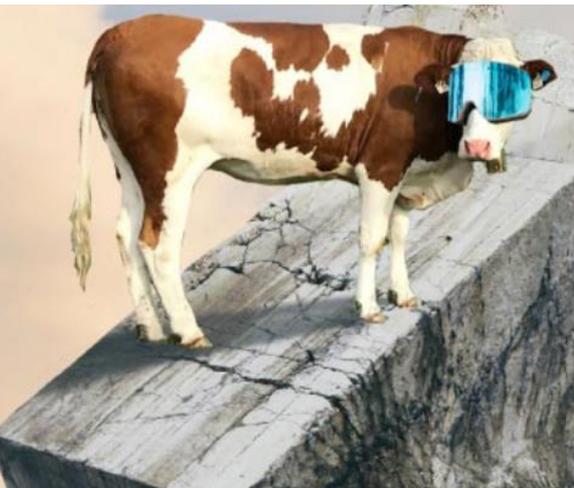


Foresight-Report

Treiber, Diskurse und Transformations- szenarien



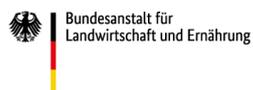
Bildquellen: Projekt bio:fictions (IZT; Ellery Studio)

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekträger



Foresight-Report

Treiber, Diskurse und Transformations- szenarien

Experimentierfeld Agro-Nordwest

Autor*innen

Dr. Siegfried Behrendt
Christine Henseling
Kathrin Gegner
Charlotte Neipperg

s.behrendt@izt.de
c.henseling@izt.de
k.gegner@izt.de

21. November 2023

IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
www.izt.de

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Transformationsroadmap im Rahmen des Experimentierfeldes Agro-Nordwest | 4 |
| 2 | Vorgehensweise | 5 |
| 3 | Treiber des Wandels | 8 |
| 3.1 | Wandel des globalen Rahmens: Planetary Boundaries und Ernährungssicherung | 8 |
| 3.2 | Treiber der Transformation der Agrarwirtschaft | 10 |
| 4 | Transformationsdiskurse über den Wandel des Agrar- und Ernährungssystems | 20 |
| 4.1 | Transformation als eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe | 20 |
| 4.2 | Transformationsdiskurse mit unterschiedlichen Entwicklungspfaden | 25 |
| 5 | Transformations Szenarien | 31 |
| 5.1 | Ökoeffizienter Pflanzenbau | 32 |
| 5.2 | Neue Bewirtschaftungsformen | 41 |
| 5.3 | Künstliche Biowelten | 49 |
| 5.4 | Verringerung der Erzeugung und des Konsums tierischer Lebensmittel | 57 |
| 6 | Literatur | 67 |
| 7 | Anhang | 81 |
| 7.1 | Workshop Transformationsszenarien | 81 |

1 Transformationsroadmap im Rahmen des Experimentierfeldes Agro-Nordwest

Die Agrar- und Ernährungswirtschaft befindet sich in einem tiefgreifenden und rapiden Transformationsprozess. Auch wenn Einigkeit in Politik und Agrarwirtschaft darüber besteht, dass Nachhaltigkeit in ökologischer, sozialer und ökonomischer Hinsicht dabei das Ziel ist, wird dieser Wandlungsprozess doch von vielen widersprüchlichen Faktoren und Interessen beeinflusst, von zahlreichen Spannungslagen geprägt und ist infolgedessen mit hohen Unsicherheiten verbunden. Mit der Absicht eine Orientierung zu geben, sind jüngst verschiedene Szenarien entwickelt worden, die versuchen, mögliche Transformationspfade mit ihren Auswirkungen aufzuzeigen.¹ Mit Blick darauf verfolgt das IZT mit der „Transformationsroadmap: Zukunftsperspektiven für Agrartechnik“ einen weiteren, neuen Ansatz. Er knüpft an die Erkenntnisse zu den Nutzerbedarfen, dem Abbau von Innovationshemmnissen und Herausforderungen einer beschleunigten Digitalisierung der Agrarwirtschaft aus zahlreichen Interviews, Fokusgruppen und Workshops mit Wirtschafts- und Wissenschaftsakteuren aus der bisherigen Projektlaufzeit im Rahmen des Experimentierfeldes „Agro-Nordwest“ (www.agro-nordwest.de) an. Ziel ist es, eine explorative Roadmap zur Erkundung der Transformation der Agrarwirtschaft bis zur Mitte des Jahrhunderts zu entwickeln. In einem kooperativen Ansatz mit unterschiedlichen Akteuren aus der Wissenschaft, der landwirtschaftlichen Praxis und Innovateuren² wird der Frage nachgegangen, was die Transformation der Agrarwirtschaft treibt, mit welchen Trends und Dynamiken zu rechnen ist und welche neuen Anforderungen und Potenziale sich speziell für die Agrartechnik daraus ergeben. Die Transformationsroadmap soll für die Akteure des Experimentierfeldes Agro-Nordwest (aber auch generell für alle Experimentierfelder und darüber hinaus) das Verständnis für die Transformationsprozesse verbessern helfen und letztlich einen mittel- und langfristigen Orientierungsrahmen für das Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsmanagement schaffen. Dabei soll der kooperative, inter- und transdisziplinäre Ansatz des Roadmappings eine ganzheitliche Sicht auf Transformationsprozesse der Agrarwirtschaft und eine spezifisch unternehmerische Perspektive eröffnen.

Der vorliegende Foresight-Report dient als Basis für die Transformationsroadmap. Er beschreibt mögliche Transformationsszenarien mit denen die Agrarwirtschaft rechnen muss. Sie wurden mehrstufig

¹ Hervorzuheben sind insbesondere:

Zukunftskommission Landwirtschaft. Abschlussbericht. Zukunftskommission Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/download/abschlussbericht-der-zukunftskommission-landwirtschaft>, zuletzt geprüft am 01.03.2023;

Fink, A.; Grabkowsky, B.; Hortmann-Scholten, A.; Lagemann, A.; Ohse, S.; Wedemeier, J.; Wolf, A. (2022): Transformationsszenarien der Agrar- und Ernährungswirtschaft in Nord-West-Niedersachsen (TRAIN). HWWI Policy Paper, No. 136. Hg. v. Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut (HWWI). Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/261491/1/1810727235.pdf>, zuletzt geprüft am 12.06.2023;

Thünen (2022): Verena Beck, Josef Efken, Anne Margarian, Regionalwirtschaftliche Auswirkungen einer Reduzierung der Tierhaltung in Konzentrationsgebieten Abschlussbericht zum Projekt ReTiKo, Thünen Report 110

ISI (2020), Björn Moller, Ariane Voglhuber-Slavinsky, Ewa Dönitz, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Three scenarios for Europe's food sector in 2035 https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccv/2020/Fox_Scenario_Brochure.pdf

² Ein Hinweis vorab: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht.

erarbeitet. Mittels Literaturlauswertungen wurden Analysen vorgenommen, die einerseits der Frage nachgehen, was den Wandel der Agrarwirtschaft antreibt, zum anderen zielen sie darauf, die Transformationsdiskurse zu erfassen. Entlang der verschiedenen Diskurse wurden vier Transformations-szenarien abgeleitet und auf einem Workshop am 28. Juni 2023 in Osnabrück präsentiert, kommentiert und diskutiert. Die Kommentatoren waren: Prof. Dr. Markus Frank, Mareike Jäger, Dr. Julia Köhn und Dr. Barbara Grabkowsky (vgl. Anhang). Die Ergebnisse des Workshops dienten der Konsolidierung der Transformations-szenarien. Wir bedanken uns bei den Teilnehmern und insbesondere auch bei den Kommentatoren für die Einschätzungen, Hinweise und Anregungen.

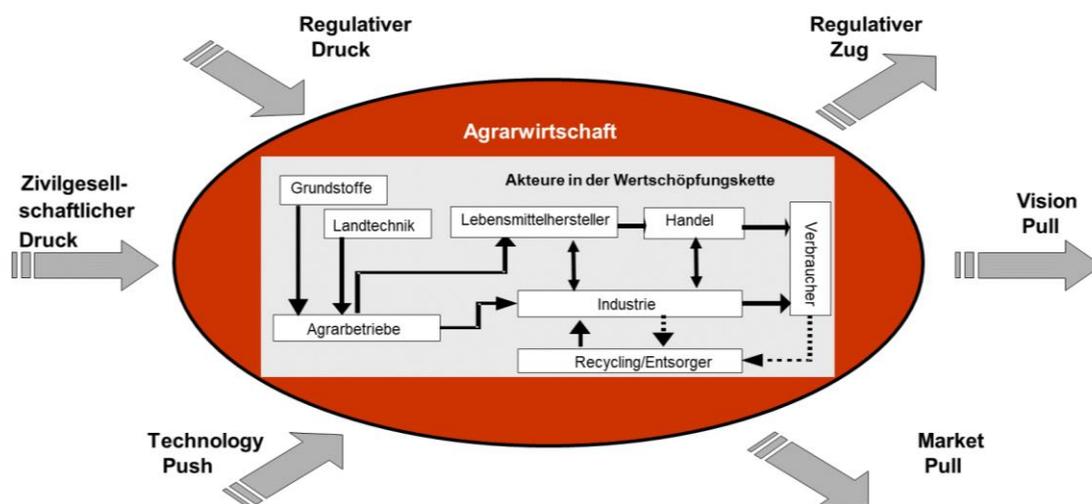
2 Vorgehensweise

Das Roadmapping ist generell ein leistungsfähiges Instrument zur Früherkennung, Analyse und Bewertung von technologischen, marktlichen, politischen und gesellschaftlichen Herausforderungen. Gleichzeitig ermöglicht das Roadmapping konkrete, zukunftsorientierte sowie kurz-, mittel- und langfristig ausgelegte Aktivitäten für (und mit den) Wirtschafts- und Forschungsakteure(n) zu entwickeln (Behrendt 2010). Die Erarbeitung der Transformationsroadmap, wie sie hier vorgenommen wird, baut generell auf etablierte Vorgehensweisen des Roadmappings auf: Zum einen werden üblicherweise Trends identifiziert und analysiert. Zum anderen werden mittels der Szenariotechnik über Trends hinausgehende mögliche Entwicklungsverläufe dargestellt. Aus den Szenarien werden durch Rückprojektion in die Gegenwart die daraus resultierenden Handlungsbedarfe identifiziert. Dabei ergänzen sich die verschiedenen Sichtweisen wechselseitig. Während die Trendanalyse bekannte Entwicklungen in die Zukunft fortschreibt, können aus Zukunftsentwürfen und -bildern Herausforderungen und Aufgaben für die heute betroffenen Akteure abgeleitet werden. Aus der Kombination von Trendanalyse (Forecasting) und Szenarien (Backcasting) lassen sich Veränderungspotentiale identifizieren und in neue Anforderungen, Technologiebedarfe und Optionen für Zukunftsmärkte übersetzen.

Für die Erstellung der Transformationsroadmap wurden mehrere Anpassungen an das methodische Grundgerüst vorgenommen, um der Besonderheit von Transformationen, in dem Fall des Agrar- und Ernährungssystems, gerecht zu werden. Von einer Transformation spricht man dann, wenn sich nicht nur ein Element, sondern mehrere der Elemente eines Systems ändern und diese Änderungen sich gegenseitig beeinflussen und wechselseitig verstärken. Transformationen beinhalten koevolutionären Wandel in Technologien, Märkten, institutionellen Rahmen, in kulturellen Bedeutungen und Alltagspraktiken (Göpel 2023, S. 100). Der Wissenschaftliche Beirat für Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU) begreift den nachhaltigen weltweiten Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft als „Große Transformation“ (WBGU 2011). Produktion, Konsummuster und Lebensstile müssen so grundlegend verändert werden, dass Wohlstand und soziale Gerechtigkeit innerhalb planetarer Grenzen hergestellt werden können (WBGU 2011). Dazu sind nicht nur Innovation und neue Ideen notwendig, sondern ganz wesentlich auch Exnovation: der Ausstieg aus nicht-nachhaltigen Pfadabhängigkeiten und Praktiken. Transformationen sind Prozesse, die geprägt sind von grundlegenden sozialen, politischen, technologischen und wirtschaftlichen Weichenstellungen und Umbrüchen, neuen Akteursgruppen und Allianzen, dem Ringen um Interessen und Machtverteilung sowie der Neubewertung von gewohnten Praktiken und Routinen einschließlich der Neujustierung von Rahmenbedingungen, Marktmechanismen und Geschäftsmodellen. Angesichts komplexer, interdependenter Entwicklungsprozesse entziehen sich Transformationen damit (weitgehend) einer Trendanalyse.

Aus diesem Grunde wird daher hier statt einer Trend- eine Treiberanalyse durchgeführt, die der Frage nachgeht, was die Transformation des Agrar- und Ernährungssystems antreibt. Als Treiber werden Einflussfaktoren verstanden, die Transformationsprozesse maßgeblich unterstützen, voranbringen oder verstärken. Ein methodischer Ansatz zur Strukturierung von Transformations-treibern bietet das so genannte „Schildkrötenmodell“ aus der Innovationsforschung, das von Hemmelskamp (1999) entworfen und von Fichter (2005) weiterentwickelt wurde. Es eignet sich auch zur Analyse von Transformationsprozessen komplexer, sozio-technischer Systeme, wie dem Agrar- und Ernährungssystem. Dazu zählen auf der Push-Seite die Regulation durch rechtliche Rahmenbedingungen, die Beeinflussung durch zivilgesellschaftliche Gruppen und Diskurse (Zivilgesellschaftlicher Push) und technologischer Fortschritt (Technology Push). Auf der Pull-Seite finden sich Market Pull, der Einfluss von Visionen und Innovateuren mit neuen Geschäftsideen und -modellen als Vorreiter für neue Märkte, sowie die finanzielle Förderung und Schaffung von Anreizen für Transformationsprozesse. Die Analyse hier orientiert sich an dieser Strukturierung, indem sie Schlüsseldokumente der Zukunftscommission Landwirtschaft (ZKL), des Wissenschaftlichen Beirats für Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU), des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz (WBAE) und der Kommission Landwirtschaft am Umweltbundesamt (KLU) auswertet. Es handelt sich um Gremien, die sich mit den zentralen Aspekten der Zukunft und nachhaltigen Gestaltung des Agrar- und Ernährungssystems befassen. Sie bieten gerade aufgrund ihrer interdisziplinären Zusammensetzung, verschiedenen Perspektiven und Überlappungen eine gewisse Gewähr dafür, dass die zentralen Treiber der Transformation zu einem nachhaltigen Agrar- und Ernährungssystem zur Sprache kommen.

Abbildung 1: Einflussfaktoren der Transformation der Agrarwirtschaft



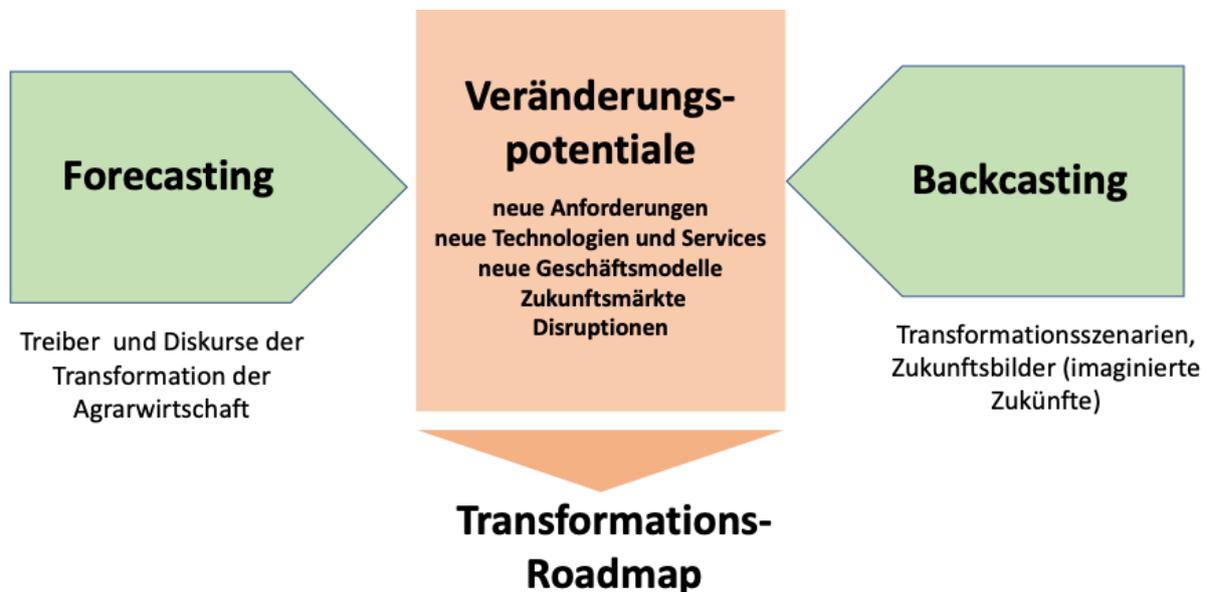
Quelle: Schildkrötenmodell nach Fichter (2005)

Eine zweite Besonderheit ist die Entwicklung von Szenarien nicht auf Basis der Impact- und Konsistenzanalyse von Schlüsselfaktoren, wie vielfach üblich, sondern entlang von Diskursen, die die Transformation des Agrarsystems prägen. Diskurse sind zum einen „bewusstseins- und einstellungsbildend, speziell auch wissensbildend, zum anderen konativ handlungsorientierend, politisch willensbildend, strategie- und programmbildend, und im fließenden Anschluss daran schließlich auch handlungspraktisch – Institutionen und Ordnung gestaltend, Verwaltung und Management leitend, Produktion und Verbraucherpraxis prägend“ (Huber 2002, S. 134). Dies gilt speziell auch für die verschiedenen Stränge des

Diskurses zur Zukunft der Agrarwirtschaft, die die Transformation der Landwirtschaft in den nächsten Jahrzehnten prägen werden. Auf Basis der Diskursanalyse werden korrespondierende Szenarien erstellt, die mögliche Entwicklungspfade der Transformation zu einer nachhaltigen Agrarwirtschaft aufzeigen. Sie sind komplementär, ergänzen sich also, und stellen daher keine Alternativszenarien dar. Entlang dieser Szenarien werden in einem nächsten Schritt durch Rückprojektion in die Gegenwart (Backcasting) die Veränderungspotentiale identifiziert, um daraus im Anschluss neue Anforderungen, neue Technologien und mögliche Zukunftsmärkte abzuleiten bzw. zu bewerten. Praktisch werden dazu vier Workshops durchgeführt, in denen verschiedene Wissenschaftsdisziplinen, Praxisakteure und Innovateure einbezogen werden. Die Ergebnisse werden aufbereitet und in eine Transformationsroadmap übersetzt. Dies schließt auch die Frage ein, mit welchen Maßnahmen das Experimentierfeld Agro-Nordwest zur Entwicklung eines Innovationsökosystems für die Transformation der Agrarwirtschaft in der Region beitragen kann.

Die folgenden beiden Abbildungen illustrieren die methodische Vorgehensweise und den Roadmapping-Prozess.

Abbildung 2: methodische Vorgehensweise



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 3: Bausteine der Transformationsroadmap



Quelle: eigene Darstellung

3 Treiber des Wandels

Der Agrarwirtschaft steht ein tiefgreifender Wandlungsprozess bevor. Getrieben wird dieser Prozess von vielfältigen Dynamiken des gesellschaftlichen, politischen, wirtschaftlichen und technologischen Wandels. Dabei – so die Feststellung der Zukunftskommission Landwirtschaft – werden „landwirtschaftliche Praktiken ebenso wie Ernährungsstile wegen ihrer unmittelbaren Wirkungen auf die Ökosysteme sowie wegen ihres vielfältigen gefährdeten Zustands zunehmend unter den Gesichtspunkten der Endlichkeit von Ressourcen und der Generationengerechtigkeit“ (ZKL 2021, S. 22) als kritisch bewertet. Die Überschreitung der planetaren Grenzen muss vermieden werden, um einen sicheren Entwicklungsspielraum für die Gesellschaften zu erhalten (Steffen et al. 2015; Rockström et al. 2009). „Zugleich wird die Ertragssituation der Landwirtschaft selbst von diesen Ökosystemwirkungen mit beeinflusst“ (ZKL 2021, S. 22). Vor allem folgende globale Dynamiken verändern die Rahmenbedingungen und stellen für die hiesige Agrarwirtschaft zentrale Herausforderungen dar, für die im Zuge von Transformationsprozessen tragfähige Antworten und Lösungen gefunden werden müssen:

3.1 Wandel des globalen Rahmens: Planetary Boundaries und Ernährungssicherung

Klimawandel

Die Agrarwirtschaft ist ein Hauptverursacher des Klimawandels, gleichzeitig ist die Agrarwirtschaft von Klimaveränderungen direkt betroffen in Form von Extremwetterereignissen wie Dürre und Starkregen, von langanhaltenden Wetterlagen etc.. Die deutsche Landwirtschaft emittierte im Jahr 2021 umgerechnet 56,3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Das entspricht 7,4 Prozent der deutschen Treibhausgas-Emissionen. Diese Werte erhöhen sich auf 61,7 Millionen Tonnen (Mio. t) Kohlendioxid (CO₂)-

Äquivalente bzw. 8,3 % Anteil an den Gesamt-Emissionen, wenn die Emissionsquellen der mobilen und stationären Verbrennung mitberücksichtigt werden. Wesentliche Quellen sind Methan-Emissionen aus der Tierhaltung und Lachgas-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. 69,5 % der Emissionen der Landwirtschaft, nämlich 38,6 Mio. t CO₂-äquivalente THG-Emissionen sind allein auf die direkte Tierhaltung zurückzuführen. Dies entspricht 5,2 Prozent der Gesamt THG-Emissionen Deutschlands (UBA 2023).

Überschreiten der Leitplanke von Stoffkreisläufen für Stickstoff und Phosphor

Nahezu die Hälfte der Weltbevölkerung wird heute durch die Hilfe künstlich erzeugter Stickstoffdünger ernährt. Etwa 30 bis 50 Prozent der landwirtschaftlichen Erträge sind auf die Nutzung mineralischer Dünger zurückzuführen. Folge ist die Freisetzung von reaktivem Stickstoff. In Deutschland gelangen mehr als 50 Prozent der reaktiven Stickstoffverbindungen über die Landwirtschaft in die Umwelt. Die intensive Zufuhr industrieller Düngemittel und die Konzentration der Viehhaltung führen zu Stickstoffüberschüssen mit weitreichenden Umweltproblemen (Krieger 2022; UBA 2022). Im Mittel der Jahre 2015 bis 2019 betrug der Stickstoffüberschuss aus der Gesamtbilanz für Deutschland rund 92 kg N/ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (UBA 2021b). Global wird die Belastungsgrenze des Stickstoff-Kreislaufs um den Faktor 2 überschritten³ (UBA 2017). Auch bei Phosphor ist die Leitplanke überschritten, gleichzeitig wird Phosphor knapp.

Verlust der Biodiversität

Der Rückgang der biologischen Vielfalt hat sich in den vergangenen Jahrzehnten beschleunigt, was hauptsächlich auf die Zerstörung von natürlichen Lebensräumen, Umweltverschmutzung, intensive Land- und Forstwirtschaft, Fischerei zurückzuführen ist. Für Deutschland stellt die ZKL fest, dass „alle verfügbaren Indikatoren zur Biodiversität in der Agrarlandschaft ... heute einen statistisch signifikanten Rückgang und deutlich abnehmende Trends“ zeigen (ZKL 2021, S. 42; Bauer und Böhning-Gaese 2023).⁴ Zukünftig birgt der Klimawandel ein erhebliches Risiko, das Biodiversität schwindet und Ökosysteme geschädigt und verändert werden. Bei einer Erhöhung der Temperatur um 1,5 Grad wären global zwischen 3 und 14 Prozent der Arten an Land vom Aussterben bedroht. Bei 3 Grad, worauf die Entwicklung ohne drastische Wende derzeit zusteuert, beträfe das 30 Prozent aller terrestrischen Arten (Bauer und Böhning-Gaese 2023).

Steigende Nutzungskonflikte um Agrarflächen

Weltweit werden aktuell knapp 1,5 Mrd. Hektar Anbaufläche genutzt (Braun 2017). Diese landwirtschaftliche Nutzfläche müsste unter der Annahme von realistischen Ertragssteigerungen ausgeweitet werden (Braun 2017). Allerdings ist das weltweite Potenzial zur Flächenausweitung gering und dürfte unter Einbeziehung des Klimawandels deutlich unter 5 Prozent der bislang genutzten Fläche liegen (Braun 2017). Hinzu kommt, dass die Anbauflächen nicht nur begrenzt sind, sondern durch Land- und Bodendegradation, wie Erosion, Strukturverlust, Verdichtung, Versiegelung, Versauerung, und Versalzung, in ihrer Produktivität dauerhaft beeinträchtigt werden. Gleichzeitig nehmen die Nachfragen nach Agrarrohstoffen zu, insbesondere für Bedarfe der sogenannten Bioökonomie. Weltweit zielen

³ Die planetare Leitplanke für Stickstoff (N-PB) wird von Steffen et al. (2015) mit 63 Millionen Tonnen pro Jahr angegeben. Diese Leitplanke wird global um den Faktor 2 überschritten.

⁴ So sind von insgesamt 75 unterschiedlichen Grünlandbiotopen 83 Prozent als gefährdet eingestuft. Der Anteil an High-Nature-Value (HNV) Flächen ging im Zeitraum von 2009 bis 2017 von 13,1 Prozent auf 11,3 Prozent zurück (ZKL 2021, S. 43)

politische Bioökonomie-Strategien, so auch in der Europäischen Union und in Deutschland, darauf ab, endliche oder fossile Rohstoffe durch biogene Rohstoffe zu ersetzen. Wenn dies nicht mit einer massiven Reduktion der Gesamtnachfrage nach Rohstoffen einhergeht, zeichnet sich eine erhebliche Steigerung der Nachfrage und dementsprechend des Intensivierungsdrucks ab. Zudem wird erwartet, dass aufgrund der bisher unzulänglichen Klimaschutzmaßnahmen die Entnahme von Kohlendioxid aus der Atmosphäre, sogenannte negative Emissionen laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sehr wahrscheinlich erforderlich sind, um die Erderwärmung auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen. Daher könnte es erforderlich sein, dass landwirtschaftliche Flächen verstärkt für die Sequestrierung von Kohlenstoff genutzt werden müssen (UBA 2021a).

Knapper werdende Wasserressourcen

Bisher war die Verfügbarkeit von Wasser in Deutschland nicht kritisch. Mit dem Klimawandel ändert sich das. Dürreperioden und Trockenjahre nehmen zu. Prognostiziert werden zudem häufigere und intensivere Extremereignisse wie Starkregen, die das Wasserdargebot und die Wasserqualität für die Landwirtschaft saisonal negativ beeinflussen werden. Infolgedessen wird erwartet, dass der Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft zunehmen wird (umwelt.nrw 2022). Dabei gibt es regional große Unterschiede, am stärksten betroffen ist der Nordosten Deutschlands. Kritisch ist diese Entwicklung vor allem, weil im Frühjahr mit steigenden Temperaturen die Vegetation früher beginnt und einen hohen Wasserbedarf hat. Besonders betroffen davon ist die Landwirtschaft (DVGW 2022).

Wachsende Weltbevölkerung und höhere Lebensstandards

Weltweit steigt die Nachfrage nach Nahrungsmitteln. Nach Hochrechnungen der UNO wird die Bevölkerungszahl von derzeit rund 8 Milliarden Menschen auf 9,7 Milliarden im Jahr 2050 angewachsen sein (UN 2022). Gleichzeitig führen steigende Pro-Kopf-Einkommen in den Entwicklungs- und Schwellenländern zu veränderten Ernährungspräferenzen, so zu einem höheren Fleischkonsum und einem höheren Verbrauch verarbeiteter Lebensmittel (Braun 2017).

3.2 Treiber der Transformation der Agrarwirtschaft

Eingebettet in diese globalen Dynamiken wird die Transformation der Agrarwirtschaft hierzulande von einer Vielzahl verschiedener Faktoren beeinflusst und vorangetrieben.

Green Deal: politischer Rahmen für die Transformation der Agrarwirtschaft

Mit dem Green Deal (Europäische Kommission 2019) versucht die EU eine Transformation der Wirtschaft anzustoßen, die auch die Landwirtschaft umfasst. Es handelt sich um ein Paket politischer Initiativen, mit dem die europäische Wirtschaft auf den Weg gebracht werden soll, einen grünen Wandel zu vollziehen, um schließlich das Ziel zu erreichen, bis 2050 klimaneutral zu werden. Als Zwischenziel sollen bis zum Jahr 2030 die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Vergleich zu 1990 um bis zu 55 Prozent reduziert werden. Von den insgesamt acht Themenfeldern des Green Deal (EK 2019) sind für die Agrar- und Ernährungswirtschaft (AEW) die Farm to Fork Strategy (EK 2020b) und die Biodiversitätsstrategie (EK 2020a) besonders relevant. Bedeutende Ziele dieser Strategien, die in diesem Beitrag im Fokus stehen, sind die ökologische Bewirtschaftung von 25 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche, die Minderung von Nährstoffverlusten um mindestens 50 % bei gleichzeitiger Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und die Reduktion des Einsatzes von Düngemitteln um mindestens 20 %,

die Reduktion des Einsatzes und des Risikos chemischer Pflanzenschutzmittel um 50 %, eine Ausweitung geschützter Land- und Meeresgebiete in Europa auf mindestens 30 % der Landfläche und der Meeresgebiete der EU sowie die Erhöhung der für ökologische/biologische Landwirtschaft genutzten Fläche, die Förderung eines nachhaltigeren Lebensmittelkonsumverhaltens und einer gesünderen Ernährung sowie die Verringerung von Lebensmittelverlusten und -verschwendung. Der WBGU sieht im European Green Deal eine politische Leitinitiative mit dem Potenzial, „auch eine Wende des Umgangs mit Land anzuschließen“ (WBGU 2020, S. 275) und sowohl das Naturkapital innerhalb der EU zu erhalten und wiederherzustellen als auch die Erhaltung globaler landbasierter Ökosysteme als Teil der globalen Verantwortung der EU anzuerkennen (WBGU 2020). Mit dem europäischen Green Deal korrespondiert die nationale Ausgestaltung der Umwelt-, Klima- und Agrarpolitik. Das Bundes-Klimaschutzgesetz sieht vor, die jährlichen Emissionen in der Landwirtschaft bis 2030 auf 56 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente zu reduzieren. Darüber hinaus soll die Emissionsbilanz des Sektors „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ im jährlichen Mittel mindestens minus 25 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente bis zum Jahr 2030 betragen. Damit einher geht eine ökologische Fortentwicklung der Agrarwirtschaft, u.a. durch Förderung der Biodiversität in der Agrarlandschaft, Stärkung des Ökolandbaus, Wiedervernässung von Mooren (Moorschutzstrategie) (BMUV 2022) und die Einbettung der Landwirtschaft als Produzent von nachwachsenden Rohstoffen in die Bioökonomie-Strategie (Die Bundesregierung 2020). Im Koalitionsvertrag haben sich die Regierungsparteien vorgenommen, bis 2030 einen Anteil von 30 Prozent Öko-Landbau zu erreichen. Bezüglich der Reduktionsziele sind die Wege der Zielerreichung, sowohl auf EU als auch auf nationaler Ebene bisher eher vage formuliert und welche Auswirkungen sich auf die Versorgung und die Produktionskosten von Nahrungsmitteln ergeben. So verweist die Europäische Kommission auf den Aufbau von Kreislaufwirtschaft, innovative Wertschöpfungsketten und innovative Wege zum Schutz der Ernten vor Schädlingen und Krankheiten sowie innovative Lebens- und Futtermittelerzeugnisse (EK 2019). Der Green Deal und die damit korrespondierenden Strategien stellen einen Zwischenschritt auf dem Transformationspfad zur Erreichung der Klimaneutralität und Biodiversität dar (Rentenbank 2021). Die Fortentwicklung hängt aber von politischen Initiativen, gesetzlichen Regelungen und der Umsetzungspraxis ab. Die Europäische Kommission hat mit dem „Green Deal“ ambitionierte Pläne für einen Übergang zu einer klimaneutralen und naturfreundlichen Landnutzung und Ernährung vorgelegt. Aber es ist noch nicht gelungen, diese Pläne in die gemeinsame Agrarpolitik (GAP) als den zentralen finanziellen und administrativen Rahmen auf EU-Ebene zu übersetzen. Die Gründe dafür liegen u.a. in den gegensätzlichen Interessen verschiedener Akteursgruppen, aber auch im Dissens zwischen EU-Mitgliedsstaaten. In den nächsten Jahren wird es nach Einschätzung der Agora Agrar „entscheidend darauf ankommen, in den Mitgliedsstaaten die nationalen Landwirtschaftspläne klimafreundlich auszugestalten und einen Konsens darüber herzustellen, dass diese „Landwende“ dringend notwendig ist. Nur auf dieser Grundlage kann es gelingen, mit der nächsten Reform der GAP 2027 eine die politischen Rahmenbedingungen auch auf EU-Ebene entsprechend zu verändern“ (rb o.J.).

Internalisierung externer Effekte der Agrarproduktion

Die Internalisierung externer Kosten der Agrarproduktion ist seit Jahren Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen.⁵ Sie zeigen, dass sich die negativen externen Effekte einer unveränderten

⁵ Einen zusammenfassenden Blick zu Kosten und Nutzen der Transformation des Agrar- und Ernährungssystems gibt der Bericht der Zukunftskommission Landwirtschaft der Bundesregierung in Kapitel 4.5, 2021, S. 115-124

Fortsetzung des heutigen Agrar- und Ernährungssystems monetär auf mindestens 90 Milliarden Euro pro Jahr belaufen (Kurth et al. 2019). Angesichts dieser Größenordnung wird die Internalisierung externer Kosten der Agrarproduktion eingefordert und zunehmend auch politisch aufgegriffen. So stellt die Zukunftskommission Landwirtschaft der Bundesregierung fest: „Das Agrar- und Ernährungssystem muss in der Weise transformiert werden, dass diese externen Effekte möglichst weitgehend vermieden oder, soweit sie unvermeidbar sind, ökonomisch internalisiert werden. Dabei sind ausdrücklich auch die positiven Externalitäten der Landwirtschaft zu berücksichtigen“ (ZKL 2021, S. 96). Neuere politische Programme (der EU-Kommission und der Bundesregierung) zielen darauf ab, ökonomische Anreize zur Vermeidung bzw. Verringerung externer Kosten und zur Förderung des externen Nutzens von Agrarproduktion und Ernährungssystem zu setzen. Ein Handlungsfeld ist die Verringerung der Emission von CO₂, CH₄, NH₃ und N₂O sowie die Ausweitung der positiven Effekte etwa durch Kohlenstoffbindung. Ein weiteres Handlungsfeld umfasst die negativen Effekte auf die Biodiversität. Dem gegenüber stehen die positiven Beiträge der Landwirtschaft zum Erhalt naturnaher Räume, zum Bodenschutz sowie zum Hochwasserschutz. Ein drittes Handlungsfeld adressiert die Problematik der Nitrateinträge in das Grundwasser sowie der Gewässereutrophierung. Weitere Felder betreffen die Belastungen des Tierwohls in der Nutztierhaltung und der fleischverarbeitenden Industrie sowie die gesundheitlichen Folgekosten und die Ernährungssicherheit (ZKL 2021, S. 97). Die Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt fordert die Internalisierung externer Kosten, um Marktversagen zu beseitigen und einen Wettbewerbsvorteil für nachhaltige Produkte zu schaffen (KLU 2019). Auch der Bioökonomierat sieht es als unabdingbar an, klima- und umweltschädliche Produktionsverfahren in den Produktpreis mit einzubeziehen, um die Attraktivität und Konkurrenzfähigkeit von Produkten zu steigern, die auf Basis erneuerbarer Rohstoffe erzeugt werden (BÖR 2022). Politisch werden neben ordnungspolitischen Maßnahmen marktbezogene Instrumente verfolgt, darunter zur Reduktion von Stickstoffüberschüssen, die Einbeziehung der Landwirtschaft in den CO₂-Zertifikatehandel und die Einführung einer Abgabe auf Lebensmittel tierischer Herkunft. Internationale Methodenkonventionen, Standardisierungsbemühungen und Regelungen zur Bemessung und Integration von Ökosystemleistungen in die Wirtschaftsberichterstattung flankieren diese dynamischen Entwicklungen. So etabliert sich das UN-Statistiksystem zum Ecosystem Accounting seit März 2021 (SEEA EA) in großen Teilen als internationaler Standard für die nationale Berichterstattung zu Ökosystemen und Ökosystemleistungen. Mit der Erweiterung der EU-Verordnung 691/2011 (statistische Berichtspflichten für EU-Mitgliedsstaaten) wird die Datengewinnung und -dokumentation sowie ihre methodische Verarbeitung in den Mitgliedsstaaten angepasst. Außerdem gibt es Entwicklungen, um auch auf der Unternehmensebene die Berichterstattung zu Biodiversität und Ökosystemleistungen zu etablieren. Eine zentrale Bedeutung hat dabei die Corporate Sustainability Directive (CRSD) der EU-Kommission. Die Richtlinie verpflichtet ab 2024 größere Unternehmen in Deutschland dazu, in ihren Bilanzen auch die Abhängigkeit von der Natur sowie die Auswirkungen auf die Natur darzulegen. Zunehmend formieren sich auch unternehmerische Initiativen zur Entwicklung einheitlicher Standards bei der Berichterstattung zu Biodiversität und Ökosystemleistungen als Teil des bereits etablierten Environmental, Social and Governance (ESG) Reportings. So beschäftigt sich u.a. das International Sustainability Standards Board der IFRS Foundation mit der Entwicklung einheitlicher Standards.⁶ Die Maßnahmen und Aktivitäten zur Berücksichtigung

⁶ Begleitet und unterstützt werden die Aktivitäten durch eine durch laufende Forschungsprojekte, wie das Projekt Bio-Mo-D: Wertschätzung von Biodiversität – Zur Modernisierung der Wirtschaftsberichterstattung in Deutschland <https://www.ufz.de/index.php?de=49374>

von Ökosystemleistungen in der Wirtschaftsberichterstattung haben für die weitere Ausarbeitung und Gestaltung der Internalisierung externer Kosten des Agrar- und Ernährungssystems in Deutschland maßgebliche Bedeutung. Trotz dieser vielfältigen Aktivitäten wird sich die Entwicklung hin zu einer umfassenden Internalisierung externer Effekte der Agrarproduktion eher lang- als kurzfristig realisieren.

Neujustierung der öffentlichen Förderung im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik

Bei der Transformation der Agrarwirtschaft ist die Weiterentwicklung der öffentlichen Förderung von zentraler Bedeutung. Wichtige Förderstrukturen liegen u.a. im Bereich der einzelbetrieblichen Förderung landwirtschaftlicher Unternehmen, der Förderung der integrierten ländlichen Entwicklung und der Förderung innovativer Technologien, Geschäftsmodelle und Praktiken, etwa im Rahmen der Landwirtschaftlichen Rentenbank oder des Klimaschutzfonds der Bundesregierung. Eine Schlüsselrolle spielt die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU (in Verbindung mit Bundes- und Landesprogrammen⁷) bei der Steuerung der Agrarpolitik und der landwirtschaftlichen Praxis durch eine Vielzahl von Instrumenten (z. B. Marktordnung, Fördermechanismen, Konditionalitäten), die zur Bewältigung sich verändernder bzw. neuer Anforderungen stetig weiterentwickelt wurden und werden. Die Gemeinsame Agrarpolitik ist auch dabei maßgebliches Instrument zur Umsetzung des Green Deal in der Landwirtschaft. Laut EU-Kommission sollen 40 % der GAP-Gelder zu Klimazielen beitragen. Im Zentrum „der Diskussionen steht dabei die Weiterentwicklung der Zahlungen aus der 1. und 2. Säule der GAP“ (ZKL 2021, S. 106). Nach Auffassung der ZKL wird die GAP zu einem Pull-Faktor (regulativer Zug) für die Transformation der Agrarwirtschaft, wenn sie maßgebend dazu beiträgt, „den Übergang zu einem nachhaltigen Agrar- und Ernährungssystem in der EU zu bewältigen und Landwirt:innen auch ökonomisch in die Lage zu versetzen, den notwendigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutz-, Luft- und Wasserreinhaltungs- sowie Biodiversitätsziele zu leisten und die Umwelt umfassend zu schützen“ (ZKL S. 106f). Mit der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik soll die Landwirtschaft in Europa ab 2023 ökologischer und nachhaltiger werden und dazu bis 2027 einen entsprechenden Förderrahmen aufspannen. So gibt es ab dem Jahr 2023 mit den „Öko-Regelungen ein neues Instrument bei den Direktzahlungen, Landwirtinnen und Landwirte zu belohnen, die freiwillig zusätzliche Leistungen für die Umwelt erbringen. Mit den Öko-Regelungen (Eco-Schemes) wird die Umweltleistung der Direktzahlungen weiter erhöht. Darunter sind bereits bekannte Regelungen wie z. B. die zusätzliche Stilllegung von Ackerland oder die Extensivierung von Dauergrünland zugunsten der Biodiversität. Aber auch ganz neue Angebote wie die Bewirtschaftung von Agroforstsystemen können künftig gefördert werden (BMEL 2022). Die EU-Agrarpolitik wird auf der Basis eines Strategieplans umgesetzt, der ausgehend von gemeinsamen Zielen spezifisch auf die ermittelten Bedarfe eingeht und die Instrumente der EU-Agrarpolitik maßgeschneidert und regional angepasst zum Einsatz bringt. Der GAP-Strategieplan begleitet den Wandel in der nationalen Umsetzung der GAP, der Umwelt-, Natur- und Klimaschutz wie auch der Landwirtschaft und den ländlichen Räumen zugutekommen soll. Mehr als die Hälfte der EU-Mittel werden inzwischen nach dem GAP-Strategieplan für Umwelt- und Klimaziele eingesetzt. Damit leistet er im Zusammenhang mit dem „Green Deal“ der EU wichtige Beiträge zur Biodiversitätsstrategie und zur „Farm to Fork“-Strategie (BMEL 2022). Spätestens ab 2028 sollte es nach der ZKL „zweckgebundene bundesweite Fonds z. B. für die Finanzierung (a) der Erschwernisausgleiche und weiterer spezifischer

⁷ z.B: Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“, Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft, Bundesprogramm für Nutztierhaltung und Stallumbauten, Bundesprogramm zur Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau.

Maßnahmen in Natura-2000-Gebieten zum Erhalt und zur Aufwertung der bestehenden Flächen oder (b) von treibhausgasmindernder Landwirtschaft auf organischen Böden geben“ (ZKL 2021, S. 108). Der Wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL empfiehlt, die Gestaltungsmöglichkeiten zur nationalen Umsetzung der GAP zu nutzen, um diese „schrittweise aus ihrer Einkommensorientierung zu lösen und konsequent auf Gemeinwohlziele, insbesondere auf Umwelt-, Klimaschutz und Tierwohl auszurichten“ (WBAE 2019, S. IV). Der WBGU sieht es darüberhinausgehend als zielführend an, die GAP in eine Gemeinsame Ökosystempolitik zu überführen, die neben einer Ökologisierung der Landwirtschaft auch den Auf- und Ausbau von Schutzgebietssystemen, Renaturierungen sowie landbasierte Ansätze zur Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre fördert und Multifunktionalität von Flächen unterstützt (WBGU 2020, S. 278). Inhaltlich wird es weitreichende Änderungen an der Gemeinsamen Agrarpolitik brauchen, um die Ziele zu erfüllen, die sich die EU im Rahmen des Green Deal in Sachen Klima- und Artenschutz gesetzt hat. Zentral dabei ist, ob die GAP-Gelder deutlich zielgerichteter als heute eingesetzt werden, um die Erbringung öffentlicher Leistungen, insbesondere Ökosystemdienstleistungen, seitens der Landwirte zu honorieren (Dahm 2022). Wie die GAP nach 2027 aussehen wird, wird bereits diskutiert. Im Koalitionsvertrag strebt die regierende Ampel-Koalition an, bis Mitte der Legislaturperiode ein Konzept vorzulegen, wie die Direktzahlungen an Landwirte, in die bisher ein großer Teil der GAP-Fördermittel fließt, durch „die Honorierung von Klima- und Umweltleistungen angemessen ersetzt werden können“ (zitiert nach Dahm 2022).

Gesellschaftliche Debatten zum Wandel des Agrar- und Ernährungssystems

Gesellschaftliche Debatten spielen in der Transformation der Agrarwirtschaft eine zunehmende Rolle: Angesichts der globalen Dynamiken findet ein Wertewandel innerhalb der Gesellschaft statt, bei dem Aspekte wie Generationengerechtigkeit, Ressourcenschonung, Tierschutz und Tierwohl, Klimaschutz und Biodiversität an Bedeutung gewinnen. Damit verschieben sich auch die Anforderungen an das Landwirtschafts- und Ernährungssystem (ZKL 2021, S. 6), verbunden mit entsprechenden Erwartungen bzw. einem Transformationsdruck. Dieser Anspruch äußert sich in einer ebenso komplexen wie intensiven gesellschaftlichen Debatte, die (auf allen gesellschaftlichen Ebenen), von einem breiten Spektrum teils gegensätzlicher Wahrnehmungen und Vorstellungen gekennzeichnet ist. Die zentralen Konfliktlinien verlaufen zwischen den Präferenzen für großbetrieblich industriellen vs. kleinbetrieblich bäuerlichen Strukturen, ökologischen vs. konventionellen und intensiven vs. extensiven Praktiken bzw. Landnutzungen, wobei sich hierbei eine Kluft zwischen Vorstellung und Wirklichkeit aufgetan hat: das Bild der Gesellschaft von der Landwirtschaft in Deutschland ist von einer „Natürlichkeitspräferenz“ (ZKL 2021, S. 22), dem Wunsch nach vielfältigen, ökologischen, „bäuerlichen“ Strukturen, aber z.T. auch idealisierten Vorstellungen einer „Bauernidylle“ geprägt, die auch durch die Darstellung in Marketing und öffentlichen Medien gespiegelt und verstärkt wird (ZKL 2021, S. 23). Demgegenüber wird eine mit Technologisierung, Intensivierung, Spezialisierung als „Agrarindustrie“ bezeichnete Landwirtschaft kritisch gesehen oder ganz abgelehnt (ML Niedersachsen 2022, S. 4). Diese unterschiedlichen, sich teils ausschließenden Vorstellungen der Landwirtschaft werden in zunehmend fragmentierten Öffentlichkeiten, u.a. über Social Media, tendenziell polarisiert debattiert (ZKL 2021, S. 22). Die gesellschaftliche Auseinandersetzung spiegelt sich vor allem im Zusammenschluss von Aktionsbündnissen und Netzwerken wie „Bauernhöfe statt Agrarfabriken“ und „Meine Landwirtschaft“ wider (ZKL 2021, S. 10). Ein breites Spektrum an gesellschaftlichen Akteuren, von landwirtschaftlichen Organisationen über Tier-, Umwelt- und Entwicklungsverbänden bis hin zu Verbraucherorganisationen, demonstriert für eine zügige, soziale und nachhaltige Agrar- und Ernährungswende. Die Proteste richten sich hierbei

nicht grundsätzlich gegen die konventionelle, sondern v.a. gegen die intensive Landwirtschaft („Agrarindustrie“), was die Vielschichtigkeit der Sichtweisen noch einmal verdeutlicht. Mit Blick auf die vergangenen 15 Jahre zeichnet sich eine tendenzielle Intensivierung dieser zivilgesellschaftlichen Bewegungen ab: Zum einen durch die Fortsetzung der Proteste in kleineren regional aktiven Bewegungen, z.B. in Erfurt (2019) und Dresden (2018). Zum anderen auch in den von Bauernverbänden seit 2019 initiierten Traktordemos, die für eine sozial verträgliche Landwirtschaftspolitik demonstrieren, zuletzt im Jahr 2022 (ZKL 2021, S. 10). Auch das zusätzliche und zunehmende Engagement von Umwelt- und Klimaschutzbewegungen, wie Fridays For Future, intensiviert mittels konkreter Forderungen zur Transformation der Landwirtschaft die zivilgesellschaftliche Debatte und den Druck auf die Agrarpolitik. Vor dem Hintergrund der skizzierten Polarisierung der gesellschaftlichen Debatten sind auch andere Entwicklungstendenzen zu beobachten: Eine wichtige Entwicklung ist der Ausbau von Dialogformaten wie Kommissionen oder Runden Tischen (z.B. die Zukunftskommission, Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung), die Diskussionsräume auf sachlicher, verständigungs-orientierter Ebene schaffen, den Interessenausgleich fördern und eine begleitende Politikberatung ermöglichen (ZKL 2021, S. 66). Damit einher geht auch die Stärkung kooperativer Ansätze bei der Umsetzung von Maßnahmen sowie der Aufbau regionaler Partnerschaften, wie die vom BMEL initiierten Experimentierfelder und das Modellprojekt „Kooperativer Naturschutz“, um nur einige Beispiele zu nennen. Eine weitere wesentliche Entwicklung besteht darin, die Transformation der Landwirtschaft als gesamtgesellschaftliche Aufgabe zu verstehen (ZKL 2021, S. 22). Hierbei spielen Diskussionen um einen nationalen Gesellschaftsvertrag eine Rolle (KLU 2019, S. 14) oder der bereits formulierte Gesellschaftsvertrag Landwirtschaft. Ernährung. Zukunft vom Land Niedersachsen (ML Niedersachsen 2022). Zudem ist der Ausbau von Bildungsangeboten, sowohl schulischer als auch landwirtschaftlicher Aus- und Weiterbildung, von Bedeutung. Initiativen wie „Landwirtschaft macht Schule“ und der Ausbau der landwirtschaftlichen Ausbildungs-Lehrinhalte zum Thema Kommunikation tragen dazu bei, eine Grundlage für den zukünftigen Austausch zu schaffen. Zuletzt ist auch der weitere Ausbau der Transparenz von Nachhaltigkeitszielen und -fortschritten auf betrieblicher, regionaler und bundesweiter Ebene durch Monitoring ein weiterer wichtiger Beitrag zur gesellschaftlichen Debatte, wie z.B. das Monitoring der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (ZKL 2021, S. 66). Dabei ist auch eine unabhängige begleitende Implementierungs- und Evaluationsforschung von Bedeutung, um eine effektive Umsetzung und Weiterentwicklung der Maßnahmen zu gewährleisten (ZKL 2021, S. 66). Diese Entwicklungen tragen zu einer Verständigung zwischen den verschiedenen Akteuren bei und fördern den Wandel von Agrar- und Ernährungssystemen als gesamtgesellschaftliche Aufgabe.

Digitalisierung und Automatisierung: Treiber und Enabler zur Erschließung von Effizienzpotenzialen

Precision Farming, Smart Farming, Digital Farming und Landwirtschaft 4.0 fungieren als integrative Leitkonzepte für Forschung und Entwicklung und sind ein Entwicklungsschwerpunkt vieler Hersteller von Agrarmaschinen und -techniken. Gleichzeitig liefern die Leitbilder eine Orientierung für darauf ausgerichtete, innovationspolitische Aktivitäten, die ihren Ausdruck u.a. in den Experimentierfeldern zur Digitalisierung der Landwirtschaft finden (BMEL 2019). Ziel ist, „nicht nur einzelne Prozessabschnitte, sondern gesamte Wertschöpfungsketten zu optimieren, im Sinne einer möglichst effizienten, aber auch ressourcenschonenden Agrar- und Lebensmittelproduktion“ (Kehl et al. 2021, S. 5). Die Digitalisierung wird als Lösungsansatz angesehen, um den vielfältigen Herausforderungen an die Landwirtschaft (u.a. mit Blick auf Wettbewerb und Preisdruck auf internationalen Märkten, Arbeitskräftemangel, natürliche Optimierungsgrenzen, Nitratbelastungen) erfolgreich zu begegnen, indem

beispielsweise die Arbeitsbedingungen in der Landwirtschaft verbessert, der Arbeitskräftebedarf in unattraktiven Arbeitsbereichen verringert, Produktivitätssteigerungen erzielt und Umweltentlastungspotentiale erschlossen werden können. Hinsichtlich der Umwelteffekte wird erwartet, dass sich mit der Weiterentwicklung und Verbreitung von digitalen Applikationen in der Landwirtschaft neue Potenziale zum Umwelt-, Ressourcen- und Klimaschutz ergeben, die den ökologischen Fußabdruck der Landwirtschaft deutlich reduzieren können (Kehl et al. 2021; Walter et al. 2017). Gotsch et al. (2020) kommen allerdings zu der Einschätzung, dass Digital Farming „unter den jetzigen Rahmenbedingungen eher eine Fortsetzung und Optimierung bestehender landwirtschaftlicher Prozesse“ fördert. „Einen Agrarstrukturwandel wird die Digitalisierung der Landwirtschaft alleine, aus heutiger Sicht, weder auslösen, noch wesentlich beschleunigen“ (Gotsch et al. 2020, S. 33). Entscheidend sind vielmehr politische Interventionen, die die Digitalisierung und Automatisierung der Agrarwirtschaft in einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Agrarstrukturwandel einbetten.

Agrarchemische Fortschritte, Pflanzenzüchtung und Saatgut

Agrarchemische Verbesserungen, Pflanzenzüchtung und Saatgut-Optimierung sind Gegenstand umfangreicher Forschungsaktivitäten und ein Entwicklungsschwerpunkt der Agrarindustrie. Potenzial im Einsatz agrarchemischer Mittel für eine nachhaltigere landwirtschaftliche Produktion werden vor allem im Einsatz von Urease- und Nitrifikationshemmern, Biostimulanzien sowie Low-Risk-Pflanzenschutzmitteln gesehen (ZKL 2021). In der Züchtung liegen die Ziele in optimierten und neuen Pflanzensorten, die verbesserte Ertrags-, Resistenz- und Toleranzeigenschaften aufweisen (BMEL 2021). Neue Züchtungen sollen helfen, den vielfältigen Herausforderungen im landwirtschaftlichen Pflanzenbau zu begegnen und die Landwirtschaft sowohl produktiver als auch resilienter machen. Zentral für eine resiliente und produktive Landwirtschaft sind hierbei Kulturpflanzenarten und Sorten, die standort- und klimaangepasst sowie ertragreich und robust sind. Saatgut soll so optimiert werden, dass Pflanzen z. B. Dürrestress besser überstehen, an reduzierte Düngemengen adaptiert sind und insgesamt die Flächenproduktivität steigern (ZKL 2021, S. 112-113). Studienergebnisse zum Weizenanbau verweisen auf die Leistungsfähigkeit neuer Sorten, die nicht nur unter intensiven, sondern auch unter extensiven Anbaubedingungen mit reduzierten Dünger- und Pestizidmengen die besten Ertragsergebnisse liefern (BMBF 2019 unter Verweis auf Voss-Fels et al. 2019). Die Ackerbaustrategie 2035 des BMEL (2021) sieht neben der Weiterentwicklung etablierter Züchtungstechniken, auch Potentiale für „neue molekularbiologische Techniken“ (NMT). Während konventionelle Züchtungen neuer Sorten durchschnittlich zehn bis 20 Jahre dauern (ZKL 2021, S. 113), wird mit NMT wie CRISPR/Cas die Chance verknüpft, schnellere Züchtungserfolge zu erzielen (BMEL 2021). Allerdings sind dafür erst noch die Voraussetzungen zu schaffen. Neue Zuchtziele sind wegen des langen Zeithorizonts mit dem Risiko verbunden, nicht genau zu wissen, was die zukünftigen Anforderungen tatsächlich sein werden. Angesichts der Unsicherheit müssen sie verschiedene Zukunftsszenarien abdecken, um den tatsächlichen Anforderungen des Agrarmarktes gerecht werden zu können (ZKL 2021, S. 113).

Wandel von Konsum und Ernährung

In Deutschland hat sich ein Konsumverhalten von Lebensmitteln entwickelt, das durch ein hohes Umwelt- und Qualitätsbewusstsein, aber auch durch Anforderungen an Convenience, Gesundheit und breite Verfügbarkeit gekennzeichnet ist. Die Zukunftskommission Landwirtschaft spricht von „Kulinarik des 21. Jahrhunderts, die als ‚verantwortungsvoller Genuss‘ umschrieben werden kann“ (ZKL 2021, S. 36). So steigt der Kauf von Bio-Lebensmitteln in Deutschland nach einem coronabedingten Rückgang im Jahr 2019 wieder an. Die Zahl der Verbraucher, die häufig oder gelegentlich Bio-Lebensmittel

kaufen, liegt im Jahr 2022 bei 82 Prozent (gegenüber 67 Prozent im Jahr 2016; siehe Öko-Barometer 2022 (BMEL 2023b)). Das hohe Umwelt- und Verantwortungsbewusstsein zeigt sich auch in einer Befragung des vzbv. Der Untersuchung zufolge sind für über 90 Prozent der Verbraucher beim Kauf von Lebensmitteln folgende Aspekte besonders wichtig: Einhaltung von Tierschutzstandards, gute Arbeitsbedingungen für Beschäftigte der Lebensmittelproduktion, Einhaltung hoher Umweltstandards und Lebensmittel aus der Region. Niedrige Preise sind dagegen zum Zeitpunkt der Befragung im November 2020 nur für 40 Prozent der Verbraucher wichtig (vzbv 2021). Die Umwelt- und Nachhaltigkeitsprobleme in der Landwirtschaft und der Nahrungsmittelherstellung sind den Verbrauchern bewusst und sie sind bereit, hier einen Beitrag zu leisten, indem sie ihr Ernährungsverhalten ändern. Dazu gehört, dass der Konsum von Fleisch reduziert wird und dass Preise auch die Folgekosten berücksichtigen, die etwa durch umwelt- oder gesundheitsschädliche landwirtschaftliche Produktionsmethoden entstehen, auch wenn die Lebensmittel dadurch teuer werden. Zwei Drittel der Verbraucher erklären sich laut einer Befragung des europäischen Verbraucherverbands BEUC bereit, ihre Ernährung zu ändern, um eine nachhaltige und umweltverträgliche Nahrungsmittelproduktion zu fördern (BEUC 2020). Ein wesentliches Problem im Ernährungssektor, das zu Klimabelastung und Biodiversitätsverlust beiträgt, sind die tierproduktlastigen Lebensstile in den Industrieländern. Der WBGU weist in seinem Gutachten darauf hin, dass in Europa bereits ein Wertewandel hin zu einem verringerten Fleischkonsum zu verzeichnen ist und sieht darin ein Potenzial zur Veränderung von Ernährungsstilen (WBGU 2020, S. 6). Betrachtet man das konkrete Ernährungsverhalten, lässt sich feststellen, dass der Fleischkonsum leicht zurückgegangen ist (von 60,5 kg pro Kopf im Jahr 2016 auf 55 kg pro Kopf in 2021) (BLE 2022). Gleichzeitig steigt die Zahl derjenigen, die sich vegetarisch oder vegan ernähren (Forsa 2022). Vor allem bei jüngeren Menschen liegt eine fleischlose oder vegane Ernährung im Trend. Als wichtigen Baustein einer Transformation des Agrar- und Ernährungssystems erwarten zentrale Akteure wie KLU (2019), ZKL (2021), WBAE (2020), Stiftung Klimaneutralität (Grethe et al. 2021) eine Reduktion des Konsums von tierischen Produkten. Trotz der hohen Werte in Bezug auf Umweltbewusstsein und nachhaltigen Konsum schlägt sich dies in der tatsächlichen Kaufentscheidung nur teilweise nieder (Attitude-Behavior-Gap). Für eine Transformation des Ernährungssystems reicht es daher nicht aus, auf die Verhaltensabsichten der Verbraucher zu setzen. Um die Lücke zwischen Einstellungen und tatsächlichem Verhalten zu überwinden, müssen flankierende Rahmenbedingungen für das Kaufverhalten geschaffen werden. Barrieren, die einem nachhaltigen Ernährungsverhalten entgegenstehen, müssen näher untersucht und Strategien zu deren Abbau/ Überwindung entwickelt werden. Aktuell wird außerdem das Einkaufsverhalten durch die hohe Inflation und die Unsicherheit bezüglich der steigenden Energiekosten infolge des Russland-Ukraine-Kriegs stark beeinflusst. Infolge der Preissteigerungen achten die Verbraucher beim Kauf von Lebensmitteln derzeit verstärkt auf den Preis (DIL 2022).

Diversifizierung des Marktes

Die Vermarktungs- und Verarbeitungsstrukturen im Bereich Landwirtschaft und Lebensmittelsystem sind sehr vielfältig. Es besteht eine Vielzahl an Absatzkanälen für landwirtschaftliche Produkte. Sie reichen von Direktvermarktung und regionalen Vermarktungswegen über den Lebensmittelgroß- und Einzelhandel, weiterverarbeitende Unternehmen und Lebensmittelhandwerk sowie Gastronomie bis zum Export der Produkte in andere europäische oder außereuropäische Länder. Zunehmend entstehen auch neue Erzeuger-Verbraucher-Gemeinschaften wie die Solidarische Landwirtschaft und andere genossenschaftliche Modelle. Auf der Produktseite findet sich ein diversifiziertes Angebot. Der Verbraucher findet im Handel sowohl regionale und ökologische Lebensmittel vor, als auch preisgünstige Produkte, die mit geringen ökologischen Standards produziert wurden. Der Markt für Produkte aus

ökologischer Landwirtschaft ist in den letzten Jahren stetig gewachsen und liegt derzeit bei knapp 10 Prozent (WBGU 2020, S. 247 nach UBA 2019).

Verschiedene Expertengruppen, wie die Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU) und die Zukunftskommission Landwirtschaft (ZKL), empfehlen, die Diversifizierung des Marktes zu erhalten und in Zukunft weiter zu fördern. Ein Ansatz, der für eine nachhaltige Transformation der Landwirtschaft eine wichtige Rolle spielt, ist der weitere Ausbau regionaler Vermarktungswege. So empfiehlt die Zukunftskommission Landwirtschaft in ihrem Bericht, die bestehenden Ansätze der regionalen Vermarktung aufzugreifen, zu stärken und auszubauen bei gleichzeitiger Offenheit für internationale Vermarktungsmöglichkeiten (ZKL 2021). Die KLU hält in ihrem Positionspapier fest: „Für die Landwirtschaft ist es vernünftig, Marketingprogramme zu entwickeln, neue Vermarktungswege zu finden, das Kundenverständnis zu verbessern (der Endkunde ist nicht der Einzelhandel), in den Aufbau von Märkten und regionalen Kreisläufen zu investieren und direkte Verbindungen zwischen Erzeugerbetrieben und Verbraucherinnen und Verbrauchern aufzubauen“ (KLU 2019, S. 28). Es gelte, den Wunsch und die steigende Wertschätzung der Verbraucher für nachhaltige und regionale Produkte zu nutzen und als Option für zusätzliche Wertschöpfung zu begreifen. Als wichtiger Ansatz hierfür wird die Entwicklung und Verbreitung von regionalen Dachmarken gesehen. Des Weiteren wird gefordert, faire, nachhaltige und gesunde Produkte zu unterstützen. So empfiehlt die ZKL der Politik, finanzielle Instrumente einzusetzen, beispielsweise eine Abgabe auf Lebensmittel tierischen Ursprungs (z.B. Milchprodukte, Fleisch oder Eier), wie sie das Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung u. a. vorgeschlagen hat (Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020). Um pflanzliche Nahrungsmittel gegenüber tierischen Erzeugnissen zu stärken, wird des Weiteren eine Reduzierung des Mehrwertsteuersatzes für Obst, Gemüse und Hülsenfrüchte vorgeschlagen (ZKL 2021). Die KLU (2019) sowie der WBAE (2020) fordern die Abschaffung der Mehrwertsteuerreduzierung bei Fleisch und anderen tierischen Produkten, um Erzeugerbetriebe und Verbraucher zum verantwortungsvollen und sparsamen Konsum zu bewegen. Des Weiteren müsse eine wirksame Labelpolitik entwickelt werden, um die Transparenz in Bezug auf Produktqualität, Produktherkunft, Fairness zu Erzeugern, Ökologie und Tierwohl zu verbessern (WBAE 2020). Der Ökolandbau und damit das Angebot an Öko-Produkten soll in den kommenden Jahren stark ausgebaut werden. Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, den Anteil des Ökolandbaus von derzeit 10 Prozent auf 30 Prozent der Erzeugerflächen auszubauen (BMEL 2023c). Vor dem Hintergrund der genannten Zielsetzungen und Diskussionen ist es wahrscheinlich, dass die Diversifizierung des Marktes zukünftig zu einem Treiber der Transformation wird.

Ein Bereich, der im Kontext der Transformation eine wichtige Rolle spielt, ist der Bereich der vegetarischen und veganen Ersatzprodukte. Der Markt für diese Produkte ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Im Vordergrund stehen dabei Alternativen zu Fleisch- und Wurstwaren sowie zu Milch und Milchprodukten. Zwischen 2013 und 2018 hat sich die Zahl veganer Produkteinführungen mehr als verdreifacht. Waren 2013 noch vier Prozent aller neuen Lebensmittel in Deutschland als vegan ausgezeichnet, so waren es 2018 rund 13 Prozent (Handelsblatt 2019). Zu den Anbietern zählen neben Herstellern aus dem Bereich Bioprodukte auch klassische Hersteller von Wurstwaren, wie beispielsweise Rügenwalder Mühle. Im Jahr 2021 verkaufte Rügenwalder Mühle nach eigenen Angaben erstmalig auf das Gesamtjahr gesehen mehr vegane und vegetarische Produkte als klassische Fleisch- und Wurstprodukte (2022).

Auf der anderen Seite besteht derzeit – betrachtet man den Gesamtumsatz – eine starke Konzentration im Lebensmitteleinzelhandel. Fünf Handelskonzerne dominieren in Deutschland den Markt und

kommen gemeinsam auf über 70 Prozent der Umsätze im Lebensmitteleinzelhandel (LP 2019 nach KLU 2019 S. 28).

Visionen von Innovateuren und Start-ups

Visionen, Leitbilder, Szenarien oder Handlungsgrundsätze von Innovateuren und Start-ups stimulieren Akteure in der Wertschöpfungskette zu Innovationen und beeinflussen die Ausrichtung des Innovationsgeschehens maßgeblich (Fichter 2005, S. 133). In der Agrar- und Landwirtschaft ist der Anteil der grünen Start-ups mit 66 Prozent im Vergleich zu anderen Branchen hoch. Als „grün“ werden Start-ups hierbei bezeichnet, wenn sie sich (in Eigeneinschätzung) der Green Economy zuordnen und das Ziel einer positiven gesellschaftlichen und ökologischen Wirkung in ihrer Unternehmensstrategie (und den Key-Performance-Indikatoren) verfolgen. Grüne Start-ups schätzen sich als innovativer ein als ihre nicht-grüne Vergleichsgruppe und ihnen wird ein höherer Innovationsdruck und ein größerer Transformationsanspruch zugeschrieben (Fichter und Olteanu 2022). Innovative Ideen und Praktiken entstehen in unterschiedlichsten Bereichen der Landwirtschaft – von regenerativen Bewirtschaftungsformen, über künstliche Biosysteme bis hin zu KI-Anwendungen und neuen Vermarktungswegen. Innovateure und Start-ups bereiten so einen Resonanzboden für Innovationsfelder. Ein solches Feld sind *autonome Prozesse und smarte Landbewirtschaftung*. Vorangetrieben durch einen Mangel an (Saison-)Arbeitskräften (und steigende Lohnkosten) werden automatisierte und autonome Lösungen für (teils körperlich schwere) Handarbeit entwickelt. Im Mittelpunkt steht hier die Robotik. Pioniere beim Einsatz von Feldrobotern sind auf Sonderkulturen spezialisierte Betriebe und ökologisch wirtschaftende Betriebe (Henseling et al. 2022). Kleine Roboter werden hauptsächlich für die Anwendungen der mechanischen Unkrautbekämpfung (bzw. mechanisch-chemisch) sowie für die Ernte von Obst und Gemüse (z. B. Erdbeeren, Paprika, Tomaten, Äpfel etc.) entwickelt. Entwicklungen der smarten Landwirtschaft sollen Prozesse mithilfe des Internet of Things (IoT) und KI optimieren. Zukunftsbild ist ein Netzwerk aus Sensoren und Prozessen, das Daten generiert und zur Prozess- und Entscheidungsoptimierung nutzt, so etwa zur Überwachung des Tierbestandes, für smarte Bewässerung oder zur Ertragsüberwachung und Optimierung der Erntezeitpunkte. Start-ups und Bewegungen der regenerativen Landwirtschaft (Carbon Farming) verfolgen das Ziel einer nachhaltigen und klimaresilienten Landbewirtschaftung, die Bodengesundheit und Humusaufbau in den Mittelpunkt stellt. Angewandte Methoden reichen von Zwischenfruchtanbau und Untersaaten, über Agroforstsysteme bis hin zu silvopastoralen Systemen (Kombination von Gehölzen mit Weideflächen und Tierhaltung) und Rotationsweiden (Klim o. J.). Auf Grundlage des Potenzials von Böden durch verbesserte Bewirtschaftung mehr Kohlenstoff zu binden und zum Klimaschutz beizutragen, werden Geschäftsmodelle zur Vermarktung von Klimaschutzleistungen entwickelt (Thünen o.J.b, o.J.a). Auch im Bereich von Moorwiedervernässungen zur Reduktion der CO₂-Emissionen aus entwässerten Mooren wird die Weiterentwicklung von Instrumenten zur Monetarisierung von Klimaschutzmaßnahmen (z. B. Weiterentwicklung der MoorFutures: auf die Wiedervernässung von Mooren ausgelegte Kohlenstoffzertifikate) forciert (Hohlbein und Couwenberg 2019). Ein weiteres Visionsfeld zielt auf eine *Urbane Landwirtschaft*. Innovateure des Urban Farming prägen Konzepte zur Produktion von Lebensmitteln im urbanen Raum, um Nahrungsmittel möglichst nah am Ort der Nachfrage und unabhängig von Ackerland zu produzieren. Im Indoor Farming werden Pflanzen komplett ohne Sonnenlicht (stattdessen z. B. mit LED-Licht) angebaut (BZL 2023). Entwickelt werden modulare Systeme, in denen Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen, ggf. ohne Erde (Hydroponik) und unter optimierter Ausnutzung der Raumverhältnisse (Vertical Farming) produziert werden können. Prozesse wie beispielsweise in Systemen der Aquaponik (Kombination von Fisch- und Pflanzenzucht) orientieren sich am Kreislaufgedanken. Zahlreiche Start-ups beschäftigen sich

außerdem mit alternativen Proteinquellen wie Insekten, Algen, Pilzen und Wasserlinsen oder arbeiten an Lösungen zur Herstellung von In-Vitro-Fleisch oder -Fisch. Tools und Modelle für Online-Vermarktung, digitales Produktmanagement sowie dezentrale Nahversorgung verfolgen das Ziel, den gängigen Geschäftsmodellen Lösungen für die Direktvermarktung entgegenzustellen und Landwirten Zugänge zu weiteren Geschäftsfeldern zu ermöglichen. Auch die Kombination von Nahrungsmittelproduktion (insbesondere gartenbauliche Anwendungen) und Stromerzeugung mittels Photovoltaik auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (Agri-PV) wird erforscht (u. a. von Fraunhofer ISE) und als Chance zur Entschärfung von Flächenkonkurrenzen, zur Einkommensdiversifizierung und ggf. zur Senkung des landwirtschaftlichen Wasserbedarfs gesehen (Fraunhofer ISE 2022).

4 Transformationsdiskurse über den Wandel des Agrar- und Ernährungssystems

4.1 Transformation als eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe

Die Debatten über den Wandel des Agrar- und Ernährungssystems sind vielfältig und kontrovers. Mittlerweile schält sich aber ein Konsens dahingehend heraus, dass die Transformation des Agrar- und Ernährungssystems eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe ist. Und, dass diese nicht entlang von einfachen Gegenüberstellungen bewältigt werden kann, beispielsweise industrielle großbetriebliche versus kleinbäuerliche Strukturen, ökologische versus konventionelle, intensive versus extensivere Produktionssysteme oder regionale oder globale Wettbewerbsorientierung. Wie ein Weg dazu aussehen könnte, beschreibt der Bericht der Zukunftskommission Landwirtschaft der Bundesregierung (ZKL 2021). Er leistet einen wichtigen Beitrag zur Formulierung eines konsensfähigen Transformationspfades für die Landwirtschaft in Deutschland, der vor allem von allen Beteiligten aus den Agrar- und Umweltverbänden als Meilenstein der Verständigung bewertet wird. Das Ziel der Transformation, für die der Bericht der ZKL ein Rahmen und politische Handlungsempfehlungen beschreibt, ist „ein ökonomisch leistungsfähiges Agrar- und Ernährungssystem, das in seinen Auswirkungen auf Klima, Natur und Tierwohl im Einklang mit den Prinzipien der nachhaltigen Ressourcennutzung steht, sozial verträglich ist, die Menschen bei einer gesunden Ernährung unterstützt und daher gesellschaftlich anerkannt ist“ (ZKL 2021, S. 115). Handlungsfelder zur nachhaltigen Transformation der Landwirtschaft sind (ZKL 2021):

Soziale Handlungsfelder

Betriebsstrukturen und Wertschöpfung landwirtschaftlicher Betriebe: Die Vielfalt der landwirtschaftlichen Betriebe – im Hinblick auf die Betriebsgrößen, die Produktionsweisen und die im Betrieb produzierten Agrarprodukte – soll weiterentwickelt werden. Hierzu empfiehlt die ZKL, regionale Produktkreisläufe und Absatzwege zu stärken (Direkt- und Regionalmarketing, neue Erzeuger-Verbraucher-Genossenschaften) bei gleichzeitiger Offenheit für internationale Vermarktungsmöglichkeiten. Die Betriebe sollen bei der Aufnahme von neuen Geschäftsfeldern (erneuerbare Energien, Agrartourismus, Bereitstellung von Biodiversitätsflächen mit entsprechender Vergütung) gefördert werden.

Arbeitskräftesituation: Zur Verbesserung der Lage der Beschäftigten und damit auch der Attraktivität der Arbeitsplätze gibt die ZKL folgende Empfehlungen: attraktive, tarifvertraglich abgesicherte Löhne, Verbesserung der Qualität der Arbeitsplätze, Möglichkeiten für Weiterbildung, bessere Absicherung der Saisonarbeitskräfte.

Generations- und Diversitätsfragen: Etwa die Hälfte der Betriebsleiter in der Landwirtschaft wird in den nächsten zehn Jahren die reguläre Altersgrenze erreichen. Wichtig ist es, für möglichst viele Betriebe eine Zukunftsperspektive zu entwickeln. Die Hofübergabe sollte durch staatlich finanzierte Beratungsangebote, Coaching sowie eine pauschale „Junglandwirteförderung“ in den ersten Jahren unterstützt werden.

Agrarsoziale Sicherung: Mit der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG) besteht ein eigenes Sozialversicherungssystem für diese Berufe. Die ZKL empfiehlt, dieses eigenständige Agrarsozialversicherungssystem zu erhalten, weiterzuentwickeln und staatlich zu fördern.

Ländliche Räume: Um die Förderung ländlicher Räume zu verbessern, sollte eine bessere Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen den verschiedenen Ressorts sowie zwischen den verschiedenen Ebenen (Landkreise, Länder, Bund, EU) erfolgen. Dies soll auch dazu dienen, leistungsfähige Infrastrukturen und kommunale Strukturen zu erhalten bzw. weiterzuentwickeln, die den sozialen Zusammenhalt und das Engagement von Einzelnen und Gruppen fördern.

Gesellschaftliche Wahrnehmung und Wertschätzung von Lebensmitteln und Landwirtschaft: Bei der Großen Transformation muss die Landwirtschaft durch politische Rahmensetzungen sowie durch öffentliche Mittel unterstützt werden. Zur Förderung der gesellschaftlichen Wahrnehmung und Wertschätzung sind Ansätze notwendig, die auf einen Interessenausgleich der verschiedenen Stakeholder zielen (wie in der ZKL geschehen).

Ernährungsstile und Verbraucherverhalten: Eine Veränderung des Verbraucherverhaltens ist notwendig. Von der ZKL wird eine abwechslungsreiche, pflanzlich orientierte Ernährung mit einem hohen Anteil an Obst und Gemüse, Hülsenfrüchten sowie ballaststoffreichen Produkten empfohlen. Der Konsum von Fleisch und anderen tierischen Produkten sollte reduziert werden. Die Forschung zu und Vermarktung von Ersatzprodukten für tierische Lebensmittel sollte gefördert werden. Nachhaltige Ernährung soll durch finanzielle Anreize gefördert werden, z. B. eine Abgabe auf Zucker, Salz oder Fett und ein ermäßigter Mehrwertsteuersatz für Obst, Gemüse und Hülsenfrüchte. Nachhaltige Gemeinschaftsverpflegung in Kantinen, Kita- und Schulmensen etc. sollte einen Schwerpunkt bei den Maßnahmen bilden. Die entsprechende Umstellung der tierhaltenden Betriebe soll durch finanzielle Unterstützung und die Schaffung von rechtlicher Planungssicherheit flankiert werden. Ein zentrales Ziel ist die Reduktion der Lebensmittelverluste über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg bis zum Konsumenten.

Politik und Administration: Interne Widersprüche und ein Mangel an Abgestimmtheit der relevanten Politikfelder sowie Mängel in der Umsetzung müssen abgebaut werden durch eine bessere horizontale sowie vertikale Integration politischer Maßnahmen.

Wissensmanagement und wissenschaftliche Politikberatung: Damit die Landwirte den zukünftigen Anforderungen gerecht werden können, ist ein breites Angebot an gezielter Aus-, Fort- und Weiterbildung sowie an Beratungsleistungen notwendig. Dabei geht es insbesondere um Wissen über die Auswirkungen von Landwirtschaft auf Umwelt, Biodiversität, Klima und Tierwohl sowie über die

Potenziale, ökologische Leistungen ökonomisch nutzbar zu machen. Die Ausbildungsinhalte an den Fachschulen und Hochschulen müssen dahingehend überarbeitet werden, entsprechende Weiterbildungs- und Beratungsangebote sind zu entwickeln.

Ökologische Handlungsfelder und Tierhaltung

Treibhausgaseffizienz, -reduktion und -bindung: Zur Verringerung der Methanemissionen aus der Landwirtschaft ist es notwendig, die Produktion und den Konsum tierischer Lebensmittel zu reduzieren. Insbesondere der Umfang der Rinderbestände (als bedeutende Methanquelle) soll an die Klimaziele angepasst werden. Zur Reduktion der Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft soll die Effizienz des Einsatzes von stickstoffhaltigen Düngemitteln erhöht und Stickstoffüberschüsse reduziert werden. Die ZKL empfiehlt des Weiteren Maßnahmen zur Förderung des Humusaufbaus (z. B. durch humusmehrende Fruchtfolgen), da Humusaufbau auf landwirtschaftlichen Flächen sowohl zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid als auch zur Steigerung der Klimaresilienz der Landwirtschaft beitragen kann. In einer Neuausrichtung der landwirtschaftlichen Moornutzung liegt ein weiterer wichtiger Hebel zum landwirtschaftlichen Klimaschutz. Flächen mit hohem Renaturierungs- und Klimaschutzpotenzial sollen wiedervernässt und mit neuen Produktions- und Einkommensperspektiven verbunden werden (Nutzung und Förderung von Paludikulturen). Für weitere Flächen empfiehlt die ZKL eine Umwandlung von Acker- in Grünland und bei höherer Schutzwürdigkeit eine extensive Bewirtschaftung.

Resilienz der Agrarproduktion gegenüber Folgen des Klimawandels: Zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel sollen folgende Elemente in den Fokus der politischen Förderung und Begleitung rücken: Strukturreiche Agrarlandschaften mit begrünten Flächen zur Steigerung des Wasserspeichervermögens und zur positiven Beeinflussung des Mikro- und Mesoklimas; Böden mit hohem Humusgehalt und guter Bodenstruktur; klima- und standortangepasste, ertragreiche und robuste Sorten und eine große Anzahl an Kulturpflanzenarten.

Boden, Wasser, Luft, Nährstoffkreisläufe: Vor dem Hintergrund eines hohen Flächenverbrauchs in Deutschland empfiehlt die ZKL Maßnahmen zur Revitalisierung von Böden und zum Erhalt der Verfügbarkeit der landwirtschaftlichen Böden (Verminderung von Bodenerosion und Bodenverdichtung; Sicherungen der Wasserverfügbarkeit und Verbesserung der Wasserqualität etc.). Mit einer Vielzahl von Maßnahmen sollen Nährstoffüberschüsse und deren Austrag reduziert werden (teilflächenspezifische Düngung und Smart Farming; Fruchtfolgen und Leguminosen; Zwischenfrüchte zur ganzjährigen Bodenbedeckung; Ackerrandstreifen; Nitrifikationshemmer; Monitoringsysteme etc.).

Agrarökosysteme, Lebensräume und Arten: Der landwirtschaftlich verursachte Biodiversitätsverlust soll beendet und eine Trendumkehr erreicht werden, um die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen zu erhalten und zu steigern. Der Anteil von Dauergrünland sowie von Landschaftsstrukturelementen (Hecken, Feldgehölze etc.), Sonderstrukturen, Kleingewässern und Biotopbrücken soll erhöht werden. Um die Wirksamkeit von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) zu verbessern, sollen diese auf regionaler Ebene organisiert und Maßnahmen nach naturschutzfachlichen Kriterien ausgewählt werden. Neben landwirtschaftlichen Betrieben sollen auch andere am Naturschutz interessierte Gruppen einbezogen werden und in regionalen Kooperationen die AUKM organisieren. Ein weiteres Handlungsfeld ist die Reduktion negativer Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Biodiversität und Umwelt – u. a. durch Aufbau stabiler Produktionssysteme, die mit weniger Pflanzenschutzmitteln auskommen, durch Entwicklung von nicht chemischen Alternativen, durch Entwicklung und Zulassung von Low-Risk-

Pflanzenschutzmitteln, durch Nutzung widerstandsfähiger Sorten und durch präzise Ausbringetechniken.

Tierhaltung: Unter Betrachtung ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Anforderungen an die landwirtschaftliche Nutztierhaltung sowie von Klima- und Umweltschutzaspekten, wird eine Reduktion der Gesamtnutztierbestände sowie eine stärkere Beachtung der Viehdichte in einer Region und daraufhin eine räumliche Entzerrung der Tierhaltung (flächengebundene Tierhaltung; regionales Nährstoffmanagement) als notwendig erachtet. Des Weiteren soll der Tierschutz in der Nutztierhaltung verbessert werden.

Ökonomische Handlungsfelder

Märkte: Marktmechanismen können eine nachhaltig ökologische Transformation befördern, wenn die gesellschaftlichen Leistungen der Landwirtschaft für Klima- und Umweltschutz, Biodiversität und Tierwohl betriebswirtschaftlich honoriert werden, von Verbraucherseite wie auch durch die zielgerichtete Verteilung öffentlicher Mittel, und somit als gesamtgesellschaftliche Lastenteilung verstanden werden.

Vermeidung und Internalisierung externer Effekte der Agrarproduktion: Die Agrarpolitik sollte darauf abzielen, ökonomische Anreize zur Vermeidung negativer externer Effekte (auf Umwelt, Klima, Artenvielfalt etc.) durch landwirtschaftliche Produktion und Ernährungssysteme zu schaffen. Sind externe Effekte nicht zu vermeiden, sollten sie ökonomisch internalisiert werden. Positive Effekte sollten verstärkt und gezielt finanziell gefördert und honoriert werden.

Kräfteverhältnisse im Ernährungssystem und kartellrechtliche Fragen: Im Ernährungssystem sollten Marktbeziehungen so gestaltet sein, dass die Kosten einer ökologischen und sozial verantwortlichen Produktion entlang der gesamten Wertschöpfungskette bis hin zu den Verbraucher:innen wiedergegeben werden. Die ZKL empfiehlt insbesondere den Ausbau von regionalen und lokalen Wertschöpfungspartnerschaften sowie gezielte Förderungen, um strukturelle Wettbewerbsnachteile auszugleichen und die Umsetzung gesellschaftspolitischer Ziele zu unterstützen.

Markttransparenz, Kennzeichnungs- und Zertifizierungssysteme: Die Qualitätsorientierung der Verbraucher:innen gegenüber landwirtschaftlich erzeugten Produkten steigt. Um auch die Zahlungsbereitschaft zu fördern, muss der Wert der Leistung insbesondere der regionalen Land- und Ernährungswirtschaft deutlicher vermittelt werden. Die ZKL empfiehlt daher die Einführung verbindlicher und EU-weiter Kennzeichnungssysteme, die Transparenz und Orientierung u.a. bezüglich Tierwohl, Regionalität und Nährwert bieten, und diese auf allen Ebenen des Lebensmittelsystems durchzusetzen.

Ökologischer Landbau: Durch innovative landwirtschaftliche Praktiken trägt der ökologische Landbau maßgeblich zur Transformation der Agrar- und Ernährungssysteme bei. Innovationen aus dem Bioanbau werden auch in konventionellen Betrieben eingesetzt. Um den ökologischen Landbau weiter auszubauen, müssen politische Fördermaßnahmen die gesamte Wertschöpfungskette, einschließlich der Ernährungswirtschaft, berücksichtigen, um die Absatzperspektiven für landwirtschaftliche Betriebe langfristig zu erhöhen.

Faire Wettbewerbsbedingungen im internationalen Agrarhandel: Eine zentrale Aufgabe der Außenhandelspolitik besteht darin, die Wettbewerbsfähigkeit der Land- und Ernährungswirtschaft im

Kontext erhöhter nationaler und EU-weiter Nachhaltigkeitsstandards sicherzustellen, um zugleich die Abwanderung von Produktionsbereichen zu vermeiden. Dazu gehört auch die Schaffung fairer internationaler Wettbewerbsbedingungen, um negative ökologische und soziale Auswirkungen des internationalen Handels (z. B. beim Import von Futtermitteln) zu verhindern. Um Transparenz hinsichtlich sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit sowie der Herkunft von Produkten für Verbraucher zu gewährleisten, empfiehlt die ZKL die Einführung verbindlicher internationaler Kennzeichnungssysteme.

Öffentliche Förderung - GAP: Die Gestaltung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) ist von zentraler Bedeutung für die Umstellung auf ein nachhaltiges Agrar- und Ernährungssystem. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte die Förderpolitik der GAP konsequent darauf ausgerichtet sein, die gesellschaftlichen Funktionen der Landwirtschaft zu stärken, während gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit für Landwirte gewährleistet wird. Mögliche Maßnahmen hierfür sind die Weiterentwicklung der Zahlungen aus der 1. und 2. Säule der GAP, einschließlich eines angemessenen Abbaus von Konditionalitäten sowie die Erhöhung von Eco-Schemes.

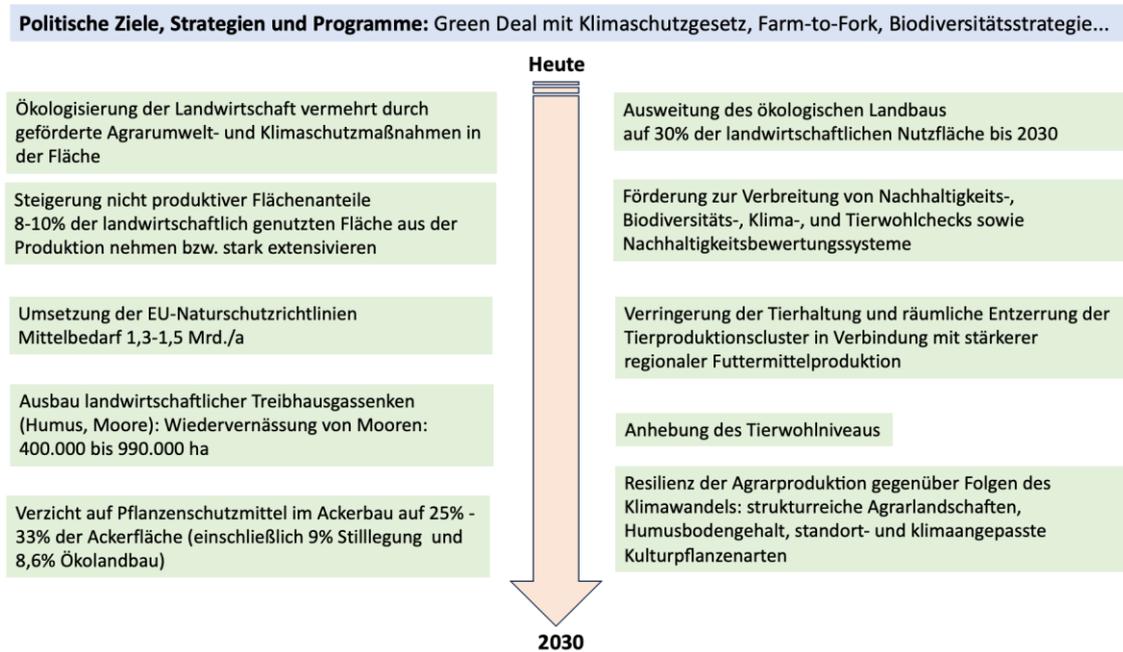
Öffentliche Förderung - Fördermittel auf Bundes- und Landesebene: Um gesellschaftliche Leistungen des Agrarsystems, wie Natur- und Klimaschutz, Tierschutz und Ökosystem-Erhaltung zu fördern, ist ein gezielter, prioritätengerechter Einsatz finanzieller öffentlicher Mittel und Anreize notwendig. Je nach Erfolg der Maßnahmen sollten diese flexibel ausgesteuert werden können. Eine wichtige Rolle für die effiziente und effektive Nutzung der finanziellen Ressourcen spielt dabei auch die Weiterentwicklung des GAK⁸-Rahmenplans.

Technischer Fortschritt: Technologischer Fortschritt und neue wissenschaftliche Erkenntnisse können eine nachhaltige Transformation entscheidend vorantreiben. Vor dem Einsatz neuer Techniken ist eine umfassende Risikoanalyse unerlässlich, insbesondere in Bezug auf ökologische und soziale Auswirkungen. Gleichzeitig bedarf es eines kontinuierlichen Monitorings, um mögliche negative Effekte frühzeitig zu erkennen. Bei der Implementierung neuer Technologien sind zudem umfassende Beratungs- und Fortbildungsangebote von entscheidender Bedeutung, um eine effektive und nachhaltige Nutzung neuer Technologien zu erreichen.

Zusammenfassend illustriert folgende Abbildung zentrale Eckpunkte des Transformationspfades.

⁸ GAK: Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“

Abbildung 4: Transformationspfad bis 2030 nach den Vorstellungen der Zukunftskommission Landwirtschaft



Quelle: ZKL 2021, eigene Darstellung

4.2 Transformationsdiskurse mit unterschiedlichen Entwicklungspfaden

Trotz des erreichten Konsenses der ZKL darf man sich Transformation der Agrarwirtschaft nicht als einen homogenen, linear verlaufenden Entwicklungspfad vorstellen, sondern man muss sich Transformation im Plural vorstellen mit unterschiedlichen Entwicklungspfaden, die darauf abzielen, die Agrarwirtschaft ressourcenschonend, umweltverträglicher, klimaneutral usw. zu machen. Dabei gerät die Agrarwirtschaft ökonomisch und gesellschaftlich immer mehr unter Druck, ökonomisch weil die Ertragsituation schwieriger wird, gesellschaftlich infolge kritischer Haltungen gegenüber der Agrarwirtschaft, was z.B. Tierwohl, Biodiversität und den Einsatz von Pestiziden anbetrifft.

Aus der Auseinandersetzung mit diesen Fragen resultieren vielschichtige Diskurse, die mögliche Transformationspfade der Agrar- und Ernährungswirtschaft markieren. Weil die Zukunft der Agrar- und Ernährungswirtschaft nur im Plural gedacht werden kann, ergibt sich die Notwendigkeit, die Vielschichtigkeit möglicher Dynamiken in Szenarien und erfahrbare Vorstellungsräume (Zukunftsbilder) zu übersetzen, mit deren Hilfe die diversen, mitunter divergierenden Zukünfte differenzierbar, vergleichbar und diskutierbar gemacht werden.

Einem Literaturüberblick zur Transformation der Agrarwirtschaft (einschließlich korrespondierender Sektoren und Felder) zufolge lassen sich vier Transformationsdiskurse unterscheiden. Zum einen lässt sich ein Diskurs um die „**Ökoeffizienz der Agrarwirtschaft**“ identifizieren. Die dominante Logik ist es, mit Effizienzmaßnahmen (Technologien, Pflanzenzucht, optimierten Prozessen, Organisation...) die Produktivität zu steigern, bei gleichzeitigem Umwelt-, Ressourcen- und Klimaschutz. Ein weiterer Diskurs dreht sich um „**neue Bewirtschaftungsformen im Pflanzenbau**“. Er zielt darauf, neue Bewirtschaftungsformen für den Pflanzenbau zu entwickeln und zu etablieren, die ökologische „Qualität“ der agrarwirtschaftlichen Stoffumsätze so zu verändern, dass sie sich in den Naturstoffwechsel wieder besser

einfügen. Weiterhin wird ein Diskurs geführt unter dem Stichwort **„Neue Agrarsysteme ohne Ackerbau und Viehhaltung“** (**“New Food Systems”**). In diesem Diskurs dominiert eine artifizielle, also künstliche, Natur. Künstliche Biosysteme ermöglichen, natürliche Prozesse der Natur nachzuahmen, zu verbessern und zu nutzen. Diskutiert werden übergreifend nicht nur **Innovationen**, der Einstieg in neue Technologien und Praktiken, sondern auch **„Exnovationen“**, **also der Ausstieg aus etablierten Pfaden, insbesondere die Verringerung der Tierhaltung und des Fleischkonsums.**

Ökoeffizienz der Agrarwirtschaft

Ökoeffizienz zielt im Kern auf ein entkoppeltes Wachstum. Durch Produktivitätssteigerungen (bei Stoff- und Energieinput und -output) und verbesserte Auslastung von Kapazitäten soll der Ressourcen- und Senkenverbrauch gemindert werden. Bezogen auf die Landwirtschaft bedeutet dies eine Steigerung der Ertragskraft bei gleichzeitiger Entkoppelung der Umweltwirkungen. Eine Variante des Diskurses wird unter dem Begriff **„Sustainable Intensification“** geführt. Nachhaltige Intensivierung (NI) ist definiert als ein Prozess oder System, bei dem die landwirtschaftlichen Erträge gesteigert werden, um die menschlichen Bedürfnisse ohne negative Umweltauswirkungen und ohne Umwandlung zusätzlicher nichtlandwirtschaftlicher Flächen zu befriedigen (Pretty et al. 2018, S.441-446, nach Amon 2021). Die Nachhaltige Intensivierung wird als Konzept zur Optimierung der Landnutzung verstanden (Taube 2012) und soll Nutzungskonkurrenzen entschärfen, zum Klimaschutz beitragen und die Ausweitung von Naturschutzflächen zum Erhalt der Biodiversität ermöglichen. Getragen wird der Diskurs u.a. vom Weltklimarat, dem Club of Rome und der Food and Agriculture Organization, FAO, sowie von agrarindustriellen Akteuren wie Bayer. Der Weltklimarat (IPCC) greift in seinem Sonderbericht über Klimawandel und Landsysteme verschiedene Formen der integrierten Landwirtschaft (integrated agricultural systems) auf, darunter auch die Nachhaltige Intensivierung: **„Intensification needs to be achieved sustainably, necessitating a balance between productivity today and future potential“** (Mbow et al. 2019). Ausgangspunkt der Nachhaltigen Intensivierung ist die Überlegung, dass die notwendige Steigerung der Agrarproduktion zum Großteil auf den vorhandenen Flächen bewerkstelligt werden muss: **„Sustainable agricultural intensification is key to saving land“** (FAO 2018, S. 35). Hierbei sollen die Ziele der Intensivierung und Nachhaltigkeit gleichwertig verfolgt werden und die Reduktion der negativen Umweltwirkungen nicht nur als **„nice to have“** verstanden werden. Zur Erreichung der beiden Ziele sollen die Potenziale vielfältiger Produktionsmethoden und -mittel voll ausgeschöpft werden und sowohl Ansätze aus der Biotechnologie und der konventionellen Landwirtschaft als auch aus der Agrarökologie und dem ökologischen Landbau zum Einsatz kommen (Godfray und Garnett 2014). In der modernen Hohertrags-Landwirtschaft wird der Fokus vor allem auf eine gesteigerte Input-Effizienz gelegt (Godfray und Garnett 2014). Angestrebt werden möglichst **„optimale Intensitäten“** mit dem Ziel, **„[...] vergleichsweise hohe (nicht höchste) Ertragsniveaus weitgehend zu erhalten, den Ressourceneinsatz (z. B. Stickstoffdüngung) jedoch soweit zu reduzieren, bis der ökologische Fußabdruck der Produktion (ausgedrückt als ökologische Belastung je Ertragseinheit, z. B. Stickstoffüberschuss je Tonne Weizen) in einem günstigen Bereich zu verorten ist“** (Taube 2020, 18,19). Für den Club of Rome ist die nachhaltige Intensivierung von entscheidender Bedeutung, um zurück in einen sicheren planetaren Handlungsraum zu kommen (Club of Rome 2022, 150f.). Dabei spielt die Nutzung technologischer Innovationen, insbesondere digitale Technologien, Agrarchemie und Pflanzenzüchtung, eine zentrale Rolle (FAO 2021, S. 19). Die Europäische Union sieht darin ein großes Potenzial und empfiehlt in der **„Farm to Fork“-Strategie**, **„[...] naturbasierte, technologische, digitale und weltraumgestützte Lösungen vollständig aus[zu]schöpfen, um die Klima- und Umweltergebnisse zu verbessern, die**

Klimaresilienz zu erhöhen und den Einsatz von Betriebsmitteln (Pestizide, Düngemittel etc.) zu verringern und zu optimieren“ (EK 2020b, S. 6).

Neue Bewirtschaftungsformen

Ein weiterer Diskurs dreht sich um neue Bewirtschaftungsformen im Pflanzenbau. Er zielt darauf, neue Bewirtschaftungsformen für den Pflanzenbau zu entwickeln und zu etablieren und die ökologische „Qualität“ der agrarwirtschaftlichen Stoffumsätze so zu verändern, dass sie sich in den Naturstoffwechsel wieder besser einfügen. Es geht darum, mit Hilfe der Landwirtschaft die Qualität von Böden, Wasser und Luft zu erhalten und zu verbessern. Dazu zählen Agroforst-Systeme, Permakultur, regenerative Landwirtschaft und Paludikultur auf wiedervernässten Moorböden. Verschiedene Experten-Kommissionen – wie die ZKL und der WBGU – betonen die Bedeutung dieser Ansätze für eine nachhaltige, zukunftsfähige Landwirtschaft (ZKL 2021, WBGU 2020). In der gemeinsamen Vision der ZKL zur Zukunft der Landwirtschaft heißt es: „Durch regenerative Landnutzung wird die Gesundheit der Menschen und Tiere sowie die Qualität des Wassers, der Böden und der Luft erhalten und verbessert. Betriebszweige und landwirtschaftliche Praktiken, die effektiv zum Klimaschutz beitragen, sind ausgebaut und durch Betriebe einfach umsetzbar. (...) Agroforststrukturen sind ausgebaut und es werden keine weiteren Flächen versiegelt. Moore wurden zu großen Teilen durch Unterstützung mit öffentlichen Mitteln wieder vernässt und die langfristige Perspektive von betroffenen Betrieben ist gesichert. Der vermehrte Humusaufbau, die große Vielfalt standortangepasster Sorten, der Anbau einer ausgewogenen Fruchtfolge sowie die Nutzung von Leguminosen und Zwischenfrüchten tragen dazu bei, dass die Landwirtschaft einen positiven Einfluss auf den Klimaschutz hat“ (ZKL 2021, S. 49). Der WBGU betont in seinem Hauptgutachten die Bedeutung regenerativer Ansätze für die Transformation hin zu „ökologisch intensiven Landwirtschaftssystemen“ und nennt hier u.a. Agrarökologie als Metakonzzept, Agroforstwirtschaft, Agri-PV, (Boden)konservierende Landwirtschaft, Paludikultur und Permakultur (WBGU 2020). Im Folgenden werden drei Diskursstränge näher erläutert: Agroforstwirtschaft, Permakultur und Paludikultur.

Mit Agroforstwirtschaft wird eine Form der Landwirtschaft bezeichnet, bei der Gehölze zusammen mit landwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Kulturen angebaut werden. Es gibt auch Nutzungsformen, bei denen der Anbau von Gehölzen mit Viehhaltung kombiniert wird. Agroforstsysteme sind eine Form der multifunktionellen Landnutzung und weisen eine Reihe von ökologischen und wirtschaftlichen Vorteilen auf. Ziel ist es, gesunde und widerstandsfähige Ökosysteme aufzubauen. Verschiedene landwirtschaftliche Verbände betonen die Vorteile dieser Form der Landbewirtschaftung: „[...] durch Humusaufbau und Kohlenstoffbindung in der ober- und unterirdischen Holzbiomasse besitzen sie innerhalb des Agrarsektors ein großes Klimaschutzpotential. Gleichzeitig verbessern Agroforstsysteme das Mikroklima, begünstigen den Wasserrückhalt auf der Fläche und erhöhen deutlich die Klimaresilienz von Acker- und Grünlandstandorten. Hierdurch sorgen sie perspektivisch für eine höhere Ertragsstabilität“ (DeFAF, AbL, BÖLW 2023). Das Thema wird maßgeblich vorangetrieben durch die Wissenschaft sowie durch den 2019 gegründeten Deutschen Fachverband für Agroforstwirtschaft, in dem Wissenschaftler und Experten verschiedener Fachrichtungen sowie Landwirte und Vertreter aus Kommunen zusammengeschlossen sind (DeFAF o.J.). Eine Übersicht über Forschungsprojekte und deren Ergebnisse findet sich unter agroforst-info.de⁹. Zu den Vorreitern in der Praxis gehören verschiedene

⁹ Siehe: <https://agroforst-info.de/fachinformationen/ergebnisse/>

landwirtschaftliche Betriebe. Zu nennen ist hier u.a. der Betrieb des Landwirts Benedikt Bösel in Alt Madlitz sowie die von Bösel gegründete Finck-Stiftung (Finck Stiftung 2023).

Permakultur ist ein Konzept für Landwirtschaft und Gartenbau, das darauf basiert, Ökosysteme und Kreisläufe in der Natur zu beobachten und nachzuahmen. Das Konzept wurde in den 70er Jahren von den australischen Wissenschaftlern Bill Mollison und David Holmgren entwickelt. Der zentrale Ansatz der Permakultur ist es, umweltbelastende Industrietchnologien in der Landwirtschaft zu ersetzen. Im Vordergrund steht eine Landbewirtschaftung, die nach dem Vorbild natürlicher Ökosysteme gestaltet ist, die die Bodenfruchtbarkeit schont und erhöht und kaum Abfälle erzeugt (Permakultur Institut e.V. o.J.). Das Thema wird v.a. vorangetrieben von ökologisch orientierten NGOs und zivilgesellschaftlichen Akteuren, die sich als Teil einer Permakultur-Bewegung verstehen. Wichtige Vertreter dieser Bewegung sind das gemeinnützige Permakultur-Institut sowie die Permakultur Akademie, deren Ziel es ist, Bildungsarbeit zu organisieren und die verschiedenen lokalen Permakultur-Akteure zu vernetzen. Zunehmend beschäftigen sich auch Universitäten und Hochschulen im Rahmen wissenschaftlicher Projekte mit den Potenzialen der Permakultur, bspw. die Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaft in Bern, die Hochschule Rhein-Waal sowie die Universität Göttingen.

Ein weiterer zentraler Diskursstrang im Bereich neuer Bewirtschaftungsformen im Pflanzenbau stellt der Diskurs zur Paludikultur dar. Die Bewirtschaftung entwässerter Moore ist eine der Hauptquellen von CO₂-Emissionen in der Landwirtschaft. Die Wiedervernässung und nasse Nutzung von Mooren stellt daher ein zentrales Handlungsfeld dar, um Klimaneutralität im Agrar- und Ernährungssystem zu erreichen. So fordert die Stiftung Klimaneutralität: „Moore sollten weitgehend wiedervernässt werden. Das THG-Minderungspotenzial liegt bei über 30 Mio. t CO₂- Äquivalenten pro Jahr; der volkswirtschaftliche Nettonutzen bei ca. 4 Mrd. €“ (Grethe et al. 2021, S. ii). Hierbei spielt eine schonende landwirtschaftliche Nutzung wiedervernässter Moorböden – die sog. Paludikultur – eine wichtige Rolle. „Wiedervernässung bedeutet keinesfalls flächendeckenden Naturschutz ohne wirtschaftliche Nutzung. Nasse Nutzungsmöglichkeiten werden bisher viel zu wenig diskutiert. Es ist dringend erforderlich, hier in Forschung und Entwicklung, die Schaffung rechtlicher Grundlagen sowie Bildung, Ausbildung und Beratung zu investieren. Im Vordergrund der Diskussion stehen bisher Verfahren einer „nassen Landwirtschaft“, sogenannte Paludikulturen“ (Grethe et al. 2021, S. 85). Der Diskursstrang wird sowohl seitens der Wissenschaft vorangetrieben, u.a. durch die Stiftung Klimaneutralität, das Thünen-Institut und das Moor Centrum der Universität Greifswald. Aber auch von politischer Seite wird das Thema gefördert. Zu nennen sind hier v.a. die Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft sowie die Nationale Moorschutzstrategie des BMUV (2022). Die Nationale Moorschutzstrategie umfasst und konkretisiert Schritte, um Moore zu schützen, langfristig wieder herzustellen und ihre nachhaltige Nutzung zu fördern (BMUV 2022). Auch die ZKL empfiehlt „eine Wiedervernässung von Flächen mit hohem Renaturierungs- und Klimaschutzpotenzial, die mit Produktions- und Einkommensperspektiven für die dort wirtschaftenden Betriebe zu verbinden ist“ (ZKL, S. 82).

Neue Agrarsysteme ohne Ackerbau und Viehhaltung

Ein Diskurs lässt sich unter dem Stichwort „Neue Agrarsysteme“ („New Food Systems“) verorten. Darunter sind ganz verschiedene neuartige Agrarsysteme zu verstehen, die darauf abzielen, jenseits der herkömmlichen Landwirtschaft, also ohne Ackerbau und Viehhaltung, Nahrungsmittel und biobasierte Stoffe herzustellen, weshalb auch von „Beyond farming“ gesprochen wird. Die Bandbreite alternativer Agrarsysteme ist groß. Das Spektrum reicht von Agrarsystemen im urbanen Raum (Vertikal Farming, Urban Farming, Aquaponik etc.) über alternative Proteinquellen (Insect Farming, Bioreaktoren für

Pilze, Photobioreaktoren für Algen. etc.) und zelluläre Biosysteme (Precision fermentation, Cultured meat etc.).

Einen besonderen Stellenwert im Diskurs um neue Agrarsysteme nimmt die Diskussion zur Zukunft von Fleisch und die damit verbundene Suche nach alternativen Proteinquellen ein. „Dies lässt sich an der gestiegenen öffentlichen Aufmerksamkeit, wachsenden wirtschaftlichen Aktivitäten, aber auch am intensiveren gesellschaftlich-politischen Diskurs festmachen. In den vergangenen Jahren hat die öffentliche Auseinandersetzung mit Fleischalternativen Einzug auf verschiedenen Ebenen gehalten. Nicht zuletzt öffentlichkeitswirksame Publikationen wie der seit 2013 jährlich erscheinende „Fleischatlas“ der Heinrich-Böll-Stiftung, die Studie „Fleisch frisst Land“ des World Wide Fund For Nature (WWF) (Witzke et al. 2012) oder die Arbeiten der Albert Schweitzer Stiftung für unsere Mitwelt analysieren die Zusammenhänge zwischen hohem Fleischkonsum und negativen Folgen für die Umwelt und tragen zur Bildung gesellschaftlicher Diskurspositionen bei. So wird beispielsweise die Entwicklung künstlicher Fleischalternativen vor allem in Bezug auf einen ressourcenschonenden Einsatz von Produktionsmitteln diskutiert“ (Heinrich-Böll-Stiftung et al., 2018, S. 46-47 nach UBA 2019).

Prägend für den Diskurs ist des Weiteren die Vorstellung einer artifiziellen, also künstlichen Natur. Künstliche Biosysteme sollen es ermöglichen, natürliche Prozesse der Natur nachzuahmen, zu verbessern und unabhängig von Umweltbedingungen Nahrungsmittel zu produzieren. Erwartet wird neben der Umweltentlastung, Klimaschutz und Ressourcenschonung, die durch künstliche Biosysteme möglich würde, auch, dass naturnahe Landschaften geschützt oder (neu) geschaffen werden können, indem agroindustriell in urbanen Räumen höhere Erträge pro Flächeneinheit erzeugt werden. Künstliche Biosysteme wären damit auch eine Antwort auf das Dilemma, einerseits die landwirtschaftliche Produktion zu steigern, andererseits die Naturflächen zum Schutz von Biodiversität auszuweiten. Nutzungskonflikte könnten entschärft werden (Fücks 2013). In diesem Kontext wird auch die Synthetische Biologie als Chance für die Landwirtschaft gesehen (Bioökonomie.de 2022). Die Synthetische Biologie strebt die gezielte Konstruktion von Produktionsorganismen durch Entwicklung genetischer Synthesemodule an. Auf diese Weise sollen biologische Bauteile, Zellen oder Organismen mit Eigenschaften und Fähigkeiten ausgestattet werden, die in der Natur bisher so nicht vorkommen. Manche erwarten dadurch einen Schub für neuartige Agrarsysteme, andere sogar eine „Bio-Revolution“, die das Potenzial hat, das Landwirtschaftssystem grundlegend zu verändern (Fücks 2013).

Eine treibende Kraft in diesem Diskurs ist vor allem die Forschung. So fördert das BMBF im Rahmen der Bioökonomie-Strategie der Bundesregierung, „Innovationsräume“ für neuartige Agrarsysteme („New Food Systems“). Auch das BMEL treibt die Nutzung alternativer Proteinquellen voran. Durch die Kombination der neuartigen Produktionssysteme von Pflanzen, Algen, Insekten und Fischen sollen Nahrungsketten gebildet werden und Stoffströme so effizient gekoppelt werden, dass letztlich eine CO₂-neutrale Produktion der Lebensmittel erreicht werden kann. Mit Blick darauf hat sich eine vielfältige Forschungs- und Innovationslandschaft herausgebildet, die Forschungseinrichtungen (Leibniz-Forschungsverbund, Fraunhofer-Institute, Verbundprojekte etc.), Netzwerke (bioökonomie.de etc.) und Start-ups umfasst, die den Diskurs um neuartige Agrarsysteme aufgreifen und versuchen in diesem Kontext tragfähige Anwendungen und Geschäftsmodelle zu entwickeln.

Exnovation: Ausstieg aus nicht-nachhaltigen Praktiken der Tierhaltung und des Fleischkonsums

Ein weiterer Diskurs betrifft die **landwirtschaftliche Tierhaltung**. Er wird entlang von ökologischen Effekten, des ökonomischen Stellenwerts sowie gesellschaftlichen Erwartungen und ethischen Fragen

geführt. Diskutiert werden übergreifend nicht nur **Innovationen**, der Einstieg in neue Technologien und Praktiken, sondern auch **Exnovationen**, also der Ausstieg aus etablierten Pfaden. So, wie die Kohleverstromung nicht mit dem Klimaschutz vereinbar und der Kohleausstieg folgerichtig ist, so bedarf es auch des Ausstiegs aus umweltschädlichen Praktiken der Agrar-, Forst- und Fischereiwirtschaft (z.B. im Bereich der Tierhaltung mit Nährstoffüberschüssen) bis hin zur Abkehr von nicht nachhaltigen Konsum- und Ernährungsgewohnheiten, wie beispielsweise dem Umfang des Fleischkonsums und Reduktion der Lebensmittelverschwendung (Behrendt o.J.; Fink et al. 2022, S. 74).

Die ZKL äußert folgende Erwartung: „Anforderungen an die Tierhaltung sowie die steigenden Erwartungen an Prozess- und Produktqualitäten werden aller Voraussicht nach mit einer Reduktion der Gesamtnutztierbestände einhergehen. Aus Umwelt- und Klimaschutzgründen ist außerdem eine flächengebundene Tierhaltung unter Berücksichtigung von regionalen, überbetrieblichen Nährstoffmanagementmodellen geboten“ (ZKL 2021, S. 91). Hintergrund des Diskurses sind die Umwelt- und Klimaauswirkungen der Viehhaltung. Als zentraler Faktor wird der überproportionale Anteil der Erzeugung tierischer Lebensmittel (im Vergleich zu pflanzlichen Lebensmitteln) bei der Produktion von Treibhausgasen und damit der globalen Erwärmung mit ihren Wetterextremen genannt. 69,5 Prozent der Emissionen der Landwirtschaft und damit ca. 7,4 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands lassen sich allein auf die Tierhaltung zurückführen (UBA 2023; Thünen 2023b). Global gesehen ist die Viehhaltung für rund 14 Prozent der Treibhausgasemissionen verantwortlich (FAO 2013). Die Verringerung der Tierhaltung und des damit verbundenen Fleischkonsums wird somit als ein bedeutender Hebel zur Reduktion von Treibhausgasen betrachtet und von der wissenschaftlichen Gemeinschaft als zentrales Handlungsfeld auf dem Weg zur Klimaneutralität angesehen (Stiftung Klimaneutralität 2021, S. 14). Verbunden mit einer stärker pflanzenbasierten Ernährung wird auch auf Synergien mit weiteren Nachhaltigkeitszielen hingewiesen (u.a. Vermeidung von Wasserverschmutzung, überproportionaler Flächenanspruch bzw. Entwaldung, Biodiversitätsverlust) (WBAE 2015, S. 120). Um die Ziele zu erreichen, wird eine grundlegende Transformation von Konsumgewohnheiten sowie eines Großteils der Wertschöpfung gefordert. Als Strategien werden eine "Qualitätsstrategie" genannt, die auf „weniger und besser“ setzt (Stiftung Klimaneutralität 2021, S. 14) sowie eine Gestaltung von Verbraucherpreisen, die die verursachten externen Kosten der Viehhaltung abbilden (u.a. durch Einführung einer Stickstoffüberschussabgabe oder einer Fleisch-Steuer). So müssten laut einer Studie der Boston Consulting Group die Erzeugerpreise für einen Kilogramm Fleisch etwa fünf- bis sechsmal, für andere tierische Produkte zwei- bis viermal so hoch ausfallen (ZKL 2021, S. 115). Damit wird eine Reduktion des Konsums sowie der Produktion erwartet, was zu einer Verringerung des Einsatzes von Ressourcen wie Land, Wasser und Futtermitteln führt (WBAE 2020, S. 13). Der Diskursstrang behandelt die Anpassung der Konsummuster in wohlhabenden Ländern, womit eine Reduktion der Tierhaltung auch vor dem Hintergrund der globalen Ernährungssicherung und Ernährungsgerechtigkeit diskutiert wird, da „der Flächenanspruch unseres Ernährungsstils global nicht übertragbar [ist]“ (Stiftung Klimaneutralität 2021, S. 12; WBAE 2020, S. 13). Insbesondere wird die Diskrepanz zwischen benötigten Nutzflächen (80 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzflächen) und der daraus resultierenden globalen Kalorienmenge (18 Prozent) tierischer Lebensmittel hervorgehoben (Fesenfeld et al. 2022, S. 4). Dabei wird argumentiert, dass sich das Angebot von Lebensmitteln rasch und nachhaltig ausweiten und Preisanstiege und Hunger vermindern werden könnten, wenn ein größerer Teil der Ackerflächen für die Lebensmittel- (statt Futtermittel-) Erzeugung genutzt würde (Fesenfeld et al. 2022). Das Potenzial einer Umstellung auf eine überwiegend pflanzliche Ernährung sei nicht nur für die Ernährungssicherheit immens, so das Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK 2020). Es könnten rund drei Viertel der Emissionen im Ernährungs- und Agrarsektor eingespart werden. Die Ernährungsveränderungen hin zu

stärker pflanzenbasierten Ernährungsweisen wird auch als „Protein transition“ bezeichnet. Sie ist im internationalen Diskurs ein zentraler Ansatzpunkt, um die ökologischen und gesundheitlichen Auswirkungen von Ernährungssystemen in den Ländern mit hohem Einkommen zu verbessern. Weitere wichtige Ansatzpunkte zur Verringerung des Nachfragedrucks sind die Reduktion von Überernährung und die Verringerung von Lebensmittelabfällen und -verschwendung (UBA 2021a).

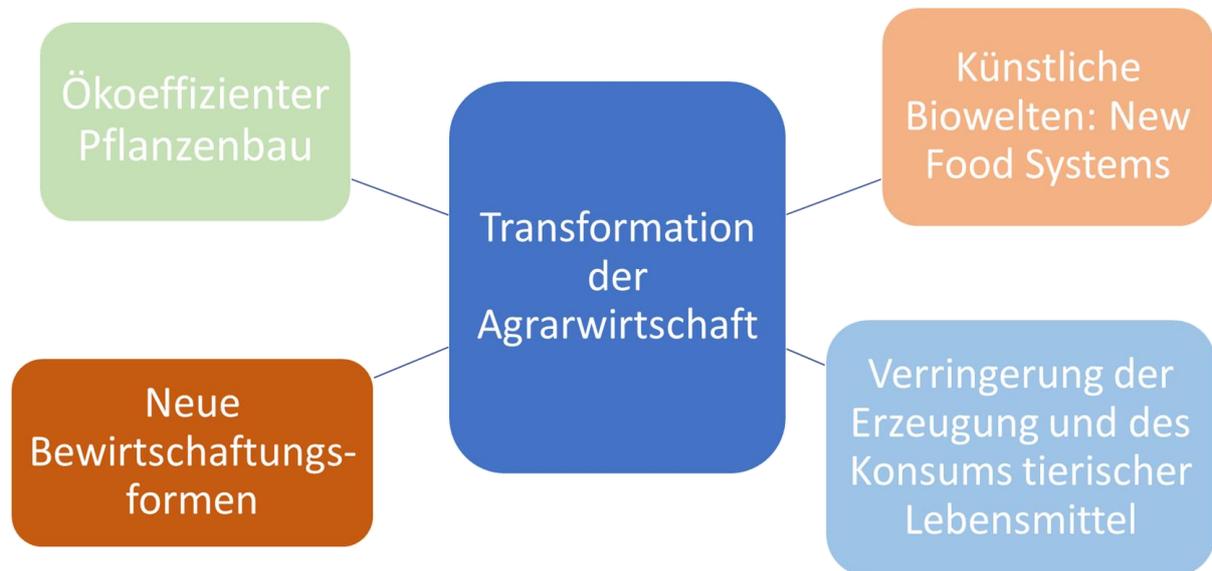
Mit dem Diskurs verknüpft sind weitere Aspekte. So wird die etablierte Praxis eines hohen Fleischkonsums hinterfragt und gefordert, diesen schrittweise abzubauen bzw. durch Alternativen wie pflanzliche oder mikrobielle Proteine zu ersetzen (d.h. einer Transformation verbunden mit Innovation), um eine nachhaltigere Ernährungsweise zu fördern. Dabei soll die negative Auswirkung der konventionellen Tierhaltung und Fleischproduktion auf Umwelt, Tiergesundheit und menschliche Gesundheit verringert werden. Ein weiterer Diskursstrang betrifft das Thema Gesundheit. Verschiedene Studien legen nahe, dass ein hoher Fleischkonsum mit einem erhöhten Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs und anderen Krankheiten, insbesondere Fettleibigkeit, verbunden ist (EAT-Lancet Kommission o.J., S. 3). Vor diesem Hintergrund argumentieren die Weltgesundheitsorganisation (WHO) und andere wissenschaftliche Vertreter für die gesundheitlichen Vorteile einer pflanzenbasierten Ernährung (FAO und WHO 2019, S. 22; EK 2020b, S. 15). Unter anderem wird hierbei von wissenschaftlicher Seite auch auf die volkswirtschaftlichen Kosten in Sozial- und Gesundheitssystemen verwiesen, die durch Mangel- und Fehlernährung entstehen (ZKL 2021, S. 115). Auch ethische Aspekte spielen in dem Diskurs eine Rolle. Zentral ist hierbei die Frage, ob Tierhaltung grundsätzlich ethisch vertretbar ist. Tierschutzverbände, aber auch Vertreter aus der Wissenschaft argumentieren, dass die heutige Intensivtierhaltung mit Massentierhaltung und engen Stallbedingungen unter ethischen Gesichtspunkten fragwürdig ist. Sie betonen die Würde und das Recht der Tiere auf artgerechte Haltung und plädieren neben einer Anpassung der Tierhaltung zugunsten des individuellen Tierwohls auch insgesamt auf eine Reduzierung der Tierbestände (WBAE 2015, S. 5). Insbesondere wurden zur Orientierung für die Verbraucher eindeutige Tierhaltungs-Kennzeichnungssysteme gefordert, wie nun im Tierhaltungskennzeichnungsgesetz verabschiedet (BMEL 2023d).

5 Transformationsszenarien

Die Treiber der Transformation der Agrarwirtschaft entfalten ein Wirkungsgefüge. Für die Roadmap ist es daher besonders wichtig, die kombinierte Wirkung dieser Treiber zu kennen. Nur so können integrierte Auswirkungen abgeschätzt werden, um daraus fundierte Perspektiven für die Agrartechnik aufzuzeigen. Vier Transformationsszenarien, die sich an den in der Diskursanalyse herausgearbeiteten Diskursen zur Transformation der Agrarwirtschaft orientieren, bündeln mögliche Treiber, Trends und Dynamiken zu möglichen Entwicklungspfaden. Den Szenarien liegt ein Zeithorizont bis zum Jahr 2050 zugrunde. Die Szenarien stellen deshalb keine Alternativszenarien dar, sondern verlaufen alle gleichzeitig, parallel und überlagern sich. Sie sind weder als Prognosen zu verstehen, noch erheben sie einen Vollständigkeitsanspruch. Der Zuschnitt der Transformationsszenarien ist so gewählt, dass sie hinreichend differenziert und voneinander abgrenzbar sind, um unterschiedliche Entwicklungspfade sichtbar zu machen. Aufbauend auf belastbaren, empirisch weitgehend gesicherten Entwicklungsdynamiken und Potenzialen entwerfen die Szenarien plausible Bilder von der Zukunft (imaginierte Zukünfte). Ihre Funktion ist es, auf mögliche Veränderungspotenziale für die Agrartechnik im Ackerbau aufmerksam zu machen. Abbildung 5 illustriert die vier Szenarien mit ihren Eckpunkten im Überblick. Sie zeigen

mögliche Entwicklungspfade auf, die aus der Dynamisierung des Agrar- und Ernährungssystems resultieren und denen sich die Akteure im Bereich der Agrartechnologien mit hoher Sicherheit zukünftig stellen müssen. Für jedes Transformationsszenario werden im Folgenden die Entwicklungsdynamiken, Potenziale relevanter Transformationsfelder und Zukunftsbilder als imaginierte Zukünfte beschrieben.

Abbildung 5: Überblick zu den vier Transformationsszenarien



Quelle: eigene Darstellung

5.1 Ökoeffizienter Pflanzenbau

Das Szenario fokussiert auf die in der Praxis dominante Transformationsstrategie, die Weiterentwicklung und Optimierung des Pflanzenbaus, die darin besteht, das ökologische Nutzen-Aufwand-Verhältnis zu verbessern. Durch Nutzung der Digitalisierung und Automatisierung, der Fortschritte der Agrarchemie, Pflanzenzüchtung und beim Saatgut soll die Ressourceneffizienz deutlich gesteigert werden. Auf diese Weise soll es dem klassischen Pflanzenbau, einer auf Ertragssteigerung ausgerichteten Intensivlandwirtschaft, möglich werden, natur- und umweltverträglich Lebensmittel zu produzieren, während es im ökologischen Landbau vorrangig darum geht, die Produktivität und Ertragskraft der landwirtschaftlichen Betriebe zu erhöhen. Dies könnte zur Konvergenz zwischen konventioneller und ökologischer Landwirtschaft führen, da die konventionelle Landwirtschaft zunehmend im Einklang mit den Mechanismen der Natur betrieben wird und die ökologische Landwirtschaft zunehmend effizienter wird.

Entwicklungsdynamiken

Der Pflanzenbau befindet sich in einer neuen Phase des Produktivitätswachstums, die den anhaltend hohen Wettbewerbsdruck im Agrar- und Lebensmittelmarkt, Arbeitskräftemangel, den steigenden Umwelt- und Nutzeranforderungen, die schwierige wirtschaftliche Lage vieler landwirtschaftlicher Betriebe vor dem Hintergrund stark gestiegener Energie-, Düngemittel- und Futterkosten und damit höherer Produktionskosten widerspiegelt. Um die negativen Umweltwirkungen zu verringern, und die vielfältigen und (teilweise) ambitionierten Ziele der Umwelt- und Klimapolitik (Green Deal, „Farm to

fork“-Strategie etc.) erfüllen zu können, bekommt insbesondere die Erhöhung der Ressourcenproduktivität eine zunehmende Bedeutung. Dabei geht es darum, den Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung nicht nur relativ, sondern möglichst absolut zu senken. Die Effizienzstrategie ist jene, die im vorherrschenden Agrar-, Lebensmittel- und Ernährungssystem am ehesten anschlussfähig ist. In den letzten Jahrzehnten konnte bereits durch technische Fortschritte die Ökoeffizienz vielfach verbessert werden. Nach wie vor bedarf es aber deutlich größerer Fortschritte, um ein umweltverträgliches, biodiversitätsförderndes und klimaneutrales Landwirtschaftssystem zu erreichen.

Vor allem die Digitalisierung der Landwirtschaft ist Gegenstand der Forschung und ein Innovationschwerpunkt vieler Hersteller von Agrartechnologien, Dienstleistern und Start-ups. Auch weitere Fortschritte in der Agrarchemie, der Pflanzenzüchtung und der Optimierung des Saatguts bieten Potentiale, die Ökoeffizienz zu steigern. Low-Risk und biologische Pflanzenschutzmittel sollen beispielsweise Pflanzenschutzverfahren mit höheren Risiken für Natur, Umwelt und Gesundheit komplementieren und perspektivisch ersetzen (ZKL 2021). Geforscht wird an standort- und klimaangepassten, ertragreichen und robusten Kulturpflanzen, für resilientes Agrar- und Ernährungssystem (ZKL 2021, S. 112). Allerdings sind dafür erst noch die Voraussetzungen zu schaffen.¹⁰ Auch die Erschließung der Potentiale, die die Digitalisierung und Automatisierung zur Steigerung der Ökoeffizienz bietet, ist voraussetzungsvoll. So sind viele Fragen zum betrieblichen Nutzen nicht oder nicht hinreichend belastbar beantwortet. Nicht nur die Art des betrieblichen Nutzens ist dabei für die Landwirte von starkem Interesse (z.B. Kostenreduktion, mengenmäßige Ertragssteigerung, erhöhte Flexibilität, Arbeitserleichterungen oder auch kontinuierliche Qualität in der Produktion, bessere Qualität der landwirtschaftlichen Produkte). Sondern es sind auch die konkreten Anwendungsfälle (z.B. welche Feldfrüchte und welche landwirtschaftlichen Aktivitäten: Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Bewässerung, Ernte etc.) und die betrieblichen Umstände (z.B. welche Ackerflächengröße bzw. Betriebsgröße ist erforderlich bzw. optimal), die maßgeblich mitbestimmen, ob und inwieweit sich ein betrieblicher Nutzen einstellt. Es wird entscheidend darauf ankommen, einen betrieblichen Nutzen durch entsprechende Rahmenbedingungen zu generieren. Im tiefgreifend staatlich regulierten Landwirtschaftssektor (EU-Landwirtschaftspolitik und ihre Umsetzung auf nationaler Ebene) sind es u.a. die Subventionsvoraussetzungen bzw. -anforderungen an die Landwirtschaftsbetriebe, der Preisdruck auf den (staatlich beeinflussten) Märkten, aber auch die Umweltauflagen an die Landwirtschaft (z.B. mittels begrenzter Ausbringungsmengen an Düngemitteln einschließlich ihrem Nachweis gegenüber den Behörden, aber auch dem Verbot von Substanzen zum Pflanzenschutz). Dass der betriebliche Nutzen für Landwirtschaftsbetriebe nachweisbar und gut erkennbar ist, stellt einen, wenn nicht sogar den wesentlichen Erfolgsfaktor für eine beschleunigte Digitalisierung der Landwirtschaft dar. So lange nicht klar ist, dass sich die Investition langfristig amortisieren wird, stellt der Kauf für die Agrarbetriebe und Lohnunternehmer ein (schwer zu kalkulierendes) Risiko dar. Vor allem die kleineren landwirtschaftlichen Betriebe sehen sich durch die Digitalisierung vor große Herausforderungen gestellt. Die Anschaffung digitaler Ausstattung und Vernetzung lohnt sich oft erst ab einer bestimmten Betriebsgröße, sodass kleinere und mittlere Betriebe tendenziell Schwierigkeiten haben, die potenziellen Vorteile der Digitalisierung zu nutzen. Die

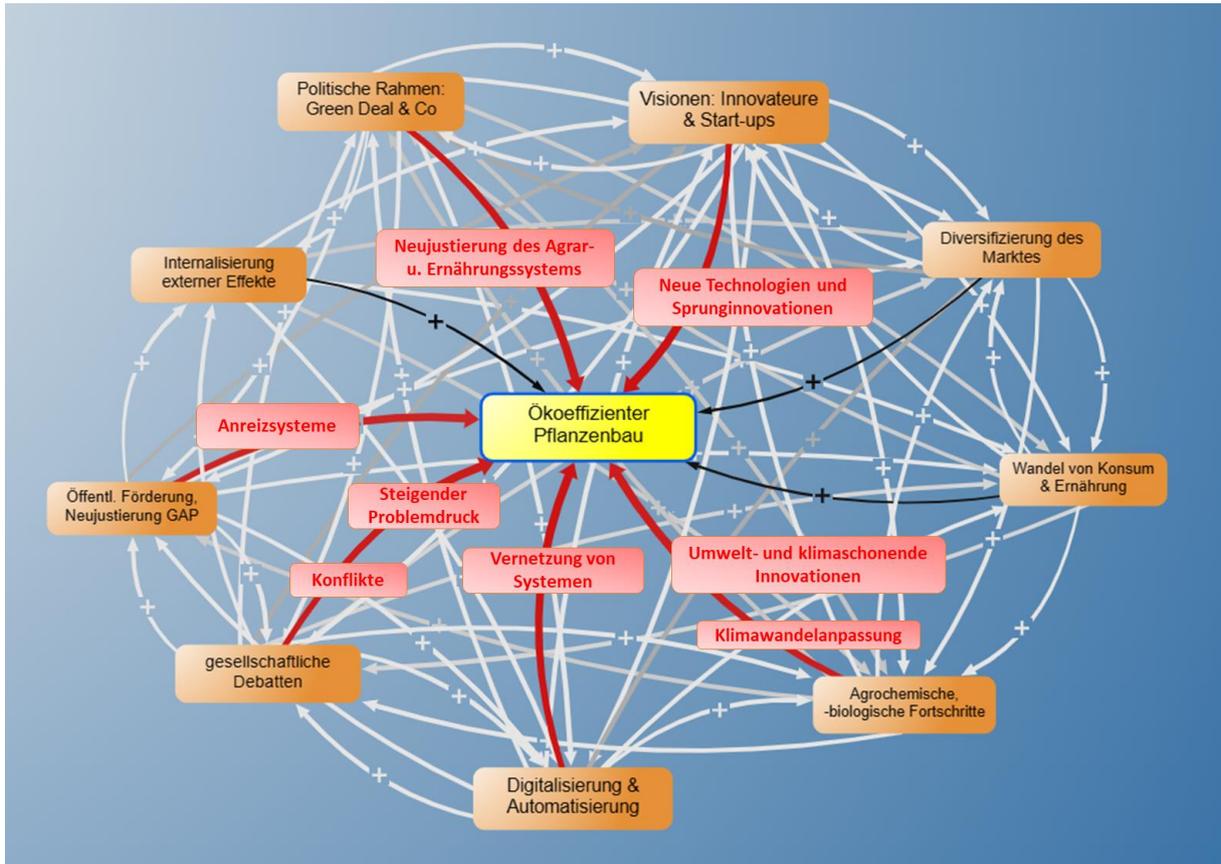
¹⁰ Die Züchtung neuer Sorten ist – trotz neuer effizienter gentechnischer Verfahren und Selektionsmethoden wie CRISPR/Cas (mit 10 bis 20 Jahren Forschungs- und Entwicklungszeiten) sehr langwierig und mit der Unsicherheit konfrontiert, nicht genau zu wissen, welche neuen Anforderungen zukünftig bei langen Zeithorizonten (z.B. in 20 oder 30 Jahren infolge des Klimawandels) Agrarpflanzen erfüllen müssen. Hinzu kommt die Nutzbarkeit von Patenten, die unsicher ist, weil die Rechte bei Unternehmen in den USA und China liegen. Hier ist abzuwarten, welche Beiträge zur Ökoeffizienz tatsächlich geleistet werden können

Diffusion neuer Technologien hängt auch stark von einer wirksamen Beratung zur energie-, ressourcen- und biodiversitätsfördernden Anwendung ab.

Die Nutzung digitaler Lösungen wird zunehmend auch für den Ökolandbau relevant. Der aktuelle Koalitionsvertrag der Bundesregierung sieht vor, dass 30 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche bis 2030 ökologisch bewirtschaftet werden (Die Bundesregierung 2021). Um den angestrebten Ausbau des ökologischen Landbaus zu erreichen – ohne dass sich der Flächenbedarf der Landwirtschaft erhöht – sind technische Fortschritte erforderlich (UBA 2020). Im Gemüseanbau zum Beispiel sind Ökobetriebe bereits die führenden Anwender digitaler Technologien. Aus dem Ökolandbau kommen zunehmend Innovationen und eine Nachfrage nach digitalen Lösungen, um etwa auf fehlende Arbeitskräfte, Kostensteigerungen, Ertragsdefizite etc. reagieren zu können. Die Entwicklung und der Einsatz von autonomen Lenksystemen, Farm Management Information Systems (FMIS), Decision Support Systems (DSS), Feldrobotik und anderen Technologien müssen dafür auf spezifische Anforderungen (z.B. diverse Polykulturen) hin ausgerichtet werden. Digitalisierung kann besonders in den Arbeitsschritten Fruchtfolge- und Anbauplanung, Bodenbearbeitung und Aussaat, Düngemittelapplikation, Pflanzenschutz, Bewässerung sowie Ernte zu der Vermeidung von negativen Umwelteffekten beitragen. Für die Gestaltung der Digitalisierung in der Landwirtschaft ist sowohl eine Agrar-, Umwelt-, Wirtschafts- und Innovationspolitik entscheidend, die eine umweltgerechte Antwort auf die Frage gibt, wer welche Technik zu welchem Zweck entwickelt und entsprechende Anreize setzt, als auch die Ausrichtung des Handels als Nachfragemacht und als Gatekeeper zu den Konsumenten. Vor allem die Anforderungen an Natur- und Umweltschutz sind neben der Ertragssteigerung stärker als Optimierungsziel zu definieren und in Einkaufs-, Sortiments-, Kommunikations¹¹- und Preisstrategien zu integrieren.

¹¹ Insbesondere im deutschsprachigen Raum sind die Werbebilder des Lebensmitteleinzelhandels stark romantisiert. Der Kenntnisstand der Allgemeinheit über aktuelle landwirtschaftliche Produktionsprozesse ist hingegen rückgängig (Pfeiffer et al. 2019). In einer repräsentativen Online-Umfrage von Pfeiffer et al. (2019) wurden die Potenziale digitaler Technologien hinsichtlich Umweltschutz und Tierwohl nach Erläuterung von den Befragten vorwiegend positiv bewertet. Bei Konfrontation mit Bildern digitaler Anwendungen zeigte sich jedoch auch eine starke emotionale Komponente, die teilweise negative Äußerungen der Befragten zur Folge hatte. Die Emotionalität in der Wahrnehmung und Bewertung landwirtschaftlicher Prozesse kann als Hemmnis in der Verbreitung der „rationalen/ kühlen“ Technologien (Robotik, Genome Editing, etc.) wirken.

Abbildung 6: Entwicklungsdynamiken des Szenarios "Ökoeffizienter Pflanzenbau"



Quelle: Eigene Darstellung (auf Basis von iModeler)

Potenziale einzelner Transformationsfelder

Im Folgenden werden Potenzialabschätzungen für verschiedene Transformationsfelder auf Basis einer Literaturlauswertung wiedergegeben.

| Transformationsfeld | Potenziale |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Präzisionslandwirtschaft | <p>Im Technikfeld der Präzisionslandwirtschaft ist eine dynamische Entwicklung zu erwarten. Das größte Potenzial wird in der Vernetzung von digitalen Einzelanwendungen auf Betriebsebene gesehen (Kehl et al. 2021). Es ist davon auszugehen, dass die digitalen (Präzisions-)Technologien in Zukunft noch breitere Anwendung finden werden und sich der Nutzerkreis von Pionieren und frühzeitigen Anwendern hin zur Mehrheit (bis hin zu Nachzüglern) erweitern wird.</p> <p>Eine nicht repräsentative Umfrage im Rahmen des Experimentierfelds Agro-Nordwest zeigt ein unterschiedliches Bild je nach digitaler Technologie. Die befragten Landwirte schätzen die Verbreitung in 10 Jahren zwischen mittel (Feldrobotik zur Unkrautregulierung, autonome Fütterung, Drohnen- und GPS-Daten zum Klee-Grasmanagement) und weit verbreitet (GNSS-</p> |

| | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>Lenksysteme, Drohnen­daten zum Pflanzenschutz, NIRS zur Gülleausbringung) ein.¹²</p> <p>Sensorsysteme sind wichtige Innovationstreiber („Enabler“), insbesondere bildgebende Sensorsysteme bilden durch hohe räumliche und zeitliche Auflösung die Grundlage für selektive und automatisierte Prozesse (Ruckelshausen 2023). Der Technologiereifegrad (Technology Readiness Level TRL) von Sensorsystemen (unterschiedliche Produkte/Modelle) wird bereits mit 9 (auf einer Skala 1-9)¹³ angegeben (Vik et al. 2021).</p> <p>Eine zunehmende digitale Vernetzung lässt neue Gestaltungs- und Optimierungsoptionen entlang der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette erhoffen. Die wirtschaftlichen Erwartungen manifestieren sich auf den nachfolgend dargestellten Ebenen (Kehl et al. 2021):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produktionsebene: Eine Erhöhung der Ressourceneffizienz durch eine Reduktion des Betriebsmitteleinsatzes¹⁴ soll die Produktivität steigern und so einen Beitrag zur Ernährungssicherung leisten. Dem sich abzeichnenden Fachkräftemangel in der Landwirtschaft soll durch Automatisierung und Autonomisierung von Prozessen begegnet werden (Gindele et al. 2016 nach Kehl et al. 2021) • Logistische Ebene: Ein automatischer Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette soll Warenströme effizient und bedarfsorientiert lenken (sog. Just-in-Time-Strategien). Digitale Lösungen können so dazu beitragen, Lebensmittelverlust und -verschwendung zu reduzieren. Auch die Instandhaltung von Maschinen und Anlagen soll durch automatisierte Überwachung erleichtert werden (Kehl et al. 2021, S. 26) • Produktebene: Durch eine umfassende und lückenlose Dokumentation der Produktion vom Saatgut bis zum verzehrfertigen Lebensmittel entstehen Potenziale für Prozessoptimierung, Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz (Kehl et al. 2021, S. 26) |
| Feldrobotik | Kleinstroboter, ggf. im Schwarmeinsatz, ermöglichen eine kleinräumige Variation und Kombination von Pflanzen (für mehr Biodiversität auf dem Acker) und haben das Potenzial Pflanzenbausysteme umfassend zu |

¹² Bezugnahme auf Fokusgruppen-Umfragen zu unterschiedlichen Technologien der digitalen Landwirtschaft, im Rahmen des Experimentierfelds Agro-Nordwest: <https://www.agro-nordwest.de/publikationen/nutzer-und-innovationsreports/>

¹³ Technologiereifegrad (TRL) 9: Nachweis des erfolgreichen Einsatzes des qualifizierten Systems; vgl. BLE o.J.

¹⁴ Betriebsmittel: Mineraldünger, Pestizide, Saatgut, Kraftstoff, Tierfutter etc.

| | |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>verändern.¹⁵ Die Regulierung von Unkräutern und auch Schädlingen (bei fortschreitender technologischer Entwicklung) kann gezielter, wirksamer, energiesparender und bodenschonender werden (Haller et al. 2020).</p> <p>Da in Deutschland auf etwa der Hälfte der Ackerflächen Eigenschaften vorliegen, die bei Verdichtung zu Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen führen (UBA 2015 nach Kliem et al. 2022) befördert die Notwendigkeit des Bodenschutzes (verstärkt durch Anpassungsnotwendigkeiten an den Klimawandel) den Einsatz leichter Feldroboter und Drohnen.</p> <p>Wichtige Voraussetzungen zur Erschließung der Potenziale der Feldrobotik liegen in der Systemintegration in den landwirtschaftlichen Betrieb, in der Weiterbildung sowie im Service (Ruckelshausen 2023).</p> <p>Eine große Steigerung des Angebots und der Marktdurchdringung der Robotik in der Außenwirtschaft kann mittelfristig angenommen werden (Hillerbrand et al. 2019). Mit Blick auf das Jahr 2032 (ausgehend von 2022) prognostiziert IDTechEx ein durchschnittliches jährliches Wachstum von ca. 13 Prozent für den globalen landwirtschaftlichen Robotik-Markt (Wang 2022). Auch Unternehmen die erst mittel- bis langfristig Robotik-Lösungen auf den Markt bringen werden, kommunizieren ihre Pläne bereits, was für einen anhaltenden Trend spricht (Hillerbrand et al. 2019).</p> |
| Pflanzenzüchtung und Saatgut | <p>Neuen technischen Möglichkeiten wie der Genom-Editierung von Pflanzen wird ein Potenzial zur nachhaltigeren Produktion von Nahrungsmitteln sowie zur Ertragssteigerung zugeschrieben (Clemens 2021). Der öffentliche Diskurs um die grüne Gentechnik ist mit der Entwicklung der Methoden der Genom-Editierung (CRISPR/Cas) etwas in den Hintergrund getreten, eine generelle Skepsis der Bevölkerung gegenüber der Anwendung von Gentechnik in der Agrarproduktion bleibt jedoch bestehen (Renn 2018).</p> <p>Im deutschsprachigen Raum befördert eine Vielzahl an kleinen und mittelständischen Saatgutunternehmen die Innovationsdynamik (ZKL 2021). Auch zahlreiche Start-ups beschäftigen sich mit Saatgut(-Optimierung). Global betrachtet sind Konzentrationsprozesse auf dem Saatgutmarkt zu verzeichnen. Zwei Unternehmen (Syngenta Group und Bayer) kontrollieren 40 Prozent und die sechs größten Unternehmen 58 Prozent des kommerziellen Saatgutmarktes (ETC-Group 2022 nach Gelinsky 2022). Ausgehend von den neuen gentechnischen Verfahren, aber auch auf konventionelle Züchtungen übergreifend, ist mit weiter forcierten Patentierungen zu rechnen, die die verfügbare Diversität in Züchtung</p> |

¹⁵ Die Umwandlung des Pflanzenbausystems erfolgt nach Gaus et al. 2017 vermutlich nicht disruptiv, sondern durch Integration der autonomen Kleinmaschinen in bestehende Pflanzenbausysteme

| | |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>und Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen weiter reduzieren würden (Gelinsky 2022).</p> <p>Mit Blick auf die politischen Nachhaltigkeitszielvorgaben (30 Prozent Ökolandbau bis 2030) ist mit einer Intensivierung der Forschungsförderung für Sorten im ökologischen Landbau zu rechnen (Sauter und Zulawski 2022).</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Insgesamt werden erhebliche Produktivitätssteigerungen durch technische Fortschritte erwartet. Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien und das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (Bitkom/Fraunhofer IAO 2014, S. 35 nach Kehl et al. 2021, S. 26) kamen 2014 zu der Einschätzung, dass „die zu Produktivitätssteigerungen durch »verbesserte Prozesse sowie neue Geschäftsmodelle« in der deutschen Landwirtschaft bis 2025 eine Bruttowertschöpfung in Höhe von knapp 3 Mrd. Euro erzeugen könnten. Nach Angaben des VDI werden in der EU je Prozentpunkt „Produktivitätssteigerung“ 220 Mio. Tonnen an CO₂-Emissionen eingespart, die indirekten Netto-Landnutzungseffekte (durch Importe in die EU) um etwa 1,2 Mio. ha reduziert und die globale Artenvielfalt in einem Umfang erhalten, der der Fauna und Flora von ungefähr 300.000 bis 600.000 ha Regenwald entspricht. Pro Jahr würden zusätzlich 10 Mio. Menschen pro Jahr ernährt und die in der europäischen Landwirtschaft erwirtschaftete soziale Wohlfahrt jährlich um ca. 500 Mio. € gesteigert (VDI 2022). Festzuhalten ist allerdings, dass unsicher ist, ob sich die Effizienzfortschritte der Vergangenheit so weiter entwickeln werden. Gesicherte Zahlen zur Entwicklung der Umwelteffekte infolge der Nutzung von technischen Fortschritten liegen bislang nicht vor. Obwohl die Erwartungen an eine Digitalisierung der Landwirtschaft zum Ressourcen-, Klima-, Umwelt- und Naturschutz vielfach sehr hoch sind (Walter et al. 2017; Finger et al. 2019; Nüssel 2018), ist bemerkenswerter Weise festzustellen, dass kaum empirische und systematische Untersuchungen bis dato darüber existieren. Dies bestätigt auch die jüngst publizierte Untersuchung des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag mit dem Titel „Digitalisierung der Landwirtschaft: gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte“ (Kehl et al. 2021). „Während Ausgestaltung und Funktionsfähigkeit sowie die Wirtschaftlichkeit intensiv untersucht sind, gibt es nur eine begrenzte Anzahl wissenschaftlicher Studien zu den Umwelteffekten von Technologien der Präzisionslandwirtschaft, in der Regel basierend auf Feldversuchen oder Modellberechnungen. Die Veränderung von Umweltwirkungen durch in der landwirtschaftlichen Praxis eingeführte Technologien ist bislang fast gar nicht wissenschaftlich dokumentiert (Kehl et al. 2021, S. 95). Dies gilt erst recht für die Nutzung der Digitalisierung und Automatisierung zur Steigerung der Öko-Effizienz auf Makroebene im Zusammenspiel der verschiedenen Entwicklungsdynamiken. Generell wird aber erwartet, dass sich mit der Weiterentwicklung und Verbreitung von digitalen Applikationen in der Landwirtschaft neue Potentiale zum Umwelt-, Ressourcen- und Klimaschutz ergeben, die den ökologischen Fußabdruck der Landwirtschaft deutlich reduzieren können (Kehl et al. 2021; Walter et al. 2017). Andererseits ist der Schluss zu ziehen, dass die Digitalisierung unter den jetzigen Rahmenbedingungen eher eine Fortsetzung und Optimierung bestehender landwirtschaftlicher Prozesse ermöglicht. Auch im Fall neuer genetischer Modifizierungs- und Selektionsverfahren (wie der Genom-Editierung) werden zur Erreichung der Ziele der Ernährungssicherung, der Reduktion der Treibhausgasemissionen etc. andere Faktoren wie Landwirtschafts- und Verteilungspolitik, Landnutzungsänderungen und veränderte Ernährungsweisen als bedeutender angesehen (Renn 2021).

Zukunftsbilder 2050: Imaginierte Zukünfte

Von der Präzisionslandwirtschaft zu Landwirtschaft 4.0

2050 sind Präzisionstechnologien (basierend auf KI, IoT, Sensorik etc.) in der landwirtschaftlichen Praxis weit verbreitet. Die ganzflächig einheitliche Bewirtschaftung von Ackerflächen zur Ausbringung von Düngemitteln, Pestiziden etc. gehört (befördert durch rechtliche Grenzwerte) der Vergangenheit an. Vielmehr werden einzelne Feldsegmente bis hin zur Einzelpflanze nach den jeweiligen Bedarfen bearbeitet bzw. versorgt. Die Pflanzengesundheit wird kontinuierlich überwacht und vorausschauend gefördert. Einzelne Technologien sind in ein Netzwerk von Systemen eingebunden, die aufeinander abstimmt arbeiten. Dies umfasst Agrarmanagementsysteme, Bewässerungssysteme, Saatgutoptimierungssysteme und Landmaschinensysteme. Bewirtschaftungsentscheidungen werden vor dem Hintergrund einer breiten Datenbasis (Leistungsdatenbank für den Agrarbetrieb, Saatgutdatenbanken, Wetter-Applikationen, und vielfältigen Sensordaten etc.) sowie KI-unterstützt getroffen. Eine umfassende, datenbasierte Vernetzung besteht nicht nur auf Einzelbetriebsebene, sondern umfasst die gesamte Wertschöpfungskette. Ziel ist es, die landwirtschaftlichen Prozesse inklusive der vor- und nachgelagerten Logistikprozesse so zu organisieren, dass flexibel auf sich verändernde Kundenwünsche und neue Marktbedingungen reagiert werden kann (TAB 2017 nach Kehl et al. 2021). Zentrales Element der Landwirtschaft 4.0 sind digitale Plattformen, die den Datenaustausch ermöglichen und die Akteure miteinander vernetzen. Unter Einsatz von KI und maschinellem Lernen sollen so die Produktionsprozesse eher dezentral und weitergehend selbstorganisiert ablaufen (Kehl et al. 2021).



Bildquellen: links: Shutterstock 1994898182 bereitgestellt durch Agrotech Valley Forum e.V.
rechts: Shutterstock 2176781117 bereitgestellt durch Agrotech Valley Forum e.V.

Sprunginnovation: Autonome Roboterschwärme zur Feldbewirtschaftung

Die Notwendigkeit der Bodenschonung sowie die Abkehr von fossilen Treibstoffen hat den Trend zu immer größerer und schwerer Landtechnik umgekehrt. Leichte Feldroboter ersetzen große Traktoren in vielen Feldarbeitsprozessen. Mit umfassender Sensorik ausgestattet sind diese Kleinstroboter kontinuierlich auf dem Feld im Einsatz und kontrollieren den Pflanzenbestand. Probleme werden pflanzenindividuell und möglichst frühzeitig erkannt und vor Ort behoben, um so einen Übertrag auf das gesamte Feld zu vermeiden (Krapfl 2021; Hahn 2017). Einzelne Teams interoperabler Robotersysteme organisieren sich selbst und fügen sich nahtlos in die Prozesse auf dem landwirtschaftlichen Betrieb ein. Mensch und Maschine arbeiten „Hand in Hand“. Roboter-Plattformen ermöglichen den flexiblen und smarten Einsatz unterschiedlicher Werkzeuge, insbesondere zur bodenschonenden Bearbeitung (low-tillage) (UK-RAS 2018). Ökologisch vorteilhaft sind die geringere Bodenverdichtung, vor allem über neue Möglichkeiten einer sehr kleinräumigen, in Zukunft vielleicht sogar auf die Einzelpflanze ausgerichteten Produktionsgestaltung. Von autonomen Feldrobotern würde der ökologische Landbau in besonderem

Maße profitieren, da er weder chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel noch Düngemittel einsetzen kann. Hinzu kommt, dass mithilfe autonomer Kleintechnik viele Ansätze des ökologischen Landbaus (mechanische Unkrautbekämpfung, Fruchtfolgegestaltung) in den konventionellen Landbau übertragen werden könnten. Vorausgesetzt die Entwicklung geht hin zu modularen Plattformen, die „je nach Bedarf und Anwendungszweck mit passender Bewirtschaftungstechnik ausgestattet werden und dadurch eine höhere Auslastung erreichen, dann könnten derartige Robotersysteme auch für Betriebe mit geringerer Flächenausstattung wirtschaftlich einsetzbar werden“ (Kehl et al. 2021, S. 232). Heute stehen diese Technologien in ihrer Entwicklung meist noch relativ am Anfang. „Um die Markteinführung berechenbar zu gestalten und zu beschleunigen, braucht es angemessene Zulassungskriterien (in Deutschland) und Innovationsanreize für dieses Technologiesegment. Dabei geht es nicht nur um Technikentwicklung im engeren Sinne, sondern um eine Innovation der landwirtschaftlichen Produktionssysteme um die neuen Verfahrenstechniken herum – bis hin zu einer Neugestaltung der gesamten Wertschöpfungskette“ (Hertzberg et al. 2017 nach Kehl et al. 2021, S. 232).



Bildquelle: Bild generiert mit Midjourney

Ökolandbau „advanced“: Nutzung des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes

Bis 2050 ist mit einem deutlich höheren Anteil des ökologischen Landbaus an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland zu rechnen. Bis 2030 werden von der Bundesregierung 30 % angestrebt (gegenüber heute 8,81 %).¹⁶ Damit dies gelingt, sind die Öko-Richtlinien anzupassen: statt primär auf Verbote zu setzen, sind Mindestanforderungen an den Klimaschutz, die Biodiversitätsförderung, die Habitatqualität und den Bodenschutz verbindlich zu machen und nicht länger nur in

¹⁶ Damit ein Anstieg des Ökolandbaus „global gesehen flächenneutral bleibt, müssen Lebensmittelabfälle und die Lebensmittelverschwendung signifikant reduziert werden. 50 % weniger Abfälle und Verschwendung, wie es das Ziel der FAO ist, würden theoretisch bereits genügen, um in Deutschland den Ökolandbau bis auf 60 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche auszudehnen, ohne Verlagerungseffekte zu verursachen. Eine Senkung der Kraftfutterproduktion auf Ackerflächen und damit eine Reduktion tierischer Produkte in der Ernährung, würde zusätzliche Möglichkeiten für die Ausdehnung des Ökolandbaus oder anderer Ökologisierungstrategien schaffen. Kommt es allerdings beispielsweise aufgrund des fortschreitenden Klimawandels dauerhaft zu mittleren bis starken Ertragsreduktionen bei der inländischen Lebensmittelerzeugung, ist eine weitere Ökologisierung der Landwirtschaft nur unter der Annahme radikaler Veränderungen der Ernährungsgewohnheiten nachhaltig umsetzbar (Müller et al. 2017). Dies zeigt auch die Bedeutung eines wirksamen Klimaschutzes für das Ökologisierungspotential der Landwirtschaft“ (UBA 2020, S. 128).

Leitbildern zu formulieren. Praktiken werden einem ganzheitlichen Nachhaltigkeits-Assessment unterzogen. Dies macht den Ökolandbau offener für die Nutzung des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes. Die mechanische Unkraut- und Schädlingsregulierung (mittels Feldrobotik) macht relevante Energieeinsparungen möglich, diese kommen insbesondere im Anbau von Sonderkulturen zum Tragen, wo vormals energieintensivere thermische Verfahren gegen starke Verunkrautung angewandt wurden. Die Daten von Bodensensoren ermöglichen es, organische Dünger sparsamer und gezielter einzusetzen. Der Streifen- und Mischanbau wird durch den Einsatz von GNSS-Lenkssystemen, Teilbreitenschaltungen etc. weniger aufwendig. Pflanzenerkrankungen können mithilfe von Diagnostik-Tools früh erkannt und infizierte Pflanzen rasch entfernt werden. Multi- und Hyperspektralanalysen von Drohnen liefern vielfältige Informationen (Nährstoffgehalt, Wachsfreudigkeit, Wasserversorgung, Krankheitssymptome) zur Optimierung der Bewirtschaftung (UBA 2020). Durch Ausweitung der Forschung und Förderung des biologischen Pflanzenschutzes werden Low-Risk-Produkte (leistungsfähige Mikroorganismen, Biostimulanzien etc.) entwickelt und etabliert, die einen wirksameren Pflanzenschutz (oder Pflanzenstärkung) ermöglichen. Der Kreislaufgedanke des Ökolandbaus wird auch in anderen Bewirtschaftungsformen stärker beachtet, sodass sich der konventionelle Pflanzenbau immer stärker der ökologischen Bewirtschaftung annähert. Im Durchschnitt kann die Ertragslücke zwischen dem Ökolandbau und der konventionellen Produktion halbiert werden (UBA 2020).



Bildquellen: links: Spiske Unsplash, rechts: generiert mit Midjourney

5.2 Neue Bewirtschaftungsformen

Das Szenario rückt neue Bewirtschaftungsformen im Ackerbau in den Vordergrund. Im Zentrum stehen Bewirtschaftungsformen, die darauf abzielen, die Qualität von Böden, Luft und Wasser zu erhalten und zu verbessern und so einen Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft zu leisten. Das Szenario umfasst des Weiteren Ansätze, die die Landwirtschaft und die Erzeugung regenerativer Energien verknüpfen. Das Szenario wird maßgeblich geprägt durch Ansätze wie Paludikultur auf wiedervernässten Moorböden, Permakultur, regenerative Landwirtschaft, Agroforstsysteme und Agri-PV.

Entwicklungsdynamiken

Vor dem Hintergrund weltweiter Herausforderungen wie dem Klimawandel, dem Verlust der Artenvielfalt, zunehmender Flächenkonkurrenz und Bodendegradation wird verstärkt an Bewirtschaftungsformen gearbeitet, die einen Beitrag zu gesunden und widerstandsfähigen Ökosystemen leisten. Eine weitere Zielstellung ist der Erhalt bzw. die (Wieder-)Herstellung von CO₂-Senken. Dabei spielen neue, klimafreundliche und nachhaltige Ansätze wie Agroforstsysteme, regenerative Landwirtschaft, Paludikultur und Permakultur eine zentrale Rolle. Ein Treiber für die Entstehung und Verbreitung dieser

Ansätze sind die gesellschaftlichen Debatten. Angesichts der globalen Dynamiken verstärken sich gesellschaftliche Debatten, in denen eine nachhaltige Transformation der Landwirtschaft gefordert wird. Zunehmend werden von Medien, NGOs und Verbrauchern Generationengerechtigkeit, Klimaschutz und Biodiversität als wichtige Anforderungen an die Landwirtschaft hervorgehoben. Dies spiegelt sich auch in der steigenden Nachfrage nach ökologisch produzierten Lebensmitteln wider. Ein weiterer Treiber ist die Agrar- und Nachhaltigkeitspolitik. Als Reaktion auf Umwelt- und Klimabelastungen aus der Landwirtschaft werden von Seiten der EU sowie auf der nationalen Ebene die Vorschriften für landwirtschaftliche Praktiken, wie der Einsatz von Betriebsmitteln, und die Art und Weise, wie Agrarbetriebe ihr Land bearbeiten dürfen, verschärft. Auf europäischer Ebene wird das ordnungspolitische Umfeld durch den Green Deal der EU, die „Farm to Fork“- und Biodiversitätsstrategie bestimmt. In Deutschland treiben eine Reihe von Programmen, Strategien und Fördermaßnahmen – insbesondere das Klimaschutzprogramm, die Moorschutzstrategie und die nationale Biodiversitätsstrategie – die Thematik voran. Großen Einfluss auf das Szenario haben die Klimaschutzziele und die Herausforderung, CO₂-Senken zu schaffen. Dies treibt sowohl die Diskussion um eine Wiedervernässung der Mooreböden und die damit einhergehenden Veränderungen der Bewirtschaftung (Paludikultur) an, als auch jene Ansätze, die auf einen verstärkten Humusaufbau zielen (Grethe et al. 2021; BCG und NABU 2023).

Ein wichtiges Thema sind bodenerhaltende und klimagerechte Bewirtschaftungsverfahren, wie die regenerative Landwirtschaft, Agroforstwirtschaft und Permakultur. Diese Verfahren werden als Chance gesehen, die Gesundheit von Böden und Pflanzen zu erhöhen und einen Beitrag zur Minderung der CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft (durch CO₂-Bindung in der Biomasse und im Boden) zu leisten (ZKL 2021).

Mit der Schaffung von *Agroforstsystemen* (AFS) auf landwirtschaftlichen Flächen sind verschiedene Vorteile verbunden. Die dort angebauten Gehölze stellen eine Kohlenstoff-Senke dar und leisten somit einen Beitrag zum Klimaschutz. Agroforstsysteme besitzen außerdem eine höhere Klimaresilienz als Reinkulturen und bewirken durch die Abschwächung von Temperaturextremen und die Reduktion der Windgeschwindigkeit eine Verbesserung des Mikroklimas (Böhm et al. 2019). Aufgrund der hierdurch bedingten Verringerung von Verdunstung kann die Wasserverfügbarkeit für die landwirtschaftlichen Kulturen erhöht und somit die Ertragsstabilität gesteigert werden. Zu nennen sind weitere Vorteile: AFS mindern die Bodenerosion, leisten einen Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität und verbessern die Wasserqualität (Böhm et al. 2019). Ein zentraler Vorteil für die Verbreitung des Konzepts besteht darin, dass es produktionsstypunabhängig umsetzbar ist (bei Grünland, Ackerbau, Viehhaltung, Obst- und Gemüsebau). Neben Gehölzen für Energieholz- und Rohstoffgewinnung sind auch nahrungsmittelproduzierende Gehölze (z.B. Nussbäume, Obst- und Beerenproduktion) eine interessante Option.

Derzeit stellt Agroforstwirtschaft in Deutschland noch eine Nische der landwirtschaftlichen Nutzung dar. Ein zentrales Hemmnis für die Umsetzbarkeit ist die mangelnde Planungssicherheit für die Landwirte. Zudem ist die derzeitige Vergütung im Rahmen der GAP Eco-Schemes zu gering, so dass für die Landwirte kaum Anreize für die Umstellung auf diese Bewirtschaftungsform bestehen. Für eine Umsetzung in der Breite ist eine langfristige Perspektive für die Betriebe sowie eine Anpassung der Förderinstrumente notwendig. Des Weiteren ist die Schaffung von regionalen Wertschöpfungsketten ein diffusionsrelevanter Faktor.

Unter *regenerativer Landwirtschaft* wird ein Ansatz verstanden, bei dem sich die ackerbaulichen Verfahren auf die Gesundheit von Böden und Pflanzen konzentrieren, um die Ertragsresilienz zu steigern und gleichzeitig positive Auswirkungen auf Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe sowie Biodiversität zu

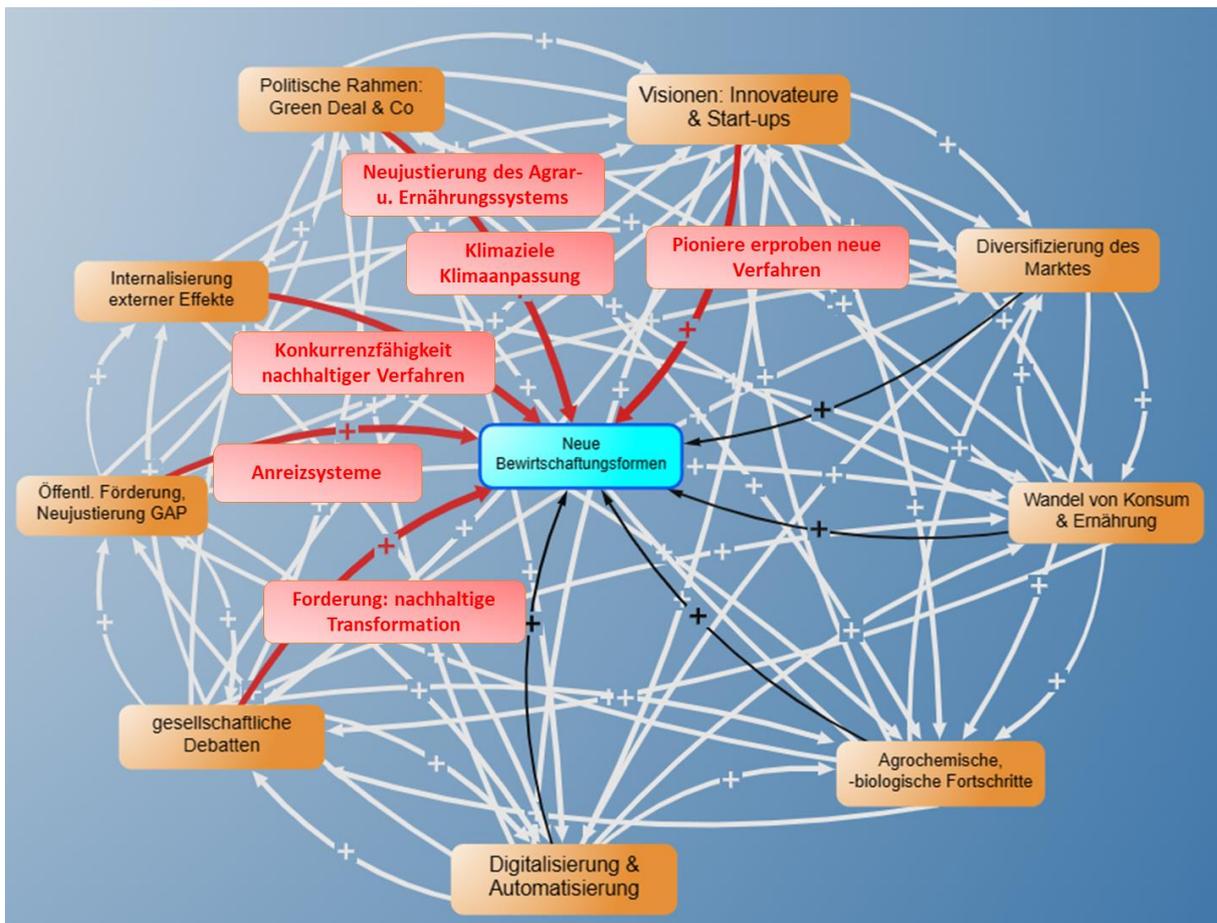
schaffen (BCG und NABU 2023). Im Gegensatz zu Konzepten wie Agroforst und Agri-PV fehlt allerdings bislang eine allgemein anerkannte wissenschaftliche Definition dieser Bewirtschaftungsform. Des Weiteren fehlt hier noch eine wissenschaftliche Basis zur Untersuchung und Einordnung ihrer Potenziale. Bislang existieren nur einige wenige Studien in diesem Bereich (z.B. BCG/ Nabu 2023). Es besteht ein großer Forschungsbedarf, um die Wirkungen und Potenziale der regenerativen Landwirtschaft, insbesondere deren Beitrag zu Klimaschutz und Klimaresilienz, zu belegen. Gleichwohl gibt es in der Praxis eine Reihe von Pionieren, Initiativen und Landwirten, die regenerative Landwirtschaft betreiben. Schätzungen zufolge wurden 2020 in Deutschland etwa 50.000 Hektar nach den Prinzipien des regenerativen Ackerbaus bewirtschaftet (Zinke 2020). Auch von verschiedenen politischen und wissenschaftlichen Kommissionen wird regenerative Landwirtschaft als Chance gesehen, den zukünftigen Herausforderungen in der Landwirtschaft zu begegnen, u.a. vom Club of Rome in seinem aktuellen Gutachten (2022) sowie der Zukunftskommission Landwirtschaft (ZKL 2021).

Eine weitere neue Bewirtschaftungsform ist die *Agri-Photovoltaik* (Agri-PV). Agri-PV ist eine junge Technologie, der ein großes Potenzial bescheinigt wird (Fraunhofer ISE 2022). Sie bietet eine Möglichkeit, die PV-Leistung auszubauen und gleichzeitig die Landflächen für den Ackerbau zu nutzen, so dass sich die Landnutzungseffizienz deutlich erhöhen kann. Über eine Steigerung der Landnutzungseffizienz hinaus kann Agri-PV bei geeignetem technischen Design auch positive Wirkungen für den landwirtschaftlichen Anbau selbst haben. Insbesondere eine verringerte Verdunstungsrate, die schattenspendende Wirkung sowie Windschutz sind wichtige Faktoren, die zu einer Förderung der Pflanzengesundheit und einer Senkung des Wasserverbrauchs beitragen. Indem die vorhandenen Gerüststrukturen genutzt werden, können zudem weitere Schutzsysteme (Hagelschutz, Frostschutz) kostengünstig integriert werden. Das kann die Produktivität und die Wertschöpfung der landwirtschaftlichen Flächen deutlich steigern. Weltweit hat sich die Technologie der Agri-PV in den letzten Jahren sehr dynamisch entwickelt und verbreitet. Die installierte Leistung stieg von rund fünf Megawatt Peak (MWp) im Jahr 2012 auf mindestens 14 Gigawatt Peak (GWp) im Jahr 2021. Hier gibt es allerdings große Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern. Vorreiter sind vor allem Japan, China, Frankreich, USA und Korea (Fraunhofer ISE 2022). Die Entwicklung in diesen Ländern wurde v.a. durch staatliche Förderprogramme vorangetrieben. In Deutschland existieren dagegen neben Forschungsanlagen bis dato nur rund ein Dutzend Agri-PV-Anlagen. Da Agri-PV erheblich teurer ist als Freiflächen-Anlagen, bedarf es für eine weitere Verbreitung gezielter Förderinstrumente. Hier ist eine langfristige Perspektive durch eine geeignete Förderung, die ein gesichertes Betriebseinkommen schafft, elementar. Eine weitere wesentliche Bedingung dafür, dass sich Agri-PV-Systeme in der Praxis weiter verbreiten, ist der Wissensaufbau bei Landwirten durch Bildung (Aus- und Weiterbildung) und Beratung.

Das Thema *Wiedervernässung von Mooren* wird vor dem Hintergrund der CO₂-Speicherpotenziale zunehmend diskutiert. In Deutschland sind derzeit ca. 1,3 Mio. Hektar (knapp 7 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche) trockengelegte und bewirtschaftete Moorböden. Auf diesen Flächen werden jährlich etwa 41 Mio. t CO₂- Äqu. und damit etwa 40 Prozent der gesamten THG-Emissionen aus der Landwirtschaft und der landwirtschaftlichen Bodennutzung emittiert (Grethe et al. 2021, S. 16). Da durch eine Wiedervernässung ein Großteil der Emissionen vermieden werden kann, ergibt sich ein hohes Einsparpotenzial. Auf einem Großteil der wiedervernässten Fläche kann eine landwirtschaftliche Nutzung stattfinden (Paludikultur). Diese Nutzung unterscheidet sich allerdings erheblich von derzeitigen Nutzungssystemen. Die Erzeugung von Lebensmitteln auf Mooren wird immer weiter in den Hintergrund rücken. Dagegen wird die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen für die Bewirtschaftung nasser Moore immer wichtiger (Nordt et al. 2022).

Derzeit stellen die hier beschriebenen Bewirtschaftungsansätze noch eine Nische in der landwirtschaftlichen Nutzung dar. Ob sie sich tatsächlich entsprechend ihrer Potenziale verbreiten, ist von verschiedenen Rahmenbedingungen abhängig: von den regionalen Gegebenheiten und von den politischen Rahmensetzungen. Hierzu gehören Förderprogramme, eine Anpassung der GAP Eco-Schemes, sowie ein geeigneter Wissenstransfer in die Praxis durch Bildung und Beratung. Einen wichtigen Schub für die Wettbewerbsfähigkeit könnten neue, klima- und umweltfreundliche Bewirtschaftungsformen durch eine Internalisierung externer Kosten erhalten. Wenn Mechanismen geschaffen werden, die umweltschädliche Produktionsverfahren in den Produktpreis mit einbeziehen, könnte das die Attraktivität und Konkurrenzfähigkeit der hier beschriebenen Ansätze deutlich steigern.

Abbildung 7: Entwicklungsdynamiken des Szenarios „Neue Bewirtschaftungsformen“



Quelle: Eigene Darstellung (auf Basis von iModeler)

Potenziale einzelner Transformationsfelder

Im Folgenden werden Potenzialabschätzungen für verschiedene Transformationsfelder auf Basis einer Literaturlauswertung wiedergegeben.

| Transformationsfeld | Potenziale |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Agroforstsysteme | Agroforstsysteme wurden in zahlreichen Forschungsprojekten untersucht und ihr Potential für Klimaschutz, Klimaresilienz und Nachhaltigkeit |

| | |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>wurde dargelegt (eine Übersicht findet sich bspw. unter agroforst-info.de¹⁷).</p> <p>Eine Studie der BTU Cottbus ermittelte: wenn auf 50 Prozent der Ackerfläche in Deutschland Agroforstwirtschaft betrieben wird (davon 10 Prozent für den Anbau von Agroforstgehölzen) können jährlich ca. 10 Mio. t CO₂-Äqu. a⁻¹ in der Holzbiomasse gebunden werden (Tsonkova und Böhm 2020). Ein Potenzial ist auch darin zu sehen, dass durch den Anbau von Energieholz CO₂-Emissionen der Energiegewinnung aus fossilen Energieträgern (Braunkohle, Steinkohle und Erdgas) substituiert werden können. Ein weiteres großes Potenzial besteht in der Bereitstellung von Rohstoffen für die Bioökonomie. So kann in KUP mit schnellwachsenden Baumarten bei Laufzeiten von 10 bis 20 Jahren Holz bspw. für Baustoffe, Dämmstoffe und Verpackungsholz produziert werden.</p> |
| Regenerative Landwirtschaft | <p>Zur Einschätzung der Wirkungen und Potenziale der regenerativen Landwirtschaft fehlt bislang eine breitere wissenschaftliche Basis. Gleichwohl gibt es einzelne Studien, die die Vorteile der regenerativen Landwirtschaft untersucht haben. Nach Berechnungen des Nabu und der Boston Consulting Group kann die regenerative Landwirtschaft die Gewinne der Agrarbetriebe im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft um bis zu 60 Prozent steigern (durch geringere Betriebsmittelkosten, betriebliche Einsparungen und größere Widerstandsfähigkeit bei extremen Wetterbedingungen) (BCG/Nabu 2023). Die Studie hebt außerdem das ökologische Potenzial dieses Ansatzes hervor. Es wurde berechnet, dass sich der ökologische Nutzen durch geringere CO₂e-Emissionen und Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit und -qualität in Deutschland auf 8,5 Milliarden Euro pro Jahr beläuft (BCG/Nabu 2023).</p> <p>Des Weiteren wirke sich regenerative Landwirtschaft positiv auf die Biodiversität aus, v.a. durch die Vermeidung von Eingriffen in die Bodenstruktur (No-till-Verfahren) und durch die Verringerung des Einsatzes von synthetischen Pflanzenschutz- und Düngemitteln.</p> |
| Agri-PV | <p>Weltweit betrachtet sind bei der Agri-PV vor allem Japan, China, Frankreich, USA und Korea Vorreiter. Global ist die installierte Leistung von ca. fünf Megawatt Peak (MWp) im Jahr 2012 auf mindestens 14 Gigawatt Peak (GWp) im Jahr 2021 angestiegen (Fraunhofer ISE 2022).</p> <p>Die Potentiale von Agri-PV sind in mehreren Studien wissenschaftlich untersucht worden. Verschiedene Studien kommen zu unterschiedlichen Zahlen bezüglich der Flächen, die erforderlich sind, um den Strombedarf zu decken. Das Fraunhofer ISE geht davon aus, dass in Deutschland ein Potenzial von 1.700 GWp besteht. Demnach würden theoretisch 4 Prozent der deutschen Agrarflächen ausreichen, um mit hoch</p> |

¹⁷Siehe: <https://agroforst-info.de/fachinformationen/ergebnisse/>

| | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>aufgeständerten Agri-PV-Anlagen den gesamten Strombedarf Deutschlands zu decken. Zu anderen Zahlen kommt eine Studie der Universität Hohenheim. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass ein Prozent der deutschen Ackerfläche, das mit Agri-PV ausgerüstet ist, knapp 9 Prozent des deutschen Strombedarfs decken könnte (Feuerbacher et al. 2022). In der Schweiz untersuchte die ZHAW die Potenziale von Agri-PV. Die Studie zeigt auf: Um 10 Prozent des zukünftigen Schweizer Strombedarfs zu decken, wären Agri-PV-Flächen auf 1,1 Prozent der offenen Ackerflächen notwendig (Jäger et al. 2022).</p> |
| <p>Wiedervernässung von Mooren/ Paludikultur</p> | <p>Eine Wiedervernässung trockengelegter Moorflächen birgt ein hohes Potenzial zur Vermeidung von CO₂-Emissionen. Eine Studie der Stiftung Klimaneutralität hat berechnet, dass im Fall einer vollständigen Wiedervernässung von Acker etwa 35 t CO₂-Äqu./ha/Jahr eingespart werden könnten (Grethe et al. 2021, S. 16).</p> <p>Der volkswirtschaftliche Nettonutzen einer Wiedervernässung von z. B. 80 Prozent der betroffenen Flächen könnte langfristig in einer Größenordnung von bis zu 4 Mrd. € jährlich liegen und es ergäben sich THG-Minderungen von etwa 32 Mio. t CO₂-Äqu. (Grethe et al. 2021, S. 16).</p> <p>Bisher handelt es sich bei Paludikultur-Verfahren um landwirtschaftliche Nischen. Bewirtschaftungsformen, die für wiedervernässte Moorstandorte interessant sind, sind bspw. Schilfröhricht, Rohrkolbenröhricht, Großseggenried, Rohrglanzgraswiese, Weideflächen, Nassgrünland oder Kurzumtriebsplantagen. Eine Studie des BfN kommt zu dem Ergebnis, dass der Anbau von Schilf und Rohrkolben als Verfahren mit dem höchsten Potenzial in Bezug auf Klimaschutz und Wertschöpfung angesehen werden kann (Närmann et al. 2021). Die Nassgrünlandnutzung ist bereits heute schon praxisreif und als landwirtschaftliche Kultur anerkannt. Sie dürfte auch in Zukunft die höchste Flächenrelevanz besitzen (Närmann et al. 2021).</p> |

Die hier beschriebenen Ansätze befinden sich derzeit noch in der Nische bezüglich ihrer Umsetzung in der landwirtschaftlichen Praxis. Studien, die Abschätzungen zu ihrer zukünftigen Verbreitung treffen, liegen bisher nicht vor. Gleichzeitig werden den Ansätzen große Potenziale zur Bewältigung globaler Herausforderungen bescheinigt. Studien zeigen die großen technischen und ökologischen Potenziale auf. Einige Ansätze (Agroforstwirtschaft, Agri-PV) werden von der Wissenschaft stark vorangetrieben. Daher ist davon auszugehen, dass sich die Transformationsfelder unter der Voraussetzung veränderter Rahmenbedingungen (insbesondere Änderung der GAP- und weiterer Förderlogiken, Internalisierung externer Kosten) langfristig stark entwickeln könnten. Wenn sich diese Entwicklungen durchsetzen, sind hiermit starke Auswirkungen auf die Landtechnik zu erwarten.

Zukunftsbilder 2050: imaginierte Zukünfte

Moor-Klimawirte wirtschaften auf wiedervernässten Moorflächen

Im Jahr 2050 ist in Deutschland die Wiedervernässung von Moorböden, die vormals als trockengelegte Flächen bewirtschaftet wurden, weitgehend abgeschlossen. Die THG-Emissionen aus der Landwirtschaft konnten somit um 35 t CO₂-Äqu./ha/Jahr gesenkt werden. Vor allem in den fünf moorreichsten Bundesländern (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Brandenburg, Bayern) hat ein Paradigmenwechsel stattgefunden: von Wasser als Schadfaktor zu Wasser als Produktionsgrundlage. Ein großer Teil der wiedervernässten Flächen wird landwirtschaftlich genutzt: Großteils für die Erzeugung von Rohstoffen (z.B. Papier und Pappe aus Gras, Dämmstoffe), als Ausgangsstoffe für die Bioökonomie (Zellstoff, Lignin), für die Erzeugung von Biomasse für die energetische Nutzung sowie als Weideflächen für Rinder, Gänse und Schafe. Auch für die Erzeugung von Strom aus PV-Anlagen werden Moorflächen genutzt (insbesondere für Agri-PV-Systeme). Die Landtechnik wurde im Hinblick auf die nasse Bewirtschaftung angepasst. Im Vordergrund standen dabei die Minimierung des Bodendrucks sowie die Reduzierung der Überfahrten bei gleichzeitig hoher Schlagkraft der Erntetechnik. Landwirte auf Moorstandorten verstehen sich nun als „Moor-Klimawirte“. Die Klimaschutz-Leistungen, die sie erbringen, rechnen sich für sie, da sie hierfür eine staatliche Finanzierung erhalten. Die GAP wurde entsprechend angepasst, so dass nun nasse Bewirtschaftungsformen gefördert werden. Mit dem neu entstandenen Berufsbild des Moor-Klimawirts ist auch eine Neuausrichtung der Aus- und Weiterbildung erfolgt.



Bildquellen: links: Shutterstock 1883333860, rechts: Shutterstock 2191179025

Agroforstsysteme schaffen Mehrwert: verschiedene Funktionen auf einer Fläche

Im Jahr 2050 sind auf 50 Prozent der Ackerfläche in Deutschland Agroforstsysteme etabliert, wobei etwa 10 Prozent dieser Fläche für den Anbau von Agroforsthölzern genutzt wird, während der Großteil weiterhin dem landwirtschaftlichen Anbau dient. Im Schatten der Agroforststreifen können aufgrund des Wind- und Erosionsschutzes sowie des Feuchtigkeitsmanagements höhere Erträge bei den landwirtschaftlichen Kulturen erzielt werden. Die Gehölzflächen werden durch die höhere landwirtschaftliche Produktion auf den angrenzenden Flächen mehr als kompensiert. Agroforstsysteme wurden in den unterschiedlichsten landwirtschaftlichen Bereichen etabliert – sowohl im Ackerbau, im Grünland und bei Dauerkulturen als auch in der Viehhaltung. Bei den angebauten Gehölzen werden unterschiedliche Geschäftsmodelle verfolgt: Einerseits Ansätze, bei denen schnellwachsende Baumarten wie Pappeln und Weiden in Kurzumtriebsplantagen angebaut werden. Mit diesen Kurzumtriebsplantagen können große Mengen höherwertigen Holzes für die stoffliche Nutzung (u.a. für Baustoffe, Dämmstoffe,

Verpackungsholz) produziert werden. Gemäß dem Prinzip der Kaskadennutzung wird das Holz zunächst stofflich genutzt, bevor es zur Energiegewinnung eingesetzt wird. Andere Systeme setzen auf längere Umtriebszeiten (40 Jahre und mehr); das gewonnene Holz wird beispielsweise als Material für Bauholz, Baustoffe oder Holzmöbel genutzt. Der Anbau von Nuss- und Obstbäumen stellt ein weiteres Geschäftsmodell dar. Die Agroforstsysteme tragen einen großen Anteil zum Klimaschutz bei: Es werden jährlich etwa 10 Millionen t CO₂-Äq/Jahr in der Holzbiomasse der Agroforstgehölze gebunden. Durch die zunehmende Bewirtschaftung von Agroforstsystemen sind neue Wertschöpfungsketten entstanden, die über die Holzproduktion hinausgehen. Die Vermarktung findet häufig in regionalen Netzwerken statt. Die dezentrale Energieversorgung, Biomassehöfe und Hackschnitzelverbrennungsanlagen sind wichtige Abnehmer. Agroforstsysteme leisten in Deutschland einen großen Beitrag zur Bioökonomie sowie – aufgrund der CO₂-Speicherfunktion – zum Klimaschutz. Zuverlässige institutionelle Fördermöglichkeiten, ein monetärer Ausgleich und mehr rechtliche Sicherheit bei der Anlage von Agroforstsystemen haben zu einem regelrechten Boom dieser Bewirtschaftungsform unter den Landwirten geführt. Für die Landwirte rechnet sich die Agroforstwirtschaft, da sie mit den nachhaltig erzeugten Produkten gute Preise erzielen. Außerdem werden die ökologischen Vorteile dieser Bewirtschaftungsform sowohl durch die GAP gefördert als auch durch die Agrarförderung der Länder.



Bildquelle: Shutterstock 2231790813

Agri-PV: Doppelte Flächennutzung mit doppeltem Ertrag

Die Erzeugung erneuerbarer Energien stellt im Jahr 2050 eine wichtige zusätzliche Einkommensquelle für viele Landwirte dar. Durch die Bereitstellung von Bioenergie, Windenergie und Solarenergie hat die Landwirtschaft wesentlich dazu beigetragen, die Loslösung von fossilen Energieträgern in Deutschland zu vollziehen. Da die Akzeptanz von Freiflächen-PV aufgrund der Flächenkonkurrenz zunehmend sank, wurde deren weiterer Ausbau stark gedrosselt. Dagegen wurde und wird v.a. auf Agri-PV-Anlagen gesetzt, die auf der gleichen Fläche sowohl die Stromerzeugung mittels Photovoltaik sowie den Ackerbau ermöglichen. So sind im Jahr 2050 Agri-PV-Anlagen ein alltäglicher Anblick. Dabei kommen unterschiedliche Systeme zum Einsatz. Einerseits findet man hochaufgeständerte Agri-PV-Anlagen mit einer Durchfahrts Höhe von 2,10 m oder mehr. Hier werden unter den PV-Modulen v.a. Obst und Beeren sowie Gemüse- und Ackerkulturen angebaut. Daneben gibt es die bodennahen Systeme mit einer Aufständehöhe unter 2,10 m. Bei diesen Systemen findet die Landwirtschaft zwischen den PV-Anlagenreihen statt. Bodennahe Agri-PV-Anlagen kommen v.a. im Ackerbau und im Grünland zum Einsatz. Beide Arten von Anlagen werden aber auch bei der Weidetierhaltung eingesetzt.

Bei den hochaufgeständerten Anlagen lassen die Durchfahrthöhe und der Abstand zwischen der Aufständerung teilweise die Bewirtschaftung mit standardisierten landwirtschaftlichen Gerätschaften zu. Teilweise sind aber auch angepasste Geräte und Technologien notwendig. Da Hitze- und Trockenperioden in Deutschland nun sehr viel häufiger und extremer auftreten als noch vor 25 Jahren, ist die schattenspendende Wirkung des PV-Daches ein enormer Vorteil. Zusätzlich sind die Agri-PV-Konstruktionen häufig mit einem Regenwasserauffangsystem und einem intelligenten Bewässerungssystem verknüpft. Die angebauten Kulturen liefern somit – trotz größerer Hitze – gute Erträge. Der produzierte Strom wird teilweise direkt in den Erzeugerbetrieben genutzt und teilweise in das Stromnetz eingespeist. Die Landwirte nutzen teilweise den erzeugten Strom, um eigene Gräte mit Elektroantrieb zu betreiben.



Bildquellen: links: generiert mit Midjourney, rechts: Shutterstock 687393868

5.3 Künstliche Biowelten

Das Szenario rückt alternative Agrarsysteme jenseits des herkömmlichen Ackerbaus in den Vordergrund. Im Zentrum steht die Entwicklung neuer Ernährungssysteme („New food systems“) auf der Basis geschlossener Produktionssysteme zur Herstellung alternativer Proteinquellen für Nahrungsmittel und Tierfutter. Infolge der Diffusion von Indoor Farming, Insect Farming, Precision Farming, Cultured meat entstehen künstliche Biowelten, die das Szenario prägen.

Entwicklungsdynamiken

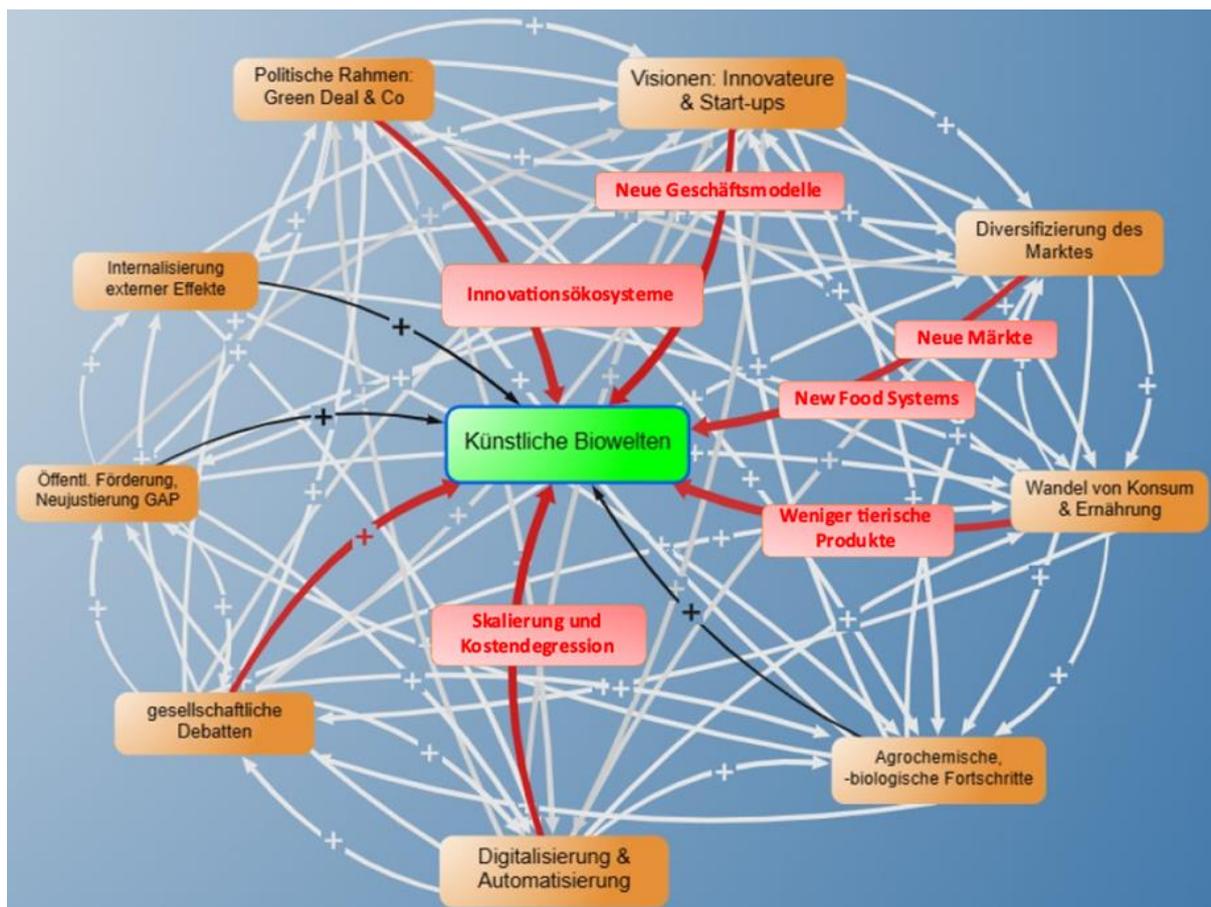
New Food-Systeme sind Gegenstand zahlreicher Forschungsprojekte und ein Innovationsfeld für neue Geschäftsideen und Geschäftsmodelle auf Basis von geschlossenen, künstlichen Agrarsystemen. Hier treiben innovative Start-ups, Forschungsnetzwerke und Unternehmen der Agrarindustrie die Marktentwicklung gemeinsam voran. Ein Treiber der Entwicklung ist auch die Innovations-, Wirtschafts- und Nachhaltigkeitspolitik mit umfangreichen Programmen zur Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsförderung (insbesondere als ein Element zur „Protein transition“). In den letzten Jahren hat sich eine vielfältige und dynamische New Food-Szene in Deutschland entwickelt, die rund 100 Start-ups umfasst. Sie eint ein Mind Shift der Lebensmittelsystemtransformation: flächenunabhängig ohne Natur mit neuartigen Systemen Nahrungsmittel jenseits der klassischen Landwirtschaft zu erzeugen. Ein zentrales Ziel dabei ist die Decarbonisierung der Lebensmittelproduktion, so dass sie zukünftig auch für 10 Mrd. Menschen in den Klimagrenzen möglich ist. Die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle für synthetisch hergestellte Lebensmittel ist noch mit mehreren Hürden konfrontiert. Erstens stellt die Wagniskapitalfinanzierung für viele Start-ups eine Hürde dar, insbesondere deshalb, weil Kredite und Wagniskapital (zunehmend) in frühen Innovationsphasen schwer zu bekommen sind, im Vergleich zu Start-ups in anderen Ländern weisen deutsche Start-ups diesbezüglich eine Finanzierungslücke auf,

was ein Entwicklungsnachteil ist. Zweitens finden Gründungen meist erst bei einem hohen Technology Readiness Level (TRL 6-7) und damit im Vergleich zu anderen Ländern relativ spät statt. Drittens fehlt es an der Herstellung von entsprechenden Produktionsanlagen (z.B. Fermentern), weil es bis dato keine klare Markterwartung gibt. Es fehlt an Planungssicherheit im heimischen Markt. Viertens sind Landwirte aufgrund von Flächennutzungsplänen von der synthetischen Produktion von Lebensmitteln ausgeschlossen, es fehlt an Klarheit im Baurecht, um synthetische Lebensmittel im ländlichen Raum herstellen zu können und nicht nur in urbanen gewerblichen Gebieten.

Deutlich dynamischer als in Deutschland entwickeln sich New Food-Systeme in einzelnen anderen Ländern. Aufgrund förderlicher Rahmenbedingungen ist die Innovationsdynamik besonders in Singapur, Israel und den USA höher; in den Niederlanden und Frankreich ist eine starke Förderung von New Food-Systemen zu verzeichnen. Nach Singapur sind die USA weltweit das zweite Land, in dem Labor-Fleisch verkauft werden darf. Die Branche erhofft sich von Zuchtfleisch aus dem Labor „ein Milliarden-geschäft“ (SZ 2023). Maßgeblich für die Weiterentwicklung von New Food-Systemen sind vereinfachte Herstellungsverfahren, die eine Skalierung der Produktion im industriellen Maßstab ebenso ermöglichen wie die zunehmende Produktdifferenzierung. Eine ökologisch nachhaltige Skalierung der Produktion ist unter anderem davon abhängig, aus welchen Quellen die Energie- und Rohstoffbedarfe gedeckt werden. Auch die wachsende Weltbevölkerung und die damit verbundene Frage nach ausreichender Versorgung mit Nahrungsmitteln sowie die Pluralisierung der Ernährungsgewohnheiten wirken als ein Treiber für ein zunehmendes Angebot für Alternativen zu landwirtschaftlichen Produkten. Mit hinein in die Pluralisierung von Ernährungsgewohnheiten spielen Aspekte wie das zunehmende Bewusstsein für Konsequenzen der eigenen Ernährung, die Kritik an Viehhaltung und Fleischkonsum (UBA 2019). Dabei spielt auch die wachsende Akzeptanz von pflanzlichen Alternativprodukten eine Rolle, weil New Food-Systeme auf diesen Trend aufsetzen. Die steigende Nachfrage nach alternativen Fleischproteinen, wachsende Bedenken bei herkömmlichem Fleisch hinsichtlich des Klimaschutzes und Tierwohls und der technologische Fortschritt in der zellulären Landwirtschaft treiben die Entwicklung voran. Andererseits fehlt es bei Insekten und Cultured Meat als Nahrungsmittel bisher an Akzeptanz. Unter der Voraussetzung, dass Vorbehalte abgebaut werden, könnte sich ein dynamischer Markt herausbilden. Als ein weiterer neuer Markt entwickelt sich im Kontext von New Food-Systemen Vertical Farming in diesem Szenario dynamisch. Der Anbau von Nahrungsmitteln wandert nicht nur in die Stadt, sondern er wächst auch in die Höhe. Bei dieser Form der städtischen Landwirtschaft wird Obst und Gemüse vertikal angebaut. Dabei kommen die Pflanzen oft ganz ohne Sonnenlicht aus. In den Indoor-Farmen gedeihen Tomaten, Spinat und anderes dann unter optimalen Bedingungen während des ganzen Jahres. Vertikale Indoor-Farmen gibt es bereits am Markt für Gemüsesorten wie Salat, Spinat oder Kohl auf Basis von bodenlosen Systemen wie Aquaponik, Hydroponik oder Aeroponik. In Deutschland wird Vertical Farming vor allem von den etablierten großen Gemüsebauern (Pfalz, Vechta, Schwerin) forciert. Für andere ist es schwierig, die Flächen bereitzustellen. Kleine Anlagen unter 7.000 m² lohnen sich bis dato nicht, gleichwohl angepasste Technologien das Potenzial für kleinräumige Nutzungen hätten (z.B. für Vertical Indoor Farming in alten Schweineställen). Hier stellen sich Fragen der Finanzierbarkeit, um dezentralere, stabile Systeme zu schaffen. Generell ist absehbar, dass durch Skalierung und Kostendegression der Produktionsbedingungen die Preise für Produkte aus Indoor Farming gesenkt werden können und damit wettbewerbsfähiger werden, als dies heute der Fall ist. Gegenüber der konventionellen Landwirtschaft wird eine Ertragssteigerung um das 40- bis 75-fache möglich (Peter 2021). Der Wasserverbrauch könnte rapide gesenkt werden. Vertikale Farmen benötigen aufgrund der effizienten Wassersysteme fünf bis zehn Prozent dessen, was „normale“ Landwirtschaft braucht. Das

Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln ist gar nicht nötig, weil Schädlinge und Krankheiten in den geschlossenen Systemen so nicht existieren. Und auch der Nährstoffverbrauch ist durch das Kreislaufsystem weitaus geringer (BLE 2023). Bei der Umsetzung zeichnen sich verschiedene Geschäftsmodelle ab, die sich hauptsächlich nach Größe und Einsatzgebiet der Anlagen unterscheiden. So werden „plant farms with artificial light“ als ganze Gebäude konzipiert, die ausschließlich der Lebensmittel-/Nutzpflanzenproduktion dienen. So genannte „Container-Farmen“ nutzen Container, um die Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen zu kultivieren. Bei In-Store-Farmen werden kleine Farmen im Lebensmitteleinzelhandel oder in Restaurants aufgestellt. Die Konsumenten können so näher mit den Nahrungsmitteln in Kontakt kommen. Letztendlich sind sogenannte „Appliance Farms“ für den privaten Gebrauch gedacht (Kuntosch 2022). Von zunehmender Bedeutung ist der Einsatz von Biotechnologie. Der Grund hierfür ist, dass durch die sprunghaften Fortschritte in der Biotechnologie in Verbindung mit Bioinformatik und Gentechnik sowohl eine effiziente Nutzung alternativer Proteinquellen als auch neue, künstliche Agrarsysteme effizienter realisiert werden können. Durch Forschungsfortschritte ist es denkbar, dass künftig auch Weizen in vertikalen Farmen wettbewerbsfähig gedeihen kann. Dies ist ein Innovationsfeld in einer Reihe von Entwicklungen, die auf mögliche Wende- oder Bruchpunkte in einer zukünftigen Transformationsentwicklung des Agrar- und Ernährungssystems hinweisen.

Abbildung 8: Entwicklungsdynamiken des Szenarios "Künstliche Biowelten"



Quelle: Eigene Darstellung (auf Basis von iModeler)

Potenziale einzelner Transformationsfelder

Im Folgenden werden Potenzialabschätzungen für verschiedene Transformationsfelder auf Basis einer Literaturlauswertung wiedergegeben.

| Transformationsfeld | Potenziale |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Insect Farming | <p>Statista schätzt den Markt von essbaren Insekten weltweit für 2023 auf rund 1,2 Milliarden US-Dollar (Statista 2023). Erwartet wird ein Anstieg bis 2032 auf etwa 17,6 Milliarden US-Dollar (Statista 2023).</p> <p>Grand View Research rechnet zwischen 2021 bis 2028 mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 27,4 Prozent (Grand View Research o.J.), in Europa und den westlichen Ländern ist die Insektenzucht ein wachsender Wirtschaftszweig (Madau et al. 2020).</p> <p>In Deutschland haben laut einer <u>YouGov-Umfrage</u> etwa 13 Prozent der Deutschen schon einmal Insekten gegessen oder ziehen es in Erwägung (Statista 2021). Die Bereitschaft, Insekten als Ersatz für Fleisch zu konsumieren, ist bis dato (nach UBA) sehr gering (UBA 2019).</p> |
| Precision Fermentation | <p>Gemäß Business Plan des Start-ups Formo sollen ab 2030 10 Prozent des europäischen Käsemarktes abgedeckt werden (HealthCapital Berlin-Brandenburg 2022). Die Probierbereitschaft für Käseprodukte aus Precision Farming liegt in Deutschland gemäß einer Befragung von frontiers bei 75,9 Prozent, die regelmäßige Kaufbereitschaft bei 36,1 Prozent (Zollman Thomas und Bryant 2021).</p> <p>Weltweit wird der Markt für Präzisionsfermentation für 2022 auf rund 1,6 Mrd. USD geschätzt und soll bis 2030 36,3 Mrd. USD erreichen (Research and Markets 2022).</p> <p>RethinkX prognostiziert „einen radikalen Wandel in der Lebensmittelwirtschaft“. Nach Einschätzung des RethinkX-Berichts werden vor allem die Milch- und Rindfleischindustrie bis 2030 zusammenbrechen. Erwartet wird eine sinkende Nachfrage nach Kuhprodukten bis 2030 um 70 Prozent. Verschiedene Produkte der Kuh (Milch, Fleisch, Leder sowie Kollagen zur Herstellung von Gelatine) werden künftig mit günstigeren und hochwertigeren Alternativen konkurrieren. Mehrere parallele, sich gegenseitig überlappende und beschleunigende Entwicklungen lösen diese Wende aus. Als einen wichtigsten Treiber nennt RethinkX die Fortschritte bei Precision Fermentation (zit. nach Albert Schweitzer Stiftung für unsere Mitwelt 2019).</p> |
| Cultured Meat | <p>Bezüglich der Ökobilanz der In-Vitro-Fleisch-Produktion existieren noch große Unsicherheiten und Kontroversen. Zwar wurden erste Lebenszyklusanalysen vorgenommen, die jedoch viele Annahmen bezüglich der verwendeten Ressourcen treffen müssen. Sie gleichen daher eher</p> |

| | |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>möglichen Szenarien als Prognosen (UBA 2021a). Die größten Unsicherheiten stellen das Design des Bioreaktors und die Zusammensetzung der Nährlösung dar (UBA 2021a).</p> <p>Die ersten Untersuchungen gehen davon aus, dass vor allem im Vergleich zur konventionellen Rindfleischproduktion weniger Land und Wasser benötigt und weniger Treibhausgase emittiert würden (UBA 2021a). Die kumulativen Umweltauswirkungen gegenüber konventionellem Rindfleisch könnten um etwa 93 Prozent, Schweinefleisch um 53 Prozent und Hähnchenfleisch um 29 Prozent geringer ausfallen (wenn Cultured Meat mit erneuerbaren Energien produziert wird) (vegconomist 2021).</p> <p>„Auch wenn der Absatz von Fleischersatzprodukten deutlich wächst, ist der Anteil am Markt in Relation zu Fleisch noch marginal. Eine wesentliche Hürde ist der deutlich höhere Preis der Fleischersatzprodukte“ (UBA 2021a, S. 130).</p> <p>Infolge der Automatisierung und Skalierung der Produktionsprozesse wird mit sinkenden Kosten gerechnet. Bis 2030 kann kultiviertes Fleisch kostenmäßig wettbewerbsfähig sein (Buffi 2021).</p> <p>Laut McKinsey & Co. wird kultiviertes Fleisch bis 2030 die Preisparität mit konventionell erzeugtem Fleisch erreichen (GEA 2022).</p> <p>Nach dem <u>Marktforschungsbericht</u> von <u>Meticulous Research</u> wird der Markt für <u>kultiviertes Fleisch</u> bis 2035 voraussichtlich 1,99 Milliarden US-Dollar erreichen, bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 21,4 Prozent von 2025 bis 2035 (Meticulous Research 2022 nach Markt & Trends 2022).</p> <p>Markets and Markets schätzt den Marktwert für Cultured Meat im Jahr 2021 auf 15,5 Mio. US-Dollar und prognostiziert einen Anstieg auf 20 Mio. US-Dollar bis 2027 (Markets and Markets 2019 nach UBA 2019). Vor allem Unternehmen aus den USA, den Niederlanden, Israel und Japan beschäftigen sich mit der Herstellung von Cultured Meat. Hierbei ist zu beobachten, dass sich die Start-up-Landschaft zunehmend diversifiziert.</p> |
| Vertical Farming | <p>Erwartet wird ein Marktwachstum von 4,2 Milliarden US-Dollar im Jahr 2021 auf 11,5 Milliarden US-Dollar im Jahr 2026. Europa wird dabei Nordamerika als Treiber und als am schnellsten wachsenden Markt ablösen (ReportLinker 2022).</p> <p>Der vertikale Anbau lohnt sich wegen der hohen Kosten vor allem für hochwertige Gemüse, die einen hohen Preis pro Gewicht erzielen und möglichst dicht angebaut werden können. Viele vertikale Farmen konzentrieren sich auf Blattgemüse wie Salat oder Basilikum. Diese wachsen</p> |

| | |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>schnell und können mehrmals jährlich gepflanzt und geerntet werden (Mempel 2023).</p> <p>Kulturen mit besonderen Inhaltsstoffen wie zum Beispiel Arzneipflanzen sind interessant für den vertikalen Indoor-Anbau, da die homogenen Bedingungen dort ganzjährig ideale Wachstumsbedingungen ermöglichen (Mempel 2023).</p> <p>Weizen, Kartoffeln oder Reis kommen nicht in Frage, sodass Vertical Farming keine Lösung für die Nahrungsmittelknappheit der Zukunft ist, sondern eher als Ergänzung gesehen wird (Holy 2020). Dem steht die Einschätzung gegenüber, dass durch technologisch mögliche Fortschritte zukünftig Weizen in vertikalen Indoor-Farmen ("Indoor-Weizen") wirtschaftlich tragfähig (u.a. gegen Ernteauffälle) erzeugt werden kann. Mit 100 Schichten (eines raumsparenden Weizens, wie er beispielsweise von der Weltraumagentur NASA gezüchtet wurde) könnte auf einem Hektar 6000-mal mehr Weizen produziert werden, als es auf dem Feld möglich wäre (Asseng, School of Life Sciences der TU München, zit. nach Der Tagesspiegel, 10.6.2023, S.24)</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

In den vergangenen Jahren wurde eine Reihe von Trend-, Markt- und Potenzialstudien über Indoor-Farming, Insect Farming, Precision Farming publiziert, die auf das Wachstumspotenzial dieser Marktsegmente hinweisen. Die Erschließung der Wachstumspotenziale über Nischenmärkte hinaus setzt nicht nur neue Marktangebote, sondern in vielen Fällen auch eine Veränderung der Nachfrage- und Rahmenbedingungen voraus. New Food-Systeme sind daher auf eine Synchronisierung des angebots- und nachfrageseitigen Wandels angewiesen. Kurzfristig ist damit zu rechnen, dass Innovationen in kleinen oder mittleren Stückzahlen erprobt werden. Fragen der Skalierung und Wirtschaftlichkeit sind derzeit noch mit großer Unsicherheit behaftet. Obwohl Investitionen in die Entwicklungen und die Verbesserung der Herstellungsverfahren steigen und die negativen Umweltwirkungen herkömmlicher tierischer Produkte durch den Umstieg auf New Food-Systeme zukünftig gesenkt werden können, bestehen noch viele Unsicherheiten hinsichtlich ihrer künftigen Verbreitung. So ist unklar, ob und inwieweit sich die theoretischen Potentiale tatsächlich erschließen lassen. So könnten zwar in Deutschland neue Technologien für Indoor Farming entwickelt werden, ihre Anwendung wird aber primär in anderen Ländern, beispielsweise in Saudi-Arabien, gesehen. Auch die Frage, inwieweit die einzelnen Ansätze zur Nachhaltigkeit beitragen, ist im Einzelfall genau zu prüfen. Faktoren, wie der Verzicht auf fetales Kälberserum bei der Herstellung von Cultured meat und der Einsatz erneuerbarer Energien in der Produktion sowie die Skalierung zur industriellen Fertigung, sind diffusionsrelevant und bestimmen die tatsächlichen Umweltwirkungen (Jetzke und Dassel 2023). Durch den Ausbau der Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsförderung entsteht in Kombination mit der Mobilisierung von Investitionskapital ein Resonanzboden, auf dem sich selbsttragende Innovationsökosysteme entwickeln können. Marktanalysen rechnen mit neuen Märkten bereits in den nächsten Jahren. Dafür gibt es aber keine belastbaren Daten. Realistischer erscheint dies erst mittelfristig ab 2030. Dann könnten alternative Proteinquellen, zelluläre Innovationen und Inhouse Farming heute verbreitete landwirtschaftliche Anbauverfahren ergänzen. Ob sie langfristig das Potenzial haben, bei verbreiteter Diffusion den konventionellen Ackerbau in Teilen nicht nur zu ergänzen, sondern zu ersetzen, ist ungewiss, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Zukunftsbilder 2050: Imaginierte mögliche Zukünfte

Inhouse-Farming im industriellen Maßstab

Erdbeeren, Salate und Kräuter wachsen vertikal in Etagenbeeten bis unter die Decke der Produktionshalle, belichtet von LED-Leuchten, belüftet durch eine Klimaanlage, gesteuert von künstlicher Intelligenz. Gepflegt und geerntet werden die Pflanzen von Beschäftigten in Laborkleidung mit Gummihandschuhen und Hauben. Denn so eine Hochbeet-Farm muss keimfrei sein. Sie kommt ohne Pestizide aus. Ihre Nährstoffe bekommen die Pflanzen in der Vertikalen über das Wasser. Davon braucht es 90 Prozent weniger als auf dem Feld. Trotz kleiner Fläche können es solche geschlossenen Produktionssysteme mit großen Farmen aufnehmen. Denn in ihnen lassen sich Pflanzen das ganze Jahr über anbauen und schneller ernten. Der Anbau findet nicht in der Erde statt, sondern in Form von Hydrokulturen – in Rohren oder Behältern mit Wasser und darin gelösten Nährstoffen. Diese Nährstofflösungen versorgen die Pflanzen entweder mittels Hydroponik (Wurzeln hängen in Wasser mit Nährstoffen), Aeroponik (Sprühnebel aus Wasser und Nährstoffen) oder Aquaponik (Verbindung von Aquakultur und Hydroponik). Die Pflanzen wachsen mithilfe künstlicher Beleuchtung, teilweise auch mit natürlichem Licht oder einer Mischung aus beidem. Damit das Vertical Farming angesichts des hohen Energieverbrauchs rentabel ist, wird selbst erzeugter erneuerbarer Strom eingesetzt. Außerdem sind die Anlagen so ausgelegt, dass die meisten Prozesse automatisch ablaufen. Die Dimensionen solcher Fabriken: auf einem 7.000 Quadratmeter großen Grundstück werden auf 14 Etagen auf bis zu 24 Meter langen Regalen rund 1.000 Tonnen Gemüse pro Jahr erzeugt, das sind 3 Tonnen täglich. Solche Anlagen gibt es infolge der Transformation der Agrarwirtschaft im Jahr 2050 in vielen Ballungsgebieten, um die Bewohner mit pflanzlichen Erzeugnissen vor Ort zu versorgen.



Bildquellen: links: generiert mit Midjourney; rechts: Shutterstock 1954238326

Fleisch, Milch und Käse aus zellulärer Landwirtschaft

Das Jahr 2050 könnte der Zeitpunkt sein, an dem es für viele Menschen selbstverständlich ist, sich auch mit Fleisch, Milch und Milchprodukten aus zellulärer Landwirtschaft zu ernähren. Voraussetzung ist eine Skalierung der Produktion im industriellen Maßstab, Kostendegression bei der Herstellung, eine Steigerung der Energie- und Rohstoffeffizienz, Zulassung auf EU-Ebene im Rahmen der Novel Food Richtlinie, und die Schaffung einer Akzeptanz und Kaufbereitschaft bei Konsumenten. Milch und Milchprodukte, wie Käse, könnten unter diesen Bedingungen aus genmodifizierten Zellkulturen mittels Precision fermentation hergestellt werden. Cultured meat, würde nach Durchbrüchen bei Technologien und der Kostendegression bei Produktionsprozessen, nicht nur in Restaurants angeboten, sondern auch in Supermärkten. Es handelt sich dabei um Erzeugnisse, die aus echten Tierzellen gewonnen und als unabhängige Zellkulturen gezüchtet werden. Die Kulturen wachsen auf einem optimalen Nährboden in einer Matrix. Sie benötigen nicht viel Wasser, Energie und Fläche. Von allen Fleischvarianten ist

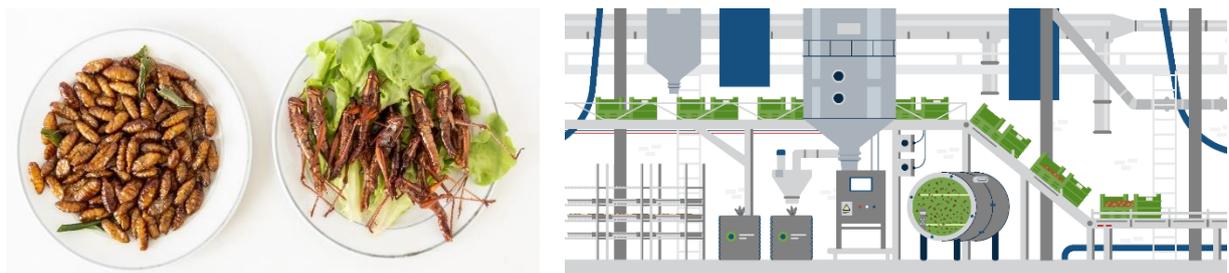
Cultured meat am klimafreundlichsten. Aufgrund der Vorteile, den diese künstlichen Proteinquellen mit sich bringen, wurde der Großteil einfacher Nahrungsmittel wie Rinderhack, Hühnerbrust, Wurstwaren und Milchprodukte bis 2050 durch sie substituiert. Auch wenn Feinschmeckererzeugnisse wie Entrecote, Käsespezialitäten und geräucherte Delikatessen weiterhin auf die konventionelle Art hergestellt werden, kann die Nahrungsmittelbereitstellung mit deutlich weniger Landflächennutzung erfolgen bei gleichzeitig deutlich geringerer Ressourcenbeanspruchung, Treibhausgasemissionen und Umweltbelastung.



Bildquellen: links: Shutterstock 1748585984, rechts: Shutterstock 1805383546

Insect Farming für Nahrungsmittel und Tierfutter

Essbare Insekten werden 2050 in groß angelegten Insektenfarmen gezüchtet, um daraus Proteine für Lebensmittel und Viehfutter zu gewinnen. Die Insektenzucht in den Mastfarmen erfolgt voll automatisiert und durch IT-Plattformen unterstützt. Diese sind mit einer Vielzahl von Sensoren verbunden, die den gesamten Prozess der Insektenproduktion steuern. Aus den Insekten wird hochwertiges Eiweiß für die Verwendung als Lebensmittel und Futtermittel gewonnen. Sie ersetzen Soja, Palmfett oder Fischmehl. Neben den Larven fällt bei dem Prozess hochwertiger Kompost an, der den Landwirten dazu dient, ihre Bodenqualität zu verbessern. Außerdem werden in speziellen Anlagen nicht konsumierte Lebensmittel eingesetzt, um mittels Insektenlarven diese zu Tierfuttermittel, hochwertigen Fetten, Ölen und Naturkosmetika zu erarbeiten. Somit wird auch ein Beitrag zur Kreislaufwirtschaft geleistet. Für Landwirte bietet Insect Farming eine zusätzliche Einkommensquelle.



Bildquellen: links: Shutterstock 1112369468; rechts: Shutterstock 2202292211

5.4 Verringerung der Erzeugung und des Konsums tierischer Lebensmittel

Das Szenario korrespondiert prinzipiell mit den drei vorangegangenen Szenarien. Es fokussiert auf die Verringerung der Erzeugung und des Konsums tierischer Lebensmittel. Eine deutliche Reduktion des Anteils tierischer Lebensmittel ist ein Kernelement einer Transformation des Agrar- und Ernährungssystems zur Erreichung von Klimaneutralität und Wiederherstellung von Biodiversität. Dafür benötigt es eine Veränderung der agrarpolitischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.

Entwicklungsdynamiken

Die Tierhaltung und der Markt für Fleisch- und Milchprodukte erleben in Deutschland einen strukturellen Wandel, der sich voraussichtlich in den nächsten Jahrzehnten verstärken wird. 2022 produzierten die Schlachtunternehmen 7,0 Millionen Tonnen Fleisch. Das waren 8,1 % oder 0,6 Millionen Tonnen weniger als im Vorjahr. Damit ging die inländische Fleischproduktion nach dem Rekordjahr 2016 (8,3 Millionen Tonnen) jedes Jahr zurück, allerdings nie so stark wie im Jahr 2022 (Destatis 2023b). Auch in anderen westlichen Ländern lässt sich generell feststellen, dass der Fleischverbrauch und -konsum auf hohem Niveau stagniert (beziehungsweise leicht rückläufig ist). Dahingegen steigt in vielen Ländern, die ein deutliches Wohlstandswachstum zu verzeichnen haben (wie zum Beispiel China), der Fleischverzehr überdurchschnittlich an (UBA 2021a, S. 39). So stieg die Zahl der weltweit gehaltenen Hühner von 14,4 Milliarden im Jahr 2000 auf rund 33,1 Milliarden im Jahr 2020. Das war ein Anstieg um 130 %. Auch der Bestand an Rindern, Schafen, Enten und Ziegen wuchs in diesem Zeitraum. Lediglich die Zahl der gehaltenen Schweine sank seit der Jahrtausendwende um 6 %. Bis zum Jahr 2050 wird sich die globale Fleischproduktion laut FAO insgesamt verdoppeln und vor allem in den Ländern des Globalen Südens weiter steigen (FAO und WHO 2019). Trotz des weltweiten Anstiegs sind in Deutschland die Fleischexporte in den vergangenen fünf Jahren um rund 19 % zurückgegangen (Destatis 2023a). Prägend für den Strukturwandel ist der starke Wettbewerb und die Nachfragemacht der großen Handelsketten in Deutschland. Landwirtschaftsbetriebe stehen unter hohem Druck, ihre Kosten zu senken. Viele Futtermittel werden nicht mehr auf betriebseigenen Flächen angebaut, sondern von spezialisierten Futterbaubetrieben zugekauft. Die Tierhaltung konzentriert sich in einigen Regionen besonders stark. In Deutschland bewirtschaften immer weniger landwirtschaftliche Betriebe immer größere Produktionseinheiten. Dieser Trend ist in der Nutztierhaltung besonders weit fortgeschritten (UBA 2021a, S. 26).

Zugleich stehen die Nutztierhaltung, die Fleischwirtschaft und der Fleischkonsum zunehmend in der gesellschaftlichen Kritik. Vor allem die intensive, wenig tiergerechte Tierhaltung, der hohe Antibiotikaeinsatz und die Umwelt- und Klimaauswirkungen werden kritisch diskutiert. Lösungswege hin zu einer nachhaltigeren Tierproduktion in Deutschland sind nur schwer umzusetzen, da der Großteil der Tierproduktion auf Effizienz ausgerichtet ist. Mit verfahrenstechnischen Maßnahmen und einer besseren räumlichen Verteilung der Nutztiere sowie ihrer Ausscheidungen kann die Nahrungsmittelproduktion zwar ökoeffizienter gestaltet werden. So könnten „Nährstoffüberschüsse (Stickstoff und Phosphor), Emissionen von Treibhausgasen (Methan und Lachgas), Luftschadstoffe (unter anderem Ammoniak) und Einträge von Pflanzenschutzmitteln, Tierarzneimitteln und Bioziden in die Umwelt verringert werden. Das Potenzial der verfahrenstechnischen Maßnahmen ist aber begrenzt. Insbesondere für die Lösung von zwei Problemen reichen die aktuell verfügbaren verfahrenstechnischen Maßnahmen nicht aus: der große Flächenbedarf im In- und Ausland für den Anbau von Futtermitteln und die Treibhausgase, die durch die Nutztierhaltung produziert werden“ (UBA 2021a, S. 4). Auch wenn die Produktion

durch verfahrenstechnische Maßnahmen und eine bessere räumliche Verteilung optimiert würde, würden die Klimaziele der Landwirtschaft voraussichtlich nicht erreicht und die globalen Belastungsgrenzen überschritten werden.

Damit das Ernährungssystem umwelt- und klimafreundlicher wird, müssen die Nutztierhaltung und die Ernährungsweisen zukünftig deutlich verändert werden. Die Verringerung des Tierbestands ist deshalb eine politisch viel diskutierte Umwelt- und Klimaschutzmaßnahme, zu der sich auch die Bundesregierung bekennt. Ein konkretes, quantitatives Ziel für einen nachhaltigen Tierbestand wurde aber bisher nicht aus den Umweltzielen abgeleitet. Auf EU-Ebene gibt der Green Deal den strategischen Rahmen für die Ausrichtung der Landwirtschafts- und Ernährungssysteme vor. Die darin enthaltene Farm-to-Fork-Strategie zielt auf den Umbau von Ernährungssystemen ab und formuliert Ziele zu mehr Tierschutz, für nachhaltige Geschäfts- und Marketingpraktiken, für eine faire Handelspolitik sowie für bessere Informationen über Ernährung, Klima, Umwelt und die sozialen Aspekte von Lebensmitteln. Die Biodiversitätsstrategie hingegen stellt den Schutz und die Wiederherstellung der biologischen Vielfalt in den Fokus: Die Fördermittel der zweiten Säule der GAP sollen dazu beitragen, den Anteil des ökologischen Landbaus in Deutschland bis 2030 auf 30 Prozent zu erhöhen und dabei u.a. die Nutztierhaltung tiergerecht und nachhaltig umzubauen. In der aktuellen Förderperiode der GAP wurden von den EU-Mitgliedsländern erstmals Strategiepläne zu deren Umsetzung gefordert (BMEL 2023a). Daneben sind im EU-Programm „Horizon Europe 2021-27“ umfangreiche Förderprogramme für Forschung und Entwicklung für die Transformation des Agrar- und Ernährungssystems (EK 2023, S. 591) vorgesehen. Ergänzt werden diese durch Strategien und damit verbundene Förderprogramme auf nationaler Ebene (u.a. der Nationalen Bioökonomiestrategie, Ernährungsstrategie, Forschungsförderung im Bereich alternativer Proteinquellen), welche sich in der Frage der nachhaltigen Ernährung nach der DGE und der Eat Lancet Kommission (sog. „Planetary Health Diet“) richten, die sich für eine deutliche Reduktion tierischer Lebensmittel zugunsten einer pflanzenbasierten Basis ausspricht (Wunder und Jägle 2022, S. 19). Zur Förderung der genannten Strategie setzt die EU u.a. auf die finanzielle Hebelwirkung durch die EU-Taxonomie als Steuerungsinstrument.¹⁸ Neben den politischen Maßnahmen stellen vor allem veränderte Ernährungs- und Lebensstile in der Gesellschaft einen weiteren wichtigen Treiber für die Reduktion der Tierhaltung dar: Ein wachsendes Bewusstsein für das Tierwohl, die eigene Gesundheit und insbesondere der Schutz von Klima und Umwelt motiviert immer mehr Menschen, ihre Ernährungsgewohnheiten zu überdenken. Fleischkonsum verliert dabei seine Rolle als Statussymbol, stattdessen rückt eine gesunde und bewusster Ernährung in den Fokus. Dies zeigt sich durch den zunehmenden Trend zu vegetarischen und veganen Ernährungsformen sowie der steigenden Anzahl von Flexitariern in der Bevölkerung (Forsa 2022). In bestimmten Altersgruppen und sozialen Milieus entscheiden sich immer mehr Menschen für eine flexitarische, vegetarische oder vegane Ernährung. Dieser Trend führt zu einem reduzierten Fleischkonsum bzw. zu einer bewussteren Auswahl nachhaltigerer Fleischprodukte (Less-but-better-Strategie). Der Anteil der Vegetarier ist dabei bei jungen Menschen doppelt so hoch wie in der Gesamtbevölkerung. Der Rückgang des Fleischkonsums wird durch

¹⁸ Im Rahmen der EU-Taxonomie wurde neben der pflanzlichen auch die tierische Erzeugung im Rahmen des ökologischen Landbaus als einer der Sektoren eingestuft, die einen wesentlichen Beitrag zu den Umweltzielen leisten können (u.a. durch Beweidung in spezifischen Lebensräumen, die Förderung seltener Rassen oder die Sicherstellung einer nachhaltigen Stickstoffbilanz). Während sie nachhaltige Investitionen unterstützt, stellt die EU-Taxonomie zukünftig allerdings auch die Agrarwirtschaft vor die Herausforderung, nachhaltigen Kriterien bei der Kreditvergabe gerecht zu werden und erfordert somit potenziell auch eine Transformation der Agrar- sowie der Nutztiersektoren.

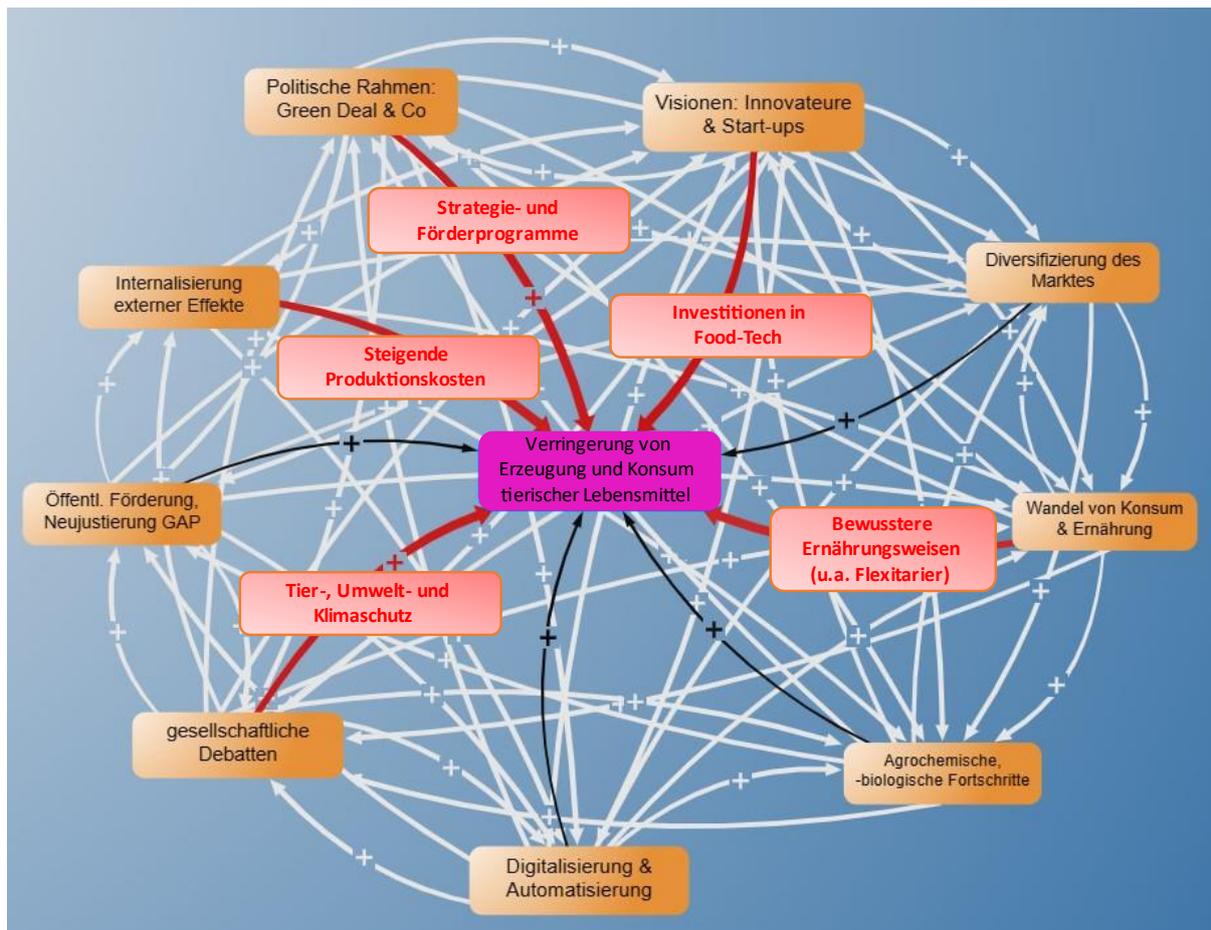
Entwicklungen und Innovationen im Bereich der Fleischersatzprodukte begleitet und unterstützt. In Deutschland stieg die Produktion von Fleischersatzprodukten im Zeitraum von 2019 bis 2020 innerhalb eines Jahres um knapp 39 Prozent, obwohl diese Ersatzprodukte derzeit noch vergleichsweise teuer sind. Langfristig könnten sie jedoch preiswerter als Fleisch werden, da pflanzliches Fett nur etwa ein Drittel im Vergleich zu tierischem Fett kostet. Auch In-vitro-Fleisch könnte zukünftig einen Teil des Marktes einnehmen, wenn technologische Durchbrüche gelingen (bpb 2021). Der Aufschwung alternativer Ernährungsformen hat die Nachfrage in der Gesellschaft zu einer breiteren Verfügbarkeit von pflanzlichen Alternativen zu Fleischwaren und Milchprodukten in Supermärkten, Restaurants und auch Kantinen geführt. Insbesondere die wachsende Anzahl von Flexitariern ist einer der Haupttreiber dafür, dass Ersatzprodukte immer markttauglicher werden und sich vom Nischen- zum Massenprodukt entwickeln. Die Entwicklung von Unternehmen und der wachsende Markt insgesamt lockt auch Investoren: So treiben Start-ups im Bereich „Food Tech“, die dank großer Investoren z.T. über beträchtliche Investitionsbudgets verfügen, Fortschritte in Forschung und Entwicklung wesentlich voran. Aber auch etablierte Akteure aus Industrie und Handel erkennen das wirtschaftliche Potenzial und erweitern ihr Produktportfolio um pflanzenbasierte Optionen, investieren in Start-ups oder stellen Maschinen und Inhaltsstoffe für den Sektor her (Good Food Institute 2023, S. 6). Als weiterer Treiber wirken die gestiegenen Produktionskosten in der Tierhaltung (BLE 2022a, S. 8): Während sich die Preise für tierische Produkte aufgrund von Kostensteigerungen und Inflation stark erhöht haben, sind Fleisch, Milch und Käse auf pflanzlicher Basis preislich fast stabil geblieben und konkurrieren somit auch preislich allmählich mit den tierischen Produkten (Handelsblatt 2023).

Die genannten Entwicklungen stellen die Fleischindustrie vor erhebliche wirtschaftliche Herausforderungen. Tierische Erzeugnisse tragen mehr als die Hälfte zur Wertschöpfung in der Landwirtschaft und Ernährungsindustrie bei. Ein Rückgang des Fleischkonsums führt insbesondere unter Schlachtunternehmen zu einem intensiven Verdrängungswettbewerb und gleichzeitig zu einem Preisdruck auf die landwirtschaftlichen Betriebe. Erste Anzeichen dieser Entwicklung sind bereits erkennbar und wurden durch die Kaufzurückhaltung während der Corona-Pandemie und die Exportverbote aufgrund der Afrikanischen Schweinepest noch verstärkt. Die üblichen periodischen Preisschwankungen bei Schweinefleisch ("Schweinepreiszyklus") erlebten im Jahr 2021 erstmals eine längere Niedrigpreis-Phase. Zusätzlich hat das Verbot von Leiharbeit und Werkverträgen in der deutschen Fleischindustrie ab dem Jahr 2020 die Kostenstruktur der Betriebe negativ beeinflusst. Dadurch verliert die Schweinehaltung in Deutschland gegenüber Ländern wie Polen und Spanien momentan rapide an Wettbewerbsfähigkeit im Markt für Standardprodukte und wird langfristig auch dem Wettbewerb mit Russland und China nicht standhalten können. Ähnlich sieht es in der Geflügelwirtschaft aus: Länder wie Brasilien und Thailand produzieren bereits wesentlich kostengünstiger als Deutschland, EU-Importzölle verhindern allerdings derzeit größere Marktanteilsverluste in diesem Bereich. Zusätzlich zu den wirtschaftlichen Herausforderungen führen Tierschutzdiskussionen zu einer tiefen Verunsicherung hinsichtlich der Zukunftsaussichten der gesamten Branche (bpb 2021). Hinzu kommen komplexe Wechselwirkungen, die sich u. a. aus dem globalen Agrarrohstoffhandel, den Substitutionsmöglichkeiten, der zukünftigen Nachfrage und Ertragsschwankungen, der Unternehmenspolitik der großen Handelsunternehmen¹⁹

¹⁹ Ihre Bedeutung für die Transformation zeigen folgende Zahlen: Die fünf größten Milch- und Fleischkonzerne (JBS, Cargill, Tyson, Dairy Farmers of America und die Fonterra Group) stießen 2016 gemeinsam 578 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (MtCO₂e) aus. Das ist mehr als alle Emissionen Großbritanniens (507 MtCO₂e in 2015) oder Frankreichs (464 MtCO₂e) und übertrifft Ölriesen wie Exxon (577 MtCO₂e in 2015) oder Shell (508 MtCO₂e). Die 20 größten Fleisch- und Milchkonzerne verursachten 2016 mit 932 MtCO₂e mehr Emissionen als Deutschland. Livestock solutions for climate change (FAO 2017).

sowie aus dem Einfluss der Politik ergeben. Vor dem Hintergrund der weltweit stetig steigenden Nachfrage nach landwirtschaftlichen Erzeugnissen sowie der Ausweitung landwirtschaftlicher Flächen zu Lasten von Naturflächen besteht die Gefahr, dass es im außereuropäischen Raum zu einer Ausdehnung bzw. Intensivierung der Produktion kommt und Umweltbelastungen verlagert werden (Rentenbank 2021).

Abbildung 9: Entwicklungsdynamiken des Szenarios „Verringerung der Erzeugung und des Konsums tierischer Lebensmittel“



Quelle: Eigene Darstellung (auf Basis von iModeler)

Potenziale einzelner Transformationsfelder

Die Potenziale des Rückgangs des Fleischkonsums und der Tierhaltung werden in Trend- und Marktstudien sowie wissenschaftlichen Analysen wie folgt eingeschätzt.

| | Potenziale |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fleischkonsum | Eine wachsende Zahl von Menschen ernährt sich fleischfrei, rein pflanzlich oder flexitarisch (Schrode et al. 2019). Der Konsum von Fleisch geht auf hohem Niveau insgesamt etwas zurück, was sich v.a. auf den Rückgang der Nachfrage nach Schweinefleisch bezieht. Die inländische Nachfrage nach Rindfleisch |

| | |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>bleibt stabil (bzw. erhöht sich leicht, vgl. BLE 2022) während die inländische Nachfrage nach Geflügelfleisch steigt (Haß et al. 2022, S. 26).</p> <p><u>Markt für (pflanzenbasierte) Ersatzprodukte</u>: Steigende Nachfrage und steigendes Warenangebot sorgen seit Jahren für zweistellige Wachstumsraten, zuletzt in Deutschland um + 11 Prozent auf 1,91 Mrd. Euro (2022), dabei im Bereich pflanzlicher Fleischalternativen: + 7 Prozent; im Bereich pflanzlicher Milchprodukte: + 13 Prozent (Good Food Institute 2023, S. 3). Dabei ist Deutschland in Europa Vorreiter, zum Vergleich: Der europäische Markt für pflanzenbasierte Lebensmittel war im Jahr 2022 insgesamt 5,8 Milliarden Euro groß (Good Food Institute 2023). Neben bereits etablierten Verfahren auf Basis von Pflanzenproteinen können insbesondere Innovationen in der Herstellung, wie Fermentation, Insekten, Zellkulturen und 3D-Druck, langfristig eine disruptive Wirkung haben. Zum Fortschritt in Forschung und Entwicklung tragen insbesondere Start-ups, die z.T. über beträchtliche Investitionsbudgets verfügen, wesentlich bei. Deutschland hat dabei nach den USA und Israel mittlerweile die höchste Dichte an Start-ups im Markt für Fleischersatzprodukte (Good Food Institute 2023).</p> |
| <p>Tierhaltung</p> | <p><u>Tierbestände EU</u>: Die Tierbestände in der EU, insbesondere in der Schweine- und Putenmast, sind seit 2016 rückläufig (BLE 2022, S. 25), trotz weltweit steigender Nachfrage. Innerhalb Europas lässt sich zudem eine Verlagerung der Produktionen an bestimmte Standorte beobachten, u.a. der Schweineproduktion nach Spanien (Eurostat 2023). Übergeordnete Trends wie die Globalisierung, Digitalisierung, geringere Nachfrage in Deutschland und Europa und der Klimawandel beeinflussen die gesamtwirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Fink et al. 2022, S. 71). So wird mittelfristig mit einer Verlagerung der Schweinefleischproduktion u.a. nach China gerechnet, wobei die globale Wettbewerbsfähigkeit der Produktion in Europa aufgrund höherer Umwelt- und Tierwohlstandards gefährdet ist, soweit keine einheitlichen Standards existieren (Haß et al. 2022, S. 26).</p> <p>Die Preisentwicklungen werden vom Weltmarkt bestimmt. Die stagnierende, z.T. leicht rückläufige Nachfrage in Europa und der globale Wettbewerbsdruck spiegeln sich auch in der Preisentwicklung tierischer Produkte wider. Die Preise für Fleisch entwickeln sich im Spannungsfeld zwischen gesellschaftlicher Akzeptanz, den Forderungen nach mehr Umwelt- und Klimaschutz sowie Tierwohl, wobei insbesondere die Preise für Schweine- und Rindfleisch unter Druck geraten. Es ist bereits ein deutlicher Rückgang der Erzeugerpreise für Schweine, aber auch Rindfleisch zu beobachten. Gleichzeitige Preissteigerungen für proteinhaltige Futtermittel haben zur Folge, dass das durchschnittliche reale Einkommen der Nutztierbetriebe sinkt (Fink et al. 2022, S. 71). Angenommen wird auch, dass der Anteil der Direktzahlungen an der Bruttoproduktion in fast allen Betriebsformen mittelfristig abnehmen wird, während die Auflagen und Produktionskosten steigen (Haß et al. 2022). In der Folge ist mit einer</p> |

mittelfristigen Verringerung der Anzahl an Betrieben zu rechnen, sollten politische Maßnahmen ausbleiben.

Die Reduktion der Tierhaltung kann zu einem Strukturwandel führen, insbesondere in viehintensiven Regionen mit potenziell disruptiven Auswirkungen. In Nord-West-Niedersachsen wird ein geringer (13 Prozent bis 14 Prozent), mittlerer (25 Prozent bis 26 Prozent) oder starker (37 Prozent bis 39 Prozent) Rückgang der Viehhaltung erwartet, was zu strukturellen Veränderungen führt. Dies hat direkte Einkommensverluste in der Agrarwirtschaft und Lebensmittelindustrie zur Folge. Selbst bei einem vergleichsweise geringen Rückgang des Viehbestands wird ein Wertschöpfungsrückgang in zweistelliger Millionenhöhe für die Agrarwirtschaft erwartet. Bei einem starken Rückgang wird ein Rückgang der Wertschöpfung in der Region von etwa 35-42 Prozent prognostiziert. Dies hätte auch indirekte Auswirkungen auf vor- und nachgelagerte Wirtschaftsbereiche wie Handel, Vermietung landwirtschaftlicher Geräte sowie Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung. Besonders stark betroffen wäre die Nahrungs- und Futtermittelindustrie. Damit verbunden wäre ein Rückgang der Beschäftigung. Erwartet wird eine Verringerung um 10 Prozent (in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie) bzw. bis 20 Prozent (in der Agrarwirtschaft) (Fink et al. 2022, 44ff).

Eine Untersuchung des Thünen-Instituts (2023) behandelt die Frage nach den regionalwirtschaftlichen Konsequenzen einer drastischen Reduzierung der Viehhaltung in Deutschlands Nordwesten. Durch eine quantitative Analyse werden die möglichen und wahrscheinlichen Entwicklungen der regionalen Wirtschaft unter den Bedingungen einer Halbierung der Beschäftigtenzahl in der Landwirtschaft identifiziert: Eine deutliche Verringerung der Veredlungswirtschaft hätte zwangsläufig erhebliche Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette. Insbesondere in den Kernbranchen der Viehhaltung und Schlachtwirtschaft würde dies zu einem Rückgang von Unternehmen, Arbeitsplätzen und Wertschöpfung führen. Besonders stark betroffen wären dabei Gemeinden in den Kreisen Vechta und Cloppenburg im Zentrum der Region. Die Reduzierung der Viehhaltung in der Region könnte zur Schließung einiger Standorte großer Unternehmen führen und somit einen raschen Verlust einer großen Anzahl von Arbeitsplätzen in diesen Gemeinden zur Folge haben. Dieser Verlust wäre vermutlich nicht einfach lokal zu kompensieren (Thünen 2023a, S. 155). Insgesamt ist das Beschäftigungswachstum in der Region in Branchen und Unternehmen außerhalb der Vieh- und Fleischwirtschaft so signifikant, dass es möglich erscheint, Verluste in diesen Branchen auszugleichen. Tatsächlich zeigt die Untersuchung, dass einige Branchen in der Region sogar von einer Verringerung der Vieh- und Fleischwirtschaft profitieren könnten. Eine solche Entwicklung könnte potenziell zu einer höheren Wertschöpfung in der Region führen und zu einer Verbesserung der Löhne und Haushaltseinkommen beitragen (Thünen 2023a, S. 155).

Die vorliegenden Studien zeigen, dass die Tierhaltung in Deutschland einen Strukturwandel erlebt. Betroffen sind vor allem tierintensive Regionen. Die starke regionale Konzentration der Viehwirtschaft kann für die Regionen auch deshalb problematisch werden, weil der Branche für die Zukunft eher negative Einkommensentwicklungen vorausgesagt werden. Das gilt umso mehr, wenn sich aktuelle Trends wie der in Richtung einer fleischreduzierten Ernährung, verfestigen und verstärken (Thünen 2023a, S. vii). Es ist allerdings unsicher, in welcher Größenordnung sich der Strukturwandel abspielt. So wird für die Region Vechta-Cloppenburg bis 2030 ein Rückgang der Viehhaltung in der Größenordnung zwischen 13 und 39 Prozent angenommen (Fink et al. 2022). Das Thünen-Institut hält eine drastische Reduzierung der Viehhaltung für möglich, angenommen wird eine Halbierung des Agrarsektors in Deutschlands Nordwesten. Nach 2030 liegen faktisch keine empirischen Untersuchungen vor, ab hier ist die Unsicherheit der weiteren Entwicklung besonders groß. Der Bewusstseinswandel trägt zu einem bewussteren Ernährungsverhalten bei, das sich durch einen reduzierten Konsum von tierischen Produkten, insbesondere Fleisch, ausdrückt. Dabei kann u.a. die Einführung von (EU-weiten) Standards und entsprechende Produktkennzeichnung den Konsum von hochwertigeren und auch regionalen (Fleisch-)Produkten fördern. Das setzt allerdings auch voraus, dass Verbraucher bereit sind, höhere Lebensmittelpreise zu akzeptieren oder, dass Importstandards festgelegt werden. Es besteht ansonsten die „Gefahr“, dass der Konsum sich lediglich auf günstigere Alternativen wie Geflügelfleisch oder je nach Weltmarktpreisentwicklungen auf Fleisch-Importprodukte verlagert. Handelspolitische Maßnahmen sind entscheidend, um global ein nachhaltigeres Ernährungssystem zu fördern. Für den Markt für pflanzenbasierte Ersatzprodukte werden mittelfristig ein dynamisches Wachstum erwartet, insbesondere bei jüngeren und auch preissensiblen Kundensegmenten. Das langfristige Potenzial ist jedoch noch unklar. Die aktuellen Verbraucherpräferenzen deuten eher auf die Substitution durch Gemüse oder Fisch hin. Langfristig könnten Alternativen wie Cultured meat neue Möglichkeiten bieten, zumal Skalierungsmöglichkeiten absehbar sind. Allerdings ist zukünftige Akzeptanz schwer abschätzbar. Mittel- bis langfristig wird sich die Wertschöpfung tierischer Produkte neuen Klima- und Umwelanforderungen anpassen (müssen). Insbesondere in viehintensiven Regionen (Nord-West-Niedersachsen, Nord-West-Nordrhein-Westfalen, mittleres bis südliches Bayern, Schleswig-Holstein, östliches Baden-Württemberg etc.) ist dabei - mit großen Unsicherheiten der Entwicklungspfade - mit einem tiefgreifenden Strukturwandel zu rechnen. Hier kommt es im Wesentlichen auf die Gestaltung, Umsetzung und Fortsetzung der angestoßenen politischen Strategien zur Ökologisierung der Agrar- und Ernährungssysteme im Zusammenspiel marktmächtiger ökonomische Akteure und Innovateure an, global²⁰, auf EU-Ebene²¹ und national²² in Deutschland.

²⁰ Weltnaturabkommen der COP15 zur Erhaltung der Biodiversität, international anerkannte Zertifizierungssysteme für Nachhaltigkeit, Planetary Health Diet Strategie (PHD), etc.

²¹ Green Deal mit Farm-to-Fork- und Biodiversitätsstrategie, Konditionierung der GAP-Förderung, Neuausrichtung der Eco-Schemes, EU Richtlinie zur Nachhaltigkeitsberichterstattung, EU-Tierwohlkennzeichnung (geplant), EU-Methanstrategie, Auf- und Ausbau von Schutzgebietssystemen (u.a. Natura 2000) etc.

²² Bundes- und Landesprogramme zur GAP (u.a. GAP-Strategieplan), "Bundesprogramm Ökologischer Landbau" (BÖL), Nationale Bioökonomie-Strategie, Moor-Strategie, Nachhaltigkeitsstrategie, Düngemittelverordnung, Klimaschutzplan 2050 und Bundesklimaschutzgesetz 2045, Nationale Ernährungsstrategie, Eiweißpflanzenstrategie (EPS), Forschungsförderung im Bereich alternativer Proteinquellen, ökologische Sorgfaltspflichten im Rahmen des Lieferkettengesetzes, Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutz (NAP), Nationale Wasserstrategie, (geplant für aktuelle Legislaturperiode:) Ausbau der Direktzahlungen an Landwirte für Klima- und Umweltleistungen etc.

Zukunftsbilder 2050: Imaginierte Zukünfte

Transformationsregionen im Spannungsfeld zwischen Rückgang der Viehhaltung und neuen Einkommensquellen

Die Viehbewirtschaftung steht an einem Wendepunkt. Der schleichende Rückgang der Viehzucht verstetigt sich nicht nur, sondern vieles deutet darauf hin, dass er sich verstärkt mit weitreichenden strukturellen Auswirkungen auf die Infrastruktur und die Wertschöpfungsketten der viehintensiven Regionen, vor allem im Nordwesten der Länder Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein. Mit der Veränderung der agrarpolitischen Rahmenbedingungen (Tierwohl-Standards, Düngemittelverordnung, verpflichtende Tierwohlkennzeichnung, Struktur der Investitionsförderung (AFP) bzw. Weiterentwicklung der Haltungsbedingungen von Nutztieren in Neu- und Bestandsbauten, etc.) stellt sich für viele Landwirte die Frage: Investiere ich in ein Geschäft, das es vielleicht morgen so nicht mehr gibt? Die betroffenen landwirtschaftlichen Betriebe stehen größtenteils vor existenziellen Herausforderungen. Der Agrarsektor bricht um 25 bis 50 Prozent ein. Auch Unternehmen, die sich auf die Verarbeitung von tierischen Produkten spezialisiert haben, sind mit erheblichen Engpässen und Schwierigkeiten konfrontiert, da lokale Ressourcen an tierischen Produkten fehlen und alternative Bezugsquellen nicht ohne weiteres verfügbar sind. Ebenfalls stark betroffen sind Betriebe der Futtermittelindustrie, die auf andere Märkte ausweichen müssen, im internationalen Wettbewerb allerdings nur begrenzt konkurrenzfähig sind. Auch für viele regionale Transportunternehmen bricht mit dem Rückgang der Viehhaltung eine wichtige Einnahmequelle weg. Insgesamt hat der Verlust von zahlreichen Arbeitsplätzen in einzelnen Regionen (bis zu 36 Prozent in der Agrarwirtschaft und 20 Prozent in der Nahrungsmittel- und Futtermittelindustrie, die mit der Viehzucht verbunden waren) zu einer großen wirtschaftlichen Instabilität und Unsicherheit geführt. Als Reaktion darauf wird der Umbau der Tierhaltung forciert, außerdem werden im Agrarsektor neue alternative Geschäftsmodelle verfolgt und Einkommensquellen erschlossen. Die Tierhaltung ist zwar geringer, entspricht aber nun gesellschaftlichen Ansprüchen. Die artgerechten Tierhaltungsverfahren bringen Tiere auch wieder in die Landschaft. Die Weidetierhaltung trägt zum Erhalt des für die Biodiversität so wichtigen Grünlands bei. Die Landwirtschaft, die Lebensmittelindustrie und der Handel setzen in sehr viel stärkerem Umfang auf eine regionale und dezentrale Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln, sodass die Wertschöpfungsketten für eine signifikante Anzahl von Lebensmitteln kürzer und regionaler geworden sind. Auch die Direktvermarktung durch die landwirtschaftlichen Betriebe hat zugenommen und die größere Wertschöpfungstiefe ermöglicht höhere Erlöse. Komparative Vorteile bei der Kultivierung regional angepasster Pflanzen tragen zur Wirtschaftlichkeit bei (ZKL 2021). Innovationen für stärker pflanzenbasierte Ernährungsweisen werden entwickelt und vermarktet. Hinzu kommen ressourcenschonende, wirtschaftlich tragfähige und nachgefragte Proteinalternativen wie Algen, Pilze, Insekten oder auch die zelluläre Landwirtschaft mit Fleisch und Milch aus Bioreaktoren. Ein Teil der Flächen wird für die Errichtung von Agri-PV und Windparks genutzt, wodurch sie auch einen Beitrag zur Energieversorgung der Region leisten.



Bildquellen: links: Shutterstock 29965369, eigene Bearbeitung; rechts: Niedersachsen, Shutterstock 2200877713; Fleisch, Shutterstock 1622833693; Kichererbsen, Shutterstock 1032989839; Agri-PV Shutterstock 687393868; Aquaponik Shutterstock 1668542692

Neue globale Agrar-Governance für eine nachhaltige Landnutzungsänderung

Die EAT-Lancet-Kommission hat ein Leitbild, wie sich zehn Milliarden Menschen in Zukunft ernähren sollten, ohne die planetaren Grenzen zu überschreiten: überwiegend pflanzenbasiert, mit moderatem Konsum von Fleisch und Milchprodukten, dafür viel Obst, Gemüse, Nüsse und Hülsenfrüchte (EAT-Lancet-Kommission o.J.). Doch danach sieht es nicht aus. Während in den Industriestaaten die Nachfrage nach Fleisch stagniert, teilweise zurückgeht, steigt sie global durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum. Es ist eher unwahrscheinlich, dass die Schwellen- und Entwicklungsländer den Trend zum westlichen Ernährungskonsum aufhalten oder bremsen werden. Bis 2050 ist global mit einer Verdopplung des Fleischkonsums zu rechnen. Dies wird die Intensivierung der Tierhaltung verstärken. Allerdings kann der enorme Ressourcenverbrauch für die globale Fleischerzeugung auf Dauer nicht aufrechterhalten werden. Produktion und Verbrauch von Produkten tierischen Ursprungs werden global auf ein Niveau gebracht werden müssen, das Klimaneutralität und Biodiversität ermöglicht. Dafür bräuchte es eine neue globale Agrar-Governance für eine Landnutzungsänderung und die Internalisierung externer Umwelt- und Sozialkosten, so dass nicht mehr ein Großteil der Flächen für den Anbau von Tierfutter verwendet wird. Gleichzeitig werden Verschiebungen bei den Fleischsorten zukünftig den globalen Markt prägen. Während der Anteil von Rind und Schaf am Gesamtkonsum abnimmt, essen die Menschen mehr Schwein und Geflügel. Im Zuge der Transformation hat die Tierhaltung das Potential, immer mehr zum Bestandteil einer zirkulären Bioökonomie für globale Lebensmittel- und Ernährungssicherung mit geringen negativen Umwelt- und Klimawirkungen zu werden. Dabei spielt die Tierhaltung eine Rolle bei der Regulierung der Nährstoffflüsse insbesondere in den Weidegebieten, die als kohlenstoffreiche Gebiete gelten. Beim Übergang zu einer weniger landintensiven Ernährung werden auch alternative Proteinquellen, Fleischprodukte und Ersatzstoffe eine wichtige Rolle spielen. Milch auf Pflanzenbasis als Alternative zu Kuhmilch wird weltweit als Lebensmittel vermarktet. Dasselbe gilt für pflanzliche und im Bioreaktor hergestellte Alternativen zu Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch. Das Zukunftsbild setzt veränderte internationale Rahmenbedingungen für den Handel mit landwirtschaftlichen Produkten, einen globalen gesellschaftlichen Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit und veränderte Konsummuster voraus. Um Verlagerungseffekte der Produktion tierischer Lebensmittel in Regionen mit geringeren sozialen und ökologischen Standards zu verhindern, muss die Wettbewerbsfähigkeit sozial

und ökologisch nachhaltiger Produktionsweisen abgesichert werden. Dazu sind Instrumente wie Grenzausgleichsabgaben (z. B. Carbon Border Adjustments), Kostenausgleiche auf Basis spezifischer Verbrauchssteuern, Abgaben oder auch Handelsbeschränkungen (Zölle, besondere Handelspräferenzen für nachhaltige Importprodukte, verbindliche Importstandards, Importverbote) für Produkte mit zu niedrigen Nachhaltigkeitsstandards international wirksam zu etablieren.

6 Literatur

Albert Schweitzer Stiftung für unsere Mitwelt (2019): Fleisch und Milch als Auslaufmodell. Online verfügbar unter <https://albert-schweitzer-stiftung.de/aktuell/fleisch-milch-auslaufmodell>, zuletzt geprüft am 06.09.2023.

Amon, B. (2021): Faktencheck Klimawandel, Landwirtschaft, Ernährung: Studie zum Stand des Wissens. Teil A: Ausführlicher Literaturüberblick zum aktuellen Stand des Wissens mit Hintergrundinformationen. Österr. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.

Bauer, Friederike; Böhning-Gaese, Katrin (2023): Vom Verschwinden der Arten. Der Kampf um die Zukunft der Menschheit. Stuttgart: Klett-Cotta.

BCG; NABU (2023): Der Weg zu regenerativer Landwirtschaft in Deutschland – und darüber hinaus. Boston Consulting Group; NABU (Naturschutzbund Deutschland) e. V. Online verfügbar unter <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/landnutzung/landwirtschaft/umweltschutz/32775.html>.

Behrendt, S. (o.J.): Nachhaltige Strategien klug kombinieren. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/akteure/interviews/nachhaltige-strategien-klug-kombinieren>.

Behrendt, Siegfried (2010): Integriertes Roadmapping. Nachhaltigkeitsorientierung in Innovationsprozessen des Pervasive Computing. Heidelberg, New York: Springer.

BEUC (2020): One Bite at a Time: Consumers and the Transition to Sustainable Food. Analysis of a survey of European consumers on attitudes towards sustainable food. BEUC The European Consumer Organisation. Online verfügbar unter https://www.beuc.eu/sites/default/files/publications/beuc-x-2020-042_consumers_and_the_transition_to_sustainable_food.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2023.

Bioökonomie.de (2022): Wie sich die Synthetische Biologie in Deutschland entwickelt. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/wie-sich-die-synthetische-biologie-deutschland-entwickelt>, zuletzt geprüft am 09.05.2023.

BLE (o.J.): Technologiereifegrade. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Innovationen/DIP/Merkblatt-Technologiereifegrade.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

BLE (2022): Versorgungsbilanz Fleisch 2021: Pro-Kopf-Verzehr sinkt auf 55 Kilogramm. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2022/220330_Versorgungsbilanz-Fleisch.html, zuletzt geprüft am 15.05.2023.

BLE (2023): Vertical Farming – Landwirtschaft in der Senkrechten. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft; Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Online verfügbar unter <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-erleben/landwirtschaft-hautnah/in-der-stadt/vertical-farming-landwirtschaft-in-der-senkrechten>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

BMEL (2019): Digitale Experimentierfelder – ein Beitrag zur Digitalisierung in der Landwirtschaft. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/digitalisierung/digitale-experimentierfelder.html>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

BMEL (2021): Ackerbaustrategie 2035. Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/ackerbaustrategie.html>.

BMEL (2022): Grundzüge der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und ihrer Umsetzung in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/gap/gap-nationale-umsetzung.html>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

BMEL (2023a): Den Wandel gestalten! Zusammenfassung zum GAP-Strategieplan 2023 – 2027. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/EU-Agrarpolitik-Foerderung/gap-strategieplan-kurzueberblick.pdf, zuletzt geprüft am 21.08.2023.

BMEL (2023b): Öko-Barometer 2022. Umfrage zum Konsum von Bio-Lebensmitteln. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/oeko-barometer-2022.pdf>, zuletzt geprüft am 15.05.2023.

BMEL (2023c): Ökologischer Landbau in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/oekologischer-landbau/oekologischer-landbau-deutschland.html>, zuletzt geprüft am 09.05.2023.

BMEL (2023d): Tierhaltungskennzeichnungsgesetz: Ausschuss für Ernährung und Landwirtschaft stimmt für den Entwurf des Tierhaltungskennzeichnungsgesetzes. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/tierhaltungskennzeichnung/tierhaltungskennzeichnung.html>, zuletzt geprüft am 08.06.2023.

BMUV (2022): Nationale Moorschutzstrategie. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nationale_moorschutzstrategie_bf.pdf, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Böhm, C.; Warth, P.; Hübner, R.; Eckert, W. Z.; Würdig, K.; Ehrhrit, J. et al. (2019): Roadmap Agroforstwirtschaft. Bäume als Bereicherung für landwirtschaftliche Flächen in Deutschland. Hg. v. G. Nawroth, P. Warth und C. Böhm. Stuttgart. Online verfügbar unter https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2020/03/2020_Roadmap_Agroforst.pdf.

BÖR (2022): Bioökonomie: Gemeinsam eine nachhaltige Zukunft gestalten. 1. Arbeitspapier des III. Bioökonomierats. Bioökonomierat. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/service/studienstatistiken/biooekonomierat-2022-biooekonomie-gemeinsam-eine-nachhaltige-zukunft-gestalten.pdf>.

bpb (2021): Wie Tiere zu Fleisch werden. Transformationsherausforderungen der Fleischwirtschaft. Bundeszentrale für politische Bildung. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/fleisch-2021/344832/wie-tiere-zu-fleisch-werden/>, zuletzt geprüft am 03.08.2023.

Braun, J. von (2017): Lösungsansätze der Bioökonomie zur Begegnung der großen globalen Herausforderungen. Online verfügbar unter <https://www.forum-wirtschaftsethik.de/loesungsansaetze-der-biooekonomie-zur-begegnung-der-grossen-globalen-herausforderungen/>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Buffi, N. (2021): Nina Buffi – Cultured Meat. Kommt das Fleisch der Zukunft aus dem Labor? BIO:FICTIONS. Ospin GmbH. Online verfügbar unter <https://biofictions.podigee.io/4-nina-buffi-kultiviertes-fleisch-der-zukunft>.

BZL (2023): Vertical Farming - Landwirtschaft in der Senkrechten. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-erleben/landwirtschaft-hautnah/in-der-stadt/vertical-farming-landwirtschaft-in-der-senkrechten>, zuletzt geprüft am 02.03.2023.

Clemens, S. (2021): Themenbereich Grüne Gentechnologie: mit Genomeditierung zum Neustart? In: B. Fehse, F. Hucho, S. Bartfeld, S. Clemens, T. J. Erb, H. Fangerau et al. (Hg.): Fünfter Gentechnologiebericht: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.

Club of Rome (2022): Earth for all. Ein Survivalguide für unseren Planeten. Der neue Bericht an den Club of Rome, 50 Jahre nach "Die Grenzen des Wachstums": Oekom Verlag.

Dahm, J. (2022): 2023 wird 'entscheidendes Jahr' für Zukunft der GAP. EURACTIV. Online verfügbar unter <https://www.euractiv.de/section/gap-reform/news/2023-wird-entscheidendes-jahr-fuer-zukunft-der-gap/>, zuletzt geprüft am 21.08.2023.

DeFAF (o.J.): Der Deutsche Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF). Online verfügbar unter <https://agroforst-info.de/>.

DeFAF, AbL, BÖLW (2023): Offener Brief für mehr Unterstützung der Agroforstwirtschaft. Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft e.V. (DeFAF), Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft e.V. (AbL), Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft e.V. (BÖLW). Online verfügbar unter <https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2023/05/Forderungen-Offener-Brief-Jetzt-Umsetzung-von-Agroforstsystemen-voranbringen.pdf>, zuletzt geprüft am 05.09.2023.

Destatis (2023a): Fleischexporte in den vergangenen fünf Jahren um 19 % zurückgegangen. Pressemitteilung Nr. N 018. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/03/PD23_N018_413.html, zuletzt geprüft am 03.08.2023.

Destatis (2023b): Fleischproduktion im Jahr 2022 um 8,1 % gesunken. Pressemitteilung Nr. 051. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/02/PD23_051_413.html, zuletzt geprüft am 03.08.2023.

Die Bundesregierung (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/nationale-biooekonomiestrategie-langfassung.pdf>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Die Bundesregierung (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/koalitionsvertrag-2021-1990800>, zuletzt geprüft am 21.08.2023.

DIL (2022): Einfluss der Ukraine-Krise auf das Kaufverhalten der Deutschen. Wissenschaftliche Schriftenreihe des DIL e. V. Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V. Online verfügbar unter https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/osnabrueck_emsland/nachhaltigkeit228.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2023.

DVGW (2022): Auswirkungen des Klimawandels auf das Wasserdargebot Deutschlands. Überblick zu aktuellen Ergebnissen der deutschen Klimaforschung. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches

e.V. Online verfügbar unter <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/zukunftsprogramm/auswirkung-klimawandel-wasserdargebot-zukunft-wasser-factsheet.pdf>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

EAT-Lancet Kommission (o.J.): Food. Planet. Health. Healthy Diets From Sustainable Food Systems. Online verfügbar unter https://eatforum.org/content/uploads/2019/01/EAT-Lancet_Commission_Summary_Report.pdf, zuletzt geprüft am 01.06.2023.

EK (2019): Der europäische Grüne Deal. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF.

EK (2020a): EU-Biodiversitätsstrategie für 2030; Mehr Raum für die Natur in unserem Leben. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

EK (2020b): "Vom Hof auf den Tisch" - eine Strategie für ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

EK (2023): Horizon Europe Work Programme 2023-2024. 9. Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2023-2024/wp-9-food-bioeconomy-natural-resources-agriculture-and-environment_horizon-2023-2024_en.pdf, zuletzt geprüft am 10.06.2023.

Eurostat (2023): Number of animals from the November/December survey. Number of pigs. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser//product/view/TAG00018n>, zuletzt geprüft am 02.08.2023.

FAO (2013): Key facts and findings. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/news/story/en/item/197623/icode/>, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

FAO (2017): Livestock solutions for climate change. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/3/i8098e/i8098e.pdf>, zuletzt geprüft am 03.08.2023.

FAO (2018): The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>, zuletzt geprüft am 09.05.2023.

FAO (2021): Strategic Framework 2022-31. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/3/cb7099en/cb7099en.pdf>, zuletzt geprüft am 09.05.2023.

FAO; WHO (2019): Sustainable Healthy Diets. Guiding Principles. Food and Agriculture Organization of the United Nations; World Health Organization. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>, zuletzt geprüft am 01.06.2023.

FAZ (2022): Rügenwalder Mühle verkauft erstmals mehr Vegetarisches als Fleisch. Frankfurter Allgemeine Zeitung. Online verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/ruegenwalder-muehle-verkauft-mehr-veggie-als-fleisch-17999644.html>, zuletzt geprüft am 09.05.2023.

Fesenfeld, L. P.; Pörtner, L. M.; Bodirsky, B. L.; Springmann, M.; Philipsborn, P. v.; Gaupp, F. et al. (2022): Für Ernährungssicherheit und eine lebenswerte Zukunft. Pflanzenbasierte Ernährungsweisen fördern, Produktion und Verbrauch tierischer Lebensmittel reduzieren. Policy Brief. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn065419.pdf, zuletzt geprüft am 01.06.2023.

Feuerbacher, A.; Herrmann, T.; Neuenfeldt, S.; Laub, M.; Gocht, A. (2022): Estimating the economics and adoption potential of agrivoltaics in Germany using a farm-level bottom-up approach. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 168. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112784.

Fichter, K.; Olteanu, Y. (2022): Green Startup Monitor 2022. Boderstep Institut, Startup Verband. Online verfügbar unter https://startupverband.de/fileadmin/startupverband/mediaarchiv/research/green_startup_monitor/gsm_2022.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

Fichter, Klaus (2005): Interpreneurship. Nachhaltigkeitsinnovationen in interaktiven Perspektiven eines vernetzenden Unternehmertums. Marburg: Metropolis-Verl. (Theorie der Unternehmung, 33).

Finck Stiftung (2023): Das Reallabor für regenerative ökologische Landnutzung. Online verfügbar unter <https://finck-stiftung.org/>.

Finger, R.; Swinton, S. M.; El Benni, N.; Walter, A. (2019): Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. In: *Annual Review of Resource Economics* 11 (1), S. 313–335. DOI: 10.1146/annurev-resource-100518-093929.

Fink, A.; Grabkowsky, B.; Hortmann-Scholten, A.; Lagemann, A.; Ohse, S.; Wedemeier, J.; Wolf, A. (2022): Transformationsszenarien der Agrar- und Ernährungswirtschaft in Nord-West-Niedersachsen (TRAIN). HWWI Policy Paper, No. 136. Hg. v. Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut (HWWI). Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/261491/1/1810727235.pdf>, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

Forsa (2022): Ernährungsreport 2022. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsbefragung. forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/forsa-ernaehrungsreport-2022-tabellen.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2023.

Fraunhofer ISE (2022): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland. 2. Aufl. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/agri-photovoltaik-chance-fuer-landwirtschaft-und-energiewende.html>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Fücks, Ralf (2013): Intelligent wachsen. Die grüne Revolution. München: Hanser (Business book summary).

Gaus, C.-C.; Minßen, T.-F.; Urso, L.-M.; de Witte, T.; Wegener, J. (2017): Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Schlussbericht. Johann Heinrich von Thünen-Institut; Technische Universität Braunschweig; Julius Kühn-Institut. Online verfügbar unter

https://orgprints.org/id/eprint/32438/1/32437_14NA004_011_012_thuenen_institut_de_Witte_Landmaschinen_Pflanzenbau.pdf, zuletzt geprüft am 05.06.2023.

GEA (2022): Was ist Cellular Agriculture, und wie können wir sie optimal nutzen? Online verfügbar unter <https://www.gea.com/de/stories/what-is-cellular-agriculture-and-how-can-we-maximize-it.jsp>.

Gelinsky, E. (2022): Stellungnahmen für die Öffentliche Anhörung des Ausschuss für Ernährung und Landwirtschaft (EL-Ausschuss) am 28. November 2022 zu dem Antrag der Fraktion der CDU/CSU "Landwirtschaftliche Produktion zukunftsfähig gestalten – Innovationsrahmen für neue genomische Techniken schaffen" (BT-Drs. 20/2342). Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/922214/8bf270a603c1c33b105ec953f7f2cdaf/04-Stellungnahme-Dr-Eva-Gelinsky-data.pdf>.

Godfray, H. C. J.; Garnett, T. (2014): Food security and sustainable intensification. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 369 (1639), S. 20120273. DOI: 10.1098/rstb.2012.0273.

Good Food Institute (2023): Alternative Proteine in Deutschland. Report zur aktuellen Entwicklung rund um nachhaltige Proteinquellen auf Basis von Pflanzen, Zellkultivierung und Fermentation. Online verfügbar unter <https://gfieurope.org/wp-content/uploads/2023/05/GFI-Europe-Alternative-Proteine-in-Deutschland-Full-Report.pdf>, zuletzt geprüft am 08.06.2023.

Göpel, M. (2023): Wir können auch anders. Aufbruch in die Welt von morgen. Unter Mitarbeit von M. Jauer. Sonderausgabe für die Bundeszentrale für Politische Bildung. Bonn: Bundeszentrale für Politische Bildung (Schriftenreihe / Bundeszentrale für Politische Bildung, Band 10960). Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/shop/buecher/schriftenreihe/519957/wir-koennen-auch-anders/>, zuletzt geprüft am 23.08.2023.

Gotsch, M.; Erdmann, L.; Eberling, E. (2020): Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen. Entwicklung von Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Trendthemen der Digitalisierung mittels der Durchführung von Stakeholderdialogen. Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_171-2020_digitalisierung_oekologisch_nachhaltig_nutzbar_machen.pdf, zuletzt geprüft am 22.09.2022.

Grand View Research (o.J.): Insect Protein Market Size, Share & Trends Analysis Report By Source (Coleoptera, Orthoptera), By Application (Animal Nutrition, Food & Beverages), By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028. Report Overview. Online verfügbar unter <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/insect-protein-market>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Grethe, H.; Martinez, J.; Osterburg, B.; Taube, F.; Thom, F. (2021): Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität. Online verfügbar unter https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021-06-01-Klimaneutralitaet_Landwirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Hahn, S. (2017): „Spot an“ für Pflanzenbausysteme der Zukunft: Beim Spot-Farming sorgen Mini-Roboter für Wohlergehen von Einzelpflanzen. Julius Kühn-Institut. Online verfügbar unter <https://www.julius-kuehn.de/pressemitteilungen/pressemeldung/news/pi-nr-13-spot-an-fuer-pflanzenbausysteme-der-zukunft-beim-spot-farming-sorgen-mini-roboter-fuer-w/>, zuletzt geprüft am 06.06.2023.

Haller, L.; Moakes, S.; Niggli, U.; Riedel, J.; Stolze, M.; Thompson, M. (2020): Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklungsperspektiven-der-oekologischen>, zuletzt geprüft am 12.05.2023.

Handelsblatt (2019): Immer mehr Konzerne wittern das große Geschäft mit veganen Lebensmitteln. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/nahrungsmittelindustrie-immer-mehr-konzerne-wittern-das-grosse-geschaef-mit-veganen-lebensmitteln/24141386.html>, zuletzt aktualisiert am 15.05.2023.

Handelsblatt (2023): Hafermilch und Erbsenburger: Jeder Deutsche kauft für 23 Euro pflanzliche Alternativen. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/lebensmittel-hafermilch-und-erbsenburger-jeder-deutsche-kauft-fuer-23-euro-pflanzliche-alternativen/29070524.html>, zuletzt geprüft am 09.06.2023.

Haß, M.; Deblitz, C.; Freund, F.; Kreins, P.; Laquai, V.; Offermann, F. et al. (2022): Thünen-Baseline 2022 - 2032: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Thünen Rep 100. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig. Online verfügbar unter https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf, zuletzt geprüft am 01.06.2023.

HealthCapital Berlin-Brandenburg (2022): Mehr als der Käse der Zukunft – Formo will mit Biotech Nachhaltigkeit schaffen. Online verfügbar unter <https://www.healthcapital.de/news/artikel/mehr-als-der-kaese-der-zukunft-formo-will-mit-biotech-nachhaltigkeit-schaffen/>.

Hemmelskamp, Jens (1999): Umweltpolitik und technischer Fortschritt. Eine theoretische und empirische Untersuchung der Determinanten von Umweltinnovationen. Heidelberg: Physica-Verlag (Umwelt- und Ressourcenökonomie).

Henseling, C.; Gegner, K.; Behrendt, S. (2022): Autonome Feldrobotik – Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.

Hillerbrand, F.; Treiber, M.; Bauerdick, J.; Bernhardt, H. (2019): Robotik in der Außenwirtschaft. Entwicklungskonzepte und tendenzielle Einflussmöglichkeiten auf die Prozesssteuerung durch den Landwirt. In: A. Meyer-Aurich, M. Gandorfer, N. Barta, A. Gronauer, J. Kantelhardt und H. Floto (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich? : Referate der 39. GIL-Jahrestagung, 18.-19. Februar 2019 Wien, Österreich. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) (GI-Edition - lecture notes in informatics (LNI) Proceedings, 287).

Hohlbein, M.; Couwenberg, J. (2019): Freiwillige Finanzierungsinstrumente für Klimaschutzmaßnahmen am Beispiel Moorschutz: Aktueller Stand und neue Ideen. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 02/2019. Online verfügbar unter https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2019-02_Hohlbein&Couwenberg.pdf, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

Holy, M. (2020): Stapelweise Grün: Wie Vertical Farms die Landwirtschaft verändern. Online verfügbar unter <https://utopia.de/stapelweise-gruen-wie-vertical-farms-die-landwirtschaft-veraendern-128321/#>, zuletzt geprüft am 16.06.2023.

Huber, J. (2002): Umweltsoziologie. In: G. Endruweit und G. Trommsdorff (Hg.): Wörterbuch der Soziologie. Stuttgart: Lucius u. Lucius, S. 641–645. Online verfügbar unter

<https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/12158/ssoar-2002-huber-umweltsoziologie.pdf>.

Jäger, M.; Vaccaro, C.; Boos, J.; Junghardt, J.; Strebel, S.; Anderegg, D. et al. (2022): Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft. Hg. v. Wädenswil : ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Online verfügbar unter <https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/25624>, zuletzt geprüft am 06.09.2023.

Jetzke, T.; Dassel, K. (2023): Potenziale und Herausforderungen einer zellkulturbasierten Fleischproduktion. Themenkurzprofil Nr. 62. TAB: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Online verfügbar unter <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000156303>, zuletzt geprüft am 23.08.2023.

Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021): Digitalisierung der Landwirtschaft: gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte. Teil II des Endberichts zum TA-Projekt. TAB-Arbeitsbericht Nr. 194. Hg. v. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Berlin. Online verfügbar unter https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_digitalisierung-der-landwirtschaft.php#block3082, zuletzt geprüft am 12.09.2023.

Klim (o. J.): Was ist regenerative Landwirtschaft? Online verfügbar unter <https://www.klim.eco/blog/was-ist-regenerative-landwirtschaft#!>, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

KLU (2019): Landwirtschaft quo vadis? Agrar- und Ernährungssysteme der Zukunft - Vielfalt gewähren, Handlungsrahmen abstecken. Hg. v. Umweltbundesamt. Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/agrar-ernaehrungssysteme-der-zukunftveroeffentlicht>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung (2020): Empfehlungen des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Tiere/Nutztiere/200211-empfehlung-kompetenznetzwerk-nutztierhaltung.pdf, zuletzt geprüft am 09.05.2023.

Krapfl, M. (2021): Vision for ultra-precision agriculture includes machine-learning enabled sensing, modeling, robots tending crops. Iowa State University News Service. Online verfügbar unter <https://www.research.iastate.edu/news/vision-for-ultra-precision-agriculture-includes-machine-learning-enabled-sensing-modeling-robots-tending-crops/>, zuletzt geprüft am 06.06.2023.

Krieger, A. (2022): Planetare Grenzen: Die Balance der Nährstoffe. Helmholtz Klima Initiative. Online verfügbar unter <https://helmholtz-klima.de/planetare-grenzen-stickstoff-phosphor>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Kuntosch, A. (2022): Daten. Pflanzen. Stadt. Sensoren und Datenanalyse für Urban Farming und Stadtgrün. Online verfügbar unter <https://www.technologiestiftung-berlin.de/downloads/daten-pflanzen-stadt-1-1>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Kurth, T.; Rubel, H.; Meyer zum Felde, A.; Krüger, J.-A.; Zielcke, S.; Günther, M.; Kemmerling, B. (2019): Die Zukunft der deutschen Landwirtschaft nachhaltig sichern. Denkanstöße und Szenarien für ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit. Hg. v. Boston Consulting Group. Online verfügbar unter https://image-src.bcg.com/Images/Die_Zukunft_der_deutschen_Landwirtschaft_sichern_tcm108-234154.pdf, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Madau, F. A.; Arru, B.; Furesi, R.; Pulina, P. (2020): Insect Farming for Feed and Food Production from a Circular Business Model Perspective. In: *Sustainability* 12 (13), S. 5418. DOI: 10.3390/su12135418.

Markt & Trends (2022): Der globale Markt für kultiviertes Fleisch könnte bis 2035 1,99 Milliarden Dollar erreichen. Online verfügbar unter https://vegconomist.de/markt-und-trends/markt-kultiviertes-fleisch-2035-199-milliarden/?utm_source=relatedposts&utm_medium=relatedposts-widget&utm_campaign=crp.

Mbow, C.; Rosenzweig, C.; Barioni, L.; Benton, T.; Herrero, M.; Krishnapillai, M. et al. (2019): Food security. In: IPCC (Hg.): Climate Change and Land: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems, S. 437–550. Online verfügbar unter <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-and-land/food-security/AB0D996CA6E915F6EAF7A2EEB77AD09D>.

Mempel, H. (2023): Vertical Farming – Landwirtschaft in der Senkrechten. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-erleben/landwirtschaft-hautnah/in-der-stadt/vertical-farming-landwirtschaft-in-der-senkrechten>, zuletzt geprüft am 16.06.2023.

ML Niedersachsen (2022): Gesellschaftsvertrag "Landwirtschaft.Ernährung.Zukunft - Was kommt morgen auf den Tisch?". Hg. v. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter <https://www.ml.niedersachsen.de/gesellschaftsvertrag/gesellschaftsvertrag-landwirtschaft-ernaehrung-zukunft-was-kommt-morgen-auf-den-tisch-216870.html>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Närmann, F.; Kaiser, M.; Tanneberger, F.; Couwenberg, J.; Birr, F.; Luthardt, V. et al. (2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. Hg. v. F. Närmann, F. Birr, M. Kaiser, M. Neger, V. Luthardt, J. Zeitz und F. Tanneberger. Bundesamt für Naturschutz. Bonn (BfN-Skripten). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-11/Skript616.pdf>.

Nordt, A.; Abel, S.; Hirschelmann, S.; Lechtape, C.; Neubert, J. (2022): Leitfaden für die Umsetzung von Paludikultur. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 05/ 2022. Online verfügbar unter https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2022-05_Nordt%20et%20al_Paludikultur%20Leitfaden.pdf.

Nüssel, M. (2018): Landwirtschaft 4.0 – die Waffe gegen Hunger und Umweltzerstörung? In: Christian Bär, Thomas Grädler und Robert Mayr (Hg.): Digitalisierung im Spannungsfeld von Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Recht. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 343–363.

Permakultur Institut e.V. (o.J.): Was ist Permakultur? Online verfügbar unter <https://www.permakultur.de/was-ist-permakultur/>.

Peter, M. (2021): Urban Agriculture mit Fogponic. bio:fictions. [Audio-Podcast]. Online verfügbar unter <https://open.spotify.com/episode/1pMLBjn9OPjLli5B3HgR0>, zuletzt geprüft am 10.06.2023.

Pfeiffer, J.; Schleicher, S.; Gabriel, A.; Gandorfer, M. (2019): Gesellschaftliche Akzeptanz von Digitalisierung in der Landwirtschaft. In: A. Meyer-Aurich, M. Gandorfer, N. Barta, A. Gronauer, J. Kattelhardt und H. Floto (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich? : Referate der 39. GIL-Jahrestagung, 18.-19. Februar 2019 Wien, Österreich. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) (GI-Edition - lecture notes in informatics (LNI) Proceedings, 287).

PIK (2020): Die Welt ernähren, ohne den Planeten zu schädigen, ist möglich. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Online verfügbar unter <https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/die-welt-ernaehren-ohne-den-planeten-zu-schaedigen-ist-moeglich>.

rb (o.J.): Landwirtschaft und Klimaschutz: "Es ist höchste Zeit zu handeln". Hg. v. Robert Bosch Stiftung. Agora Agrar. Online verfügbar unter <https://www.bosch-stiftung.de/de/storys/es-ist-hoechste-zeit-zu-handeln>, zuletzt geprüft am 21.08.2023.

Renn, O. (2018): Gentechnik als Symbol: Zur Risikowahrnehmung der grünen Gentechnik. In: Ferdinand Hucho, J. Diekämper, H. Fangerau, B. Fehse, J. Hampel, K. Köchy et al. (Hg.): Vierter Gentechnologiebericht: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.

Renn, O. (2021): Gentechnische Anwendungen im Spiegel der nachhaltigen Entwicklung. In: B. Fehse, F. Hucho, S. Bartfeld, S. Clemens, T. J. Erb, H. Fangerau et al. (Hg.): Fünfter Gentechnologiebericht: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.

Rentenbank (2021): Green Deal — Was kommt auf die Land- und Ernährungswirtschaft zu? Schriftenreihe der Rentenbank. Band 37. Online verfügbar unter <https://www.rentenbank.de/export/sites/rentenbank/dokumente/Band-37-Green-Deal-Was-kommt-auf-die-Land-und-Ernaehrungswirtschaft-zu.pdf>, zuletzt geprüft am 03.08.2023.

ReportLinker (2022): Vertical Farming Global Market Report 2022. Summary. Online verfügbar unter https://www.reportlinker.com/p06285611/Vertical-Farming-Global-Market-Report.html?utm_source=GNW, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

Research and Markets (2022): Global Precision Fermentation Market by Ingredient (Whey & Casein Protein, Egg White, Collagen Protein, Heme Protein), Microbe (Yeast, Algae, Fungi, Bacteria), Application (Meat & Seafood, Dairy Alternatives, Egg Alternatives), and Region - Forecast to 2030. Description. Online verfügbar unter <https://www.researchandmarkets.com/r/ygct1>.

Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, A.; Chapin, F. S.; Lambin, E. F. et al. (2009): A safe operating space for humanity. In: *Nature* 461 (7263), S. 472–475. DOI: 10.1038/461472a.

Ruckelshausen, A. (2023): Robotik und Sensortechnik. In: *Informatik Spektrum* 46 (1), S. 8–14. DOI: 10.1007/s00287-022-01517-5.

Sauter, A.; Zulawski, M. (2022): Aufgaben und Herausforderungen einer vielfältigen und vielfaltsfördernden Pflanzenzüchtung. Endbericht zum TA-Projekt »Herausforderungen für die Pflanzenzüchtung – Auswirkungen des Strukturwandels in der Pflanzenzüchtung auf die genetische Diversität, die Sortenvielfalt und die Leistungsfähigkeit der heimischen Landwirtschaft«. Arbeitsbericht Nr. 197.

Schrode, A.; Müller, L. M.; Wilke, A.; Fesenfeld, L. P.; Ernst, J. (2019): Transformation des Ernährungssystems: Grundlagen und Perspektiven. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-15_texte_84-2019_transfern-ap1_0.pdf, zuletzt geprüft am 07.06.2023.

Statista (2021): Laborfleisch und Insekten. Männer sind experimentierfreudiger. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/infografik/25068/umfrage-zum-essen-von-laborfleisch-und-insekten/>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Statista (2023): Forecast market value and volume of edible insects worldwide from 2032 to 2032. Online verfügbar unter <https://www.statista.com/statistics/882321/edible-insects-market-size-global/>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S. E.; Fetzer, I.; Bennett, E. M. et al. (2015): Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. In: *Science (New York, N.Y.)* 347 (6223), S. 1259855. DOI: 10.1126/science.1259855.

Stiftung Klimaneutralität (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Hg. v. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut. Online verfügbar unter https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021_Zusammenfassung_KNDE2045_DEU_1.4.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

SZ (2023): USA: Firmen dürfen Laborfleisch auf den Markt bringen. Hg. v. Süddeutsche Zeitung. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/fleisch-laborfleisch-usa-kunstfleisch-1.5957322>, zuletzt geprüft am 23.08.2023.

Taube, F. (2012): Nachhaltige Intensivierung: Was bedeutet das für den Pflanzenbau, 2012. Online verfügbar unter <https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/forschung/hst/hst-2012/vortraege/taube>, zuletzt geprüft am 11.05.2023.

Taube, F. (2020): Ist 100 % Ökologisierung besser als 20 % Ökolandbau. agrarspectrum; Band 53; Ökologisierung der Landwirtschaft. Hg. v. Dachverband Agrarforschung e.V. Online verfügbar unter https://www.agrarforschung.de/fileadmin/download/2021/agrarspectrum_53.pdf.

Thünen (o.J.a): Carbon Farming und Klimalabeling. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/institutsuebergreifende-projekte/carbon-farming-und-klimalabeling>, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

Thünen (o.J.b): Kohlenstoffspeicher Boden - Geschäftsmodelle für den Klimaschutz. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/oekologischer-landbau/arbeitsgruppen/arbeitsgruppe-ressourceneffizienz/kohlenstoffspeicher-boden-geschaeftsmodelle-fuer-den-klimaschutz>, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

Thünen (2023a): Regionalwirtschaftliche Auswirkungen einer Reduzierung der Tierhaltung in Konzentrationsgebieten. Abschlussbericht zum Projekt ReTiKo. Thünen Report 110. Thünen-Institut. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn066379.pdf, zuletzt geprüft am 03.08.2023.

Thünen (2023b): Treibhausgas-Emissionen aus der Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft>, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

Tsonkova, P.; Böhm, C. (2020): CO₂-Bindung durch Agroforst-Gehölze als Beitrag zum Klimaschutz. Lo-seblatt Nr. 6.

UBA (2017): Die planetare Stickstoff-Leitplanke als Bezugspunkt einer nationalen Stickstoffstrategie. Texte 75/2017. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-08-28_texte_75-2017_planteare_stickstoffleitplanke.pdf.

UBA (2019): Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft. Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen von pflanzlichen Fleischersatzprodukten, essbaren Insekten und In-vitro-Fleisch. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-25_trendanalyse_fleisch-der-zukunft_web_bf.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2023.

UBA (2020): Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. TEXTE 32/2020. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-17_texte_32-2020_oekologische-landwirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 21.08.2023.

UBA (2021a): Perspektiven für eine umweltverträgliche Nutztierhaltung in Deutschland. TEXTE 33/2021. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-14_texte_33-2021_tierhaltung_bf_0.pdf, zuletzt geprüft am 03.08.2023.

UBA (2021b): Stickstoff. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/stickstoff>, zuletzt geprüft am 21.03.2023.

UBA (2022): Stickstoffeintrag aus der Landwirtschaft und Stickstoffüberschuss. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/stickstoffeintrag-aus-der-landwirtschaft#stickstoffuberschuss-der-landwirtschaft>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

UBA (2023): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft>, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

UK-RAS (2018): Agricultural Robotics: The Future of Robotic Agriculture. UK-RAS Network Robotics and Autonomous Systems. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1806/1806.06762.pdf>, zuletzt geprüft am 06.06.2023.

umwelt.nrw (2022): Klimafeste Landwirtschaft: Land fördert Bewässerungsprojekt in Bedburg mit 5,6 Millionen Euro. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen. Online verfügbar unter <https://www.umwelt.nrw.de/presse/detail/klimafeste-landwirtschaft-land-foerdert-bewaesserungsprojekt-in-bedburg-mit-56-millionen-euro-1647504331>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

UN (2022): World Population Prospects 2022. Summary of Results. United Nations. Online verfügbar unter https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf, zuletzt geprüft am 21.03.2023.

VDI (2022): Agriculture Technology 2030. Strategische Forschungsagenda. Teil 1: Nachhaltige Pflanzenproduktion. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Online verfügbar unter <https://www.vdi.de/ueberuns/presse/publikationen/details/agriculture-technology-2030-nachhaltige-pflanzenproduktion-teil-1>, zuletzt geprüft am 22.08.2023.

vegconomist (2021): Neue Studien zeigen: Kultiviertes Fleisch könnte Schlüsselfaktor für den Umwelt- und Klimaschutz werden. Online verfügbar unter <https://vegconomist.de/studien-und-zahlen/neue-studien-zeigen-kultiviertes-fleisch-koennte-schluesselfaktor-fuer-den-umwelt-und-klimaschutz-werden/>.

Vik, J.; Melås, A. M.; Stræte, E. P.; Søråa, R. A. (2021): Balanced readiness level assessment (BRLa): A tool for exploring new and emerging technologies. In: *Technological Forecasting and Social Change* 169, S. 120854. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.120854.

Voss-Fels, K. P.; Stahl, A.; Wittkop, B.; Lichthardt, C.; Nagler, S.; Rose, T. et al. (2019): Breeding improves wheat productivity under contrasting agrochemical input levels. In: *Nature Plants* 5 (7), S. 706–714. DOI: 10.1038/s41477-019-0445-5.

vzbv (2021): Verbrauchermeinungen zu Nachhaltigkeit in der Lebensmittelproduktion. Repräsentative Bevölkerungsbefragung. Verbraucherzentrale Bundesverband e. V., 2021. Online verfügbar unter <https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/2021/01/18/21-01->

15_veroeffentlichung_verbrauchermeinungen_zu_nachhaltigkeit_in_der_lebensmittelproduktion_final.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2023.

Walter, A.; Finger, R.; Huber, R.; Buchmann, N. (2017): Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114 (24), S. 6148–6150. DOI: 10.1073/pnas.1707462114.

Wang, Y. (2022): IDTechEx Outlines the Future of the Agricultural Robotics Industry. Online verfügbar unter <https://www.idtechex.com/en/research-article/idtechex-outlines-the-future-of-the-agricultural-robotics-industry/25744>, zuletzt geprüft am 06.06.2023.

WBAE (2015): Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/GutachtenNutztierhaltung-Kurzfassung.pdf, zuletzt geprüft am 01.06.2023.

WBAE (2019): Zur effektiven Gestaltung der Agrarumwelt- und Klimaschutzpolitik im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU nach 2020. Stellungnahme. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Stellungnahme-GAP-Effektivierung-AUK.html, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

WBAE (2020): Politik für eine nachhaltigere Ernährung: Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten. Gutachten. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/wbae-gutachten-nachhaltige-ernaehrung.html, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

WBGU (2011): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation. 2., veränd. Aufl. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/welt-im-wandel-gesellschaftsvertrag-fuer-eine-grosse-transformation>, zuletzt geprüft am 23.08.2023.

WBGU (2020): Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration. Hauptgutachten. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Online verfügbar unter <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/landwende>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Witzke, H.; Noleppa, S.; Inga, Z. (2012): Fleisch frisst Land. Ernährung - Fleischkonsum – Flächenverbrauch. WWF.

Wunder, S.; Jägle, J. (2022): Ernährungspolitische Strategien zur Förderung pflanzenbasierter Ernährungsweisen in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2022/60018-Ernaehrungspolitische-Strategien-zur-Foerderung-pflanzenbasierter-Ernaehrungsweisen-in-Deutschland.pdf>, zuletzt geprüft am 06.06.2023.

Zinke, O. (2020): Regenerative Landwirtschaft – das bessere Bio oder Umbug? agrarheute. Online verfügbar unter <https://www.agrarheute.com/management/betriebsfuehrung/regenerative-landwirtschaft-bessere-bio-humbug-575587>.

ZKL (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft. Abschlussbericht. Zukunftskommission Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/download/abschlussbericht-der-zukunftskommission-landwirtschaft>, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Zollman Thomas, O.; Bryant, C. (2021): Don't Have a Cow, Man: Consumer Acceptance of Animal-Free Dairy Products in Five Countries. In: *Front. Sustain. Food Syst.* 5, Artikel 678491. DOI: 10.3389/fsufs.2021.678491.

7 Anhang

7.1 Workshop Transformationsszenarien

Workshop "Treiber, Diskurse und Transformationsszenarien" am 28. Juni 2023 in Osnabrück

Teilnehmende

| | |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Karsten Baldsiefen | GROUP SCHUMACHER |
| Dr. Michaela van Eickelen | Agrotech Valley Forum e.V. |
| Prof. Martin Franz | Universität Osnabrück |
| Dr. Barbara Grabkowsky | trafo:agrar |
| Bastian Luttermann | AGRAVIS Raiffeisen AG |
| Stefan Kiefer | AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG |
| Jana Korrman | AGRAVIS Raiffeisen AG |
| Dr. Michael Kreyenhagen | Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH & Co. KG |
| Peter Molitor | Sparkasse Osnabrück |
| Prof. Arno Ruckelshausen | Hochschule Osnabrück |
| Dr. Dorothee Schulze Schwering | Landwirtschaftskammer NRW |
| Thomas Serries | WIGOS Wirtschaftsförderungsgesellschaft Osnabrücker Land mbH |
| Dr. Thilo Steckel | CLAAS KGaA MbH |
| Marc Steinberg | CLAAS KGaA MbH |
| Prof. Dieter Trautz | Hochschule Osnabrück |

| | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Dr. Siegfried Behrendt | IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH |
| Christine Henseling | IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH |
| Kathrin Gegner | IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH |

Vorstellung, Kommentierung und Diskussion der Transformationsszenarien

Szenario 1: Ökoeffizienter Ackerbau

Kommentierung: Prof. Dr. Markus Frank, Professor "Agrarsystem der Zukunft" an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU)

Szenario 2: Neue Bewirtschaftungsformen

Kommentierung: Mareike Jäger, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Szenario 3: Künstliche Biosysteme

Kommentierung: Dr. Julia Köhn, German AgriFood Society e.V.

Szenario 4: Exnovation: Verringerung der Tierhaltung

Kommentierung: Dr. Barbara Grabkowsky, Leiterin des Verbundes Transformationsforschung agrar Niedersachsen

www.izt.de
