



Biodiversität in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion: Voraussetzung für Pflanzenschutz, Klimaschutz und Produktivität

Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität
und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für
Ernährung und Landwirtschaft

DEZEMBER 2024

Federführende Autorinnen und Autoren:

Maria R. Finckh, Enno Bahrs, Jens Dauber, Peter H. Feindt, Inga M. Schleip, Ernst Tholen, Sven Wagner, Frank Wätzold, Johanna Wider, Volkmar Wolters

Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim BMEL

Stand 12/2024

- » Prof. Dr. Peter H. Feindt, Humboldt-Universität zu Berlin (Vorsitzender)
- » Prof. Dr. Volkmar Wolters, Justus-Liebig-Universität Gießen (stv. Vorsitzender)
- » Prof. Dr. Enno Bahrs, Universität Hohenheim
- » Prof. Dr. Jens Dauber, Thünen-Institut, Braunschweig
- » Prof. Dr. Maria R. Finckh, Universität Kassel
- » Dr. Hannah Jaenicke, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- » Dr. Jörg R. G. Kleinschmit, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
- » Prof. Dr. Felicitas Krämer, Universität Potsdam
- » Prof. Dr. Charlotte Kreuter-Kirchhof, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
- » Prof. Dr. Inga M. Schleip, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde
- » Prof. Dr. Nils Stein, Leibniz-Institut (IPK), Gatersleben
- » Dr. Ernst Tholen, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- » Prof. Dr. Sven Wagner, Technische Universität Dresden
- » Prof. Dr. Frank Wätzold, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
- » Dr. Helmut Wedekind, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Starnberg
- » Prof. Dr. Steffen Weigend, Friedrich-Loeffler-Institut, Riems
- » Dr. Johanna Wider, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn
- » Prof. Dr. Katrin Zander, Universität Kassel

Zitierweise der Stellungnahme:

Maria R. Finckh, Enno Bahrs, Jens Dauber, Peter H. Feindt, Inga M. Schleip, Ernst Tholen, Sven Wagner, Frank Wätzold, Johanna Wider, Volkmar Wolters, Hannah Jaenicke, Jörg R. G. Kleinschmit, Felicitas Krämer, Charlotte Kreuter-Kirchhof, Nils Stein, Helmut Wedekind, Steffen Weigend, Katrin Zander, Wissenschaftlicher Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2024): Biodiversität in der landwirtschaftlichen Produktion: Voraussetzung für Pflanzenschutz, Klimaschutz und Produktivität. Stellungnahme, Bonn und Berlin, 26 Seiten.

Bildnachweise:

Von links nach rechts oben: Liniensorte Weizen, Evolutionsramsches Weizen (evolvierte Population), Erbsen und Weizen (Blühaspekt und Zweitkultur), Blühhmischung als Zwischenfrucht, Insekten in der Blühhmischung. Unten: Auch in strukturreichen Agrarlandschaften kann maschinengerecht gearbeitet werden. Alle Fotos: Maria R. Finckh

Geschäftsstelle des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim BMEL

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
Informations- und Koordinationszentrum für Biologische Vielfalt (IBV)
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn

Tel.: +49 (0)228 6845-3052

E-Mail: vera.overroedder@ble.de

Internet: <https://www.genres.de/fachgremien/wissenschaftlicher-beirat-fuer-biodiversitaet-und-genetische-ressourcen>

Inhalt

Das Wichtigste in Kürze	1
1 Ausgangspunkt: Landwirtschaft und biologische Vielfalt in der Multikrise	3
2 Biologische Vielfalt als Schutzgut	4
3 Drei Paradigmen zum Verhältnis von Landwirtschaft und biologischer Vielfalt	5
4 Die Herausforderung angesichts vielfältiger Krisendynamiken: Resilienz der Agrarsysteme	6
5 Systemischer Ansatz: Biologische Vielfalt als Grundvoraussetzung für Resilienz, Produktivität und Synergien	7
6 Biodiversität als Grundvoraussetzung für Pflanzenschutz	9
7 Biodiversität als Voraussetzung für Klimawandelanpassung und Verhinderung negativer landwirtschaftlicher Einflüsse auf das Klima	10
8 Handlungsansätze für die Politik zur notwendigen Integration von Biodiversität in die landwirtschaftlichen Produktionssysteme	11
8.1 Handlungsansätze für den Anbau.....	12
8.2 Handlungsansätze für die Verarbeitung und Vermarktung	12
8.3 Ansatzpunkt Wissen und Werte der Landwirtinnen und Landwirte	13
8.4 Ansatzpunkt wirtschaftliche Inwertsetzung der Biodiversität	14
8.5 Ansatzpunkt Grundlagenforschung, Daten- und Monitoringsysteme	14
9 Fazit	16
10 Referenzen	17

Das Wichtigste in Kürze

In die Produktion integrierte Biodiversität ist eine unverzichtbare Voraussetzung für die im Sinne einer vorsorgenden Zukunftssicherung erforderliche Transformation der heutigen Agrar- und Ernährungssysteme zu nachhaltigen, kreislauforientierten Systemen. Jedoch wurden die systemischen Wechselwirkungen zwischen den ökologischen, sozialen, technischen und ökonomischen Komponenten von Agrarsystemen lange Zeit vernachlässigt. In der Wissenschaft hat sich mittlerweile ein agrarökologisches Paradigma etabliert, das diese systemischen Zusammenhänge in den Mittelpunkt stellt. Zugleich ist zu beobachten, dass in der gesellschaftlichen und politischen Diskussion angesichts vielfältiger Krisenwahrnehmungen ein vereinfachtes und kurzfristig orientiertes Verständnis der Funktionen von Agrarsystemen vielerorts auf Resonanz stößt.

Vor diesem Hintergrund warnt der WBBGR davor, angesichts vielfältiger Krisenphänomene auf überholte und oft vereinfachende Vorstellungen zurückzufallen, die einen Gegensatz zwischen landwirtschaftlicher Produktivität und biologischer Vielfalt postulieren. Landwirtschaftliche Produktionssysteme spielen aufgrund ihrer großen Flächenwirksamkeit, ihrer Nutzung genetischer Ressourcen und ihrer vielfältigen Wechselwirkungen mit ökologischen Prozessen eine zentrale Rolle beim Erhalt der biologischen Vielfalt. Gleichzeitig ist die biologische Vielfalt die Basis der landwirtschaftlichen Produktivität und eine Grundvoraussetzung für funktionierenden Pflanzenschutz, Kohlenstoffspeicherung und Klimawandelanpassung. Die Resilienz (Krisenfestigkeit) der Agrarsysteme beruht nicht zuletzt auf biologischer Vielfalt. Maßnahmen wie die Aufhebung ökologischer Vorrangflächen schwächen daher die Resilienz der Agrarsysteme und können mittel- und langfristig erhebliche volkswirtschaftliche Schäden nach sich ziehen.

Mit dem auf die Produktionssteigerung und die Bedürfnisse der Produzenten ausgerichteten produktivistischen Paradigma und dem strikt auf den Naturschutz fokussierten Paradigma dominierten lange zwei Sichtweisen, die eine Konkurrenz oder gar einen Gegensatz zwischen landwirtschaftlicher Produktivität und biologischer Vielfalt postulierten, wenn auch mit gegensätzlichen Prioritäten. **Das agrarökologische Paradigma kann diese scheinbaren Gegensätze überbrücken, zu innovativen Lösungen beitragen und den Blick auf die wichtigen Beiträge der biologischen Vielfalt für die Produktivität und Resilienz von Agrarsystemen weiten.**

Auf dieser Basis formuliert der WBBGR auf fünf Ebenen **Handlungsempfehlungen an die Politik:**

(i) Im Anbau bedarf es der (Re-) Integration von Tieren mit Weidehaltung und mehrjährigem Futterbau, der Erhöhung der zwischenartlichen Vielfalt durch vielfältige Fruchtfolgen, der Erhöhung der innerartlichen Vielfalt sowie der Vielfalt in den Beständen durch Mischkulturen sowie vernetzte Strukturelemente und Schutzflächen auf möglichst 10 % der Fläche (ohne Wälder und Gewässer).

(ii) In der Verarbeitung und Vermarktung müssen Methoden für die Extraktion und Nutzung wertgebender Inhaltsstoffe aus den angebauten Kulturen sowie die notwendige Infrastruktur zur Lagerung, Nutzung und/oder Trennung von Mischkulturprodukten gefördert werden, möglichst mit Schwerpunkt auf regionaler Wertschöpfung.

(iii) Das agrarökologische Wissen der Landwirtinnen und Landwirte muss gefördert werden. Dazu bedarf es verlässlicher politischer Rahmenbedingungen und flächendeckender betriebsspezifischer Beratung sowie intensiver agrarökologischer Wissensvermittlung in der Ausbildung. Ebenfalls ist verstärkte Forschung zur Resilienz von Agrarsystemen und damit die Stärkung des Praxiswissens notwendig, insbesondere zur Rolle von Biodiversität für die Resilienz durch transdisziplinäre Forschung in Reallaboren.

(iv) Um Biodiversität in Wert zu setzen, muss der volkswirtschaftliche Nutzen von Anbaumethoden mit vermindertem Input durch Fördermaßnahmen sowie Weiterentwicklung der

Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene, aber auch „an der Ladentheke“ in Wert gesetzt werden. Folgekosten nicht nachhaltiger Anbaumethoden müssen verstärkt internalisiert werden.

(v) Um das Grundlagenwissen zu verbessern und die Wirkungen der Maßnahmen zu ermitteln, sollte die Wissenschaft sich vermehrt mit dem wechselseitigen Einfluss von Produktivität und Biodiversität befassen. Ein dauerhaftes Monitoring der biologischen Vielfalt in den verschiedenen Agrarlandschaften sowie der Interaktionen des Anbausystems mit der Biodiversität sollte etabliert und institutionell und finanziell abgesichert werden.

1 Ausgangspunkt: Landwirtschaft und biologische Vielfalt in der Multikrise

Ist es erforderlich, den Schutz der Biodiversität zurückzustellen, um eine ausreichende die land- und forstwirtschaftliche Produktion und letztlich die Ernährungssicherheit zu gewährleisten? Vor dem Hintergrund geopolitischer und wirtschaftlicher Krisen wie dem russischen Überfall auf die Ukraine und den u. a. dadurch ausgelösten Preissteigerungen für Energie und Lebensmittel wurde von maßgeblichen agrarpolitischen Kreisen diese Argumentation vorgebracht.¹ Der erhebliche Einfluss solcher Auffassungen zeigte sich u. a., als im Frühjahr 2024 die geplante EU-Verordnung zur Pestizidreduktion (SUR)² im Europäischen Parlament scheiterte und in der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union (EU) in einem legislativen Eilverfahren wichtige Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften außer Kraft gesetzt wurden, die über Jahrzehnte hinweg mühsam in mehreren GAP-Reformen verhandelt worden waren.

Tatsächlich rücken die sich verschärfenden internationalen Konfliktlagen, insbesondere die militärischen und hybriden Aggressionen Russlands und der Nahostkonflikt mit seinen Auswirkungen auf die internationalen Handelsrouten (Auswärtiges Amt, 2023) Fragen nach der strategischen Unabhängigkeit Europas in den Fokus. Dazu gehört auch die Sicherheit der Versorgung mit Lebensmitteln.

Aus Sicht des WBBGR ist neben der Auseinandersetzung mit den Folgen der geopolitischen Konflikte eine langfristige strategische Perspektive auf die Frage der Ernährungssicherheit auch für nachfolgende Generationen geboten. Eine solche vorsorgeorientierte Perspektive erfordert die umfassende Berücksichtigung aller Faktoren, die mittel- und langfristig die Nahrungsmittelproduktion neben den politischen, ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen beeinflussen. Hierzu gehören insbesondere die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen wie fruchtbare Böden und sauberes Wasser, die klimatischen Bedingungen sowie die biologische Vielfalt und die genetischen Ressourcen der genutzten Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen.

Bereits 2020 machte der WBBGR in seiner Stellungnahme zur Ackerbaustrategie des BMEL (Bahrs et al., 2020) deutlich, dass die Biodiversität die Grundlage der Landwirtschaft und des menschlichen Wohlergehens darstellt. Auch nimmt die Biodiversität eine zentrale Rolle bei der Bewältigung der Klimakrise ein, da sie – wie in Kapitel 5 ausgeführt – eine Grundvoraussetzung für Resilienz, Produktivität und Synergien in den Agrar- und Ernährungssystemen ist (Dannenberg et al., 2024; IPCC, 2022; Leibniz-Forschungsnetzwerk, 2024). Die Verluste der biologischen Vielfalt sind dramatisch (IPBES, 2019), auch in Deutschland (Wirth et al., 2024). Keine andere Grenze für einen sicheren planetaren Handlungsspielraum wird so deutlich durchbrochen wie der rapide Verlust der biologischen Vielfalt (Richardson et al., 2023).

Die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland und Europa ist auf vielfache Weise von diesen vielfältigen Krisendynamiken betroffen. Die geopolitischen Konflikte haben starke Verwerfungen und Volatilitäten auf den internationalen Agrarmärkten nach sich gezogen (FAO, 2024). Der Klimawandel stellt viele Agrarsysteme vor große Anpassungsprobleme (Jacobs et al., 2019), u. a. auch durch die Ausbreitung von Schadorganismen in neue Regionen. Die gegenwärtigen Ernährungssysteme sind

¹ So argumentierte etwa der Landwirtschaftsminister eines deutschen Bundeslandes, in der Krise müssten „die Potenziale unserer heimischen Landwirtschaft“ aktiviert werden und ökologische Aspekte zurücktreten. „Produktionseinschränkende Maßnahmen“ sollten zurückgefahren werden, denn man trage eine Verantwortung für die Versorgung außerhalb der Grenzen Deutschlands und Europas. (Pressemitteilung des Nds. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 10.03.2022 zur Burg Warberger Erklärung: <https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/pressemitteilungen/die-gesamte-agrarpolitik-muss-auf-den-prufstand-209512.html> (zuletzt aufgerufen 14.10.2024))

² „Regulation of the European Parliament and of the Council on the sustainable use of plant protection products and amending Regulation (EU) 2021/2115“ vom 22.06.2022.

nicht nur der größte weltweite Treiber des Biodiversitätsverlustes (Benton et al., 2021), ihre Fähigkeit zur Anpassung an sich wandelnde Umweltbedingungen wird durch den Verlust genetischer Ressourcen zudem deutlich geschwächt (Bruns, 2017; Gibson and Nguyen, 2021; IPCC, 2022; Storkey et al., 2019). Um die Herausforderungen durch Verknappung und Verteuerung der Mineraldünger, weniger zugelassene Wirkstoffe im Pflanzenschutz, steigende Resistenzen bei Schädlingen, und die Ausbreitung neuer Schädlinge durch globale Mobilität und den Klimawandel zu meistern, ist Biodiversität eine Grundvoraussetzung (siehe Kapitel 5 und 6).

Der WBBGR warnt davor, angesichts der vielfältigen und miteinander verflochtenen Krisendynamiken auf vereinfachende Vorstellungen zurückzufallen, die einen Gegensatz zwischen landwirtschaftlicher Produktivität und biologischer Vielfalt behaupten. In der Wissenschaft wird mittlerweile besser verstanden, dass biologische Vielfalt eine zentrale Bedeutung für die Sicherung der menschlichen Lebensgrundlagen hat und eine unverzichtbare Grundlage für die landwirtschaftliche Produktion ist. In der öffentlichen Diskussion ist dies in Bezug auf die Bestäubungsleistungen von Insekten oder die biologische Schädlingskontrolle bereits gut bekannt. Ziel dieser Stellungnahme ist es, in kondensierter Form den derzeit in der Wissenschaft stattfindenden Paradigmenwechsel zum Verständnis der Bedeutung der biologischen Vielfalt für die landwirtschaftliche Produktion und die sich daraus ergebenden Handlungsansätze zu erläutern. Die Stellungnahme hat dabei den Charakter eines Reflexionspapiers, das sich an politische Entscheidungsträger und die interessierte Öffentlichkeit wendet. Viele der hier dargestellten Überlegungen schlagen sich bereits in politischen Programmen wie dem „Zukunftsprogramm Pflanzenschutz“ des BMEL (BMEL, 2024) und in EU-weiten Initiativen wie „A Soil Deal for Europe“, der „EU Pollinator Initiative“ und der „Agroecology Partnership“³ nieder.

2 Biologische Vielfalt als Schutzgut

Auf politischer und wissenschaftlicher Ebene besteht allgemeiner Konsens darüber, dass der Erhaltung der biologischen Vielfalt und der genetischen Ressourcen große Bedeutung zukommt.⁴ Biologische Vielfalt und genetische Ressourcen haben nicht nur einen Eigenwert, sondern sind eine unverzichtbare und unersetzliche Grundlage für die ökonomische, ökologische und soziale Zukunft unserer Gesellschaften und der Menschheit insgesamt. Sie bilden insbesondere auch die Grundlage für die Produktion von Lebensmitteln und nachwachsenden Rohstoffen. Zudem wird der biologischen Vielfalt zunehmend eine wichtige Rolle bei der Anpassung an den Klimawandel zugeschrieben (IPCC, 2022; Leibniz-Forschungsnetzwerk, 2024; Tsujimoto et al., 2015). Aufbauend auf einem breiten wissenschaftlichen Fundament ist das Ziel, die biologische Vielfalt zu erhalten, auf nationaler und internationaler Ebene vielfach rechtsverbindlich festgeschrieben.⁵

³ <https://mission-soil-platform.ec.europa.eu/>; https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/pollinators_en, <https://www.agroecologypartnership.eu/>

⁴ Siehe dazu insbesondere die Berichte der Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).

⁵ Siehe insbesondere: Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (SDG) der Vereinten Nationen (UN), Verpflichtung der Bundesregierung zu den Zielen des UN-Übereinkommens zur Biologischen Vielfalt (CBD), Verpflichtende Ziele des Internationalen Saatgutvertrages für pflanzengenetische Ressourcen, Ziele des European Green Deal, der EU-Biodiversitätsstrategie für 2030, der Farm-to-Fork-Strategie und daraus resultierende rechtsverbindliche Richtlinien und Verordnungen, Verpflichtung der Bundesregierung von 2005, den Anteil hochwertiger Biotope an der Landschaft zu erhöhen (Natura 2000), Ziele und Empfehlungen der Kommission für genetische Ressourcen der FAO, Ziele der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa (MCPFE, heute Forest Europe).

Aufgrund ihrer erheblichen Flächenansprüche, ihrer Nutzung genetischer Ressourcen und ihrer vielfältigen Wechselwirkung mit ökologischen Prozessen **spielen landwirtschaftliche Produktionssysteme eine zentrale Rolle beim Erhalt der biologischen Vielfalt**. Zu nennen sind insbesondere drei Aspekte:⁶

1. der Erhalt der genutzten biologischen Vielfalt, insbesondere der Vielfalt an Nutzpflanzen und -tieren;
2. der Erhalt der mit den landwirtschaftlichen Produktionssystemen assoziierten biologischen Vielfalt, z. B. Ackerbeikräuter, Bestäuberinsekten, Schädlingsantagonisten oder Vögel der Agrarlandschaften;
3. der Erhalt der Vielfalt der Ökosysteme, die weder landwirtschaftlich genutzt werden noch mit landwirtschaftlichen Produktionssystemen assoziiert sind, oft aber in starker Wechselwirkung mit landwirtschaftlichen Einflüssen stehen, wie z. B. Gewässer und Wälder.

3 Drei Paradigmen zum Verhältnis von Landwirtschaft und biologischer Vielfalt

Das Verhältnis zwischen landwirtschaftlicher Produktion und biologischer Vielfalt ist vielschichtig und komplex. Die praktische Ausgestaltung dieses Verhältnisses orientiert sich dabei an mehr oder weniger ausformulierten Paradigmen, also Erklärungsmodellen und Sichtweisen, die jeweils bestimmte Aspekte des Verhältnisses zwischen Landwirtschaft und biologischer Vielfalt in den Vordergrund stellen, aber auch unterschiedliche Werthaltungen beinhalten:

- Im *produktivistischen Paradigma* ist es Aufgabe der Landwirtinnen und Landwirte, mit den vorhandenen Ressourcen möglichst viele Lebensmittel und andere Rohstoffe zu erzeugen. Aufgabe des Staates ist es, Rahmenbedingungen zu schaffen, welche die Ressourcenallokation optimieren und die Entwicklung und Verbreitung produktiver Technologie unterstützen, v.a. um die Ernährungssicherheit zu gewährleisten. Dem Erhalt und der Weiterentwicklung der genutzten biologischen Vielfalt, also der Nutzpflanzen und -tiere, durch Züchtung kommt dabei große Bedeutung zu. Die mit den landwirtschaftlichen Produktionssystemen assoziierte biologische Vielfalt hat oftmals geringen Wert. Ackerbeikräuter werden generell als Konkurrenz der Nutzpflanzen, Insekten z. T. als potenzielle Schädlinge und Vögel z. T. als Futterkonkurrenten betrachtet. Zu Ökosystemen, die nicht landwirtschaftlich genutzt werden, besteht aus dieser Sicht v.a. eine Konkurrenz um knappe Flächen. Ihre Wechselwirkung mit landwirtschaftlichen Einflüssen findet wenig Beachtung. Biologische Vielfalt hat einen instrumentellen Wert, der sich selektiv auf die landwirtschaftlich nutzbaren Tiere und Pflanzen beschränkt, die zudem als legitimer Gegenstand züchterisch-technischer Optimierung gesehen werden.
- Im *Naturschutzparadigma* steht der Erhalt der Vielfalt von Ökosystemen im Vordergrund, die nicht landwirtschaftlich genutzt werden, und es werden v.a. negative Wechselwirkungen mit der intensiven Landbewirtschaftung thematisiert. Zunehmende Beachtung findet auch der Erhalt der mit den landwirtschaftlichen Produktionssystemen assoziierten biologischen Vielfalt, oft mit Fokus auf einzelne Arten in Agrarlandschaften (z. B. Feldvögel oder Feldhamster)⁷, was zu einem Interesse an traditionellen und extensiven Bewirtschaftungsformen führt. Die genutzte biologische Vielfalt der Nutzpflanzen und -tiere spielt in diesem Paradigma allenfalls mit Blick auf den Erhalt traditioneller Nutzpflanzen und Nutztierassen eine untergeordnete Rolle.

⁶ Vgl. dazu beispielsweise die Definition von Biodiversität in der UN-Konvention zur biologischen Vielfalt.

⁷ Siehe dazu: <https://www.bfn.de/lebensraumtypen>

- Das *agrärökologische Paradigma* stellt die Synergien zwischen biologischer Vielfalt und landwirtschaftlicher Produktion in den Vordergrund. Die Vielfalt der landwirtschaftlich genutzten Tiere und Pflanzen wird in ihren Wechselwirkungen mit den genutzten und den nicht genutzten Ökosystemen sowie mit der assoziierten biologischen Vielfalt in den Agrarlandschaften gesehen. Ihr Erhalt erfordert eine holistische Betrachtung der ökologischen und evolutionären Dynamiken im agrärökologischen Gesamtsystem. Der Vielfalt der nicht landwirtschaftlichen Ökosysteme werden wichtige Regulierungsfunktionen zuerkannt, die auch für die landwirtschaftliche Produktion von Bedeutung sind (z. B. Regulierung des Wasserhaushalts und Mikroklimas, Habitate für Bestäuber oder Schädlingsantagonisten). Die biologische Vielfalt des Gesamtsystems hat daher sowohl einen instrumentellen als auch einen Eigenwert.

Mit dem produktivistischen und dem Naturschutzparadigma dominierten über lange Zeit zwei Sichtweisen, die eine Konkurrenz oder gar einen Gegensatz zwischen landwirtschaftlicher Produktivität und biologischer Vielfalt postulieren. **Das agrärökologische Paradigma kann diese scheinbaren Gegensätze überbrücken, zu innovativen Lösungen beitragen und den Blick auf die wichtigen Beiträge der biologischen Vielfalt für die Produktivität und Resilienz von Agrarsystemen weiten.**

4 Die Herausforderung angesichts vielfältiger Krisendynamiken: Resilienz der Agrarsysteme

Biologische Vielfalt ist nicht nur für Produktivität und Effizienz der landwirtschaftlichen Erzeugung von Bedeutung, sondern auch für die Resilienz der Agrarsysteme. Resilienz bezeichnet dabei die Fähigkeit eines Agrarsystems, erwünschte Funktionen angesichts von Herausforderungen (Schocks und Stress) aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen und/oder, falls der vorherige Zustand nicht wünschenswert oder wiederherstellbar ist, sich grundlegend zu verändern, um weiterhin die gewünschten Funktionen zu erfüllen (Darnhofer, 2014, 2021; Holling, 1973; Meuwissen et al., 2022; Meuwissen et al., 2019; Walker and Salt, 2012). Dabei lassen sich drei Dimensionen von Resilienz oder Resilienzkapazitäten unterscheiden (Folke et al., 2010; Meuwissen et al., 2022; Meuwissen et al., 2019):

- *Robustheit/Widerstandsfähigkeit* ist die Fähigkeit eines Systems, Schocks und Stress auszuhalten und erwünschte Funktionen ohne größere Änderungen aufrechtzuerhalten.
- *Anpassungsfähigkeit (Adaptabilität)* ist die Fähigkeit eines Systems, sich in Reaktion auf Herausforderungen zu verändern und dadurch seinen Entwicklungspfad fortzusetzen und seine Funktionsfähigkeit zu sichern.
- *Transformationsfähigkeit (Transformabilität)* ist die Fähigkeit eines Systems, dessen Funktionsfähigkeit gefährdet ist, sich radikal zu verändern, einschließlich seiner Identität, Paradigmen und Operationslogik.

Auf Basis zahlreicher Fallstudien wird in der neuesten Literatur eine vierte Dimension hinzugefügt, die vor allem von der Menschheit genutzt werden kann:

- *Antizipation*, also die Fähigkeit, mögliche künftige Schocks und Stressfaktoren, z. B. durch den Klimawandel und die Überschreitung planetarer Grenzen, und deren Auswirkungen auf ein Agrarsystem zu erkennen und daraus Schlussfolgerungen abzuleiten (Duchek, 2019; Feindt et al., 2022; Mathijs et al., 2022).

Zahlreiche Fallstudien zeigen, dass aus betriebswirtschaftlicher Sicht und damit aus Sicht der Praxis einzelner landwirtschaftlicher Betriebe viele Agrarsysteme in Europa sehr effizient und produktiv arbeiten, dabei aber die vorhandenen ökologischen Ressourcen wie Bodenfruchtbarkeit, Wasserverfügbarkeit und biologische Vielfalt in einem Ausmaß in Anspruch nehmen, das wesentlich zur Überschreitung kritischer lokaler Grenzen beiträgt. Bei Überschreiten dieser Grenzen können sich negative Entwicklungen aufschaukeln und sind dann nicht mehr oder nur unter hohem Aufwand umkehrbar (Accatino et al., 2022; Paas et al., 2021a; Paas et al., 2021b). Überschreiten die negativen Auswirkungen auf die ökologischen Ressourcen an vielen Orten kritische Grenzen, können sich negative Dynamiken auf höherer Ebene aufschaukeln und tragen dann dazu bei, dass die planetaren Grenzen für eine sichere Zukunft überschritten werden (Richardson et al., 2023). Umgekehrt können negative globale Entwicklungstrend auch die lokalen Agrarsysteme in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigen (sogenannte Kaskadeneffekte).

5 Systemischer Ansatz: Biologische Vielfalt als Grundvoraussetzung für Resilienz, Produktivität und Synergien

Vor dem Hintergrund der Überlegungen zur Resilienz von Agrarsystemen setzen Rufe nach einer weiteren Erhöhung der Produktion auch auf Kosten der biologischen Vielfalt und der Umweltressourcen den falschen Schwerpunkt. Entscheidungen, biodiversitätsrelevante Maßnahmen zu Gunsten der kurzfristigen Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktion zurückzunehmen, vernachlässigen die mittel- und langfristigen Rückwirkungen auf die Agrarsysteme. **Erforderlich ist vielmehr die Integration biologischer Vielfalt in der landwirtschaftlichen Produktion auf allen Ebenen – von der mikrobiellen bis zur landschaftlichen Vielfalt.** Diese Vielfalt ist eine Voraussetzung für resiliente Agrarsysteme im Sinne von Robustheit, Anpassungs- und Transformationsfähigkeit und damit in Antizipation auch eine Voraussetzung für die Sicherung und langfristige Steigerung der Produktivität (Dannenbergh et al., 2024; IPCC, 2022; Leibniz-Forschungsnetzwerk, 2024; SRU et al., 2024). Resiliente Agrarsysteme sind wiederum eine Voraussetzung für den Erhalt und die Förderung der genutzten und der assoziierten biologischen Vielfalt.

Die Verfolgung eines einseitig auf die kurzfristige Produktionssteigerung ausgerichteten, produktivistischen Paradigmas birgt die Gefahr, Entwicklungen zu befördern, welche die Resilienz der Agrarsysteme schwächen und damit auch die künftige Lebensmittelproduktion beeinträchtigen. Das Naturschutzparadigma kann hingegen kaum zur Weiterentwicklung der Agrarsysteme beitragen. Aus der Sorge um die Resilienz der Agrarsysteme erscheint daher der Übergang zu einem agrarökologischen Paradigma geboten, das die Wechselwirkungen zwischen landwirtschaftlicher Produktion und biologischer Vielfalt in einer systemischen, dynamischen und evolutionären Perspektive in den Blick nimmt.

Dabei sind folgende Leitlinien von Bedeutung:

- 1. Balance von Biodiversität, Produktivität und Resilienz** mit insgesamt hoch komplexen Zusammenhängen. Die höchste und zuverlässigste pflanzliche Produktivität ist zumeist durch inter- und intraspezifische Vielfalt der Pflanzenbestände zu erreichen (Chen et al., 2021; Li et al., 2023; Li et al., 2021; Renard and Tilman, 2019). Sowohl intraspezifische Vielfalt als auch interspezifische Vielfalt werden z. B. in der Produktion von Leguminosen, Getreide, Reis und auch Kaffee bereits mit großem Erfolg eingesetzt (Finckh et al., 2000; Hindorf et al., 2015; Juventia et al., 2021; Li et al., 2020; Li et al., 2023). Ergebnisse zur Rolle des assoziierten Mikrobioms zeigen zudem, dass dieses bei der Produktivität und Ertragsstabilität gerade von diversifizierten

Pflanzenbeständen eine gewichtige Rolle spielen kann (z. B., Raynaud et al., 2021; Stefan et al., 2021; Wang et al., 2017; Wang et al., 2015). Allerdings können auch negative Effekte z. B. durch neu eingeschleppte Arten auftreten, die bestehende Ökosysteme so aus dem Gleichgewicht bringen, dass erwünschte Funktionen beeinträchtigt werden (Dee et al., 2023). Daher bedarf es genauer Analysen der Interaktionseffekte, da nicht alle Interaktionen notwendigerweise positive Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems haben (Grace et al., 2016).

Hingegen gibt es viele positive Beispiele. So kann durch biologische Stickstofffixierung in Symbiose mit Rhizobien mit dem Anbau von Leguminosen produktiv gewirtschaftet werden – und dies ohne oder mit verringertem Einsatz von Stickstoffdüngern, die unter hohem Einsatz fossiler Energie gewonnen werden (Jensen et al., 2020). Außerdem liefern Leguminosen Eiweiß für die menschliche und tierische Ernährung und können damit in Deutschland und der EU die Abhängigkeit von Importen reduzieren (Finckh et al., 2024).

Viele aktuelle Agrarsysteme arbeiten mit geringer biologischer Vielfalt und sind damit anfällig für einzelne Schädlinge. Gezielt geförderte bzw. erhaltene funktionelle Biodiversität trägt erheblich zur Reduktion von Schadinsekten, Krankheitserregern und Beikräutern und damit zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes bei (BMEL, 2024; Finckh et al., 2021; Ratnadass and Deguine, 2021; Sirami et al., 2019; Stomph et al., 2020; Zhang et al., 2019). Auch können sich diversifizierte Pflanzenbestände meist besser gegen neue Pathogenrassen behaupten, (z. B., Baresel et al., 2022). Dasselbe trifft für Bodensysteme mit hoher mikrobieller Vielfalt zu, die weniger anfällig für invasive Arten sind (z. B., Hiddink et al., 2005)).

2. **Dynamisches Verständnis von Biodiversität und genetischen Ressourcen:** Genetische Ressourcen sind nicht statisch, sondern verändern sich laufend. Evolution findet permanent statt. Daher ist vor allem die dynamische Nutzung der genetischen Ressourcen im System essentiell (Khoury et al., 2022). Die ausschließliche Aufbewahrung genetischer Ressourcen in Genbanken führt zu deren Erosion durch biologische Abbauprozesse (Khoury et al., 2022). Zudem müssen sich genetische Ressourcen laufend an sich verändernde Umwelten anpassen, um sich im Evolutionsprozess behaupten zu können (z. B., Brumlop et al., 2017; Enjalbert et al., 2011; Thomas et al., 2012; Weedon et al., 2023).
3. **Erweitertes Verständnis von Ertrag:** Pflanzen verbringen Kohlenstoff in den Boden und liefern damit die Grundlage für das Bodenleben, den Bodenaufbau und letztlich die Kohlenstoffspeicherung (Jones et al., 2009; Marschner, 2012). Diese wiederum ist abhängig von der Pflanzenvielfalt (Spohn et al., 2023) sowie der Bodenart (Kögel-Knabner and Amelung, 2021). Pflanzen tragen damit zur Bodenfruchtbarkeit bei, von der sie wiederum abhängig sind. Daher umfasst der landwirtschaftliche Ertrag – neben dem als Lebensmittel oder nachwachsendem Rohstoff zu erntenden Ertrag – maßgeblich auch den Beitrag der Pflanzen zum Bodenerhalt und -aufbau und damit auch zur Bodenfruchtbarkeit (Giller et al., 2021; Schreefel et al., 2020).
4. **Synergien:** Eine höhere Vielfalt in den Anbausystemen kann zu vielfältigerer Ernährung beitragen und auch weitere positive Auswirkungen erzeugen. So können z. B. Beimischungen von Erbsen oder Ackerbohnen im Brot zur einer Erhöhung des pflanzlichen Proteins in der menschlichen Ernährung beitragen (Finckh et al., 2024)⁸. Vielfältigere Ernährungsmuster fördern die Gesundheit (Grassberger, 2021). Zudem nimmt die **assoziierte Biodiversität** zu, wenn Tier- und Pflanzenproduktion wieder stärker integriert sind, was wiederum weitere positive gesundheitliche Auswirkungen nach sich ziehen kann (Grassberger, 2021; Stein et al., 2016).

⁸ Siehe das Projekt VORWERTS- Verwendung Oekologischer Rohstoffe in regionalen Wertschöpfungsketten: <https://vorwerts-projekt.de/> und: <https://www.rheinische-ackerbohne.de/rheinische-ackerbohne/>

Viele Agrarsysteme in Deutschland orientieren sich derzeit nicht an diesen Prinzipien, sondern sind auf die Nutzung möglichst großer, genetisch homogener Tier- und Pflanzenbestände ausgerichtet. Durch den Einsatz synthetischer Dünger und Pflanzenschutzmittel und durch ihren hohen Treibstoffbedarf sind diese Agrarsysteme hochgradig von fossilen Rohstoffen abhängig. Neben dieser Abhängigkeit hat die Trennung der Tierhaltung von der pflanzlichen Produktion in vielen Regionen zur Aufgabe des Zwischenfrucht- und Futterbaus und damit einerseits zu einer genetischen Verarmung der Pflanzenbestände sowie andererseits zu großen Problemen bei der Entsorgung tierischer Dünger geführt. In der Konsequenz hat der Kohlenstoffgehalt landwirtschaftlich genutzter Böden in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich abgenommen – mit negativen Auswirkungen auf die Erodierbarkeit und Wasserhaltefähigkeit der Böden, was in der Folge wiederum zu erhöhten Treibhausgasemissionen führt (Bellamy et al., 2008; Capriel, 2013; Jacobs et al., 2018). Auf der anderen Seite hat die Belastung von Grundwasser durch Stickstoff regional zwar teilweise abgenommen, ist aber weiterhin auf hohem Niveau (Rothe et al., 2024).

6 Biodiversität als Grundvoraussetzung für Pflanzenschutz

Die Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln kann als Themenkomplex nicht isoliert betrachtet werden. Benötigt wird eine **integrierte Gesamtstrategie** in den Bereichen Pflanzenschutz, Düngung, Erhalt der Bodengesundheit, Klimaschutz, Klimaanpassung, Wassermanagement und Biodiversitätsförderung (BMEL, 2024). Ziel muss eine ertragsstarke und wirtschaftlich auskömmliche, nachhaltige und resiliente Landwirtschaft sein, die andere Ökosysteme wie Wälder und Gewässer nicht beeinträchtigt. Voraussetzung für die Entwicklung einer solchen Gesamtstrategie sind integrierte und konsolidierte **Zielbilder** für die Zukunft der Landwirtschaft im Kontext einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft unter Einbezug der gesamten Agrarfläche und von Schutzgebieten.

Diversität auf allen Ebenen, von der Landschaft bis zum Mikrobiom spielt eine zentrale Rolle im Pflanzenschutz. So spielen die Interaktionen zwischen Landwirtschaft und der Landschaft eine zentrale Rolle bei der natürlichen Biokontrolle (Schulte et al., 2017; Storkey et al., 2019; Tschardt et al., 2012; Tschardt et al., 2021). Der Erhalt und die Förderung der landschaftlichen Diversität und natürlicher Ökosysteme ist daher ein zentraler Baustein im Pflanzenschutz. Der zweite zentrale Baustein des Pflanzenschutzes ist die Vielfalt der Kulturen zwischen den Feldern und über die Zeit in Form von Fruchtfolgen, ohne die aus phytosanitären Gründen nur in wenigen Ausnahmefällen eine stabile und zuverlässige Produktion möglich ist. Die Möglichkeiten, Insekten, Pflanzenkrankheiten und Beikräuter im System durch biologische Vielfalt zwischen- und innerartlich in Form von Mischkulturen zu reduzieren und zu regulieren, sind allgemein bekannt (z. B., BMEL, 2024; Finckh et al., 2021; Finckh and Wolfe, 2015; Isbell et al., 2017; Lamichhane et al., 2018; Mundt, 2002; Ostergaard et al., 2009; Rakotomalala et al., 2023; Zhang et al., 2019).

Die gegenwärtigen wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen fördern eine intensive Produktion, bei der die Externalitäten nicht ganzheitlich betrachtet und berücksichtigt werden. Derzeit ermöglicht der intensive Einsatz von synthetischen Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln mindestens kurzfristig eine Einschränkung der biologischen Vielfalt. Beispielsweise kann der intensive Düngemiteinsatz durch die Förderung von Beikräutern und eines feuchteren Mikroklimas in dichten Beständen einen erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zur Folge haben (Saucke, 2019). Aufgrund solcher Dynamiken gehören die derzeitigen Agrar- und Ernährungssysteme zu den wichtigsten Treibern von Biodiversitätsverlusten (Benton et al., 2021). Ein **Paradigmenwechsel**, bei dem die Externalitäten der landwirtschaftlichen Produktion stärker internalisiert werden, kann zu einem weniger intensiven Pflanzenschutzmittel- und Mineraldüngereinsatz führen und damit auch die negativen Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen vermindern.

Dabei geht es darum, bereits in der Praxis des konventionellen und ökologischen Landbaus bewährte Lösungen positiv herauszustellen, sowie die Hemmnisse, die den Weg nachhaltiger Praktiken in die Praxis erschweren, zu beseitigen. Hierbei sollten die Synergieeffekte zwischen konventionellem und ökologischen Anbausystemen herausgearbeitet werden. Im konventionellen Landbau sind erhebliche Reduktionen des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln möglich (Alarcón-Segura et al., 2022; BMEL, 2024; Claß-Mahler et al., 2024; Dainese et al., 2019; Lechenet et al., 2017; Nave et al., 2013; Rakotomalala et al., 2023). Agrarökologische Ansätze zielen auf die Verbesserung der Ökosystemleistungen vornehmlich durch eine „ökologische Intensivierung“, durch optimale Vernetzung und Förderung positiver Interaktionen im Hinblick auf Ertrag und Ressourcenschutz (Dainese et al., 2019; Kleijn et al., 2019). Die Ökosystemleistungen sind wiederum maßgeblich von der biologischen Vielfalt abhängig. Diese kann z. B. durch Reduktion der Schlaggrößen, Streifenanbau und Mischkulturanbau in der Produktion erhöht werden (z. B., Alarcón-Segura et al., 2022; BMEL, 2024; Justes et al., 2021; Rakotomalala et al., 2023; Sirami et al., 2019; Yang et al., 2021; Zhang et al., 2019).

7 Biodiversität als Voraussetzung für Klimawandelanpassung und Verhinderung negativer landwirtschaftlicher Einflüsse auf das Klima

Der sechste Weltklimabericht (Pörtner et al., 2022) zeigt eindrücklich die Zusammenhänge zwischen Klima, Ökosystemen, Biodiversität und menschlichen Gesellschaften auf.

Robustheit und Resilienz von Ökosystemen und damit auch der landwirtschaftlichen Produktionssysteme beruhen nicht darauf, statisch einen gegebenen Zustand zu erhalten oder nach einer Störung wieder dahin zurückzukehren, sondern auf der Fähigkeit, sich an wechselnde Umweltbedingungen anzupassen und nötigenfalls umzuorganisieren, um weiter produktiv zu bleiben. Die Herausforderung für die Landwirtschaft ist es, einerseits negative Einflüsse auf das Klima und die Biodiversität zu beenden, die u. a. durch Emissionen und Immissionen, Bodendegradation und großflächige Monokulturen entstehen. Andererseits muss die Produktivität erhalten oder gar gesteigert werden, auch im Sinne eines möglichst geringen ökologischen Fußabdruckes je Flächen- und Produkteinheit. Da die Auswirkungen der Klimakrise regional sehr unterschiedlich und im Zeitablauf oft zu größeren Variationen des Wetters führen können, müssen auch die Antworten darauf variabel und flexibel sein. Wie in Kapitel 5 ausgeführt, ist ein wesentlicher Grundbaustein für die Klimaanpassung der Erhalt und insbesondere die Förderung der biologischen Vielfalt (Wätzold et al., 2020). Biodiversität bietet eine Vielfalt an Lösungen im Hinblick auf Ertragsstabilität und Anpassungsfähigkeit bei zunehmend weniger vorhersehbaren klimatischen Gegebenheiten (Bocci et al., 2020; Ceccarelli and Grando, 2020; Li et al., 2020; Li et al., 2023; Li et al., 2021; Timaeus et al., 2022; Weedon et al., 2023; Weedon and Finckh, 2021) sowie in Reaktion auf Schadorganismen (Alarcón-Segura et al., 2022; Finckh et al., 2000; Hindorf et al., 2015; Juventia et al., 2021; Riggi et al., 2024).

Wegen der sich verstärkenden Klimakrise ist eine Reduzierung der Tierhaltung bei gleichzeitig regionaler Ausgewogenheit des Konsums tierischer Lebensmittel zur Verminderung der Treibhausgasemissionen geboten. Allerdings weisen die gegenwärtigen Trends in eine andere Richtung (OECD and FAO, 2024). Der durch geringere Tierzahlen verminderte Flächenanspruch würde eine extensivere Wirtschaftsweise ermöglichen und damit Raum für mehr assoziierte Biodiversität ermöglichen (Muller et al., 2017). Zugleich ist Tierhaltung für Biodiversität in Agrarlandschaften erforderlich, muss jedoch auch auf angepasster Futtergrundlage wie Rauhfutter und Rest- und Beiprodukten basieren und hohe Anteile an Weidehaltung aufweisen, um diese

positive Funktion zu erfüllen (siehe dazu auch WBBGR, 2024⁹). Freiland- und Weidehaltungssysteme mit positivem Beitrag zur biologischen Vielfalt ermöglichen im Bereich der Vermarktung überdies Bezüge zu Themen wie Nachhaltigkeit und Regionalität (Markova-Nenova and Wätzold, 2018).

Aus diesen Überlegungen ergeben sich **drei Hauptachsen des Wandels**:

1. eine ökologische Intensivierung des Pflanzenbaus möglichst auch durch die (Re-)Integration von Tieren in das System,
2. eine stärker pflanzenbasierte Ernährung und eine gleichzeitige Extensivierung der Tierhaltung mit damit einhergehender Erhöhung des Anteils der Weidehaltung sowie
3. eine Inwertsetzung von artenreichem Grünland.

8 Handlungsansätze für die Politik zur notwendigen Integration von Biodiversität in die landwirtschaftlichen Produktionssysteme

Eine zukunftsweisende Nutzung landwirtschaftlicher Flächen stärkt die Gesamtbreite der Funktionen dieser Flächen. Sie behält neben der kurzfristigen Produktion die langfristige Produktivität und die weiteren Ökosystemfunktionen wie Kohlenstoffbindung und Biodiversitätserhalt im Blick. Dies wurde zuletzt auch von der Zukunftskommission Landwirtschaft (ZKL, 2024) und in der gemeinsamen Stellungnahme von SRU, WBBGR und WBW zur Renaturierung betont (SRU et al., 2024). Kurz gesagt, liegt die Zukunft in der multifunktionalen Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen. Diese ist nur möglich, wenn die Biodiversität in ihrer Integrität erhalten und gefördert wird. Eine Schwächung der auf biologischer Vielfalt basierenden Resilienz, wie sie etwa die Verminderung ökologischer Vorrangflächen zur Folge hat, führt mittel- und langfristig zu erheblichen volkswirtschaftlichen Schäden und ist deshalb kein zukunftsfähiger Handlungsansatz. Da viele Ökosystemleistungen der Agrarökosysteme wesentlich von biologischer Vielfalt abhängen, muss diese im System gefördert, erhalten und weiterentwickelt und auch in Wert gesetzt werden. Die Integration der biologischen Vielfalt in die landwirtschaftlichen Systeme stärkt deren Fähigkeit zur Klimaanpassung, fördert und stabilisiert die landwirtschaftliche Produktivität und ermöglicht die Erzeugung zusätzlicher Produkte, wie z. B. nachwachsender Rohstoffe für die Bioökonomie.

Landwirtschaftliche Flächen können in erheblichem Umfang Kohlenstoff binden und damit zum Klimaschutz beitragen. Die Möglichkeiten gehen weit über die notwendige Renaturierung von Moorböden hinaus, die auf 7 % der landwirtschaftlichen Fläche 37 % der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen verursachen (SRU et al., 2024). Darüber hinaus sollte die **Maximierung des Kohlenstofftransfers in den Boden durch Pflanzen** unter Minimierung der fossilen Inputs angestrebt werden. Die höchste pflanzliche Produktivität basiert auf Diversität, Kontinuität der Begrünung und Förderung des Bodenlebens. Systeme mit diesen Merkmalen erlangen durch ihre Vielfalt eine hohe Anpassungsfähigkeit, etwa an unvorhersehbare Wetterbedingungen. Gleichzeitig kann zusätzliche Wertschöpfung durch Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Produktion nachwachsender Rohstoffe aus Zwischenfrüchten und Beisaaten erzielt werden.

Die Verbesserung und Vernetzung des Lebensraumes für mit der Landwirtschaft assoziierte Arten (z. B. Insekten, Vögel) erlaubt **Naturschutz in der landwirtschaftlichen Fläche** (Sirami et al., 2019).

⁹ Frank Wätzold, Jens Dauber, Enno Bahrs, Peter H. Feindt, Charlotte Kreuter-Kirchhof, Katharina May, Inga M. Schleip, Ernst Tholen, Johanna Wider et al., Wissenschaftlicher Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2024): Nebenwirkungen einer Besteuerung von Fleischprodukten auf die Biodiversität berücksichtigen!. Stellungnahme, Bonn und Berlin, 15 Seiten.

Dieser ist zusätzlich zum Schutz der **knappen und meist marginalen, aber hochdiversen Randzonen** dringend notwendig. Eine größere Lebensraumvielfalt verbessert die natürliche biologische Kontrolle (Ratnadass et al., 2021; Ratnadass and Deguine, 2021) und reduziert damit die Abhängigkeit von fossilen Inputs. Sie erhöht die Widerstandsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit der Anbausysteme gegenüber dem Klimawandel.

Wenn auf allen Ebenen, von der Primärproduktion bis zum Verbraucher, gemeinsam an Konzepten zur Innovation gearbeitet wird, kann es gelingen, die vielfältigen Vorteile der Biodiversität für Klima, Produktivität, gesunde Ernährung sowie die Gewinnung nachwachsender Rohstoffe in Wert zu setzen.

8.1 Handlungsansätze für den Anbau

Bereits jetzt liegen umfassende wissenschaftliche Erkenntnisse darüber vor, wie Pflanzenbausysteme aussehen, die mit deutlich geringerem Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln hohe Erträge und auch ein gutes betriebliches Ergebnis erzielen können (Claß-Mahler et al., 2024; LaCanne and Lundgren, 2018; Lechenet et al., 2017). **Wenige dezentral eingesetzte Maßnahmen mit hoher Wirkung auf alle Zielbereiche lassen sich gut durch Förderinstrumente im Rahmen einer weiterentwickelten Umsetzung der GAP adressieren:**

- a) **Interspezifische Vielfalt** zwischen Pflanzenbeständen, d. h. kleinere Felder, wie z. B. an Maschinen angepasste Streifen und erweiterte, möglichst fünf- bis siebenteilige Fruchtfolgen und Nutzung standortangepasster widerstandsfähiger Sorten.
- b) **Intraspezifische Vielfalt** innerhalb von Pflanzenbeständen durch Züchtung von Sorten mit funktionaler Vielfalt sowie interspezifische Vielfalt innerhalb von Pflanzenbeständen (Mischkulturanbau), wo agronomisch und wirtschaftlich möglich.
- c) **Strukturelemente und Schutzflächen:** möglichst 10 % der Fläche vernetzt in den Agrarlandschaften (ohne Wald- und Gewässerlebensräume (Leibniz-Forschungsnetzwerk, 2024)); dies leistet auch einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung des Risikos der Resistenzbildung von Schädlingen gegen Pflanzenschutzmittel.
- d) **(Re-) Integration von Tieren** mit Weidehaltung und mehrjährigem Futterbau in die Agrarsysteme. Dies ermöglicht die (Re-) Integration der Bodenruhe sowie die bessere Nutzung von Zwischenfrüchten und damit die ganzjährige Begrünung und den Aufbau von Bodenfruchtbarkeit und -gesundheit.

Diese Ansätze sollten durch Züchtung und Weiterentwicklung technischer und anbaupraktischer Lösungen z. B. im Bereich der **sensorgestützten Präzisionslandwirtschaft** sowie von **biologischen und nicht-synthetischen Alternativen im Pflanzenschutz** unterstützt werden. Insbesondere die Förderung und Einsatz von Nützlingen¹⁰ sowie der Einsatz von Repellentien und/oder Botenstoffen (Semiochemikalien) ist vielversprechend (Witzgall et al., 2010; Witzgall et al., 2008). Die Rolle von Maschinenringen, Genossenschaften und Lohnunternehmungen bei der Unterstützung „vielfältiger“ Anbauverfahren muss geprüft und ggf. gestärkt werden.

8.2 Handlungsansätze für die Verarbeitung und Vermarktung

Derzeit wird aus möglichst wenigen standardisierten Rohstoffen eine möglichst große Vielfalt an Produkten hergestellt. Die Umstellung auf eine landwirtschaftliche Produktion, die auf biologischer

¹⁰ Z.B. Trichogramma gegen Maiszünsler, siehe: <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/Lfr/Arbeitsfelder/Maiszuenzler-Monitoring+Oeko> (zuletzt abgerufen: 15.12.2024). Der Marktanteil biologischer Pflanzenschutzmittel in Europa hat inzwischen 10 % erreicht: <https://www.ibma-da.org/wp-content/uploads/2024/07/20240702-PM-Markt-24-FINAL.pdf> (zuletzt abgerufen: 15.12.2024).

Vielfalt basiert, verlangt nicht nur Anpassungen agrartechnischer Art, sondern auch im Bereich von Verarbeitung und Vermarktung (Hamm et al., 2016). Die Nutzung und Verarbeitung vielfältiger Produkte und der Umgang mit Vielfalt müssen entwickelt und z.T. (wieder) erlernt (Finckh et al., 2024) sowie von der Nachfrage getragen werden. Vier Ansätze sind hier von besonderer Bedeutung:

- a) Entwicklung von **Methoden für die Extraktion wertgebender Inhaltsstoffe** aus Grünpflanzen für Lebensmittel, medizinische und andere Zwecke sowie die Förderung der Entwicklung von Nutzungskonzepten;
- b) Förderung des Aufbaus einer **Infrastruktur für die Trennung und Aufbereitung von Erntegütern aus Mischkulturen** durch die abnehmende Hand, um die Produktqualität in der Verarbeitung sicher zu stellen (Trennungstechnologie bei gleichzeitigen economies of scale);
- c) Entwicklung von wertvollen **Lebensmitteln auf der Basis von Kombinationen mit Eiweißpflanzen**. Dazu gehört die Förderung ausreichender Lagerkapazitäten für andere Ernteprodukte als Getreide (z. B. Körnerleguminosen, die wegen des Gebots der Glutenfreiheit angesichts von Lebensmittelallergien nicht in Getreidelagern gelagert werden können);
- d) Entwicklung von Möglichkeiten der **Weiterverarbeitung auf landwirtschaftlichen Betrieben**, um mehr Wertschöpfung auf den Betrieben bzw. in der Region zu halten

8.3 Ansatzpunkt Wissen und Werte der Landwirtinnen und Landwirte

Viele Optionen zur Integration von Biodiversität in die Produktion sind in der Praxis relativ einfach umsetzbar. Hier braucht es vielfach vor allem verlässliche politische Rahmenbedingungen, die ein Umdenken fördern, und betriebsspezifische Beratung (Scherfranz et al., 2024). Dazu gehören Rahmenbedingungen für die berufliche Ausbildung, die das Wissen zur diversifizierten Produktion in der landwirtschaftlichen Praxis verankern, sowie eine Förderung der Biodiversitätsberatung mit guten Weiterbildungsmöglichkeiten für die Biodiversitätsberatenden.

Größere Hemmnisse bestehen im Bereich des Pflanzenschutzes, weil hier unmittelbar Ertrag und Einkommen betroffen sind. Vorhandenes Wissen, wie mit dem Einsatz von weniger Pflanzenschutz- und Düngemitteln hohe Erträge erzielt werden können, wird in den Betrieben oft nicht umgesetzt, weil eine Umstellung unter den gegebenen ökonomischen Rahmenbedingungen schwierig ist. Anfänglich können diese Umstellungen mit hohen Kosten verbunden sein, bei zunächst ungewissem Ertrag. Auch sind Alternativen oft nicht bekannt und werden von der Beratung nicht immer vermittelt. Häufig scheinen alternative Lösungen nicht im Einklang mit dem beruflichen Selbstbild und den betrieblichen Zielen zu stehen. Zudem waren Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger bis vor kurzem relativ preiswert. Die kritische Auseinandersetzung zur zukünftigen Ausgestaltung der Agrarumweltmaßnahmen wie z. B. den ökologischen Vorrangflächen muss transparent geführt werden und der langfristige, auch wirtschaftliche Nutzen, in Wert gesetzt werden.

Handlungsansätze auf Bund und Länderebene können daher sein:

- a) **Verstärkte Unterstützung von Investitionen** in Anbausysteme mit vermindertem Pflanzenschutzmittel- und Düngereinsatz, u. a. durch Methoden der Präzisionslandwirtschaft;
- b) Verstärkte **Forschung zur Resilienz von Agrarsystemen und damit Stärkung des Praxiswissens**, insbesondere Stärkung des Wissens zur Rolle von Biodiversität **durch transdisziplinäre Forschung in Reallaboren** (Living Labs), basierend auf Co-Design und Co-Learning sowie peer-to-peer Wissensvermittlung innerhalb der landwirtschaftlichen Praxis. Dies beinhaltet Forschung auf Landschaftsebene (Landschaftsreallabore) und entlang von Wertschöpfungsketten und Wertschöpfungsnetzen. Dazu gehört auch **Syntheseforschung**, d. h. Verknüpfung von Ergebnissen aus verschiedenen disziplinären Teilbereichen (insbesondere

Sozial- und Naturwissenschaften), schnelle Lernschleifen zwischen Wissenschaft und Praxis durch transdisziplinäre Forschung (Wissenschaftsrat, 2024);

- c) **Schwerpunktsetzung bei besonders problematischen Bereichen** wie Alternativen zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln insbesondere bei wertschöpfungsstärkeren Kulturen wie z. B. Sonderkulturen sowie Kartoffeln, Zuckerrüben und Raps;
- d) **Intensive Vermittlung** von integrierten Strategien zur Reduktion des Pflanzenschutzmittel- und Düngereinsatzes sowie zu ökologischen Zusammenhängen in die landwirtschaftliche Praxis durch Berufsschulen und Beratung.

8.4 Ansatzpunkt wirtschaftliche Inwertsetzung der Biodiversität

Die externen Effekte der Landwirtschaft auf die Ökosystemleistungen müssen einbezogen werden, um die wahren Kosten der Produktion aufzuzeigen. Reduktionsstrategien bei Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln sind zu entwickeln, die diese Kosten reduzieren gemeinsam mit Strategien, um die ökologisch verbesserte Produktion besser in zu Wert setzen.

- a) Der **volkswirtschaftliche Nutzen** von Anbaumethoden mit vermindertem Input muss **durch Fördermaßnahmen** sowie Weiterentwicklung der Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene, aber auch „an der Ladentheke“ besser **in Wert gesetzt werden**.
- b) Die OECD bezeichnet Fördermittel als biodiversitätsschädlich („harmful to biodiversity“), wenn sie z. B. zur Übernutzung natürlicher Ressourcen, zu erhöhten Treibhausgasemissionen, übermäßigem und ineffizientem Gebrauch von Pestiziden und Düngemitteln, Landversiegelung u. a. beitragen (Matthews and Karousakis, 2022). Bis zu 2/3 der weltweiten Agrarbeihilfen gelten als in hohem Maße umweltschädlich (Leibniz-Forschungsnetzwerk, 2024). Steigende Energiekosten sowie eine **Internalisierung der Folgekosten**, die z. B. für die Aufreinigung von Trinkwasser entstehen, könnten dazu beitragen, solche gesamtwirtschaftlich schädlichen Fördertatbestände zu vermindern.
- c) Förderung der Entwicklung von **möglichst autonomer und regenerativ betriebener Technologie** für die Bewirtschaftung kleinerer Flächen (v.a. Streifen) sowie quantitativer und räumlicher Steuerungsinstrumente im Pflanzenschutz.

8.5 Ansatzpunkt Grundlagenforschung, Daten- und Monitoringsysteme

Die Wissenschaft sollte sich vermehrt mit dem Einfluss der Produktivität auf die Biodiversität und umgekehrt befassen und so die Wissensgrundlagen dafür verbessern, dass die Produktion hier Verantwortung übernehmen kann. Obwohl die landwirtschaftlichen Produktionssysteme enormen Einfluss auf viele andere Systeme haben, ist das empirische Wissen zu Wirkungsmechanismen und deren Interaktionen im Vergleich zur Klimaforschung noch relativ schwach. Hier sollte auch verstärkt auf die Rolle von diversifizierten Nutzpflanzensorten, wie z. B. Populationen und deren langfristige Entwicklung geachtet werden.

Grundsätzlich bedarf es eines dauerhaften Monitorings der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft sowie der Interaktionen der Anbausysteme mit der biologischen Vielfalt. Ein solches Monitoring erfolgt derzeit projektbezogen und nicht kontinuierlich. Damit liegen keine systematischen Langzeitdaten vor, was wiederum die Politik- und Praxisberatung erschwert. Um hier dauerhaft eine bessere Wissensbasis zu schaffen, sollte das Nationale Monitoringzentrum zur Biodiversität (NMBZ)¹¹ so ausgestattet werden, dass ein kontinuierliches Monitoring sichergestellt ist, wie es z. B. im Rahmen des bundesweiten Monitorings der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften

¹¹ Siehe z. B. : <https://www.monitoringzentrum.de/thema/zentrum>

(MonViA) während weniger Jahre durchgeführt wurde¹². Gleichmaßen liegen derzeit keine systematischen Daten über den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf den Flächen vor. Diese müssten systematisch mit Daten zum Düngemittleinsatz und zur Biodiversität in der Agrarlandschaft in Verbindung gebracht werden, um die Interdependenzen schlüssig aufzuzeigen und eventuell notwendige Anpassungen im Agrarsystem abzuleiten. Weiterhin sind Bewertungen des Risikos der verschiedenen im Pflanzenschutz eingesetzten Substanzen und Produkte, neben den Risiken für die Biodiversität auch für die menschliche Gesundheit, Nichtzielorganismen und die Gesundheit der Ökosysteme (z. B. Stoffkreisläufe), erforderlich und sollten nicht nur aus Gründen der Biodiversität methodisch konsolidiert werden. Dabei sollten die Risiken der kombinierten Anwendung mehrerer Substanzen, neurologische und pseudo-hormonelle Wirkungen sowie akute und subletale Wirkungen mit einbezogen werden. Hier sind Investitionen in die Verbesserung der Dateninfrastruktur und in die Bewertungsmethodik erforderlich, um über den Status Quo und mögliche Fortschritte beim Schutz und Erhalt der Biodiversität berichten zu können.

¹² <https://www.monitoringzentrum.de/steckbriefe/monvia-monitoring-der-biologischen-vielfalt-der-agrarlandschaft>

9 Fazit

In den Agrarwissenschaften vollzieht sich derzeit ein Paradigmenwechsel hin zu einem agrarökologischen Paradigma, das die dynamischen systemischen Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlicher Produktion und der Funktionsfähigkeit der agrarökologischen Systeme als Grundlage für die langfristige Produktivität der Agrarsysteme versteht. Zugleich erweitert sich das Verständnis der Leistungen von Agrarsystemen. Neben die Erzeugung von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen treten Beiträge zum Klimaschutz und zum Erhalt der biologischen Vielfalt. Das heißt umgekehrt, dass Agrarsysteme versagen, wenn sie diese verschiedenen Leistungen nicht in hinreichender Weise erbringen.

Aus Sicht des Erhalts und der Nutzung der biologischen Vielfalt ermöglicht das agrarökologische Paradigma, den wenig hilfreichen Gegensatz von produktivistischem und Naturschutzparadigma zu überwinden. Landwirtschaftliche Produktion einerseits sowie Erhalt und Nutzung der biologischen Vielfalt andererseits erscheinen dann nicht mehr als Gegensätze, sondern als verschiedene Aspekte eines integrierten Leistungsspektrums von nachhaltigen und resilienten Agrarsystemen, die ihre Leistungsfähigkeit weitgehend aus eigener Kraft regenerieren.

Das **agrarökologische Paradigma ermöglicht eine integrierte Gesamtstrategie**, die eine ertragsstarke und wirtschaftlich auskömmliche Landwirtschaft in eine nachhaltigen und resilienten Agrarsystemen zum Ziel hat. Ein konsequenter agrarökologischer Ansatz, der stark auf der Erhaltung, Förderung und Nutzung von Biodiversität in der Landwirtschaft beruht, stärkt die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit von Agrar- und anderen Ökosystemen. Indem Biodiversität und die damit verbundenen Ökosystemleistungen konsequent in Wert gesetzt werden und die externen Kosten der Landwirtschaft internalisiert werden, wird eine Weiterentwicklung der heutigen Agrar- und Ernährungssysteme zu nachhaltigen, kreislauforientierten Systemen möglich.

Dazu ist eine Kombination verschiedener effizienter und zielgenauer Ansätze notwendig. Es bedarf der **Integration von Biodiversität und Naturschutz in die Landwirtschaft**, denn die vorhandene biologische Vielfalt ist einerseits teilweise Resultat landwirtschaftlicher Entwicklung, andererseits notwendig für eine produktive, stabile und klimaresiliente Zukunft. Die Handlungsansätze reichen von der Verbesserung der Datenlage zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf der Agrarfläche sowie ihres Einflusses auf Nicht-Zielgebiete bis zur besseren Nutzung von bereits vorhandenem Praxiswissen, Vermittlung von Wissen zu den Funktionen und Nutzungsmöglichkeiten der biologischen Vielfalt, bis hin zu guter Beratung und einer wissenschaftsbasierten Einschätzung der zeitlichen Umsetzungshorizonte politischer Rahmenbedingungen.

Aus diesen Überlegungen heraus empfiehlt der Beirat einen integrierten Ansatz mit Anreizen für die Weiterentwicklung der betrieblichen und Agrarsysteme zu einer nachhaltigen und resilienten Landwirtschaft. Dies sollte auch kurzfristig erforderliche Antworten auf die Herausforderungen ermöglichen, die aus dem Klimawandel, der notwendigen Ernährungs- und Rohstoffversorgung, einer wachsenden Bevölkerung und dem weltweiten erheblichen Biodiversitätsverlust erwachsen.

10 Referenzen

- Accatino, F., Paas, W., Herrera, H., Pinsard, C., Severini, S., Appel, F., . . . Reidsma, P., 2022. Integrated Assessment of the Sustainability and Resilience of Farming Systems: Lessons from the Past and Ways Forward for the Future, in: Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Garrido, A., Mathijs, E., Soriano, B., Urquhart, J., Spiegel, A. (Eds.), *Resilient and Sustainable Farming Systems in Europe: Exploring Diversity and Pathways*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 279-301. <https://doi.org/10.1017/9781009093569.018>.
- 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*. 59(6), 1513-1523. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14161>.
- Auswärtiges Amt, 2023. China-Strategie der Bundesregierung, in: Amt, A. (Ed.).
- Bahrs, E., Dauber, J., Feindt, P.H., Hamm, U., Isselstein, J., Backes, G., . . . Wolters, V., 2020. Wissenschaftlicher Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2020: 10 Empfehlungen für mehr Biodiversität im Ackerbau. Stellungnahme zum Diskussionspapier des BMEL zur „Ackerbaustrategie 2035“. 23 S.
- Baresel, J.P., Bülow, L., Finckh, M.R., Frese, L., Knapp, S., Schmidhalter, U., Weedon, O., 2022. Performance and evolutionary adaptation of heterogeneous wheat populations. *Euphytica*. 218(10), 137. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-03072-2>.
- Bellamy, P.H., Loveland, P.L., Bradley, R.I., Lark, R.M., Kirk, G.J.D., 2008. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature*. 437, 245-248. <https://doi.org/10.1038/nature04038>
- Benton, T.G., Bieg, C., Harwatt, H., Pudasaini, R., Wellesley, L., 2021. *Food System Impacts on Biodiversity Loss. Three Levers for Food System Transformation in Support of Nature*. Chatham House, London, p. 75.
- BMEL, 2024. Zukunftsprogramm Pflanzenschutz des BMEL - Ergebnis nach dem Beteiligungsprozess.
- Bocci, R., Bussi, B., Petitti, M., Franciolini, R., Altavilla, V., Galluzzi, G., . . . Ceccarelli, S., 2020. Yield, yield stability and farmers' preferences of evolutionary populations of bread wheat: A dynamic solution to climate change. *European Journal of Agronomy*. 121, 126156. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126156>.
- Brumlop, S., Pfeiffer, T., Finckh, M.R., 2017. Evolutionary Effects on Morphology and Agronomic Performance of Three Winter Wheat Composite Cross Populations Maintained for Six Years under Organic and Conventional Conditions. *Organic Farming*. 3(1), 34-50. <https://doi.org/10.12924/of2017.03010034>
- Bruns, H.A., 2017. Southern Corn Leaf Blight: A Story Worth Retelling. *Agronomy Journal*. 109(4), 1218-1224. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0006>.
- Capriel, P., 2013. Trends in organic carbon and nitrogen contents in agricultural soils in Bavaria (south Germany) between 1986 and 2007. *European Journal of Soil Science*. 64, 445-454. <https://doi.org/10.1111/ejss.12054>.
- Ceccarelli, S., Grando, S., 2020. Evolutionary Plant Breeding as a Response to the Complexity of Climate Change. *iScience*. 23(12). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101815>.
- Chen, J., Engbersen, N., Stefan, L., Schmid, B., Sun, H., Schöb, C., 2021. Diversity increases yield but reduces harvest index in crop mixtures. *Nature Plants*. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00948-4>.
- Claß-Mahler, I., Zimmermann, B., Herrman, W., Schwarz, J., Piepho, H.P., Lewandowsky, I., . . . Bahrs, E., 2024. Yield potential of cropping systems without chemical synthetic plant protection products in NOCsPS field trials in Germany. *Journal of Sustainable and Organic Agriculture*. 72, 1-24. <https://doi.org/10.5073/LBF.2023.01.05>
- Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., . . . Steffan-Dewenter, I., 2019. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*. 5(10), eaax0121. <https://doi.org/doi:10.1126/sciadv.aax0121>.

- Dannenberg, P., Braun, B., Greiner, C., Follmann, A., Haug, M., Yuwono, P.S.H., . . . Kopriva, S., 2024. Eight arguments why biodiversity is important to safeguard food security. *Plants People Planet*. 6, 604-610. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10492>.
- Darnhofer, I., 2014. Resilience and why it matters for farm management. *European Review of Agricultural Economics*. 41(3), 461-484. <https://doi.org/10.1093/erae/jbu012>.
- Darnhofer, I., 2021. Farming Resilience: From Maintaining States towards Shaping Transformative Change Processes. *Sustainability*. 13(6), 3387. <https://doi.org/10.3390/su13063387>.
- Dee, L.E., Ferraro, P.J., Severen, C.N., Kimmel, K.A., Borer, E.T., Byrnes, J.E.K., . . . Loreau, M., 2023. Clarifying the effect of biodiversity on productivity in natural ecosystems with longitudinal data and methods for causal inference. *Nature Communications*. 14(1), 2607. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37194-5>.
- Duchek, S., 2019. Organizational Resilience: A Capability-Based Conceptualization. *Business Research* 13, 215-246. <https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7>.
- Enjalbert, J., Dawson, J.C., Paillard, S., Rhoné, B., Rousselle, Y., Thomas, M., Goldringer, I., 2011. Dynamic management of crop diversity: From an experimental approach to on-farm conservation. *Comptes Rendus Biologies*. 334(5), 458-468. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2011.03.005>.
- FAO, 2024. World Food Situation.
- Feindt, P.H., Meuwissen, M.P.M., Balmann, A., Finger, R., Mathijs, E., Paas, W., . . . Reidsma, P., 2022. Understanding and Addressing the Resilience Crisis of Europe's Farming Systems: A Synthesis of the Findings from the SURE-Farm Project, in: Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Garrido, A., Mathijs, E., Soriano, B., Urquhart, J., Spiegel, A. (Eds.), *Resilient and Sustainable Farming Systems in Europe: Exploring Diversity and Pathways*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 342-374. <https://doi.org/10.1017/9781009093569.021>.
- Finckh, M.R., Gacek, E.S., Goyeau, H., Lannou, C., Merz, U., Mundt, C.C., . . . Wolfe, M.S., 2000. Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie*. 20, 813-837. <https://doi.org/10.1051/agro:2000177>.
- Finckh, M.R., Junge, S.M., Schmidt, J.H., Šišić, A., Weedon, O.D., 2021. Intra- and interspecific diversity: the cornerstones of agroecological crop health management. *Aspects of Applied Biology*. 146, Intercropping for sustainability: Research developments and their applications, 193-206.
- Finckh, M.R., Köhler, B., Mergenthaler, M., Reckling, M., Schmidtke, K., Köchy, M., 2024. Leguminosenanbau mit Mischkulturen erweitern - Forschungsstrategie der DAFA zur Förderung des Mischfruchtanbaus mit Leguminosen. Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA), Braunschweig.
- Finckh, M.R., Wolfe, M.S., 2015. Biodiversity enhancement, in: Finckh, M.R., Bruggen, A.H.C.v., Tamm, L. (Eds.), *Plant Diseases And Their Management in Organic Agriculture*. APS, pp. 153-174. <https://doi.org/10.1094/978089054478510.1094/9780890544785.014>.
- Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., Rockström, J., 2010. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*. 15(4). <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>.
- Gibson, A.K., Nguyen, A.E., 2021. Does genetic diversity protect host populations from parasites? A meta-analysis across natural and agricultural systems. *Evolution Letters*. 5(1), 16-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/evl3.206>.
- Giller, K.E., Hijbeek, R., Andersson, J.A., Sumberg, J., 2021. Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook Agric*. 50(1), 13-25. <https://doi.org/10.1177/0030727021998063>.
- Grace, J.B., Anderson, T.M., Seabloom, E.W., Borer, E.T., Adler, P.B., Harpole, W.S., . . . Smith, M.D., 2016. Integrative modelling reveals mechanisms linking productivity and plant species richness. *Nature*. 529(7586), 390-393. <https://doi.org/10.1038/nature16524>.
- Grassberger, M., 2021. Das unsichtbare Netz des Lebens. Wie Mikrobiom, Biodiversität, Umwelt und Ernährung unsere Gesundheit bestimmen. Residenzverlag GmbH, Wien.
- Hamm, U., Feindt, P.H., Wätzold, F., Wolters, V., Backes, G., Bahrs, E., . . . Wedekind, H., 2016. Verbraucher für die Erhaltung der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft aktivieren!

- Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. 12 S.
- Hiddink, G.A., van Bruggen, A.H.C., Termorshuizen, A.J., Raaijmakers, J.M., Semenov, A.M., 2005. Effect of organic management of soils on suppressiveness to *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* and its antagonist, *Pseudomonas fluorescens*. *Eur. J. Plant Pathol.* 113(4), 417-435. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-5402-7>.
- Hindorf, H., Tadesse, M., Pohlan, J., Weedon, O., Finckh, M.R., 2015. Organic coffee disease management, in: Finckh, M.R., van Bruggen, A.H.C., Tamm, L. (Eds.), *Plant Diseases and their Management in Organic Agriculture*. APS Press, St. Paul, MN, pp. 367-382. <https://doi.org/10.1094/978089054478510.1094/9780890544785.014>.
- Holling, C.S., 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 4, 1-23.
- IPBES, 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, in: Brondizio, E.S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H.T. (Eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany, p. 1148. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>.
- IPCC, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY. <https://doi.org/doi:10.1017/9781009325844>.
- Isbell, F., Adler, P.R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., . . . Scherer-Lorenzen, M., 2017. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology.* 105(4), 871-879. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>.
- Jacobs, A., Flessa, H., Don, A., Heidkamp, A., Prietz, R., Dechow, R., . . . Freibauer, A., 2018. Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung, Thünen Report. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, p. 316. <https://doi.org/DOI:10.3220/REP1542818391000>.
- Jacobs, C., Berglund, M., Kurnik, B., MArras, S., Mereu, V., Michetti, M., 2019. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe, EEA report 04/2019. European Environment Agency Luxembourg. <https://doi.org/doi:10.2800/537176>.
- Jensen, E.S., Carlsson, G., Hauggaard-Nielsen, H., 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development.* 40(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>.
- Jones, D.L., Nguyen, C., Finlay, R.D., 2009. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface. *Plant and Soil.* 321(1), 5-33. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9925-0>.
- Justes, E., Bedoussac, L., Dordas, C., Frak, E., Louarn, G., Boudsocq, S., . . . Li, L., 2021. The 4C approach as a way to understand species interactions determining intercropping productivity. *Front. Agr. Sci. Eng.* 8(3), 387-399. <https://doi.org/10.15302/j-fase-2021414>.
- Juventia, S.D., Rossing, W.A.H., Ditzler, L., van Apeldoorn, D.F., 2021. Spatial and genetic crop diversity support ecosystem service delivery: A case of yield and biocontrol in Dutch organic cabbage production. *Field Crops Research.* 261, 108015. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108015>.
- Khoury, C.K., Brush, S., Costich, D.E., Curry, H.A., de Haan, S., Engels, J.M.M., . . . Thormann, I., 2022. Crop genetic erosion: understanding and responding to loss of crop diversity. *New Phytologist.* 233(1), 84-118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/nph.17733>.
- Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T.P.M., Garibaldi, L.A., Potts, S.G., van der Putten, W.H., 2019. Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. *Trends in Ecology & Evolution.* 34(2), 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>.
- Kögel-Knabner, I., Amelung, W., 2021. Soil organic matter in major pedogenic soil groups. *Geoderma.* 384, 114785. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114785>.
- LaCanne, C.E., Lundgren, J.G., 2018. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. *PeerJ.* 6, e4428. <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>.

- Lamichhane, J.R., Arseniuk, E., Boonekamp, P., Czembor, J., Decroocq, V., Enjalbert, J., . . . Messéan, A., 2018. Advocating a need for suitable breeding approaches to boost integrated pest management: a European perspective. *Pest Management Science*. 74(6), 1219-1227. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ps.4818>.
- 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), 17008. <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.8>.
- Leibniz-Forschungsnetzwerk, B., 2024. 10 Must-Knows aus der Biodiversitätsforschung 2024. Version 1. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 72 S. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.10794362>.
- Li, C., Hoffland, E., Kuiper, T.W., Yu, Y., Li, H., Zhang, C., . . . van der Werf, W., 2020. Yield gain, complementarity and competitive dominance in intercropping in China: A meta-analysis of drivers of yield gain using additive partitioning. *European Journal of Agronomy*. 113, 125987. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125987>.
- Li, C., Stomph, T.-J., Makowski, D., Li, H., Zhang, C., Zhang, F., van der Werf, W., 2023. The productive performance of intercropping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 120(2), e2201886120. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.2201886120>.
- Li, X.-F., Wang, Z.-G., Bao, X.-G., Sun, J.-H., Yang, S.-C., Wang, P., . . . Li, L., 2021. Long-term increased grain yield and soil fertility from intercropping. *Nature Sustainability*. 4(11), 943-950. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00767-7>.
- Markova-Nenova, N., Wätzold, F., 2018. Fair to the cow or fair to the farmer? The preferences of conventional milk buyers for ethical attributes of milk. *Land Use Policy*. 79, 223-239. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.045>.
- Marschner, H., 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)*. Academic Press, San Diego. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00030-3>.
- Mathijs, E., Bijttebier, J., Accatino, F., Feindt, P.H., Gavrilescu, C., Manevska-Tasevska, G., . . . Wauters, E., 2022. A Resilience-Enabling Environment for Farming Systems: Patterns and Principles, in: Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Garrido, A., Mathijs, E., Soriano, B., Urquhart, J., Spiegel, A. (Eds.), *Resilient and Sustainable Farming Systems in Europe: Exploring Diversity and Pathways*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 302-320. <https://doi.org/doi:10.1017/9781009093569.019>.
- Matthews, A., Karousakis, K., 2022. Identifying and assessing subsidies and other incentives harmful to biodiversity. <https://doi.org/10.1787/19970900>.
- Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Garrido, A., Mathijs, E., Soriano, B., Urquhart, J., Spiegel, A., 2022. *Resilient and Sustainable Farming Systems in Europe: Exploring Diversity and Pathways*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/doi:10.1017/9781009093569>.
- Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Spiegel, A., Termeer, C.J.A.M., Mathijs, E., Mey, Y.d., . . . Reidsma, P., 2019. A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*. 176, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>.
- Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K.-H., . . . Niggli, U., 2017. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications*. 8(1), 1290. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>.
- Mundt, C.C., 2002. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40, 381-410.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0144-y>.
- OECD, FAO, 2024. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033*. <https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>.
- Ostergaard, H., Finckh, M.R., Fontaine, L., Goldringer, I., Hoad, S.P., Kristensen, K., . . . Wolfe, M.S., 2009. Time for a shift in crop production: embracing complexity through diversity at all levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89, 1439-1445. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3615>.

- Paas, W., Accatino, F., Bijttebier, J., Black, J.E., Gavrilesco, C., Krupin, V., . . . Reidsma, P., 2021a. Participatory assessment of critical thresholds for resilient and sustainable European farming systems. *Journal of Rural Studies*. 88, 214-226. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.10.016>.
- Paas, W., Coopmans, I., Severini, S., van Ittersum, M.K., Meuwissen, M.P.M., Reidsma, P., 2021b. Participatory assessment of sustainability and resilience of three specialized farming systems. *Ecology and Society*. 26(2), 2. <https://doi.org/10.5751/ES-12200-260202>.
- Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., . . . (, A.O., 2022. IPCC, 2022: Summary for Policymakers, in: Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Lösschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. p. 40.
- Rakotomalala, A.A.N.A., Ficiciyan, A.M., Tschardt, T., 2023. Intercropping enhances beneficial arthropods and controls pests: A systematic review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 356, 108617. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108617>.
- Ratnadass, A., Avelino, J., Fernandes, P., Letourmy, P., Babin, R., Deberdt, P., . . . Van Den Berg, J., 2021. Synergies and tradeoffs in natural regulation of crop pests and diseases under plant species diversification. *Crop Protection*. 146, 105658. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105658>.
- Ratnadass, A., Deguine, J.-P., 2021. Crop protection practices and viral zoonotic risks within a One Health framework. *Science of The Total Environment*. 774, 145172. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145172>.
- Raynaud, T., Pivato, B., Siol, M., Spor, A., Blouin, M., 2021. Soil microbes drive the effect of plant species and genotypic diversity interaction on productivity. *Plant and Soil*. 467(1), 165-180. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05071-z>.
- Renard, D., Tilman, D., 2019. National food production stabilized by crop diversity. *Nature*. 571(7764), 257-260. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y>.
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., Donges, J.F., . . . Rockström, J., 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*. 9(37), eadh2458. <https://doi.org/doi:10.1126/sciadv.adh2458>.
- Riggi, L.G.A., Dirham, A.N., Akangbe, O.R., de Vos, R.C.H., Fijen, T.P.M., van Apeldoorn, D.F., . . . Kloth, K.J., 2024. Strip-cropping legacy enhances potato plant defence responses to aphids via soil-mediated mechanisms. *Functional Ecology*. 38(12), 2679-2692. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14670>.
- Rothe, M., Hilliges, F., Burucker, G., Germershausen, L., Gottschalk, T., Hussmann, K., . . . Steinmann, F., 2024. 3.1 Grundwasser, in: Rothe, M., Schmidt, O., Leitner, C. (Eds.), *Nitratbericht 2024. Bericht der Bundesrepublik Deutschland gemäß Richtlinie 91/676/EWG zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) and Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), Bonn and Berlin, S. 9-24.
- Saucke, H., 2019. Wirkstoffverzicht im Integrierten Gartenbau – Das Anbausystem entscheidet, Symposium zum nicht-chemischen Pflanzenschutz im Gartenbau 28. und 20. Mai 2019, Berlin. Julius Kühn Institut, Braunschweig.
- Scherfranz, V., Moon, K., Kantelhardt, J., Adler, A., Barreiro, S., Bodea, F.V., . . . Schaller, L., 2024. Using a perception matrix to elicit farmers' perceptions towards stakeholders in the context of biodiversity-friendly farming. *Journal of Rural Studies*. 108, 103282. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103282>.
- Schreefel, L., Schulte, R.P.O., de Boer, I.J.M., Schrijver, A.P., van Zanten, H.H.E., 2020. Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security*. 26, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100404>.
- Schulte, L.A., Niemi, J., Helmers, M.J., Liebman, M., Arbuckle, J.G., James, D.E., . . . Witte, C., 2017. Prairie strips improve biodiversity and the delivery of multiple ecosystem services from corn-soybean croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114(42), 11247-11252. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620229114>.

- Sirami, C., Gross, N., Baillod, A.B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., . . . Fahrig, L., 2019. Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 116(33), 16442-16447. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906419116>.
- Spohn, M., Bagchi, S., Biederman, L.A., Borer, E.T., Bråthen, K.A., Bugalho, M.N., . . . Yahdjian, L., 2023. The positive effect of plant diversity on soil carbon depends on climate. *Nature Communications*. 14(1), 6624. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42340-0>.
- SRU, WBBGR, WBF, 2024. Renaturierung: Biodiversität stärken, Flächen zukunftsfähig bewirtschaften. Stellungnahme des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRUM) Aktualisierte Fassung August 2024. Geschäftsstelle des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU), Berlin, 90 S.
- Stefan, L., Hartmann, M., Engbersen, N., Six, J., Schöb, C., 2021. Positive Effects of Crop Diversity on Productivity Driven by Changes in Soil Microbial Composition. *Frontiers in Microbiology*. 12(808). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.660749>.
- Stein, M.M., Hrusch, C.L., Gozdz, J., Igartua, C., Pivniouk, V., Murray, S.E., . . . Sperling, A.I., 2016. Innate Immunity and Asthma Risk in Amish and Hutterite Farm Children. *N Engl J Med*. 375(5), 411-421. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1508749>.
- Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J., . . . van der Werf, W., 2020. Chapter One - Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles?, in: Sparks, D.L. (Ed.) *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 1-50. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.10.002>.
- Storkey, J., Bruce, T.J.A., McMillan, V.E., Neve, P., 2019. The future of sustainable crop protection relies on increased diversity of cropping systems and landscapes, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, London, U.K., pp. 199-209.
- Thomas, M., Demeulenaere, E., Dawson, J.C., Khan, A.R., Galic, N., Jouanne-Pin, S., . . . Goldringer, I., 2012. On-farm dynamic management of genetic diversity: the impact of seed diffusions and seed saving practices on a population-variety of bread wheat. *Evolutionary Applications*. 5(8), 779-795. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1752-4571.2012.00257.x>.
- Timaeus, J., Weedon, O.D., Finckh, M.R., 2022. Harnessing the Potential of Wheat-Pea Species Mixtures: Evaluation of Multifunctional Performance and Wheat Diversity. *Frontiers in Plant Science*. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.846237>.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., . . . Whitbread, A., 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification, *Biological Conservation: Advancing environmental conservation: Essays in honor of Navjot Sodhi*. pp. 53-59.
- Tscharntke, T., Grass, I., Wanger, T.C., Westphal, C., Batáry, P., 2021. Beyond organic farming – harnessing biodiversity-friendly landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.06.010>.
- Tsujimoto, H., Sohail, Q., Matsuoka, Y., 2015. Broadening the genetic diversity of common and durum wheat for abiotic stress tolerance breeding, in: Ogihara, Y., Takumi, S., Handa, H. (Eds.), *Advances in Wheat Genetics: From Genome to Field; Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium*. Yokohama, Japan, pp. 223-238. <https://doi.org/doi:10.1007/978-4-431-55675-6>.
- Walker, B., Salt, B., 2012. *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Island Press, Washington, D.C.
- Wang, G.Z., Li, H.G., Christie, P., Zhang, F.S., Zhang, J.L., Bever, J.D., 2017. Plant-soil feedback contributes to intercropping overyielding by reducing the negative effect of take-all on wheat and compensating the growth of faba bean. *Plant and Soil*. 415(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3139-z>.
- Wang, Z.-G., Bao, X.-G., Li, X.-F., Jin, X., Zhao, J.-H., Sun, J.-H., . . . Li, L., 2015. Intercropping maintains soil fertility in terms of chemical properties and enzyme activities on a timescale of one decade. *Plant and Soil*. 391(1), 265-282. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2428-2>.

- Wätzold, F., Feindt, P.H., Bahrs, E., Hamm, U., Isselstein, J., Schröder, S., . . . Wolf, H., 2020. Wie die Politik auf die Bedrohung der Biodiversität in Agrarlandschaften durch den Klimawandel reagieren kann: Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. *Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*.
<https://doi.org/10.12767/buel.vi232.330>
- Weedon, O.D., Brumlop, S., Haak, A., Baresel, J.P., Borgen, A., Döring, T., . . . Finckh, M.R., 2023. High Buffering Potential of Winter Wheat Composite Cross Populations to Rapidly Changing Environmental Conditions. *Agronomy*. 13(6), 1662.
- Weedon, O.D., Finckh, M.R., 2021. Response of wheat composite cross populations to disease and climate variation over 13 generations. *Front. Agr. Sci. Eng.*, 1-16. <https://doi.org/10.15302/j-fase-2021394>.
- Wirth, C., Bruelheide, H., Farwig, N., Marx, J., Settele, J., 2024. Faktencheck Artenvielfalt. Bestandsaufnahme und Perspektiven für den Erhalt der biologischen Vielfalt in Deutschland. 1256 S. <https://doi.org/10.14512/9783987263361>.
- Wissenschaftsrat, 2024. Perspektiven der Agrar-, Lebensmittel- und Ernährungswissenschaften. Wissenschaftsrat, Köln. <https://doi.org/10.57674/txjy-7n56>
- Witzgall, P., Kirsch, P., Cork, A., 2010. Sex Pheromones and Their Impact on Pest Management. *Journal of Chemical Ecology*. 36(1), 80-100. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9737-y>.
- Witzgall, P., Stelinski, L., Gut, L., Thomson, D., 2008. Codling Moth Management and Chemical Ecology. *Annual Review of Entomology*. 53(Volume 53, 2008), 503-522.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093323>.
- Yang, H., Zhang, W., Li, L., 2021. Intercropping: feed more people and build more sustainable agroecosystems. *Front. Agr. Sci. Eng.* 8(3), 373-386. <https://doi.org/10.15302/j-fase-2021398>.
- Zhang, C., Dong, Y., Tang, L., Zheng, Y., Makowski, D., Yu, Y., . . . van der Werf, W., 2019. Intercropping cereals with faba bean reduces plant disease incidence regardless of fertilizer input; a meta-analysis. *European Journal of Plant Pathology*. 154(4), 931-942.
<https://doi.org/10.1007/s10658-019-01711-4>.
- ZKL, 2024. Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe in schwierigen Zeiten – Strategische Leitlinien und Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft. Zukunftskommission Landwirtschaft.