

Ökologische Landwirtschaft & Klima: Forschungsaufgaben aus Sicht von Bio-Praxis & Zivilgesellschaft Empfehlungen an Wissenschaft und Forschungsfördernde

Ergebnispapier des UBA-Verbändeförderprojekts „Dialogplattform Öko-Wissen 2030. Konzepte für die Nutzung und Weiterentwicklung des Transformationspotenzials der ökologischen Land- und Lebensmittelwirtschaft“ (Projektlaufzeit: Mai 2019 – April 2021)

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Die Mittelbereitstellung erfolgte auf Beschluss des Deutschen Bundestages.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



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

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| Ökologische Landwirtschaft & Klima: Forschungsaufgaben aus Sicht von Bio-Praxis & Zivilgesellschaft | 1 |
| Empfehlungen an Wissenschaft und Forschungsfördernde | 1 |
| Inhalt | 2 |
| Abkürzungen | 4 |
| Projekthintergrund | 5 |
| Zusammenfassung | 7 |
| Klimakrise: Wie die ökologische Landwirtschaft zur Lösung beitragen kann | 9 |
| Öko-Landwirtschaft liegt beim Klima vorn | 9 |
| Innovator für Klimaschutz und Klimaanpassung | 11 |
| Ökologische Landwirtschaft als Systemansatz: Resiliente Boden-Pflanze-Tier-Agrarsysteme | 12 |
| Systembeispiel Boden | 12 |
| Drängende Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für resiliente klimafreundliche Boden-Pflanze-Tier-Agrarökosysteme | 13 |
| 1. Klimaschutz in ökologischen Boden-Pflanze-Tier-Produktionssystemen | 13 |
| 1.1. Boden und Pflanze: Minderung von Emissionen und klimaschonendes Bodenmanagement | 14 |
| 1.1.1. Lachgas (N ₂ O) und Methan (CH ₄) | 14 |
| 1.1.2 Kohlenstoffbindung und Gesunderhaltung von Böden | 14 |
| 1.1.3 Optimiertes Nährstoffmanagement | 15 |
| 1.1.4. Anpassung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen | 16 |
| 1.2 Minderung von schädlichen Emissionen in der Tierhaltung | 16 |
| 1.2.1 Methan (CH ₄), Ammoniak (NH ₃) und Lachgas (N ₂ O) | 17 |
| 1.3 Energieeinsatz und Energiebilanzierung | 18 |
| 2. Klimaangepasste ökologische Pflanze-Tier-Produktionssysteme: Anpassung an Klimaveränderungen | 19 |
| 2.1. Boden und Pflanze | 19 |
| 2.1.1 Anpassung durch Diversifizierung von Kulturen und Mischkulturen | 19 |
| 2.1.2. Züchtung angepasster Sorten | 19 |
| 2.1.3. Steigerung der Resilienz durch Erhalt von Pflanzengesundheit | 20 |
| 2.2 Tier | 21 |
| 2.2.1 Klimaangepasste Haltungssysteme und Fütterung | 21 |
| 2.2.2. Zucht angepasster und resilienter Rassen in der Nutztierhaltung | 22 |
| 3. Resilienz durch Vielfalt: Mehr Biodiversität und Ökosystemleistungen durch Diversifizierung im Betrieb | 23 |
| 3.1 Weiterentwicklung innovativer Ansätze für ökologische Produktionssysteme | 24 |
| 3.2 Systemangepasste Integration von Biodiversitätsmaßnahmen | 24 |

| | |
|---|-----------|
| 4. Betriebs- und volkswirtschaftliche Aspekte einer klimagerechten ökologischen Landwirtschaft | 25 |
| 5. Weiterentwicklung von Mess- und Bewertungsmethoden und -verfahren | 26 |
| 5.1 Boden-Pflanze | 26 |
| 5.2 Tier | 26 |
| 6. Wissenstransfer | 28 |
| 6.1 Wissenstransfer in die und mit der Praxis durch Ausbildung, Beratung und Forschungskooperation | 28 |
| 6.2 Wissenstransfer in die Öffentlichkeit | 29 |
| Politische Rahmenbedingungen, Forschungsförderung und Forschungsinfrastrukturen..... | 31 |
| Politische Bedingungen für die Öko-Forschung | 31 |
| Öko-Forschungsförderung..... | 32 |
| Öko-Wissen braucht ökospezifische Forschung | 32 |
| Beispiel Züchtungsfinanzierung | 33 |
| Infrastrukturen für ökospezifische, systemorientierte Forschung | 34 |
| Rahmenbedingungen für ökologische Praxisforschung | 34 |
| Quellenverzeichnis..... | 36 |

Abkürzungen

| | |
|------------------|--|
| NH ₃ | Ammoniak |
| BMEL | Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft |
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit |
| BÖL | Bundesprogramm ökologischer Landbau |
| BÖLN | Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft |
| BUND | Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland |
| BÖLW | Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft |
| C | Kohlenstoff |
| CH ₄ | Methan |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid |
| FFH | Fauna-Flora-Habitat |
| FiBL | Forschungsinstitut für biologischen Landbau |
| GAP | Gemeinsame Agrarpolitik |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| ÖTZ | Ökologische Tierzucht gGmbH |
| NABU | Naturschutzbund Deutschland |
| N | Stickstoff |
| N ₂ O | Lachgas |

Projekthintergrund

Zivilgesellschaft, Umwelt- und Bio-Verbände sind Wissensträger für die Lösung sozial-ökologischer und gesellschaftlich drängender Fragen. Dennoch sind forschungspolitische Strukturen in den Organisationen wenig ausgebaut. Das liegt auch an der bisherigen Ausrichtung der deutschen Forschungspolitik, die sich bislang nur schleppend mit der sozial-ökologischen Transformation beschäftigt und kaum für die Einbindung aller Wissensträger in die Forschungspolitik sorgt. Wenn der Wille zur Transformation ernst gemeint ist, sollte eine entsprechende Förderung die Schnittstellen zum Wissens- und Forschungsbedarf sowie gemeinsame Erkenntnisinteressen der Zivilgesellschaft und der Verbände stärken.

Die UBA-Verbändeförderung hat eine solche Vernetzung ermöglicht. Das Projekt verfolgte die Ziele:

- den Wissensaustausch zu Besonderheiten, Wissensbedarf und Forschungslücken in ausgewählten Themenfeldern zwischen den Institutionen zu intensivieren,
- zu diskutieren, welche politischen Rahmenbedingungen für die Forschung zur besseren Nutzung des Innovationspotenzials notwendig sind und
- die gemeinsame forschungspolitische Arbeit der beteiligten Verbände zu stärken.

Übergreifend zielte das Vorhaben darauf ab, die gemeinsame Entwicklung forschungspolitischer Strategien anzuschieben. In Politik, Förderlandschaft und Wissenschaft sollte ein Bewusstsein dafür entstehen, dass sich die finanzielle, strukturelle und insbesondere auch personelle Ausstattung der Forschung verbessern muss. Ein Ausbau der Forschungsinfrastrukturen für relevante Themen ist dringend notwendig, um Transformation voranzubringen und die Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Für die forschungspolitische Zusammenarbeit wählte das Projektbündnis ein Thema aus, das die aktuelle gesellschaftspolitische Diskussion mitbestimmt: „Klima und ökologische Landwirtschaft“.

Arbeitsschwerpunkte im Projektzeitraum waren

- Forschungsthemen aus dem Bereich klimaangepasste, ökologische Landwirtschaft der Bio- und Natur- und Umweltschutzverbände zusammenzutragen und
- Förderlücken, notwendige Forschungsmittel sowie -infrastrukturen zu identifizieren.

Das Potenzial von Bio für die Lösung der umwelt- und ressourcenpolitischen Herausforderungen der Klima-Krise muss in den entscheidenden Akteurskreisen bekannt(er) und der spezifische Forschungs- und Handlungsbedarf an Förderung und Wissenschaft besser vermittelt werden. Dazu tragen die Informationen, Erkenntnisse und Diskussionsbeiträge des vorliegenden Papiers bei. Es führt Forschungsthemen aus der Bio-Praxis und den Umwelt- und Naturschutzverbänden zur ökologischen Lebensmittelproduktion vor dem Hintergrund der Klimakrise zusammen. Der Schwerpunkt richtet sich projektbedingt auf den Forschungsbedarf im Bereich Landwirtschaft. Darüber hinaus dienen die hier zusammengeführten Ergebnisse als Grundlage für die Bestimmung weiterer Forschungs- und Entwicklungsaufgaben entlang des gesamten Produktionsprozesses und des Konsums von Bio-Lebensmitteln.¹

¹ Denn: Veränderte Anbaustrategien und -kulturen wirken sich auf Produktions- und Vertriebsprozesse aus. Und auch im nachgelagerten Bereich sind Unternehmen bestrebt, ihre Klimafußabdrücke zu verbessern. Das erzeugt Innovationsdruck erfordert politische Zielvorgaben auch für die Herstellenden und die Vermarktung neuer Produkte. In der zukünftigen Diskussion sollte das Berücksichtigung finden.

Die Aufbereitung der Forschungsaufgaben basiert auf einer Sammlung von Forschungsideen, die der Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft (BÖLW) seit 2008 im Rahmen von Wissenstransferveranstaltungen für Landwirtinnen und landwirtschaftliche Berater zusammengetragen hat.² Um an die aktuelle Diskussion anzuschließen, wurden außerdem aktuelle Publikationen aus Branchenmedien und Wissenschaft (überwiegend aus dem deutschsprachigen Raum) hinzugezogen und thematisch strukturiert. Weiterhin sind Zwischenergebnisse aus dem ‚Kulturnetzwerke-Projekt‘ des BÖLW eingegangen: In einem Workshop im März 2020 wurden Forschungsfragen aus Sicht der Praxis für verschiedene Anbausparten auch mit Blick auf die Klimaveränderungen zusammengetragen.³ Zur weiteren Klärung trugen mehrere Workshops und Videokonferenzen sowie schriftliche Abstimmungsrunden bei, in die das Projektteam auch verbandsexterne Expertinnen und Experten einbezog.

Die Ergebnisse, die in diesem Papier zusammengeführt sind, sollen:

- als Grundlage für die forschungspolitische Arbeit der projektbeteiligten Institutionen im Bereich Klima dienen,
- Ausgangspunkt für die Identifikation weiterführender klimarelevanter Fragestellungen in der Agrar- und Ernährungswirtschaft entlang von Wertschöpfungsketten sein,
- einen Themenleitfaden für die Entwicklung gemeinsamer Projekte und anwendungsorientierter Forschung bilden,
- die Vernetzung von Forschungsinstitutionen und -verbänden für die Umsetzung der Forschungsaufgaben unterstützen,
- sowohl Förderung als auch Forschungspolitik eine Empfehlung für die anwendungsorientierte Gestaltung von Forschungsprogrammen unter Berücksichtigung gesellschaftlich relevanter Fragestellungen geben.

Projektteam

Das Kernteam des Projektes bildeten: Dr. Christopher Brock (Demeter), Sigrid Griese (Bioland), Dr. Babett Jánosky (BÖLW, Projektkoordination), Dr. Steffi Ober (Nabu), Christian Rehmer (BUND), Dr. Christine Tölle-Nolting (Nabu), Werner Vogt-Kaute (Naturland).

Unser herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Andreas Gattinger (Universität Gießen), Carsten Scheper (ÖTZ) und Axel Wirz (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, FiBL, Deutschland) für ihre fachliche Mitarbeit. Neben den genannten Personen wurde für Detailfragen eine Vielzahl weiterer Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Praxis zurate gezogen, denen wir ebenfalls für ihre Unterstützung danken möchten.

² Gefördert vom Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN), FKZ 14OE008. Weitere Informationen unter: <https://orgprints.org/35447/> und www.boelw.de/wissens-transfer.

³BÖLN FKZ 15OE095, weitere Informationen unter: www.boelw.de/kulturnetzwerk.

Zusammenfassung

Landwirtschaft ist lebensnotwendig. Gleichzeitig aber entziehen uns schädliche Praktiken der Landwirtschaft in ihrer augenblicklichen Form der Übernutzung unsere wichtigste Lebensgrundlage. In den gegenwärtigen Krisen wird noch einmal deutlich: Landwirtschaft braucht eine neue Haltung. Sie muss so arbeiten, dass sie unsere Ernährung sichert und unsere Lebensgrundlagen innerhalb der planetaren Grenzen schützt.

Die ökologische Landwirtschaft bietet zahlreiche Lösungsansätze und Ideen, um Lebensmittel klimafreundlich und unter schwankenden Klimabedingungen zu produzieren. Bio-Landwirtinnen und -Landwirte beobachten Äcker und Tiere genau und passen ihre Bewirtschaftung an sich verändernde Umweltbedingungen an. Ökologische Landwirtschaft arbeitet *mit* der statt *gegen* die Natur. So leisten Bio-Bauern einen wichtigen Beitrag, Böden zu regenerieren und Boden, Tier und Pflanze gesund zu erhalten. Ökologische Landwirtschaft fördert Resilienz, die notwendig ist, um unsere Ernährung langfristig zu sichern. Der Blick auf ein starkes, gesundes Ganzes ist es, was sie zum Vorreiter in der notwendigen Transformation der Agrar- und Ernährungswirtschaft macht.

Beim Klimaschutz bringt Bio positive Effekte: Bio-Böden weisen im Schnitt einen 10 Prozent höheren Gehalt an organischem Bodenkohlenstoff auf. Sie entnehmen über die Photosynthese der Pflanzen CO₂ aus der Atmosphäre und legen Kohlenstoff dauerhaft im Humus fest. Bio-Böden tragen damit erheblich dazu bei, das CO₂-Aufkommen zu senken.

Herde und Fläche bilden ein Gleichgewicht. Ein Großteil der Futtermittel kommt außerdem aus der Region oder vom eigenen Hof. Biofutter hat kurze Wege und aufgrund dessen eine bessere Klimabilanz als der Import von Futtermitteln im konventionellen Landbau. Bio ist auch erfolgreich mit Blick auf die Klimaanpassung: Öko-Böden nehmen nachweislich schneller Wasser auf und speichern dieses besser – das ist vorteilhaft sowohl bei Starkregen als auch bei Trockenheit.

Das Spektrum guter Ideen für Klimaschutz und Klimaanpassung mit der ökologischen Landwirtschaft ist groß. Es reicht von vielfältigen Ansätzen zur Minderung von Treibhausgasemissionen, klimaschonendem, standortangepassten Boden- und Tierhaltungsmanagement, Stärkung von Pflanzen- und Tiergesundheit und Züchtung angepasster Sorten und Rassen bis zu Anpassungsmaßnahmen durch Diversifizierung in Anbaupraktiken und Betriebsmanagement. Im Mittelpunkt steht Boden-Pflanze-Tier-Produktionssysteme noch enger zu verknüpfen und Kreisläufe zu schließen, um zugleich Produktivität zu fördern und Klima, Biodiversität und Gewässer zu schützen. In einem gesunden Kreislauf steht so beispielweise organische Substanz und Biomasse in Böden natürlich und dynamisch zur Verfügung.

Entscheidend für die Umsetzung neuer Ideen ist, dass diese betriebs- und volkswirtschaftlich tragfähig gemacht werden, vor allem auch durch entsprechende politische Rahmenbedingungen. Um eine Umsetzung und um Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit bewerten zu können, ist auch die Weiterentwicklung von Mess- und Bewertungsverfahren wichtig. Darauf aufbauend müssen ökologische Wertschöpfungsketten klimafreundlich weiterentwickelt werden auf der Grundlage ordnungsrechtlicher und fiskalischer sowie sonstiger notwendiger Anpassungen. Außerdem können Umsetzungskonzepte zur Internalisierung externer Kosten zu einem veränderten Konsum- und Ernährungsverhalten mit positiver Auswirkung auf die Klimabilanz (weniger Fleisch) beitragen.

Um die Möglichkeiten von Bio bestmöglich nutzen zu können, fehlt es an umfangreichen Investitionen in Forschung, Aus- und Weiterbildung sowie Beratung. Die finanzielle Förderung muss innovative, systembezogene Forschungsvorhaben stärken und

unterstützen. Erkenntnisse aus der konventionellen Landwirtschaft als ausschnittshafte Betrachtungen sind nicht geeignet, um eine Transformation zu vollziehen.

Auch Wissen reduziert wirksam Emissionen: Denn die Bio-Praxis setzt umfangreiches Wissen voraus. Der Wissenstransfer zur grundlegenden Stärkung von Infrastrukturen und Kapazitäten in Forschung, Ausbildung und Beratung ist essentiell. Hier bestehen derzeit gravierende Mängel in der öffentlichen Förderung, die die politischen Ausbauziele für Bio gefährden.

Bio-Forschung setzt andere, ganzheitliche Erfolgskriterien an und kann in bestehenden Forschungsprogrammen und -einrichtungen daher bislang kaum ausreichend Berücksichtigung finden. Bio braucht Versuchskonzepte und -bedingungen, die Öko-Wissen, -Verfahren und -Richtlinien umfänglich widerspiegeln – vom Acker über die Herde bis zum Forschungsaufbau. Dafür sind die richtige Infrastruktur und Personal mit Öko-Fachwissen notwendig. Gute Kenntnis des Bio-Wissenssystems wird nicht nur in Forschungseinrichtungen gebraucht, sondern auch in den Gutachtergremien der Förderer, um die Güte von Projekten und ihren Praxisbezug beurteilen zu können. Bio-Forschungsinteressen sind stark wissens- und systemorientiert und weniger auf die isolierte Entwicklung von Patenten oder den Einsatz externer Mittel oder Maschinen aus. Eine Refinanzierung der Forschungsinvestitionen und hoher Eigenbeteiligungen ist daher kaum möglich.

Öko-Forschung setzt auf Zusammenarbeit. Der Fortschritt gelingt vor allem durch den direkten Austausch aller Wissensträgerinnen und Wissensträger aus Praxis, Wissenschaft und Zivilgesellschaft. Die Anerkennung und Förderung von Zeit und Kosten für die notwendige Zusammenarbeit, etwa was Kommunikation angeht, ist daher grundlegend.

Bio arbeitet ganzheitlich, nachhaltig und achtsam, um stabile Systeme zu schaffen. Dieses Papier ist ein Plädoyer dafür, dass Forschungspolitik ein sehr viel breiteres Innovationsverständnis anlegen muss, um sozial-ökologische Transformation und gemeinwohlorientiertes Erkenntnisinteresse auch mit Blick auf das Klima nach vorn zu bringen und eine gute Vernetzung dafür zu ermöglichen.

Klimakrise: Wie die ökologische Landwirtschaft zur Lösung beitragen kann

Die ökologische Landwirtschaft gilt mit Blick auf die Einhaltung planetarer Belastungsgrenzen als Vorreiter der nachhaltigen Landbewirtschaftung (Rat für Nachhaltige Entwicklung 2011; Sanders, Heß 2019; Haller *et al.* 2020). Die ganzheitliche Herangehensweise an ein Wirtschaften in und mit der Natur, welches die Resilienz von Böden, Pflanzen, Tieren und Menschen erhält und stärkt, macht die ökologische Landwirtschaft zur Wegbereiterin nachhaltiger Innovationsleistungen in der Agrar- und Ernährungswirtschaft. Von ihren Lösungen profitiert die gesamte landwirtschaftliche Produktion.

Die Ökosystemleistungen der ökologischen Landwirtschaft sind unbestritten und wissenschaftlich belegt. Sie reichen von der Gesunderhaltung und Verbesserung der Böden, der Resilienz von Pflanzen und Tieren bis hin zum Biodiversitäts- und Gewässerschutz (ebd.). Auch im Zusammenhang mit dem Schutz des Klimas und der Anpassung an die Klimaveränderungen profitiert die Landwirtschaft vom Systemansatz der ökologischen Landwirtschaft und ihrem Instrumentarium. Sie kann besser auf die sich verändernden Bedingungen reagieren und Klimaschäden eindämmen und vermeiden.

Klimaspezifische Lösungsansätze für die weiterführende Forschung können nur *einen* Innovationsbereich der ökologischen Landbewirtschaftung betrachten. Gleichwohl müssen diese Einzelmaßnahmen im Hinblick auf die planetaren Grenzen immer auch im Zusammenhang des Gesamtsystems diskutiert und als Teile eines Kreislaufs verstanden und bearbeitet werden.

Öko-Landwirtschaft liegt beim Klima vorn

Die Klimakrise stellt uns vor enorme Herausforderungen und erfordert ein konsequentes Umsteuern in der vorherrschenden Bewirtschaftung und Nutzung natürlicher Ressourcen. Die ökologische Landwirtschaft bietet dafür Lösungen und Potenziale. Ökologisch bewirtschaftete Systeme können

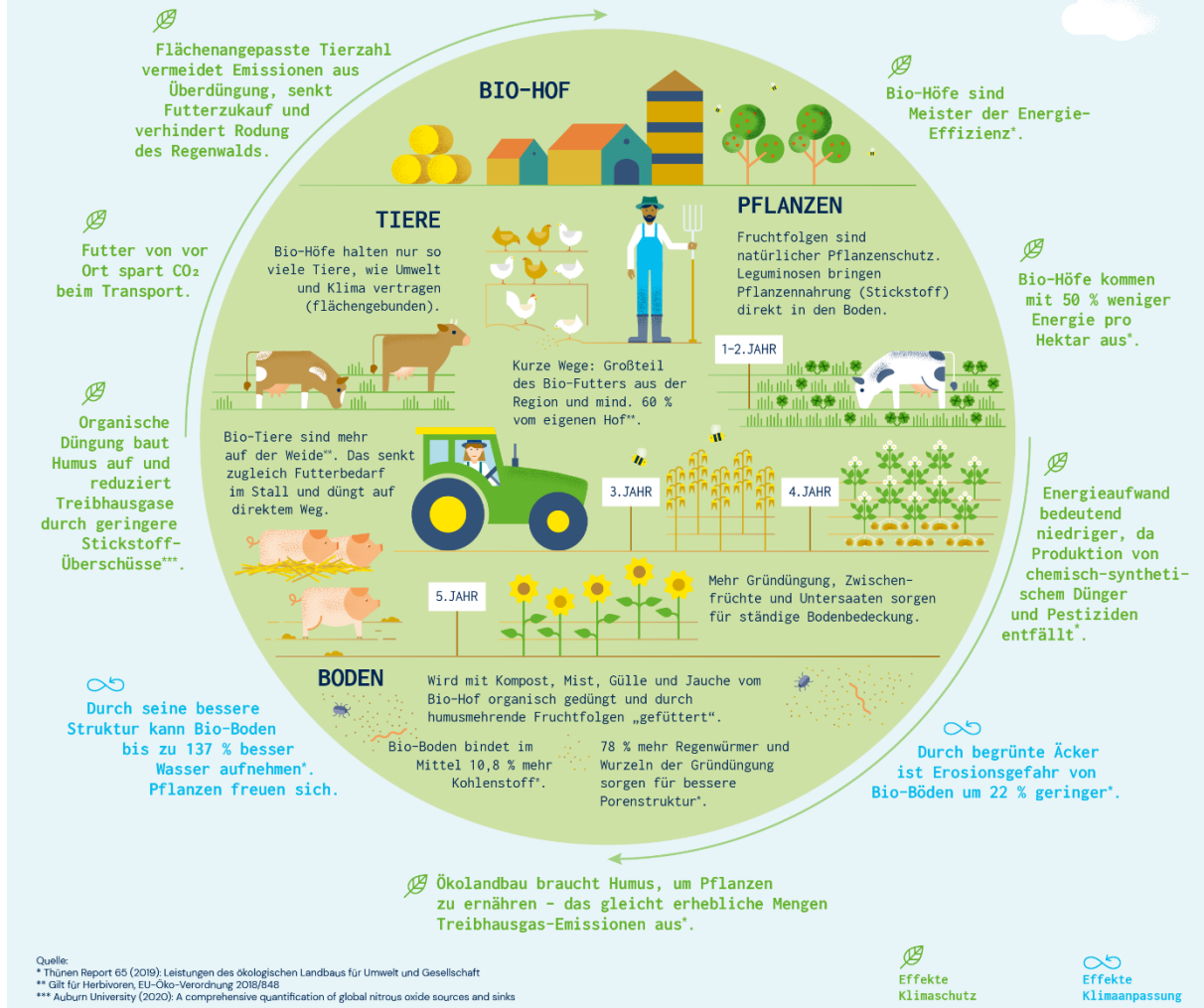
- sich besser an Klimaveränderungen anpassen,
- Klimaschäden vermeiden helfen und
- zur Regeneration von Ressourcen beitragen, die bereits klimabedingt geschädigt sind.

Ökologisch bewirtschaftete Flächen zeigen sich resilienter gegenüber Klimaveränderungen als konventionelle. Sie schützen vor Erosion, verbessern die Wasserspeicherfähigkeit, stärken das Bodenleben und die Fruchtbarkeit (Sanders, Heß 2019).

Ein mit natürlichen Systemen arbeitendes Fruchtfolge- und Nährstoffmanagement zur Stärkung der Bodenfruchtbarkeit sowie der Einsatz von Komposten oder Mist in Verbindung mit einer optimierten Bodenbearbeitung fördern Bodengesundheit und Humusgehalt. Nährstoffreiche Böden sind unabdingbar für vielfältige und ertragreiche Kulturflächen und funktionierende, dynamische Produktionssysteme von Boden, Pflanze und Tier.

Humus gilt als der größte terrestrische Speicher für organischen Kohlenstoff. In gesunden humusreichen Böden lassen sich Bestandteile großer Mengen klimaschädigender Gase wie Kohlenstoffdioxid binden. Für Deutschland wird ein Kohlenstoffspeicher von 2,4 Milliarden Tonnen in landwirtschaftlich genutzten Böden (Mineralböden und Mooren) angenommen. Dies entspricht etwa 48 Prozent aller in Böden enthaltenen Kohlenstoff-Vorräte (Jacobs *et al.* 2018). Ökologische Böden enthalten durchschnittlich 10 Prozent mehr organischen Bodenkohlenstoff (Skinner *et al.* 2019).

Klimaschutz & Klimaanpassung mit Ökologischer Landwirtschaft



Ökologisch bewirtschaftete Böden sind robuster und haben eine bessere Struktur, etwa durch die Arbeit von Regenwürmern, die den Boden auflockern und damit für Durchlüftung und Drainage sorgen. Sie können mehr Wasser aufnehmen und wie ein Schwamm speichern. Deshalb sind sie besser an sich verändernde Niederschlagsereignisse wie Trockenheit oder Starkregen angepasst, erodieren weniger und bieten eine vergleichsweise stabilere Wasserversorgung für die Kulturen. Das gilt sowohl für Einzelschläge als auch auf Fruchtfolge- und Landschaftsebene, wo auch weitere Faktoren wie „Landschaftsstruktur und -form sowie Niederschlags- und Abflussregime eine wichtige Rolle beim Erosions- und Hochwasserschutz“ (Sanders, Heß 2019) spielen. Auch auf das Mikroklima und den landschaftsbezogenen Wasserhaushalt übt ökologische Landwirtschaft so einen positiven Einfluss aus. Und bei den Treibhausgasemissionen (THG) steht die ökologische Landwirtschaft vor allem bei den flächenbezogenen THG besser da (ebd., Haller *et al.* 2020). Die Öko-Landbewirtschaftung mindert also verschiedene Umweltbelastungen gleichzeitig (Sanders, Heß 2019).

Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen ihre gleiche oder bessere gesamtbetriebliche (Langzeit-)Klimabilanz auch im Verhältnis zum Ertrag (siehe u.a. Skinner *et al.* 2019;

Aguilera 2019; Hülsbergen, Rahmann 2015). Positive Effekte resultieren daraus, dass die ökologische Landwirtschaft von vielen externen Betriebsmitteln unabhängig ist, ohne synthetische Dünger auskommt und eine flächengebundenen Tierhaltung mit hohem Anteil an Wiederkäuern und Grünland mit hoher CO₂-Bindung betreibt. Es besteht besonders hinsichtlich der ertragsbezogenen THG-Bilanzen noch weiterer Forschungsbedarf zur Schließung von Datenlücken, vor allem für die Berücksichtigung gesamtbetrieblicher THG-Bilanzen und der Klimabilanzierung in der ökologischen Tierhaltung (s. auch van der Werf *et al.* 2020).

Innovator für Klimaschutz und Klimaanpassung

Forschung und Wissenstransfer zur ökologischen Landwirtschaft müssen darauf ausgerichtet sein, Anbausysteme zu erhalten und weiterzuentwickeln, die – trotz der schwankenden Klimabedingungen – Boden, Pflanze und Tier in ihrer Resilienz stärken und die Produktivität fördern.

Um wirtschaftlich tragfähig zu arbeiten und die Anbausysteme noch besser, ganzheitlicher und standortgerechter an die Klimabedingungen anzupassen, brauchen Öko-Bäuerinnen und

-Bauern ein umfangreiches Wissen und Verständnis von den Systemen, die sie bewirtschaften. Das ermöglicht ihnen, die Veränderungen natürlicher Prozesse im Blick zu behalten, flexibel darauf reagieren und geeignete Anpassungsstrategien anwenden und (weiter)entwickeln zu können.

Resiliente Systeme mit angepassten, vielfältigen Fruchtfolgen, die Schließung von Nährstoff-Kreisläufen auch in viehlosen und vieharmen Betrieben, die Minderung von Emissionen, schonende Bodenbearbeitungsverfahren, Humus- und Kompostforschung, standortangepassten Tierhaltungssystemen und wirtschaftlich erfolgreiche Mischkultur- und Agroforstsysteme sind wissensintensive und teils hochkomplexe Entwicklungsfelder. Sie müssen durch umfangreiche Forschungsanstrengungen und Wissenstransfermaßnahmen unterstützt und begleitet werden.

Ökologische Landwirtschaft als Systemansatz: Resiliente Boden-Pflanze-Tier-Agrar-systeme

Die ökologische Landwirtschaft beruht im Wesentlichen auf der gezielten Förderung und Nutzung von Ökosystemleistungen. Eine Weiterentwicklung ökologischer Produktion ist daher immer als Systemoptimierung zu verstehen. Mit dem Blick auf die Klimaveränderungen ergeben sich für die ökologische Landwirtschaft daher Fragenkomplexe an die Forschung, zu deren Beantwortung rein technische Lösungen unzureichend sind. Auch die thematische Einengung auf Einzelsparten wie Pflanzenbau, Tierhaltung oder Ökonomie bildet das Öko-Wissenssystem nur begrenzt ab. Vielmehr muss es darum gehen, ein *ganzheitliches* Verständnis der Wechselwirkungen natürlicher Ökosystem-Prozesse und stabiler Boden-Pflanze-Tier-Produktionssysteme einschließlich aller nachgelagerten Bereiche in den Mittelpunkt zu stellen (Cabell, Oelofse 2012).

Klima-Forschung zur Weiterentwicklung ökologischer Landwirtschaft muss immer auch weitere, die Gesundheit und Stabilität von Systemen bedingenden Faktoren wie Biodiversitäts- und Artenschutz oder Natur- und Gewässerschutz, betrachten. Zum Erhalt der Artenvielfalt ist beispielsweise die Einbindung und Berücksichtigung von Habitaten notwendig. Im Natur- und Landschaftsschutz stellt sich die Frage, wie sich die Wasserbindungsfähigkeit des Bodens verbessern lässt und welche Einflüsse auf das Mikroklima eine schonende und begünstigende Bewirtschaftungspraxis hat. Sie greift idealerweise mit weiteren stabilisierenden Maßnahmen ineinander.

Systembeispiel Boden

Forschung zu Boden und Humus in der ökologischen Landwirtschaft darf nicht auf die Fragen der Anreicherung langfristig stabiler Kohlenstoffvorräte im Boden verengt werden. Die Versorgung der Böden mit organischer Substanz ist ein Schlüsselfaktor der Bodenfruchtbarkeit mit vielfältigen Aufgaben (Fageria 2012). Einige Leistungen (z.B. Bodenstrukturverbesserung und verbundene Effekte) resultieren dabei aus der Anreicherung mit organischer Substanz, während andere (z.B. Nährstofffreisetzung, Zurückdrängung von Schadorganismen) vor allem mit dem biologischen Umsatz der organischen Substanz zusammenhängen. Eine nachhaltige Bodennutzung muss beides fördern. Maßnahmen, die einseitig auf die Stabilisierung abzielen, sind in einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Flächennutzung nicht zielführend. Die Herausforderung ist, den notwendigen Abbau organischer Substanz durch ausreichende Zufuhr über Ernte- und Wurzelrückstände und die organische Düngung auszugleichen und die Leistungen aus dem Abbau effektiv zu nutzen.

Verschiedene organische Dünger und Substrate erbringen im produktions-ökologischen System ganz unterschiedliche Leistungen: Komposte fördern das Bodenleben und schaffen mittelfristig stabile Kohlenstoffverbindungen, aber weniger schnell verfügbare Nährstoffe für die Pflanzen. Gülle dagegen bringt Nährstoffe schnell wie Fast-Food, trägt aber nur wenig zum Aufbau organischer Substanz bei. Beide Dünger können im Produktionssystem – an der jeweils passenden Stelle – mit guten Effekten für den Klimaschutz eingesetzt werden. Denn im System wirken die Vorteile aktiver, kohlenstoffreicher Böden für die Bodengesundheit und eine gute Bodenstruktur mit den Vorteilen schnell nutzbarer, nährstoffreicher organischer Dünger für ein gutes Pflanzenwachstum zusammen.

Eine wichtige Aufgabe der Forschung ist es, zum besseren Verständnis der biologischen Prozesse und deren gezielter Förderung für produktive und klimaschonende Pflanzenbausysteme beizutragen.

Drängende Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für resiliente und klimafreundliche Boden-Pflanze-Tier-Agrarökosysteme

Um das Potenzial der ökologischen Land- und Lebensmittelwirtschaft für eine nachhaltige, klimaverträgliche Transformation der Agrar- und Ernährungswirtschaft heben zu können, ist die enge Zusammenarbeit mit der Wissenschaft von großer Bedeutung.

Die wesentlichen Forschungsherausforderungen im Bereich Landwirtschaft liegen dabei in folgenden übergeordneten Themenfeldern:

- Der Erhaltung und Stärkung gesunder Böden mit hohem Humusgehalt.
- Der Entwicklung gesundheitsfördernder Strategien für Boden, Pflanze und Tier und gegen neue Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten.
- Die Züchtung standort- und klimaangepasster, gesunder, resilienterer Pflanzensorten und robuster Tierrassen ohne Gentechnik.
- Die Entwicklung klimafreundlicher, standortangepasster Haltungssysteme.
- Einer Potenzialanalyse und Strategien für eine noch engere Verzahnung von standortangepassten Boden-Pflanze-Tier-Produktionssystemen mit gesunden Böden, Pflanzen und Tieren.

Um zu realistischen Konzepten zu kommen, müssen dabei auch betriebs- und volkswirtschaftliche Kosten einkalkuliert werden. Zum besseren Verständnis dieser Themengebiete ist zudem die Weiterentwicklung von ökospezifischen Monitoring- und Messverfahren und die Schließung von Forschungslücken in diesem Bereich von zentraler Bedeutung.

Über den landwirtschaftlichen Bereich hinausgehend ist die Schaffung und Stärkung nachhaltiger Wertschöpfungsketten entscheidend, damit neue Ideen erfolgreich umgesetzt werden können. Grundlegend sind es mit Blick auf das Gesamtsystem außerdem unter anderem Maßnahmen wie die Reduktion der Lebensmittelverschwendung, veränderte Ernährungsstile und die Einbeziehung externer Kosten in die Preisgestaltung von Lebensmitteln, die zu einem klimafreundlicheren Konsumverhalten beitragen.

Um die Forschungsfelder im Schwerpunkt Landwirtschaft klarer zu strukturieren, müssen die stärker auf Klimaschutz ausgerichteten Maßnahmen von den Anpassungsmaßnahmen unterschieden werden. Dabei gilt, wie eingangs dargestellt, dass nach dem Systemverständnis alle Weiterentwicklungen immer mehrere Zielstellungen verfolgen: Dass sie sowohl klimaschützend als auch klimaangepasst, bodenschonend und tierwohlschützend wirken.

1. Klimaschutz in ökologischen Boden-Pflanze-Tier-Produktionssystemen

Ein Schwerpunkt notwendiger Forschungsleistung für die ökologische Landwirtschaft liegt auf Bodengesundheit und pflanzlicher Produktion. Der Pflanzenbau ist zugleich Grundlage für die Tierhaltung, die mit klimarelevanten Ausgasungen und Einfluss auf Nährstoffkreisläufe ebenfalls Auswirkungen auf Bodenprozesse und das Gesamtsystem hat. Zur besseren Übersicht werden zugehörige Forschungsfelder im Folgenden in die Bereiche „Boden-Pflanze“ und „Tier“ untergliedert, müssen aber in der wissenschaftlichen Betrachtung und Einordnung auch immer in ihrem Wechselverhältnis gesehen werden.

1.1. Boden und Pflanze: Minderung von Emissionen und klimaschonendes Bodenmanagement

Weiterentwicklungsfragen zum Erhalt und zur Verbesserung humusreicher Böden und Bodenfunktionen sowie zur Bindung und Verhinderung von Ausgasungen nehmen eine zentrale Rolle im klimaspezifischen Forschungs- und Wissenstransferbedarf der Öko-Praxis ein. Damit verbunden sind Fragen eines optimierten Nährstoffmanagements. Zur Stärkung von Böden und zur Erhaltung und Verbesserung von Bodenqualität, Pflanzengesundheit und Ertrag sind in erster Linie Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) notwendig. Weitere Makro- und Mikronährstoffe zur Sicherstellung wichtiger Bodenfunktionen, die somit auch die Boden- und Pflanzenstärkung sowie C-Speicherung direkt und indirekt beeinflussen, kommen hinzu.

Deshalb ist es sinnvoll, folgende Einzel- und Einflussfaktoren genauer zu betrachten und Weiterentwicklungsstrategien miteinander zu verzahnen:

1.1.1. Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄)

Wie die Meta-Studie von Sanders und Heß (2019) zeigt, liegen bislang nur wenige vergleichende wissenschaftliche Erkenntnisse zu ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen hinsichtlich Lachgas- (N₂O) und Methan (CH₄)-Emissionen vor. Dabei sind sie deutlich klimaschädlicher als überschüssiges Kohlenstoffdioxid (CO₂).

Während die Studie die Datenlage zu Bodenkohlenstoff und -speicherung als „gut bis mäßig“ einschätzt, wird sie für Lachgas als „gering“ und für Methan als „sehr gering“ eingestuft (ebd.). Es gibt demnach einen drängenden Forschungsbedarf, um die öko-spezifische Datenlage zu verbessern. Das gilt insbesondere für folgende Themen:

- Untersuchungen zu Minderungsmöglichkeiten von Lachgas-Ausgasungen durch teilflächenspezifische Düngung mit organischem Dünger,
- Weitere vergleichende Studien zu den bodenbürtigen Lachgas- und Methan-Emissionen von ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen,
- Weiterführende Untersuchungen zur Wirkung von Pflanzenkohle auf die Minderung von Lachgas-Emissionen, Nährstoffkreisläufe und Bodenmikroorganismen sowie begleitende Konzepte, um Erkenntnisse über deren Potenziale zu vertiefen,
- Weiterführende (Langzeit-)Untersuchungen zu den Auswirkungen langjähriger ökologischer Bewirtschaftung und von Anbautechniken (z.B. Bodenbearbeitung, Futterleguminosen und Zwischenfruchtanbau) auf bodenbürtige Treibhausgas-Emissionen und Rückschlüsse auf ertragsskalierte Lachgas-Bilanzen⁴.

1.1.2 Kohlenstoffbindung und Gesunderhaltung von Böden

Gesunde Böden mit hohen Humusanteilen sind wichtig für das Gelingen einer erfolgreichen Bewirtschaftung im stabilen System. Weil sie Kohlenstoff (C) aus überschüssigem Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre binden, bergen sie zugleich ein hohes Klimaschutzpotenzial. Um hier noch präzisere Aussagen zur Leistung der ökologischen Landwirtschaft treffen und Rückschlüsse auf begünstigende Verfahren und Methoden ziehen zu können, sind mehr Langzeituntersuchungen notwendig. Von Interesse ist insbesondere

- die Anlage vergleichender Langzeitversuche zur Messung der C-Speicherung in ökologisch bewirtschafteten Böden mit größerer Beprobungstiefe (≥ 30cm; Sanders, Heß 2019) um den Effekt ökologischer Fruchtfolgen (z.B. tiefwurzelnde Luzerne) besser abzubilden und

⁴ Hierzu gibt es Hinweise, dass die langfristige Entwicklung der Bodenqualität die ertragsskalierten N₂O-Emissionen im Ökolandbau gegenüber der konventionellen Bewirtschaftung ausgleicht (siehe Skinner *et al.* 2019; nach Sanders, Heß 2019).

- die Datengewinnung von On-Farm-Versuchen und Betriebsdaten, um auch standortspezifische Rückschlüsse für die Humusbilanzierung ziehen zu können.

Weitere Forschung sollte außerdem erfolgen zu

- durchwurzelungsstarken Kulturen und Sorten, die einen Humusaufbau besonders im Unterboden begünstigen,
- der Optimierung von Fruchtfolgen mit Zwischenfrüchten und Untersaaten hinsichtlich
 - der Untersuchung der Eignung von Zwischenfrüchten auf Erhalt und Verbesserung der Bodenfurchtbarkeit, Kohlenstoffspeicherung und Nährstoffeffizienz,
 - der nachhaltigen Integration höherer Leguminosenanteile als exzellente Humusmehrer in die Fruchtfolgen unter Ausnutzung der (klimabedingten) längeren Vegetationsdauer,
 - Versuche zu Ansaat, Mischung von Arten und Umbruch überwinternder Zwischenfrüchte,
 - On-Farm Forschung für die Auswahl und das Management von geeigneten Zwischenfruchtmischungen für eine Vielzahl von Standortbedingungen,
 - des Potentials zur Stärkung von Humusgehalten von Stoppelbrachen,
 - eines besseren Verständnisses der Möglichkeiten von Untersaaten für Standorte, an denen Zwischenfrüchte nicht gelingen.

Für einen wirtschaftlichen Humusaufbau im Verhältnis zum Gesamtsystem brauchen die Betriebe fundierte Kenntnis über standortbezogene Humusgehalte und Sättigungs- bzw. Gleichgewichtsgrade in Abhängigkeit von Boden und Klima. Ein besserer Zugang zu den vorhandenen Daten, wie etwa aus der nationalen Bodenzustandserhebung und von Dauerfeldversuchen, ist dafür von Bedeutung.

Für die Erforschung und Anwendung boden- und humusaufbauender Strategien ist – wie in allen Forschungsaufgaben – deren Einordnung ins Gesamtsystem entscheidend und sollte

- die Betrachtung von Klimabilanzen und betriebswirtschaftliche Auswertung der Umwelt- und Systemleistung des Ökolandbaus und
- Auswirkungen auf und die Entwicklung von Umsetzungskonzepten für die Wertschöpfungskette einbeziehen.

1.1.3 Optimiertes Nährstoffmanagement

Forschung muss es darüber hinaus zu guter Nährstoffversorgung von Böden und Pflanzen und systemorientiertem, klimafreundlichem, optimiertem Nährstoffmanagement geben. Sie trägt dazu bei, lebende Biomasse und biologische Aktivität zu stärken und zugleich unerwünschte Emissionen zu reduzieren. Besonders vielversprechend sind hierfür Praxisversuche, die standortspezifische Daten liefern.

Für die Weiterentwicklung von Nährstoffmanagement-Systemen ist, neben kontinuierlichem Wissenstransfer für die standortspezifische Optimierung des Nährstoffmanagements, zusätzliche Forschung notwendig

- zum insgesamt besseren Verständnis der Zusammenhänge der Nährstoffversorgung mit dem Umsatz organischer Substanz im System und die Einflussmöglichkeiten darauf,
- zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz zur Vermeidung von Lachgas-, und anderen gasförmigen Stickstoff-Verlusten sowie Nitratauswaschung bei sich verändernden Nährstoffmanagement-Praktiken unter veränderten Klimabedingungen,

- zur Rolle von Kohlenstoff und Stickstoff sowie weiterer Nährstoffe in einem im System ausgewogenen Nährstoffmanagement, die entweder direkt beim Erhalt und der Stärkung von Boden- und Pflanzengesundheit und -qualität eine Rolle spielen (z.B. Schwefel) oder indirekt durch ihren Einfluss auf das verbesserte Wachstum und Stärkung humusaufbauender Kulturen.

Für die Weiterentwicklung von Nährstoffmanagement-Systemen und die Verbesserung von Nährstoffeffizienz spielen nicht nur quantitative und qualitative Faktoren eine Rolle, sondern auch

- die Untersuchung idealer Zeitpunkte und Anbaupraktiken (z.B. beim Umbruch von Klee gras), die auf ein verlustarmes und effizientes Nährstoffmanagement für ein stabiles Gesamtsystem einzahlen.

Darüber hinaus ergeben sich speziell für vieharme und viehlose Betriebe zusätzliche Forschungsaufgaben für

- die Weiterentwicklung alternativer Nährstoffmanagementstrategien, etwa zur alternativen Verwendung von Leguminosen, zum Beispiel über Cut & Carry-Systeme, in Agrogasanlagen oder durch Kooperation von viehlosen und viehaltenden Betrieben.

1.1.4. Anpassung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen

Auch Ausmaß und Qualität von Bodenbearbeitungsmaßnahmen begünstigen Bodengesundheit und Humusqualität. Sie spielen sowohl im Zusammenhang von Klimaschutz- (unter anderem C-Speicherung) als auch von Klimaanpassungsmaßnahmen (unter anderem Erhalt und Verbesserung von Porengefüge und Bodenporosität) eine Rolle. Der Fokus in diesem Forschungsfeld muss insbesondere auf eine notwendige, konservierende Bodenbearbeitung gerichtet werden. Dabei sind auch hier wieder die Systemzusammenhänge zu beachten. Zu wenig Bodenbearbeitung kann sich negativ auf Verunkrautung und Erträge auswirken. Deswegen ist eine maximale Reduktion von Bodenbearbeitungsmaßnahmen kein empfehlenswertes Ziel. Neue Techniken sollten grundsätzlich auch auf ihr Potenzial für den Bodenschutz, die Bodengesundheit sowie Humuserhalt und -entwicklung hin überprüft werden. Wissensbedarf besteht insbesondere hinsichtlich

- der standortbezogenen, wassersparenden Bodenbearbeitung im Frühjahr nach überwinternden oder teilüberwinternden Zwischenfrüchten und
- der Weiterentwicklung von Strategien zur schonenden Bodenbearbeitung in hackintensiven Kulturen durch Untersaaten und Mulchsystemen.

Zugleich müssen Praktiken vermieden werden, bei denen zum Beispiel durch das Hacken von Getreide CO₂ freigesetzt und Humus abgebaut wird. Vielmehr müssen Anpassungsstrategien für die Fruchtfolgen an das System weiterentwickelt werden.

1.2 Minderung von schädlichen Emissionen in der Tierhaltung

Tierhaltung hat negative Auswirkungen auf das Klima. Deshalb geht es auch in der ökologischen Tierhaltung darum, klimaschädliche Emissionen zu vermindern oder zu vermeiden. Zu untersuchen wäre, welche Möglichkeiten sich aus einer engeren Verzahnung von standortangepassten, nachhaltigen Boden-Pflanze-Tier-Agrarsystemen ergeben – was einer Antwort auf folgende und weitere Fragen entspricht: Wie lässt sich ein gesundes, im Gleichgewicht befindliches Gesamtsystem weiterentwickeln und stabilisieren? Welche und

wie viele Tiere passen unter Produktivitäts-, Tierwohl- und Klimaschutz-Aspekten an einen bestimmten Standort und zu einem bestimmten Betrieb?

Wie für die konventionelle Landwirtschaft, besteht auch in der ökologischen Tierhaltung Forschungsbedarf in Bezug auf die Energieeinsparungspotenziale beim Stallbau und in Stallhaltungskonzepten, um indirekte Emissionen infolge der Energieproduktion zu verringern oder zu verhindern. In diesem Zusammenhang sind gesamtbetrieblich auch Konzepte für die Versorgung mit erneuerbaren Energien relevant. Wie lassen sich erneuerbare Energien von Agroenergie über Agrophotovoltaik bis hin zu dezentralen Energie- und Stromversorgungssystemen mit wenig Flächenkonkurrenz für Nahrungsproduktion in das eigene Betriebskonzept einbinden?

1.2.1 Methan (CH₄), Ammoniak (NH₃) und Lachgas (N₂O)

Neben Methan und Lachgas wirken sich auch Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung auf Klima und Umwelt aus. Das gilt gerade ebenso für das Thema Eutrophierung und Biodiversität (Einfluss von NH₃ auf Fauna-Flora-Habitat (FFH)- und Naturschutzflächen, etc.).

Wie von Sanders und Heß (2019) herausgestellt, fehlen, trotz der herausragenden Bedeutung der Rinderhaltung für die Emission von Treibhausgasen (Umweltbundesamt 2020), direkte experimentelle Vergleiche zwischen ökologischer und konventionelle Nutztierhaltung.

Obwohl viele Unterschiede zum Beispiel bei Futterrationen bestehen, nehmen bisherige Klimabilanzen die gleichen THG-Emissionswerte aus Verdauung und Exkrementen für die ökologische wie für die konventionelle Bewirtschaftung an (Meier *et al.* 2015; nach Sanders, Heß 2019). Um die tatsächlichen produktionsspezifischen Werte beider Systeme zu ermitteln, besteht dringender Forschungsbedarf.

Forschung in diesem Bereich braucht eine solide öffentliche Finanzierung, denn entsprechende Versuchs- und Experimentieranlagen sind wissenschaftlich anspruchsvoll und kostenintensiv. Angepasste Untersuchungskonzepte müssen die methodischen Herausforderungen zur Messung der Futteraufnahme und Emissionen im Stall und auf der Weide lösen helfen und zugleich mit den rechtlichen Vorgaben für die ökologische Tierhaltung kompatibel sein (siehe Kapitel 1.3).⁵

Für die Emissionsminderung in der Tierhaltung besteht konkreter Forschungsbedarf hinsichtlich:

- der Ausweitung von Forschungsprojekten hinsichtlich ökologischem Fußabdruck bzw. Emissionsmessung, Futterstrategien und Wirtschaftlichkeit in ökologischen low-input Systemen (ohne oder stark reduzierter Kraffutter-Anteil u.a. mit Gründlandhaltung), um verschiedene, insbesondere N-reduzierte Fütterungsweisen und das Spektrum ökologischer Haltung aller Tierarten besser abzubilden und Datengrundlagen für klimaschonende Weiterentwicklungskonzepte zu schaffen,
- der Emissionsminderung beim Wirtschaftsdüngermanagement. Hierfür braucht es mehr Kenntniss bezüglich der Lagerung und Kompostierung von Festmist inklusive alternativer Verfahren zur Güllebehandlung, um insbesondere NH₃- und N₂O-Emissionen zu senken,

⁵ Bestehende Verbundprojekte zur konventionellen Rinderhaltung wie OptiKuh (<https://www.optikuh.de>) und EmissionCow (<https://www.lfl.bayern.de/ite/rind/201251/index.php>) zeigen die Möglichkeiten zur direkten Emissionsmessung unter diesen Bedingungen auf, wobei hier Untersuchungen zur rein ökologischen Bewirtschaftungsweise fehlen.

- der Produktion und des optimierten Einsatzes kohlenstoffreicher Dünger, z.B. von Kompost und Festmist inklusive des Monitorings der Emissionsprofile während der Lagerung, idealerweise mit Vergleich verschiedener Lagerungssysteme,
- der Erprobung neuer kohlenstoffreicher Dünger, z.B. Kompost aus Mikrobieller Carbonisierung (MC) und
- der Entwicklung von Vermeidungsstrategien von Stickstoffverlusten und Ammoniak-Emissionen in der Stallhaltung insbesondere in der Schweine- und Geflügelhaltung unter Einbeziehung von Stallbau- und Wirtschaftsdüngerlagerungskonzepten sowie Aspekten des Tierwohls.

1.3 Energieeinsatz und Energiebilanzierung

In landwirtschaftlichen Betrieben ergeben sich auch durch Minderung des Energieeinsatzes und/oder den Einsatz regenerativer Energiequellen vielfältige Möglichkeiten, Emissionen einzusparen. So liegen besonders in der geschickten Kombination von Produktionsabläufen und -effekten im Gesamtsystem viele weitere Möglichkeiten für klimaschützende Maßnahmen, zum Beispiel durch Abwärmenutzung. Vielversprechend sind Innovationen, die zugleich Klimaanpassungseffekte entfalten, zum Beispiel die Agrophotovoltaik.⁶

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht auch für ökologische wirtschaftende Betriebe hinsichtlich

- Energie-Einsparpotenzialen innerhalb der einzelnen Produktionsprozesse, z.B. im Rahmen der Bodenbearbeitung in der Pflanzenproduktion oder beim Stallbau und in Stallhaltungskonzepten in der Tierhaltung,
- gesamtbetrieblicher Konzepte für die Versorgung mit erneuerbaren Energien und die Einbindung erneuerbarer Energien in das eigene Betriebskonzept mit wenig Flächenkonkurrenz für Nahrungsproduktion und Bioenergie, Agrophotovoltaik und dezentraler Energie- und Stromversorgungssysteme.

⁶ Ein Vorhaben zur Minderung von Energieemissionen kombiniert mit Klimaanpassungseffekten APV-Resola in Zusammenarbeit mit der Hofgemeinschaft Heggelbach, das Flächennutzungssynergien für Solar-Energie und landwirtschaftliche Produktion untersucht (www.agrophotovoltaik.de). Dafür werden Solarpaneele so aufgestellt, dass sie dem Pflanzenwachstum auf darunterliegenden Flächen eher nützen, indem sie vor zu starker Sonneneinstrahlung schützen.

2. Klimaangepasste ökologische Pflanze-Tier-Produktionssysteme: Anpassung an Klimaveränderungen

Durch die sich verändernden Klimabedingungen werden Pflanzenbau und Tierhaltung vor große Herausforderungen gestellt. Um die klimabedingten Schwankungen bestmöglich managen zu können, bedarf es eines verbesserten Verständnisses der Wechselwirkungen von steigenden Temperaturen und Extremwetterereignissen auf Boden-, Pflanzen- und Tiergesundheit, etwa auf die Frage: Welche Einflüsse haben sie auf Qualität und Ertrag? Die Entwicklung von Anpassungsstrategien erfordert in den kommenden Jahren eine intensive wissenschaftliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Dann kann die ökologische Landwirtschaft als klimaangepasste Bewirtschaftungsform weiter ausgebaut und besser genutzt werden.

2.1. Boden und Pflanze

Bei Boden und Pflanze besteht großes Anpassungspotenzial in der Nutzung von mehr Vielfalt im Anbaumanagement, der Stärkung der Resilienz von Anbaukulturen und der entsprechenden Entwicklung geeigneter Sorten mithilfe der ökologischen Pflanzenzüchtung.

2.1.1 Anpassung durch Diversifizierung von Kulturen und Mischkulturen

Die sich verändernden Klimabedingungen verlangen eine Weiterentwicklung und Anpassung von Anbaukulturen. Anbaustrategien müssen in Reaktion auf die Klimaveränderungen

- die Diversität der angebauten Kulturen und Sorten und Mischkulturen steigern, um mögliche Ausfallrisiken zu streuen,
- klima-standortangepasste, trockenheits- und hitzetolerante Arten, Sorten und Mischungen, z.B. Hirsen und Platterbsen einführen,
- die bessere Nutzung der Winterfeuchte hinsichtlich geeigneter Arten wie winterharten Körnerleguminosen und veränderte Anbautechniken wie frühere Ernten berücksichtigen.

Dafür ist begleitende Forschungsarbeit notwendig. Berücksichtigt werden müssen dabei auch

- Konzepte für die Vermarktung neuer oder „wiederentdeckter“ alter Kulturen durch den Aufbau von Wertschöpfungsketten.

Praxisforschung kann die Etablierung standortangepasster Kulturen, Mischkulturen und die Entwicklung und Stärkung geeigneter Wertschöpfungsketten wesentlich unterstützen, indem standortspezifische Daten direkt auf den Betrieben gewonnen werden und mit konkreten Fragestellungen und Anforderungen für die Vermarktung neuer Kulturen verknüpft werden können.

2.1.2. Züchtung angepasster Sorten

Ein grundlegender, zeit- und kostenintensiver Forschungsschwerpunkt für den ökologischen Anbau liegt in der (ökologischen) Züchtung ertragreicher Sorten, die resilient gegen Klimaveränderungen und neu oder verstärkt auftretenden Erkrankungen oder Schädlinge sind. Die Suche nach angepassten Sorten für eine Vielzahl von Kulturen ist in der Pflanzenzüchtung bereits im Gange, allerdings nur wenig öko-spezifisch. Es ist daher unwahrscheinlich, dass die den Züchtungsstrategien zugrundeliegenden Fragestellungen und Methoden die Bedingungen und Anforderungen der ökologischen Landwirtschaft ausreichend berücksichtigen. Sowohl neue Sorten als auch Populationen müssen den systembezogenen Produktionsbedingungen der ökologischen Landwirtschaft gerecht werden.

Öko-spezifische Sortenzüchtung und Züchtungsforschung muss

- sich mittels Mikrobiom-Forschung die Boden-Pflanze-Interaktionen stärker zur Grundlage nehmen als bisher. Dazu zählt Forschung für erhöhte Stickstoff- und

Wassernutzungseffizienz, Eignung für Symbiosefähigkeit (Mykorrhiza, Rhizobien) sowie in Bezug auf Wurzelarchitektur und -biomasse und die Entwicklung von

- trocken- und hitzetolerante Kulturen und Sorten,
- Kulturen mit besserer Nutzung der Winterfeuchte und/oder früherem Erntezeitpunkt,
- gegenüber weiteren Extremwetterereignissen wie Starkregen resiliente Sorten sowie
- Sorten mit einer möglichst breiten genetischen Resistenz gegen verstärkt auftretende Krankheitsvorkommen und -verläufe durch klimabedingte biotische Stressfaktoren.

Öko-spezifische Sortenzüchtung und Züchtungsforschung muss so ausgerichtet sein, dass eine Vielfalt und Variabilität an Sorten innerhalb einer Art für eine optimale Klimaangepasstheit sorgt.

Ein vielversprechender Ansatz ist die

- Populationszüchtung,

bei der ökologische Züchter Pionierarbeit leisten. Populationen sind bewusst keine Sorten, die sich durch Homogenität und Beständigkeit definieren⁷, sondern eine Population genetisch heterogener Individuen innerhalb einer Art. Diese genetische Vielfalt innerhalb der Population gewährleistet eine bessere Resilienz. Durch gezielte Züchtung wird sichergestellt, dass eine Vielzahl benötigter Eigenschaften in der Population vorhanden ist.

Den bislang sehr langwierigen Prozess der Selektion in der ökologischen Züchtungsarbeit können moderne, gentechnikfreie Verfahren enorm beschleunigen. Dafür müssen Forschungsgelder für vielversprechende moderne, öko-kompatible und deutlich schnellere, aber kostenintensive Selektionsverfahren bereitgestellt werden, wie

- digitale Phänotypisierung von Pflanzenmerkmalen durch Hochdurchsatz-Bildaufnahmen (Bsp. Phenorob, Universität Bonn) und/oder
- ‚Honeycomb Breeding‘, das starke Pflanzen besser selektieren lässt.

Das erfordert Investitionen in entsprechende Infrastrukturen, die die verschiedenen Ansätze zur Beschleunigung der ökologischen Züchtungsverfahren unterstützen, zum Beispiel auch durch den Einsatz von Gewächshäusern und Rhizotronen. Für die Pflanzenzüchtung für den Ökolandbau wären Zugänge in bestehende Großforschungsinstitute (z.B. Universität Bonn, Forschungszentrum Jülich, JKI Quedlinburg, Helmholtzzentren München und Universität Gießen) sinnvoll und wünschenswert.

2.1.3. Steigerung der Resilienz durch Erhalt von Pflanzengesundheit

Umfangreiche Forschungsanstrengungen müssen aufgrund der sich verändernden Klimabedingungen für die Pflanzengesundheit unternommen werden. Wasserknappheit, neue Unkräuter und einwandernde Schädlinge sowie klimabedingt neu auftretende Krankheiten verlangen die Zusammenarbeit unterschiedlichster Wissensfelder und Akteure, um die Gesundheit und Resilienz von Anbausystemen zu erhalten.

Forschungsbedarf sehen Öko-Landwirtinnen und -Landwirte in den folgenden Bereichen:

- Analysen und Risikoabschätzungen für die Einwanderung und das Auftreten von neuen Schadorganismen, die bereits in wärmeren Regionen im Süden vorkommen mit Hilfe von Prognosen aus der Klimaforschung. In Verbindung mit Süd-Nord-Wissenstransferaktivitäten können in anderen Regionen erfolgreiche Maßnahmen weiterentwickelt und hinsichtlich hiesiger weiterer Rahmenbedingungen angepasst werden.

⁷ Die sogenannten DUS-Kriterien nach §1 des Sortenschutzgesetzes, abgekürzt nach deren englischen Bezeichnungen distinctness, uniformity, stability. Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/sort-schg_1985/BJNR021700985.html.

- Grundlage für eine Risikovorsorge ist die Etablierung eines guten Schädlingsmonitorings, um Entwicklungen frühzeitig erkennen zu können, risikominimierende Frühwarnsysteme zu etablieren und zügig Maßnahmen ergreifen zu können.
- Entwicklung resilienter Anbausysteme auf Basis angepasster Sorten mit Unterstützung durch technische Lösungen und Bewässerungsstrategien zur Minderung von Hitzestress für Pflanzen in langen, heißen Trockenphasen.
- Entwicklung von und Versuche zu energie- und wassersparenden Verfahren im Feldgemüsebau, z.B. Tropfberegnungsverfahren, inklusive der Prüfung konventioneller Verfahren wie z.B. Flüssigdüngung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der ökologischen Landwirtschaft.
- Untersuchung von Auswirkungen von Tropfberegnungsverfahren auf das Pflanzenwachstum und Entwicklung angepasster Techniken.
- Kontinuierliche Forschung und Weiterentwicklung alternativer Verfahren zur Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit von Böden, z.B. durch Steigerung des Humusanteils, Untersaaten und Zwischenfrüchte.
- Untersuchungen und Entwicklung von Konzepten zur Anpassung des Nährstoffmanagements an die Auswirkungen der Klimaveränderungen.

2.2 Tier

Die Dringlichkeit zur Weiter- und Neuentwicklung einer (Klima-)angepassten ökologischen Tierhaltung ist in den letzten Jahren durch die ausgeprägte Sommertrockenheit besonders deutlich geworden. Dafür sind einerseits weitere Anstrengungen zur Vermeidung von Emissionen (siehe 1.2.) notwendig. Darüber hinaus ist die Anpassung an bereits bestehende Folgen der Klimaveränderungen von besonderer Dringlichkeit. Die im Folgenden beschriebenen Forschungsaufgaben zu Haltungs- und Fütterungssystemen in der ökologischen Tierhaltung sowie Investitionen in die ökologische Tierzucht tragen der Brisanz der Situation Rechnung.

2.2.1 Klimaangepasste Haltungssysteme und Fütterung

Im Bereich Haltungssysteme und Fütterung muss ein Schwerpunkt auf der Bewertung der Haltung von Öko-Tieren im Gesamtsystem liegen. Für stark grasland- und/oder grundfutterbasierte, klimaschonende low-input Systeme der ökologischen Milchvieh- und Rinderhaltung besteht hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Aufgrund der auch zahlenmäßig großen Bedeutung von Rindern, stehen die damit verbundenen Forschungsfragen im Mittelpunkt. Sie sind aber im Grundsatz auch auf weitere Nutztierarten übertragbar. So ist für Monogastrier wie Schweine oder Geflügel gleichsam die Emissionsminderung in den gängigen Haltungssystemen verbunden mit der Suche nach klimaschonenden und effizienten Fütterungsstrategien als Schwerpunkt hervorzuheben. Darüber hinaus stellt die Entwicklung von tierwohlorientierten freilandbetonten Haltungssystemen mit einem ausgewogenen Verhältnis von Tierwohl und Emissionsschutz eine große Herausforderung dar.

Für Haltungssysteme sind folgende Fragestellungen leitend:

- Entwicklung klimafreundlicher Haltungssysteme mit dem Fokus auf Tierwohlaspekten vor dem Hintergrund der ökologischen Wirtschaftsweise hinsichtlich Stallbau, Gestaltung von Weide und Auslauf und der Bewertung von Kühlsystemen.
- (Weiter-)Entwicklung und Effizienzsteigerung von Grasland- und Grundfutterbasierten Haltungs- und Fütterungssystemen in der ökologischen Milchviehhaltung auch vor dem Hintergrund ausgeprägter Sommertrockenheit.

- Weiterentwicklung von Stallsystemen für Geflügel und Schweine (Mobilstallsysteme bei Geflügel, bessere Bewertung der funktionalen Elemente wie Ruhe- und Aktivitätsbereiche anstatt der einfachen Trennung von Innen- und Außenbereichen bei Schweinen).

In der Fütterung braucht es, anknüpfend an die Fragestellungen zu Haltungssystemen:

- Weiterentwicklung von Grünlandsystemen und Weidestrategien für graslandbasierte Haltungssysteme,
- Forschung zur Verwendung von möglichst heimischen Futterleguminosen als Alternative zu gängigen Protein- und Energieträgern im Kraftfutter bei Rind, Schwein und Geflügel unter Berücksichtigung von Futtermittelverwertung und direkten Emissionen,
- Weiterentwicklung von ökologischen Milchproduktionssystemen bei großen und kleinen Wiederkäuern durch geschickte Kombination von Ackerbau-, Grünland und Tierhaltung,
- Weiterentwicklung von Vorratsstrategien, um Auswirkungen von Dürrejahre abzufedern,
- Entwicklung von Futtermitteln für Schweine und Geflügel, die nach Möglichkeit nicht mit der menschlichen Ernährung konkurrieren, z.B. Konzentrate aus Klee gras, Bakterien und Insektenprotein,
- Entwicklung von Fütterungsstrategien für Insekten auf Basis von Futtermitteln, die nicht mit Human- oder Tierernährung (bspw. aus Lebensmittelabfällen) konkurrieren voranzutreiben.

2.2.2. Zucht angepasster und resilienter Rassen in der Nutztierhaltung

Wie bei den Pflanzen ist die Tierzucht für die ökologische Tierhaltung ein ebenso grundlegender wie zeit- und kostenintensiver Forschungsschwerpunkt. Ziel muss die Zucht von Rassen und Linien sein, die eine ausgeprägte Anpassungsfähigkeit und Resilienz gegenüber schwankenden und sich verändernden Standortbedingungen mit nachhaltiger Leistung und Robustheit verbinden. Das Ziel der Förderung ist eine hohe genetische Variabilität und Vielfalt sowohl innerhalb von Rassen und Linien als auch im gesamten Rassespektrum. Das gilt bspw. auch über die explizite Förderung und Erhaltung einheimischer bedrohter Nutztierassen hinaus.

Die Suche nach neuen, funktionellen Merkmalen für Gesundheit und Resilienz hat in der Tierzuchtforschung in den letzten Jahren aufgrund der Klimakrise und der zunehmend kritischen Haltung der Gesellschaft gegenüber Fragen des Tierwohls in der Breite stark zugenommen. So hat sich ein weites Forschungsfeld entwickelt, das vereinzelt auch direkte Schwerpunkte in Verbindung zur ökologischen Tierhaltung setzt – zumeist stellvertretend als "low-input"-Systeme. Diese Entwicklung ist in der Folge mit einer zunehmenden Integration von funktionellen Merkmalen in Zuchtziele und Zuchtprogramme verbunden.

Es fehlen aber, ähnlich wie in der Pflanzenzucht, als Folge der wachsenden Zentralisierung und Spezialisierung der bestehenden Infrastruktur strikt ökologisch ausgerichtete und breit etablierte Zuchtprogramme. In ökologischen Betrieben kommen – unabhängig von der Tierart – dementsprechend vor allem (Zucht-)Tiere zum Einsatz, die unter und für konventionelle Bedingungen und für die konventionelle Tierhaltung gezüchtet wurden.⁸ Daraus wird deutlich, dass die Förderung der Tierzucht für die ökologische Tierhaltung immer auch stark strukturell erfolgen muss. Das macht rein ökologisch ausgerichtete und

⁸ Beispielhafte Ausnahme mit zunehmender Relevanz ist die Initiative Ökologische Tierzucht gGmbH (ÖTZ) zur rein ökologischen Zucht von Zweinutzungshühnern im Geflügelbereich, online unter www.oekotierzucht.de.

umgesetzte Zuchtprogramme langfristig überhaupt erst möglich und würde dem großen und wachsenden Bedarf danach gerecht.

Konkrete Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für die ökologische Tierzucht im Klimakontext bestehen unter anderem in

- der (Weiter-)Entwicklung bestehender methodischer Konzepte zur Bewertung der allgemeinen Anpassungsfähigkeit von Rassen und Linien und ihrer Eignung für konkrete Standorte unter besonderer Berücksichtigung von maßgeblich grundfutterbasierten Haltungs- und Fütterungssystemen,
- der Entwicklung von Methoden und Merkmalen zur Bewertung der Resilienz von Rassen und Linien gegenüber Klimaveränderungen unter besonderer Berücksichtigung von maßgeblich grundfutterbasierten Haltungs- und Fütterungssystemen,
- systematischer Weiterentwicklung der Zucht auf Lebensleistung in der Rinderhaltung und Ausdehnung dieses Zuchtziels auf die kleinen Wiederkäuer, also Schaf und Ziege,
- der Entwicklung von systemischen Forschungsansätzen zur Interaktion der Systeme Tier/Wirtschaftsdünger-Boden-Pflanze mit dem Ziel der Prüfung möglicher züchterischer Ansätze zur gezielten Optimierung der Klimawirkung ökologischer Betriebssysteme;
- der Suche und Evaluation von potentiell züchterisch bearbeitbaren neuen Merkmalen der Ressourceneffizienz und Emmissionsminderung in ökologischen Tierhaltungssystemen;
- der Definition von tierartspezifischen, rassenübergreifenden ökologischen Zuchtzielen;
- dem nachhaltigen Aufbau von Zuchtprogrammen, die die definierten ökologischen Zuchtziele anwenden und nach ökologischen Kriterien gezüchtete Tiere breit für die Praxis verfügbar machen;
- der Prüfung von Möglichkeiten der Ansiedlung/Haltung/Einkreuzung klimaangepasster Rassen aus anderen Weltregionen unter der Voraussetzung der Erhaltung der bestehenden genetischen, heimischen (Rassen-)Vielfalt insbesondere an, in Reinzucht geführten, einheimischen Nutztierassen verbunden mit den entsprechenden Wissenstransferkonzepten.

Eine gezielte Tierzucht für die ökologische Tierhaltung muss bestehende bäuerliche und betriebliche Initiativen aufgreifen und sie bei ihrer züchterischen Arbeit – sei es in großen etablierten Rassen oder bedrohten kleinen Populationen – unterstützen. Auf dieser Basis sollte – neben einer gezielten Selektion gegen vermeidbare Klimawirkungen, wie sie in jeder Tierzucht vorkommen – der Fokus vor allem auf dem Erhalt genetischer Vielfalt und Variabilität liegen.

3. Resilienz durch Vielfalt: Mehr Biodiversität und Ökosystemleistungen durch Diversifizierung im Betrieb

Für Klimaschutz und Klimaanpassung ökologischer Produktionssysteme sollten auch die Möglichkeiten der gezielten Nutzung von Biodiversität und Diversifizierungsmaßnahmen im Betrieb untersucht werden, die innovative, komplexe Lösungen hervorbringen können. In diversifizierten und vielfältigen Produktionssystemen können Systemleistungen besser genutzt werden als in spezialisierten Systemen (u.a. Martin *et al.* 2020). Zudem mindert eine Diversifizierung das Risiko (u.a. Abson *et al.* 2013): Auf der betrieblichen Ebene zeigen Gemischtbetriebe mit Integration von Ackerbau und Viehhaltung in der Regel

Nachhaltigkeitsvorteile gegenüber spezialisierten Betrieben (u.a. Garret 2020). Auf der Feldebene ist das Selbstregulationsvermögen der Ökosysteme ganz grundsätzlich von der Biodiversität abhängig (Altieri 1999). Es gilt daher, die Diversitätsleistungen in der landwirtschaftlichen Produktion für die Stärkung der Biodiversität und Ökosystemleistungen zu fördern.

3.1 Weiterentwicklung innovativer Ansätze für ökologische Produktionssysteme

Diversifizierung im Betrieb erfordert eine fundierte Kenntnis der zugrundeliegenden ökologischen und ökonomischen Wirkungszusammenhänge. Um die darin liegende Innovationskraft unter anderem für Ökosystemleistungen und Biodiversität heben zu können, müssen einerseits Planungs- und Entscheidungshilfen für das Management diversifizierter Betriebe erarbeitet sowie Auswirkungen und Umsetzungskonzepte für die Wertschöpfungskette in die Betrachtung einbezogen werden.

Unter anderen bieten beispielsweise Agroforstsysteme eine vielversprechende Möglichkeit für die Nutzung von Biodiversitätsleistungen (u.a. Lasco 2014). Wertvolle Impulse gehen auch von der Permakultur-Bewegung aus (Holmgren 2011). Letztere ermöglicht nachhaltige Systemoptimierungen, die zur komplexen Weiterentwicklung von Produktionssystemen und Wertschöpfungsketten beitragen können.

High und Smart Tech-Lösungen können als Instrumente die Entwicklung klimaschonender und klimaangepasster Produktionssysteme unterstützen, wenn sie an die Bedingungen und den Bedarf in der ökologischen Landwirtschaft angepasst sind. Dies gilt zum Beispiel für Techniken des Precision Farming und Anwendungsmöglichkeiten für Sensorsysteme, um Pflanzenbau und Tierhaltung präziser und bedarfsgerechter zu betreiben und damit Klimaschutz und Klimaanpassung in der Landwirtschaft zu fördern.

Forschungsbedarf besteht unter anderem zu den folgenden Punkten:

- Analyse und Bewertung der mehrdimensionalen Nachhaltigkeit komplexer Produktionssysteme,
- Planung und Management von Diversifizierungsmaßnahmen und diversifizierten Betriebssystemen mit Blick auf Ökosystemleistungen und Biodiversität,
- Erprobung und Bewertung konkreter Systemlösungen wie beispielsweise Agroforst, Streifenanbau und Mischkultursystemen und
- Nutzungsmöglichkeiten von High- und Smart-Tech-Lösungen für die Optimierung und Diversifizierung ökologischer Produktionssysteme.

3.2 Systemangepasste Integration von Biodiversitätsmaßnahmen

Schädliche Folgen der Klimakrise bergen unmittelbare Risiken für die Biodiversität. Schutz und Nutzung der Vielfalt muss systemorientiert vom Feld über die Anbausysteme bis in die Landschaften weitergedacht werden. Das reicht von Maßnahmen in der bewirtschafteten Fläche wie Populationen auf der Sortenebene über Gemengeanbau bis hin zu Brachen, Blühstreifen und Hecken. Forschungsbemühungen sind auf allen genannten Ebenen und für verschiedene Funktionen in den Agrarökosystemen notwendig: Agrobiodiversität (Sorten/Rassen), funktionelle Diversität im Agrarsystem (Nutzen für das Agrarsystem: Bestäubungsleistung, Räuber-Beute-Beziehungen), funktionelle Diversität in Ökosystemen, Diversität von genetischen Ressourcen. Dafür bedarf es Konzepte, die:

- Biodiversitätsmaßnahmen in das Agrarsystem ganzheitlich integrieren. Wie wirken sich nicht bewirtschaftete Flächen (wie zum Beispiel ökologische Vorrangflächen, teilweise „stillgelegte“ Flächen genannt) und die Entstehung von Brachen, die Einsaat von standortangepassten Ackerwildkräutern innerhalb von Schlägen, ergänzt durch Maßnahmen neben der Fläche, z.B. durch Blühstreifen aus?

- Nützlinge fördern durch der Zielkultur angepasste Blühstreifen, die die Flächen unterbrechen,
- Saatgutmischungen zur Förderung von Nützlingen anpassen, abgestimmt auf die Kultur und die wichtigsten Schädlingsarten,
- den Gemengeanbau im Ackerbau verbessern,
- Erosionsstreifen mit oder ohne Nutzung, zum Beispiel mit ausdauerndem Weizen oder mit Blühstreifen untersuchen,
- Strategien für angepasste Grünlandsysteme aufzeigen,
- neue robustere Anbausysteme für sensible Kulturen wie z.B. Wein, etwa durch Mischkulturanbau, entwickeln sowie
- die Weiterentwicklung von Streifenanbausystemen erproben.

Auch die Beispiele für in unter 3.1 genannte innovative Konzepte bieten neue Möglichkeiten für Arten- und Biodiversitätsschutz. So lassen sich etwa durch Agroforstsysteme Lebensräumen für Pflanzen und Tiere ausweiten. Zugleich bieten sie neue Geschäftsmodelle in der Ressourcengewinnung mit nachwachsenden bzw. erneuerbaren Rohstoffe.

4. Betriebs- und volkswirtschaftliche Aspekte einer klimagerechten ökologischen Landwirtschaft

Anwendungen und Umstellungen der Betriebe auf klimafreundlichere Strategien müssen wirtschaftlich tragfähig sein. Für einen (CO₂-)Zertifikate-Handel sind Kriterien notwendig, die eine betriebs- und standortspezifische, ganzheitliche Bewertung von Maßnahmen ermöglichen und dem System Ökolandbau gerecht werden. Für ein resilientes Gesamtsystem müssen die Mess- und Bewertungszeiträume ausgeweitet werden. Die Messung eines einzelnen Parameters zu einem bestimmten Zeitpunkt ist nicht aussagefähig.

Die Abbildung „wahrer Preise“ für landwirtschaftliche Erzeugnisse ist ein wesentlicher Hebel für die Akzeptanz der ökologischen Landwirtschaft im Markt. Preisveränderungen durch die Internalisierung externer Kosten können zu einem veränderten Konsum- und Ernährungsverhalten mit positiver Auswirkung auf die Klimabilanz (weniger Fleisch) beitragen. Hierzu sind Umsetzungskonzepte dringend notwendig.

Um die klimagerechte Umstellung von Betriebsabläufen zu unterstützen, ist daher

- die Weiterentwicklung geeigneter Erfassungs-, Modellierungs- und Bilanzierungstools für betriebsumfassende Analysen der Machbarkeiten und Größenordnungen von Treibhausgasvermeidungskosten und anderen klimarelevanten betrieblichen Maßnahmen, verbunden mit der
- gegenüberstellenden Erfassung von Investitionskosten und Kosteneinsparungen durch Systemdienstleistungsfunktionen sowie
- der Untersuchung möglicher Synergien bei Kosten- und Arbeits(zeit)ersparnis beim Einsatz und der Kombination verschiedener Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen notwendig.

In engem Zusammenhang damit stehen

- die Konzeption ökonomischer Vermarktungsmodelle für Systemdienstleistungsfunktionen sowie
- die Entwicklung von Kriterien für eine ökonomische Bewertung von Klimamaßnahmen und
- die Entwicklung von Umsetzungskonzepten zur Internalisierung externer Kosten.

5. Weiterentwicklung von Mess- und Bewertungsmethoden und -verfahren

Wichtige Grundlage für die Bewertung und Anpassung von Bewirtschaftungsstrategien ist die solide Erhebung und Dokumentation von Daten für alle relevanten Bereichen in der Landwirtschaft. Gerade ökospezifische Datengrundlagen fehlen in vielen Bereichen noch oder sind unzureichend. Ein Schwerpunkt muss demnach auf der Weiterentwicklung geeigneter Mess- und Bewertungsverfahren liegen.

5.1 Boden-Pflanze

In der klimaspezifischen Öko-Forschung und insbesondere bei Fragen zur Gesunderhaltung und Stärkung organischer Substanz und Böden gibt es noch viele methodische Unsicherheiten. Die Datengrundlage für die Bewertung von Maßnahmen und Anbaustrategien ist lückenhaft oder nur schwer zugänglich. Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen zu Mess- und Bewertungsmethoden sollten sich folgenden Erkenntnisfeldern widmen:

- Entwicklung verbindlicher und vergleichbarer Messsysteme für die Erfassung des langfristigen Humusaufbaus und Bodenzustands,
- Erhebung des Status Quo von Humusvorräten und Humusbilanzen auf Praxisbetrieben bzw. den standortspezifischen, regionalen und überregionalen Potenzialen zur Humusanreicherung,
- Anlage von Monitoringsystemen für die Dokumentation von Veränderungen der Humusvorräte, um Maßnahmen besser evaluieren und Prognosemodelle und Bewertungsverfahren weiterentwickeln zu können,
- Entwicklung kostengünstiger und robuster Monitoringsysteme für Humusvorratsänderungen auf Praxisflächen⁹,
- Übertragung von Versuchs- und anderen Einzelergebnissen auf die Fläche,
- Entwicklung von Indikatoren, die die Anpassungsleistung und Klimaschutzeffekte über Humus erfassen, etwa hinsichtlich Erosionsschutz, Wasserhaltefähigkeit, Temperatur und Verbesserung von Bodenfruchtbarkeit.

5.2 Tier

Auch in den Nutztierwissenschaften fehlt es zur Messung individueller Emissionscharakteristika für THG von Tierarten und -rassen noch an einer guten und breit verfügbaren Datengrundlage, mit der unter anderem folgende Frage beantwortet werden könnte: Wie lassen sich Haltungs-, Fütterungs- und Zuchtverfahren bewerten? Zur Beantwortung ausschlaggebend ist, dass die experimentellen Herausforderungen in der Versuchsanlage zur Messung tierindividueller Emissionsprofile und die damit verbundenen hohen Kosten bewältigt werden (Sanders, Heß 2019).

In den letzten Jahren konnten in verschiedenen öffentlich geförderten Projekten¹⁰ verstärkt Systeme entwickelt werden, die beispielweise On-farm Messungen direkt am Tier ermöglichen. Sie stellen eine wertvolle Ergänzung zu klassischen Klimakammerversuchen dar. Ihre Anwendung, wie etwa die On-farm Emissionsmessung für Wirtschaftsdünger, erscheint möglich.

Wichtig hervorzuheben ist dabei, dass die Weiterentwicklung von Mess- und Bewertungsmethoden für Treibhausgase bezogen auf das Tier und tierindividuelle Emissionen der Vielfalt der Haltungs- und Betriebssysteme in der ökologischen Tierhaltung gerecht werden sollte. Insbesondere Messungen in stark graslandbasierten Haltungssystemen bei Wiederkäuern stellen im Vergleich zur Stallhaltung eine große

⁹ Diese sind dringend notwendig, wenn in der Landwirtschaft mehr zielgrößenorientierte Maßnahmen gefördert werden sollen, wie z.B. die Weiterentwicklung von *in situ* Bodenanalysen auf der Basis von Radar- und Infrarottechnik.

¹⁰ Siehe Fußnote 4. Auch am Leibniz-Institut für Nutztierbiologie (FBN) stehen entsprechende Versuchsanlagen zur Messung von Methanausstoß bei Rindern zur Verfügung.

Herausforderung für zukünftige Forschungsvorhaben dar. Sie sind aber für die Abbildung der System-Vielfalt und die Anpassung standort- und betriebsspezifischer Konzepte wichtig.

Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen zu Mess- und Bewertungsmethoden im Bereich ökologischer Tierhaltung und Wirtschaftsdünger sollten sich daher grundsätzlich den nachfolgenden Erkenntnisfeldern widmen:

- Kostengünstige und robuste Monitoringsysteme für die tierindividuelle Erfassung von THG-Emissionen;
- Entwicklung und Validierung von Indikatoren, Markern und Hilfsmerkmalen zur Vorhersage von rassespezifischen und tierindividuellen Emissionslasten in der Atemluft und Exkrementen;
- Geeignete Monitoringsysteme für die Messung von THG-Emissionen in den unterschiedlichen Haltungssystemen und Gülle- und Mistlagerstätten;
- Entwicklung und Validierung von Indikatoren und Markern zur Vorhersage von THG-Emissionen aus den verschiedenen Systemen zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern.

6. Wissenstransfer

Neben den zuvor behandelten Forschungsanforderungen sind außerdem intensive Anstrengungen zum Wissenstransfer und zur Wissenschaftskommunikation notwendig. Es ist entscheidend für den Erfolg von angewandten Klimaschutz und -anpassung, dass sowohl alle relevanten Forschungsergebnisse zum Thema dort bekannt werden, wo sie angewendet werden müssen: in der Praxis.

6.1 Wissenstransfer in die und mit der Praxis durch Ausbildung, Beratung und Forschungskooperation

Erfolgversprechende Ansätze für einen gewinnbringenden Wissenstransfer in die Praxis liegen in

- der Stärkung dialogischer Präsenz-Formate in der ökologischen Landwirtschaft wie Workshops, Schulungen, Vorträge sowie Field- und Stableschools;
- der Weiterentwicklung digital gestützter Formate wie Online-Seminare und -Dialogveranstaltungen, wie sie während der Covid19-Pandemie schon vielfach erfolgreich erprobt worden sind;
- der themenspezifischen Bündelung und praxisnahen Aufbereitung von wissenschaftlichen Erkenntnissen auf Online-Portalen, in Newslettern sowie die Weiterentwicklung digitaler, z.B. App-basierter, Nachschlagetools (siehe u.a. Herrmann 2019, Dühn 2020).

Außerdem spielt für erfolgreichen Wissenstransfer die

- flächendeckende landwirtschaftliche Beratung und die betriebsspezifische Klimaberatung eine herausragende Rolle.

Beraterinnen und Berater haben eine Schlüsselrolle bei der Bündelung und Vermittlung von wissenschaftlichen Erkenntnissen. Die Beratungsstruktur muss dafür dem Bedarf angepasst und ausgebaut werden. Wer Betriebe berät, muss Zugang zu den neuesten, möglichst nutzungsfreundlichen wissenschaftlichen Erkenntnissen erhalten.

Grundlegend für die erfolgreiche Anwendung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen ist zudem

- die Integration ökospezifischer Themen und Praktiken auch zu klimarelevanten Aspekten in die landwirtschaftliche Berufsausbildung und in die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Die wissenschaftliche Beschäftigung mit Themen der ökologischen Landwirtschaft muss darüber hinaus

- nah am Praxisbedarf ausgerichtet werden, um erfolgreich in die Anwendung zu kommen.

Für den engen Austausch zwischen wissenschaftlich gewonnenen (oder noch zu ermittelnden) Erkenntnissen und dem vorhandenen Erfahrungswissen in der Praxis sind Beteiligungsformate in der Öko-Forschung wichtig. So tragen

- praxisnahe Forschungskonzepte wesentlich zu erfolgreichem Wissenstransfer bei, wenn Bäuerinnen und Bauern nicht nur in die Themensetzung von Forschungsvorhaben eingebunden werden, sondern diese auch selbst umsetzen und Ergebnisse mit diskutieren und auswerten.

Wissenstransfer wird gelebt, wenn alle Wissensträger Systemwissen bündeln und voranbringen. Für gute, tragfähige Konzepte müssen

- Beteiligungsformate wie On-farm-Forschung und Reallabore qualitativ weiterentwickelt und den Bedingungen der Öko-Praxis und -Forschung angepasst werden und
- kooperatives, wissenschaftliches Arbeiten muss außerdem die notwendige Anerkennung im Wissenschaftsbetrieb erfahren, um wirklich zu dem Erfolgsmodell zu werden, das in ihm schlummert.¹¹

Inhaltlicher Bedarf an Wissenstransfer für die klimagerechte Weiterentwicklung der ökologischen Landwirtschaft ergibt sich besonders hinsichtlich:

- der Möglichkeiten des Erhalts und der Verbesserung von Bodenfunktionen und des Humuserhalts und -aufbaus durch optimierte Fruchtfolgen. Sie können beispielsweise durch angepasste Mischungen und Untersaaten anstelle von Zwischenfrüchten verbessert werden. Ein Schwerpunkt des Wissenstransfers muss dabei auf der Integration von Leguminosen in die Anbaupraxis sowie des Anbaus entsprechender Folgekulturen liegen;
- der Vermeidung von Stickstoffverlusten, Dünge- und Kompostmanagement;
- der Zusammenhänge von Lachgasemissionen (z.B. Luftabschluss in Mulchdecken);
- der sinnvollen Reduktion von Bodenbearbeitungsmaßnahmen und die Einführung humusschonender Verfahren;
- der Anwendung von Humusbilanzierungstools, auch zur realistischen Einschätzung möglicher, standortbezogener Humuszuwächse;
- der Einführung angepasster Kulturen und Mischungen sowie der Anpassung von Anbautechniken und des Anbaumanagements zur Nutzung der Winterfeuchte;
- der Einbeziehung von Bäuerinnen und Bauern in die frühe Phase von Praxisforschungsversuchen zur Entwicklung neuer Sorten in der ökologischen Pflanzenzüchtung und Schulung zu Kriterien für eine standortangepasste Sortenauswahl;
- des standortgerechten Betriebsmanagements mit Blick auf stabile Boden-Pflanze-Tier-Produktionssysteme;
- der Zusammenstellung vorhandener betriebswirtschaftlicher Analyse- und Berechnungstools für Klimamaßnahmen nach ihren Parametern und Einsatzbereichen sowie Wissenstransfermaßnahmen zu deren Anwendung für Beratung und Praxis, die für die betriebliche Klimaberatung hilfreich ist.

6.2 Wissenstransfer in die Öffentlichkeit

Zugleich halten sich einige Vorurteile gegenüber der nachgewiesenen Klimaleistung des ökologischen Landbau-Systems hartnäckig, obwohl wissenschaftliche Untersuchungen sie bereits widerlegt haben – oder obwohl in einigen Bereichen noch gar keine tragfähigen Daten zu deren abschließender Beurteilung vorliegen. Zur Stärkung der Rolle der ökologischen Landwirtschaft innerhalb der Klimaschutzpolitik und für forschungspolitische Investitionen sind daher geeigneter Kommunikationskonzepte notwendig, die das Wissen über die Vorzüge der ökologischen Landwirtschaft verbreiten und Fehlinformationen abbauen helfen.

¹¹ Siehe dazu das im BÖLN geförderte Vorhaben SynSICRIS. Darin werden ein Monitoring-Tool und ein Bewertungsansatz für öffentlich geförderte wissenschaftliche Projekte hinsichtlich ihres gesellschaftlichen und Praxis-Nutzens entwickelt. Weiterführende Informationen finden sich unter: www.uni-kassel.de/forschung/synsicris.

Grundlage für eine faire Beurteilung und den nutzbringenden Einsatz von Bio als klimaschützendes und angepasstes Wirtschaftssystem ist zudem eine bedarfsgerechte Förderung der vielversprechenden Weiterentwicklungsansätze. Das folgende Kapitel zeigt hierzu einigen Handlungsbedarf auf.

Politische Rahmenbedingungen, Forschungsförderung und Forschungsinfrastrukturen

Deutschland kommt als führender Industrienation und wirtschaftlich stärkstem Mitgliedsstaat der EU eine Vorbildrolle dabei zu, seine Klimaziele schnell und verbindlich zu erreichen. Die Bundesregierung hat in Anlehnung an die Beschlüsse auf europäischer Ebene klare Klimaschutzziele formuliert. Mit dem Klimaschutzgesetz legt sie eine Minderung der Treibhausgasemissionen um mindestens 55 Prozent bis 2030 gegenüber 1990 gesetzlich fest. Auch das 2016 gesetzte, langfristige Ziel im Klimaplan, bis zum Jahr 2050 weitgehend treibhausgasneutral zu werden, ist im Gesetz formuliert (BMU 2016). Damit knüpft die Bundesregierung an das 2015 geschlossene Pariser Klimaabkommen an, mit dem sich die internationale Staatengemeinschaft zu weltweiter Treibhausgasneutralität bis zur zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts verpflichtet hat. Außerdem ermächtigt das Klimaschutzgesetz die Bundesregierung dazu, für den Fall, dass dies in der internationalen Bilanz notwendig ist, die eigenen Ziele zu erhöhen.

Das Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL) hat daher 2019 einen 10-Punkte-Plan verabschiedet, mit dem die Bundesregierung die Klimaziele im Bereich der Landwirtschaft erreichen will. Unter anderem sind im Plan die Minderung von Emissionen und eine effizientere Nutzung von Ressourcen in der Landwirtschaft festgesetzt. Die Nutzung von Kohlenstoffspeicherpotenzialen in der Land- und Forstwirtschaft soll gefördert werden. Eine Verringerung der Emissionen soll mit Hilfe der 2020 vorgestellten Ackerbaustrategie und des für 2021 geplanten Humusprogramms gelingen. Auch eine Bekämpfung der Lebensmittelverschwendung ist Teil des 10-Punkte-Plans. (BMEL 2019b) Genannt sind zwar die richtigen Themen, aber der Plan wird nur dann wirken, wenn die Maßnahmen auch konsequent angegangen werden. So ist darin weder zu lesen – und bis heute nachzuvollziehen – wie die zu hohen Viehdichten in den Zentren der industriellen Tierhaltung abgebaut werden sollen, noch wie Deutschland von den hohen Stickstoffüberschüssen runterkommen soll (BÖLW 2020).

In der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie ist für das Jahr 2030 zudem eine Reduktion der Stickstoffüberschüsse nach der Gesamtbilanz auf 70 Kilogramm pro Hektar festgeschrieben (Bundesregierung 2021). Das Umweltbundesamt sieht eine Senkung des Zielwertes auf 50 Kilogramm pro Hektar als notwendige Komponente an.

Weitere Anforderungen ergeben sich für die Bundesrepublik zudem auch aus europäischen und internationalen Verpflichtungen, nicht zuletzt aus den europäischen Klimazielen oder dem europäischen Green Deal und der EU Farm-to-Fork-Strategie.

Der gesetzliche, bundespolitische Rahmen für die Umsetzung der Klimaschutzmaßnahmen und entsprechender Förderprogramme steht also fest. Ressortübergreifend, national und europaweit wird bereits eine Vielzahl an Förderprogrammen zur Erreichung der Klima- und anderer Nachhaltigkeitsziele aufgelegt. Zahlreiche weitere Anknüpfungspunkte ergeben sich auch aus weiteren nationalen Strategieplänen wie der Bioökonomie- und der Biodiversitätsstrategie. Nicht immer sind diese Strategien schon so weit ausgestaltet, dass sie zielführende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich der ökologischen Land- und Lebensmittelwirtschaft einschließen und fördern.

Politische Bedingungen für die Öko-Forschung

Für die Erreichung der beschlossenen Klimaziele und weiterer dringend notwendiger gesellschaftlicher Transformationen – unter anderem für Natur- und Artenschutz – kann die ökologische Land- und Lebensmittelwirtschaft eine herausragende Rolle einnehmen. Das hat

auch die Politik erkannt und feste Ziele für die Steigerung und Förderung des ökologischen Landbaus in Deutschland und Europa verabredet. Laut Koalitionsvertrag sollen im Jahr 2030 20 Prozent der deutschen Agrarfläche ökologisch bewirtschaftet sein, viele Bundesländer haben sich auch noch deutlich höhere Öko-Flächenvorgaben gesetzt. Das 20-Prozent-Öko-Ziel ist auch in der neuesten Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie bekräftigt worden und in der Bioökonomiestrategie verankert, im Klimaschutzplan 2050 festgeschrieben und im 10-Punkte-Plan des BMEL für das deutsche Klimaschutzgesetz aufgeführt. Die EU-Kommission setzt die Messlatte im Rahmen der Farm-to-Fork-Strategie sogar noch höher und fordert 25 Prozent Öko-Fläche bis 2030 sowie die Reduktion des Pestizid- und Stickstoffeinsatzes, welche auch klimaschutzrelevante Aspekte enthalten.

Für einen Paradigmenwechsel in Richtung Ökologisierung der Landwirtschaft muss vor allem auch (die nationale Ausgestaltung der) Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) klare Zeichen setzen. Auf EU-Ebene hat der Beschluss nicht, wie erhofft und notwendig, den gewollten Systemwechsel gebracht. Statt den von Umweltverbänden und Wissenschaftsakademien geforderten 70 Prozent der GAP-Mittel, sollen nach derzeitigem Diskussionsstand nur 20-30 Prozent davon an Umweltleistungen in der 1. Säule gebunden sein – und das nach dem Willen des EU-Agrarrats erst ab 2025. Die Bundesregierung muss mit den neuen Spielräumen bei der nationalen Ausgestaltung alle Register ziehen, damit die Bio- und damit auch Klima-Ziele erreicht werden können.

Öko-Forschungsförderung

Um diese ambitionierten Ziele und eine Grundlage für darüber hinaus gehende zukunftsfähige Entwicklungen zu schaffen, benötigt es wesentliche Investitionen in die Forschung zur ökologischen Landwirtschaft. Der Anteil der Agrar-Forschungsförderung für die Öko-Landwirtschaft ist – trotz der vereinbarten politischen Ziele und der in der mit der Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau vorgelegten Maßnahmenpläne (BMEL 2019a) – nach wie vor mit unter 2 Prozent des gesamten Agrarforschungsbudgets deutlich zu gering, um die drängenden Fragen der Öko-Praxis beantworten zu können (Rahmann 2013). Die politische Anerkennung der positiven gesamtgesellschaftlichen Leistungen von Bio für Umwelt-, Tier-, Klima- oder Artenschutz muss sich auch in einer deutlich ambitionierteren Förderung für Öko-Agrarforschungsthemen niederschlagen. Die 20 Prozent Öko-Fläche – und alle damit verbundenen positiven Effekte – sind nur dann erreichbar, wenn auch der Fokus der Agrar-Forschung stärker auf die entscheidenden Öko-Fragen und eine Umsetzung gelegt wird, die das Innovationspotenzial ausschöpft. Hierzu braucht es ökospezifische Forschung, entsprechende Förderung und Infrastruktur.

Öko-Wissen braucht ökospezifische Forschung

Das Wissenssystem Öko braucht eine ökospezifische Forschung, die die vielfältigen Einflussvariablen bestimmen, in ihren Zusammenhängen verstehen und abbilden kann. Dafür ist die Einbindung aller Wissensträger und -trägerinnen notwendig. Konventionelle Forschungsansätze und Förderpolitik können diesem ganzheitlichen Erkenntnisansatz kaum gerecht werden. Umgekehrt profitieren sie jedoch von den Erkenntnissen, die sich aus der spezifischen Öko-Agrar-Forschung ergeben.

Ohne ausreichende öko-spezifische Forschung besteht die Gefahr, dass Betriebe sich an konventionell ausgerichteten Innovationen orientieren müssen, obwohl sie aus Umwelt-Sicht Nachteile aufweisen oder mit dem ökologischen Wirtschaftssystem unvereinbar sind. Potenziale bleiben ungenutzt. Hier muss in den kommenden Jahren dringend und grundlegend nachgebessert werden.

Im Bio-Bereich ist die öffentliche Forschung und Forschungsförderung besonders bedeutend, da das System Ökolandbau stärker auf wissensintensiven Verfahren als auf dem

Einsatz externer Betriebsmittel basiert – etwa im Bereich Pflanzenernährung und -gesundheit. Öko- Landwirtinnen und -Landwirte können daher systembedingt kaum von privatwirtschaftlichen Forschungsbemühungen profitieren, die auf die Entwicklung von Betriebsmitteln und Patenten zielen. Auch die Digitalisierung ist eher Mittel zum Zweck – auch mit dem Blick auf eine zukunftsfähige Landwirtschaft allgemein – als Ziel von Erkenntnisinteresse, denn Maßnahmen und Strategien müssen ganzheitlich funktionieren. Hier kann Digitalisierung ein Werkzeug sein, aber keine alleinige Lösung.

Um diese Besonderheiten abzubilden, ist ein deutlich breiteres Innovationsverständnis von Forschung und in der Forschungsförderung notwendig. Sozial-ökologische Faktoren und ihre gemeinwohlorientierte Wirkung sind ein bedeutsamer Erkenntnisgewinn und müssen auch als ebensolche gelten, anerkennt und gefördert werden.

Beispiel Züchtungsfinanzierung

Die Züchtungsforschung für den Ökolandbau ist massiv unterfinanziert. Nicht nur aber vor allem auch für die ökologische Entwicklung klimaangepasster Sorten und Rassen braucht es deutlich mehr öffentliche Förderung.

Züchtungsforschung ist sehr zeitaufwändig und kostenintensiv. Bis zur Marktreife einer Öko-Sorte können 15 Jahre oder mehr vergehen. Denn Züchtungsschritte orientieren sich an Lebens- und Reproduktionszyklen. So bedarf es bei einjährigen Pflanzenkulturen ein Jahr, um den Erfolg eines Züchtungsschritts zu evaluieren, bei mehrjährigen Kulturen oder Tieren mehrere Jahre. Entsprechend langfristig müssen die Förderkulissen ausgelegt sein. Es gibt bereits viele große staatliche Förderprogramme für die Pflanzenzüchtung. Allerdings passen die Fragestellungen und auch die sonstige Auslegung dieser Programme oftmals zu wenig zu den spezifischen Bedarfen der ökologischen Landwirtschaft oder fokussieren einseitig auf Züchtungsmethoden, die nicht mit den Öko-Prinzipien vereinbar sind. Die Mittel, mit denen aus den Forschungsergebnissen eine Sorte entstehen kann, müssen in Deutschland privat aufgebracht werden. Außer bei Wein und Obst, wo auch das staatliche Julius-Kühn-Institut (JKI) dazu berechtigt ist, sind die wenigen privatwirtschaftlich arbeitenden Öko-Züchterinnen und -züchter sich selbst überlassen.

Die Züchtungsforschung profitiert, wenn die Züchtungsarbeit durch hochmoderne Selektionsverfahren beschleunigt wird (siehe 2.1.2). Dafür wäre für die Züchtung für den Ökolandbau der Zugang zu bestehenden Forschungsinfrastrukturen in der Grundlagenforschung oder der Aufbau eigener Infrastrukturen mit Hilfe öffentlicher Förderung notwendig. Die öffentliche Forschungsförderung muss ausreichend Töpfe bereitstellen und die Züchtungsforschung um solche öko-kompatiblen Verfahren ausbauen.

Infrastrukturen für ökospezifische, systemorientierte Forschung

Bislang bildet die vorhandene öffentliche deutsche Forschungs- und Förderlandschaft den dringenden Entwicklungs- und Erkenntnisbedarf in der ökologischen Landwirtschaft und dem Bereich Klimafolgenanpassung bei weitem nicht ab. Immer noch ist nur ein Bruchteil der Lehrstühle, Versuchseinrichtungen und -flächen sowie Ressortforschungseinrichtungen für Öko-Forschung reserviert und kann auf deren besonderen Bedarf an Flächen, Materialien und Versuchsbedingungen reagieren. Hier müssen Bundes- und Landes-Politik dringend und entsprechend der festgelegten politischen Ziele die notwendigen Veränderungen umsetzen.

Der Erkenntnisfortschritt in ökologischen Agrarsystemen gelingt dort am besten, wo sämtliche Wissens- und Entscheidungsträger verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen sowie Praxiswissen aus Landwirtschaft, Verarbeitung, Handel und Konsumption eingebunden sind. Es braucht offene Einrichtungen, die inter- und transdisziplinär arbeiten können, und Förderprogramme, die dieses Arbeiten unterstützen. Dazu muss es möglich sein, externe, (auch) nicht-wissenschaftliche Expertise punktuell in Forschungsprogramme, Think Tanks und Nachwuchsgruppen einzubinden. Die wissenschaftsmethodische Weiterentwicklung von Praxisforschungskonzepten muss mehr Aufmerksamkeit erhalten. Dem Nachwuchs in Öko-Praxis und -Forschung müssen bereits in der Ausbildung die notwendigen Kenntnisse für kooperatives Forschen mit auf den Weg gegeben werden. Das macht entsprechende Anpassungen von Berufs- bis Hochschulausbildung und auch die Anpassung der jeweiligen Lehrpläne, Prüfungsordnungen und Schulung der Lehrkräfte notwendig.

Wissensfortschritt muss sehr viel stärker am Gemeinwohl orientiert und auf Vernetzung ausgerichtet werden. Institutionell finanzierte Open-Source-Plattformen verbessern den Zugang zu und die Archivierung von bereits vorhandenen Forschungsdaten und Monitoring-Ergebnissen, auch aus der Ressortforschung.

Rahmenbedingungen für ökologische Praxisforschung

Aufgrund der systemischen Anforderungen arbeiten Öko-Landwirtinnen und -Landwirte traditionell innovationsgetrieben. Sie sind Forschende im eigenen Betrieb, was transdisziplinäre Forschungsansätze für Bio-Fragen besonders fruchtbar macht.

Neben der insgesamt zu schwachen finanziellen Ausstattung erschweren auch strukturelle Hemmnisse die Erforschung drängender Fragestellungen im Ökolandbau. So sind die Antragshürden für die Einwerbung von Drittmitteln für privatwirtschaftliche Forschungsinitiativen und einige Universitäten sehr hoch. Ihre Ausstattung ist kaum konkurrenzfähig mit Einrichtungen wie den Ressortforschungsinstituten und den nationalen Exzellenz-Forschungsverbänden. Aus diesem Grund können Forschungsanträge nicht in vergleichbarem Maß gestellt werden.

Zudem hat das BMEL das Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL) der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung für „andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft“ (BÖLN) geöffnet. Von 2002 bis 2010 war das BÖL ausschließlich auf Innovationen im ökologischen Bereich konzentriert. 2011 wurde es um „andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft“ erweitert (BÖLN). Seitdem fließt ein erheblicher Teil der Mittel in Projekte außerhalb der ökologischen Produktion. Das bedeutet, dass faktisch weniger Mittel für ökospezifische Forschung zur Verfügung stehen. Der Etat des BÖL(N) unterlag immer wieder deutlichen Schwankungen, mit den 2020 beschlossenen 34 Mio. € erreicht das BÖLN 2020 wieder den Start-Etat von 2002. Im Laufe der Jahre wurde das „zentrale“ Förderprogramm für den Ökolandbau in Deutschland nicht den wachsenden Anforderungen angepasst, weshalb es unterausgestattet ist. Viele Öko-Forschungsprojekte werden trotz

positiver Begutachtungen aufgrund dieser Konkurrenz und einer Stagnation der Gesamtfördermittel nicht oder nur stark reduziert bewilligt.

Die Rahmenbedingungen für relevante Öko-Forschungsförder- und Entwicklungsprogramme sollten die strukturellen Besonderheiten der Öko-Landwirtschaft berücksichtigen und auch privaten Forschungsinitiativen den Zugang erleichtern. Dazu könnten beispielsweise die folgenden Maßnahmen beitragen:

- Um Praxis-Forschungsverbände zu stärken, muss die Projektförderung Zeit und Kosten, die bei trans- und interdisziplinärer Arbeit für intensive Kommunikationsarbeit anfallen, anerkennen und vor allem auch finanziell berücksichtigen;
- Um Qualität und Erkenntnispotenzial für Öko anwendungsnah beurteilen zu können, muss Expertise aus dem Bio-Bereich stärker in Begutachtungsprozesse der Forschungsförderung eingebunden werden;
- Die Bewertung von transdisziplinären Forschungskonzepten verlangt eine stärkere Einbindung von Gutachten-Expertise für diese Forschungsmethodik;
- Um die Praxisnähe der Öko-Agrarforschung angemessen berücksichtigen und würdigen zu können, müssen neue, innovative Bewertungssysteme wissenschaftlichen Arbeitens für die angewandte Forschung etabliert werden;
- Zweistufige Ausschreibungen in Form einer kurzen, kostengünstigen Skizze und einem ausführlicheren Antragsverfahren erst im zweiten Schritt minimieren das Risiko bei der Antragstellung;
- Faire Kostenstrukturen bei Ausschreibungen berücksichtigen die unterschiedlichen Voraussetzungen privatwirtschaftlicher Institutionen und Praxisbetriebe im Vergleich zu öffentlich geförderten Einrichtungen;
- Der administrative Aufwand von Förderprojekten sollte abnehmen, damit die Praxis an transdisziplinären Projekten teilhaben kann;
- Es sollten Informationen und Unterstützung zur Mittelakquise für gemeinwohlorientierte Forschungsprojekte unter Praxisbeteiligung auf nationaler und EU-Ebene bereitgestellt werden.

Quellenverzeichnis

Abson, David J.; Fraser, Evan D. G.; Benton, Tim G. (2013): Landscape diversity and the resilience of agricultural returns: a portfolio analysis of land use patterns and economic returns from lowland agriculture. *Agriculture & Food Security* 2013(2), 2.

Altieri, Miguel A. (1999): The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74(1999), 19-31.

Aguilera, E.; Diaz Gaona, C.; Reyes Palomo, C.; Laureano García, R.; Sanchez Rodriguez, M. Estevez; Rodriguez, V. (2019): Mediterranean Organic Production & Climate Change (Technical Report). Ecovalia. Online unter: https://www.ecovalia.org/digicom/estudios/InformeTecnico_Ingles.pdf [17.4.2021].

BMEL (2019a): *Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau*. Online verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ZukunftsstrategieOekologischerLandbau2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [8.12.2020].

BMEL (2019b): *BMEL-Klimaschutzmaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft*. Online verfügbar unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/klimaschutz/klimamassnahmen-klimaschutzprogramm2030.html> [17.4.2021].

BMU (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Online unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf [17.4.2021].

BÖLW (2020): Vom Protest zum Umbau: Wie gelingt die Zeitenwende? Online unter: <https://www.boelw.de/news/vom-protest-zum-umbau-wie-gelingt-die-zeitenwende/> [12.3.2021].

Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Online unter: <https://www.bundesregierung.de/re-source/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0261e7a0bc8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1> [12.3.2021].

Cabell, Joshua und Oelofse, Myles (2018): An Indicator Framework for Assessing Agroecosystem Resilience. *Ecology and Society* 17(1), 18.

Don, Axel; Flessa, Heinz; Marx, Kirstin; Poeplau, Christopher; Tiemeyer, Bärbel; Osterburg, Bernhard (2018): Die 4-Promille-Initiative "Böden für Ernährungssicherung und Klima". Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland. *Thünen Working Paper* 112. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.

Dühn, Theresa (2020): Erkenntnisse aus der Öko-Forschung – Wie es gelingt, sie im ost-deutschen Raum an die Praxis zu kommunizieren. Masterarbeit (unveröffentlicht). Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

Fageria, Nand. K. (2012): Role of Soil Organic Matter in Maintaining Sustainability of Cropping Systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43, 16.

Garret, Rachel D.; Ryschawy, Julie; Bell, Lindsay W.; Cortner; Owen; Ferreira, Joice; Garik; Anna V. N.; Gil, Juliana D. B.; Klerkx, Laurens; Moraine, Marc; Peterson, Caitlin A.; César dos Reis, Júlio; Valentim, Judson F. (2020): Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. *Ecology and Society* 25(1).

Gattinger, Andreas; Weckenbrock, Philipp; Müller, Adrian (2019): Beiträge des Ökolandbaus zum Klimaschutz. *Biotopp* 1, 57–59.

Haller, Lisa; Moakes, Simon; Niggli, Urs; Riedel, Judith; Stolze, Matthias; Thompson, Michael (2020): Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. *Texte für Mensch & Umwelt* 32. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Herrmann, Farina und Jánoszy, Babett (2019): Auf Augenhöhe: Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis der ökologischen und nachhaltigen Land- und Lebensmittelwirtschaft. Schlussbericht Teil 3. Online unter: https://www.boelw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Forschung_und_Bildung/Witra/B%C3%96LW_Schlussbericht_Teil_3-14NA008.pdf [2.2.2021].

Holmgren, David (2011): *Permaculture. Principles & pathways beyond sustainability*. East Meon: Permanent Publications.

Hülsbergen, Kurt-Jürgen und Rahmann, Gerold (Hg.) (2015): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme. Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Forschungsergebnisse 2013-2014. *Thünen Report* 29, 175. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut. doi:10.3220/REP_29_2015.

IPCC (Hg.): Sonderbericht über Klimawandel und Landsysteme (SRRCCL). Hauptaussagen des IPCC-Sonderberichts über Klimawandel, Desertifikation, Landdegradierung, nachhaltiges Landmanagement, Ernährungssicherheit und Treibhausgasflüsse in terrestrischen Ökosystemen. Online unter https://www.de-ipcc.de/media/content/Hauptaussagen_SRCCL.pdf [3.12.2019].

Jacobs, Anna; Flessa, Heinz; Don, Axel; Heidkamp, Arne; Prietz, Roland; Dechow, René; Gensior, Andreas; Poeplau, Christopher; Riggers, Catharina; Schneider, Florian *et al.* (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. *Thünen Report* 64. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.

Lasco, Rodel D.; Delfino; Rafaela J. P.; Catacutan, Delia C.; Simelton, Elisabeth S.; Wilson, David M. (2014): Climate risk adaptation by smallholder farmers: the roles of trees and agroforestry. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2014(6), 83-88.

Maarova, Tereza; Bautzn, Lin; Andresen, Nils; Sjöqvist, Sara (o.J.): Demonstrating strategies for organic and low-input farming to mitigate and adapt to climate change. *SOLMACC Layman's report*. IFOAM. Online unter <https://www.organicseurope.bio/content/uploads/2020/06/660-solmacc-layman-web.pdf?dd> [3.12.2019].

Martin, Guillaume; Barth, Kerstin; Benoit, Marc; Brock, Christopher; Destruel, Marie; Dumont, Bertrand; Grillot, Myriam; Hübner, Severin; Magne, Marie-Angéline; Moerman, Marie; Mosnier, C.; Parsons, David *et al.* (2020): Potential of multi-species livestock farming to improve

the sustainability of livestock farms: A review. *Agricultural Systems* 181(2020). doi: 10.1016/j.agsy.2020.102821.

Meier Matthias S., Stoessel, Franziska; Jungbluth, Niels; Juraske, Ronnie; Schader, Christian; Stolze, Matthias (2015) Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management* 149, 193-208.

Müller, Adrian; Schader, Christian; Scialabba, Nadia E.; Brüggemann, Judith; Isensee, Anne; Erb, Karl-Heinz; Smith, Pete; Klocke, Peter; Leiber, Florian; Stolze Matthias; Niggli, Urs (2017): Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature communications* 8(1), 1290.

Rahmann, Gerold; Kühne, Stefan; Nürnberg, Michaela; Töpfer, Antje (2013): Forschen für den Ökologischen Landbau. *Forschungsreport Spezial Ökologische Landbau* 2013(2), 22-23.

Rat für Nachhaltige Entwicklung (2011): „Gold-Standard Ökolandbau“: Für eine nachhaltige Gestaltung der Agrarwende. Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung vom 11. Juli 2011. Online unter: https://www.nachhaltigkeitsrat.de/wp-content/uploads/migration/documents/RNE_Gold-Standard_Oekolandbau_texte_Nr_40_Juli_2011.pdf [25.3.2020].

Sanders, Jörn und Heß, Jürgen (Hg.) (2019): Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. *Thünen Report* 65. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.

Skinner, Colin; Gattinger, Andreas; Krauss, Maike; Krause, Hans-Martin; Mayer, Jochen; van der Heijden, Marcel G. A.; Mäder, Paul (2019): The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Scientific reports* 9(1), 1702. Online unter <https://www.nature.com/articles/s41598-018-38207-w.pdf> [16.4.2021].

Umweltbundesamt (2020): *Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen*. Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft> [20.4.2021].

Van der Werf, Hayo M.G.; Knudsen, Marie T. und Cederberg, C. (2020): Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability* 3, 419–425. doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>.