www.julius-kuehn.de/pflanzenschutz/biologischer-pflanzenschutz/> (Aufgerufen am 30.05. 2022)
- Kehlenbeck, H., Saltzmann, J., Schwarz, J., Zwerger, P. (2016). Economic assessment of alternatives for glyphosate application in arable farming. In: JKI. Tagesband 27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen Der Unkrautbiologie Und -Bekämpfung. S. 11. DOI:10.5073/JKA.2016.452.038
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the total environment*, 575, 525-535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Koch, E., Herz, A., Kleespies, R. G., Schmitt, A., Stephan, D., & Jehle, J. A. (2019). Statusbericht Biologischer Pflanzenschutz 2018. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, 125 Seiten. <https://doi.org/10.5073/BERJKI.2018.203.000>
- Koller, M. (2009). Kaliumbicarbonat als möglicher Schwefelersatz im geschützten Gemüsebau In: Stolze, M.; Strasser, F.; van der Heijden, M. und Willer, H. (Hrsg.): Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, ETH Zürich, 11.–13. Februar 2009. Band 1: Boden, Pflanzenbau, Agrartechnik, Umwelt- und Naturschutz, Biolandbau international, Wissensmanagement. Verlag Dr. Köster, Berlin. http://orgprints.org/view/projects/int_conf_2009_wita.html (Aufgerufen am 30.05. 2022)

- Krengel-Horney, S., Adler, C., Berger, B., Feike, T., Flath, K., Hausmann, J., Herrmann, D., Jehle, J., Joachim, C., Karpinski, I., Maixner, M., Möller, M., Paap, M., Schittenhelm, S., Schrader, G., Seidel, P., Stahl, A., Strassemeyer, J., Ulber, L., ... Kehlenbeck, H. (2021). Klimawandel und mögliche Herausforderungen für den Pflanzenschutz – Gestern, heute, morgen. *Journal für Kulturpflanzen*, S. 292-305. <https://doi.org/10.5073/JFK.2021.07-08.14>
- Kühne, S. & Friedrich, B. (o. J.). Neem. <https://oekologischerlandbau.julius-kuehn.de/index.php?menuid=46> (Aufgerufen am 30.05. 2022)
- Lamichhane, J. R., Dachbrodt-Saaydeh, S., Kudsk, P., & Messéan, A. (2015). Toward a reduced reliance on conventional pesticides in european agriculture. *Plant Disease*, 100(1), 10–24. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0574-FE>
- Leach, A., & Mumford, J.D. (2008). Pesticide Environmental Accounting: A method for assessing the external costs of individual pesticide applications. *Environmental Pollution*. 151(1), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.02.019>.
- Lechenet, M., Dessaint, F., Py, G., Makowski, D., & Munier-Jolain, N. (2017). Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. *Nature Plants*, 3(3), 1-6. 10.1038/nplants.2017.8
- Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (Hrsg.) (2022). Arbeit unter einem D-A-CH: Der Landwirt im 4.0-Modus. 23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium. https://opus4.kobv.de/opus4-slbp/frontdoor/deliver/index/docId/17047/file/akal_2022.pdf#page=122 (Aufgerufen am 30.05.2022)
- LfL (2019). Langzeitversuch zur Minderung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/160284/index.php> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- LTZ Augustenberg (2021). Integrierter Pflanzenschutz 2022. Ackerbau und Grünland, Sortenratgeber und Pflanzenschutzempfehlungen. <https://www.isip.de/isip/servlet/resource/blob/335540/24843284207f43234d6380685f882026/integrierter-pflanzenschutz-ackerbau-und-gruenland-8--data.pdf> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Möckel, S., Gawel, E., Liess, M., & Neumeister, L. (2021). Wirkung verschiedener Abgabekonzepte zur Reduktion des Pestizideinsatzes in Deutschland. https://www.gls.de/media/PDF/Presse/Studie_Pestizid-Abgabe_in_Deutschland_2021.pdf (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Möhring, N., Dalhaus, T., Enjolras, G., & Finger, R. (2020). Crop insurance and pesticide use in European agriculture. *Agricultural Systems*, 184, 102902. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102902>
- Nagel, C., Lange, S., Richert-Pöggler, K.R. (2020). Knoblauch (*Allium sativum* L.): Vermehrungsbestände im ökologischen Landbau gesund erhalten. Flyer aus dem JKI. <https://doi.org/10.5073/20201105-130218>
- Nave, S., Jacquet, F., & Jeuffroy, M. H. (2013). Why wheat farmers could reduce chemical inputs: evidence from social, economic, and agronomic analysis. *Agronomy for sustainable development*, 33(4), 795–807.

- Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. (2016). Chemical pesticides and human health: The urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148>
- Niggli, U., Gerowitt, B., Brühl, C., Liess, M., Schulz, R., Riedel, J. (2019). Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen: Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. S. 48.
- Niggli, U., Riedel, J., Brühl, C., Liess, M., Schulz, R., Altenburger, R., Märlander, B., Bokelmann, W., Heß, J., Reineke, A. and Gerowitt, B. (2020). Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen. *Berichte über Landwirtschaft*, 98 (1): 1–39. Online verfügbar: <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/272/481>
- Nougadère, A., Sirot, V., Cravedi, J.-P., Vasseur, P., Feidt, C., Fussell, R. J., Hu, R., Leblanc, J.-C., Jean, J., Rivière, G., Sarda, X., Merlo, M., & Hulin, M. (2020). Dietary exposure to pesticide residues and associated health risks in infants and young children – Results of the French infant total diet study. *Environment International*, 137, 105529. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105529>
- OECD (2018). Innovation, Agricultural Productivity and Sustainability in Sweden. https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/innovation-agricultural-productivity-and-sustainability-in-sweden_9789264085268-en (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Ökolandbau.de (2018). Apfelwickler. <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/pflanzenschutz/schaderreger/schadorganismen-im-obst-und-weinbau/tierische-schaderreger/apfelwickler/> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Ökolandbau.de (2021). Pheromoneinsatz im Pflanzenschutz. <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/pflanzenschutz/biologischer-pflanzenschutz/pheromoneinsatz-im-biologischen-pflanzenschutz/> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Ökolandbau.de (o. J.). Grundlagen des biologischen Pflanzenschutzes. <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/pflanzenschutz/grundlagen/> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- PAPA JKI (o. J.). Behandlungsindex. <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=43> (Aufgerufen am 30.05. 2022)
- Pedersen, A. B., Nielsen, H. Ø., Christensen, T., Ørum, J. E., & Martinsen, L. (2019). Are independent agricultural advisors more oriented towards recommending reduced pesticide use than supplier-affiliated advisors? *Journal of Environmental Management*, 242, 507–514. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.091>
- Pestizid Aktions-Netzwerk e.V. (PAN Germany), Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND), Naturschutzbund Deutschland (NABU), Greenpeace e.V. (2012). Stellungnahme der Umweltverbände zum NAP (Entwurf 27.09.2012). http://www.pan-germany.org/download/Umweltverbaende_Stellungnahme_zum%20_NAP_Entwurf_vom_270912.pdf (Aufgerufen am 30.05. 2022)
- Poux, X., Aubert, P.-M. (2018). An agroecological Europe in 2050: multifunctional agriculture for healthy eating. Findings from the Ten Years For Agroecology (TYFA) modelling exercise, Iddri-AScA, Study, 9, 18.

- Proplanta (2018). Nützling gibt Gemüsebauern Hoffnung. https://www.proplanta.de/agrar-nachrichten/pflanze/nuetzling-gibt-gemuesebauern-hoffnung_article1540105354.html (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Roßberg, D., & Ipach, R. (2015). Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Weinbau. *Journal Für Kulturpflanzen* 67(12) 2015, 305 KB, 410–416. <https://doi.org/10.5073/JFK.2015.12.03>
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Savary, S., Bregaglio, S., Willocquet, L., Gustafson, D., Mason D’Croz, D., Sparks, A., Castilla, N., Djurle, A., Allinne, C., Sharma, M., Rossi, V., Amorim, L., Bergamin, A., Yuen, J., Esker, P., McRoberts, N., Avelino, J., Duveiller, E., Koo, J., & Garrett, K. (2017). Crop health and its global impacts on the components of food security. *Food Security*, 9(2), S. 311–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0659-1>
- Schäffer, A., Filser, J., Frische, T., Gessner, M., Köck, W., Kratz, W., Liess, M., Nuppenau, E.-A., Roß-Nickoll, M., Schäfer, R., & Scheringer, M. (2018). Der stumme Frühling: Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. - Nationale Akademie der Wissenschaften. Online verfügbar: https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2018_Diskussionspapier_Pflanzenschutzmittel.pdf
- Soja, G., Zehetner, F., Rampazzo-Todorovic, G., Schildberger, B., Hackl, K., Hofmann, R. & Omann, I. (2010). Weinbau im Klimawandel: Anpassungs- und Mitigationsmöglichkeiten am Beispiel der Modellregion Traisental (WEINKLIM). https://kernzentrum.at/media/pages/presse/studien-arbeiten/99c1c64559-1607496219/uni_weinklim-bericht_gesamt_2010-04-07b.pdf (Aufgerufen am 30.05.2022)
- SPD, Die Grünen & FDP (2021). Mehr Fortschritt wagen: Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). Online verfügbar: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf
- Stark, J. C., Thornton, M., & Nolte, P. (Eds.). (2020). *Potato production systems*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39157-7>
- Stehle, S., & Schulz, R. (2015). Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5750–5755. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500232112>
- Steinmann, H.-H., de Mol, F., Kakau, J., & Gerowitt, B. (2021). Was ist eine ökologische Schadensschwelle? *Gesunde Pflanzen*, 73(2), 135–147. <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00551-9>
- Stupak, N. & Sanders, J. (2021). F.R.A.N.Z.-Bericht. Auswirkungen biodiversitätsfördernder Maßnahmen auf andere Umweltgüter. Thünen-Institut für Betriebswirtschaft. Online verfügbar: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn063344.pdf
- Techen, A.-K., & Helming, K. (2017). Pressures on soil functions from soil management in Germany. A foresight review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(6), 64. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0473-3>

- Thiel, L., Mergenthaler, M., Haberlah-Korr, V. (2021). Wahrgenommene Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes bei landwirtschaftlichen Betrieben in Nordwestdeutschland. *Gesunde Pflanzen* 73, 119–134. <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00548-4>
- Titze, A. (2017). Möglichkeiten und Grenzen der mechanischen Unkrautbekämpfung. <https://www.isip.de/isip/servlet/resource/blob/269278/931a1f2777407aeb389d0794e540c0d6/02-titze-data.pdf> (Aufgerufen am 30.05.2022)
- Wezel A, Casagrande M, Celette F, Vian J-F, Ferrer A, Peigné J (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron Sustain Dev* 34:1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
- Zwenger, P. (2016). Pflanzenschutzmittel-Resistenz - Anforderungen an den Landwirt. In: 25. Thüringer Düngungs- und Pflanzenschutztagung, 24. November 2016. https://www.julius-kuehn.de/ex_anwendung/downloadFatPdf.php?file=2016-Zwenger.pdf (Aufgerufen am 30.05.2022)

Ecologic Institut

www.ecologic.eu

FB: /Ecologic.Institute

Twitter: /EcologicBerlin



Impressum

Herausgeber:

*Bund für Umwelt und Naturschutz
Deutschland e.V. (BUND)
Kaiserin-Augusta-Allee 5
10553 Berlin*

Telefon: 0 30/2 75 86-40

Telefax: 0 30/2 75 86-440

E-Mail: bund@bund.net

www.bund.net/landwirtschaft

V.i.S.d.P.: *Petra Kirberger*

Gestaltung: *Natur & Umwelt
Verlag*

Titelfoto:

Peggychoucair/pixabay.com

September 2022