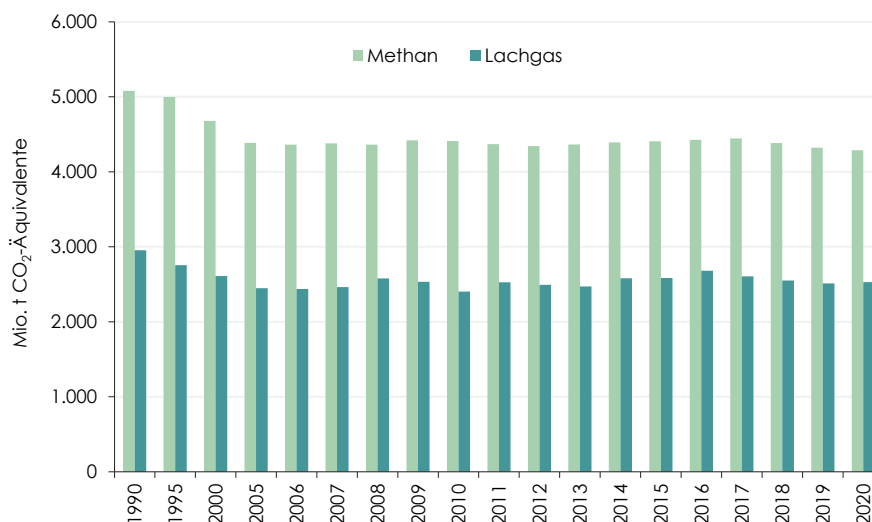


Landwirtschaft und Ernährungssicherheit im Kontext des Klimawandels

Ina Meyer, Franz Sinabell

- Die Art und Weise, wie Lebensmittel produziert und konsumiert werden, verursacht massive Umweltschäden und hohe volkswirtschaftliche Kosten.
- Extremwetterereignisse führen zu Produktivitätseinbußen und Ernteaufschlägen.
- Der heimische Konsum von Nahrungsmitteln erzeugt über globale Lieferketten Treibhausgasemissionen in weit entfernten Regionen.
- Konsumseitige Ansätze der Klimaschutzpolitik, etwa im Bereich Ernährung, können einen substantiellen Beitrag zur Emissionsreduktion leisten.
- Landwirtschaftliche Praktiken können verbessert werden, um Anpassungs- und Vermeidungsstrategien im gesamten Ernährungssystem umzusetzen.
- Zu den Handlungsoptionen auf der Angebotsseite zählen in erster Linie die Erhöhung des organischen Bodenstoffgehaltes (Humusaufbau) und die Vermeidung von Bodenerosion.

Methan- und Lachgasemissionen der österreichischen Landwirtschaft



"Eine konsumbasierte Bilanzierung macht das Ausmaß und die Struktur der mit dem internationalen Handel verbundenen Emissionen sichtbar. Dies trägt dazu bei, eine Auslagerung der Verschmutzung zu vermeiden und die globale Dekarbonisierung voranzutreiben."

Hauptverantwortlich für den Rückgang der Methan- und Lachgasemissionen sind die Abnahme des Rinderbestandes und die Verringerung der ausgebrachten Mineräldüngermenge (Q: Europäische Umweltagentur, 2022).

Landwirtschaft und Ernährungssicherheit im Kontext des Klimawandels

Ina Meyer, Franz Sinabell

Landwirtschaft und Ernährungssicherheit im Kontext des Klimawandels

Die landwirtschaftliche Produktion trägt erheblich zum Ausstoß von Treibhausgasen bei. Zugleich leidet die Landwirtschaft zunehmend unter Extremwetterereignissen wie Trockenheit, Dürre und Starkniederschlägen. Die daraus folgenden Ernte- und Produktivitätseinbußen rücken das Thema der Ernährungssicherheit in den Fokus der Diskussion um Klimaschutz und Anpassung der landwirtschaftlichen Produktion bzw. der Ernährungsweise an den Klimawandel. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über den Stand der wissenschaftlichen Analyse zur Bedeutung einer klimagerechten Landwirtschaft und Ernährungsweise. Dabei werden zwei Hebel für eine nachhaltige Transformation näher beleuchtet, der Humusaufbau und die Verringerung des Konsums tierischer Lebensmittel.

JEL-Codes: Q15, Q54, Q56 • **Keywords:** Klimawandel, Klimawandelanpassung, Klimaschutz, nachhaltige Transformation der Landwirtschaft, Reduktion des Konsums tierischer Produkte

Begutachtung: Margit Schratzenstaller • **Wissenschaftliche Assistenz:** Susanne Markytan (susanne.markytan@wifo.ac.at) • Abgeschlossen am 16. 9. 2022

Kontakt: Ina Meyer (ina.meyer@wifo.ac.at), Franz Sinabell (franz.sinabell@wifo.ac.at)

Agriculture and Food Security in the Context of Climate Change

Agricultural production contributes significantly to greenhouse gas emissions. At the same time, agriculture is increasingly affected by extreme weather events such as drought, aridity, and heavy precipitation. Resulting crop losses and productivity declines are bringing the issue of food security into the focus of the discussion on climate change mitigation and adaptation of agricultural production and nutrition. This paper provides an overview of the scientific analysis regarding the significance of climate-smart agriculture and nutrition. It focuses on two levers for a sustainable transformation, the build-up of humus in soils and the reduction of animal-based food consumption.

Die Art und Weise, wie Lebensmittel produziert und konsumiert werden, verursacht zunehmend Umweltschäden und volkswirtschaftliche Kosten. Lebensmittelsysteme müssen daher nachhaltig gestaltet werden.

1. Landwirtschaft, Ernährung und Klimawandel

Das Thema Ernährungssicherheit rückt verstärkt ins Zentrum des politischen und gesellschaftlichen Interesses. Gründe dafür sind die Zunahme von Extremwetterereignissen, etwa von Starkniederschlägen, Hagel, Trockenheit und Hitzewellen (Stangl et al., 2021), und die daraus resultierenden Ernteverluste und Produktivitätseinbußen. Der Anstieg der Agrar- und Energiepreise und Lieferkettenunterbrechungen, hervorgerufen durch die COVID-19-Pandemie und den Ukraine-Krieg¹⁾, verschärfen die Lage zusätzlich. Darauf wurde u. a. auf dem UNO-Gipfel für Ernährungssysteme (United Nations Food Systems Summit – UNFSS)²⁾ hingewiesen. Der UNFSS fand im Herbst 2021 im Anschluss an den COP-26-Gipfel zur Umsetzung des Pariser Klimaübereinkommens und des UNO-Rahmenübereinkommens über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) statt. Ziel des UNFSS ist, die Transformation zu

nachhaltigen Lebensmittelsystemen zu unterstützen und damit dem Klimawandel entgegenzuwirken. Ein Ansatz dafür ist die Anbindung von Maßnahmen in den Ernährungssystemen an die UNFCCC-Instrumente der Nationally Determined Contributions (NDC) und der National Adaptation Plans (NAP). Es sollen Maßnahmen auf den Weg gebracht werden, um die Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDG) zu unterstützen. Zu diesen Zielen zählen die Überwindung von Hunger und die Senkung der Umweltbelastung.

Die Art und Weise, wie Lebensmittel produziert und konsumiert werden, insbesondere die derzeit vorherrschende ressourcenintensive Landwirtschaft, verursacht erhebliche Umweltschäden, wie etwa Bodenerosion, Biodiversitätsverlust, Wasserverschmutzung oder Treibhausgasemissionen, und führt

¹⁾ Russland verhängte im Frühjahr 2022 ein zweimonatiges Ausfuhrverbot für Ammoniumnitrat, das weltweit als Stickstoffdünger in der Landwirtschaft eingesetzt wird. Die Verknappung des Angebotes führte zu einem deutlichen Preisanstieg. Die Erzeugung von Stickstoffdünger ist energieintensiv und benötigt Erdgas als

Energieträger. Steigt der Erdgaspreis, so verteuern sich auch Stickstoffdünger. Durch die EU-Sanktionen vom April 2022 wurde der Import von Düngemitteln aus Russland untersagt.

²⁾ <https://www.un.org/food-systems-summit> (abgerufen am 22. 7. 2022).

somit zu volkswirtschaftlichen Kosten. Auch gesundheitliche Folgeerscheinungen wie Atemwegserkrankungen (durch Luftverschmutzung aus landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen) oder Antibiotikaresistenzen hängen nachweislich mit der intensiven Landwirtschaft zusammen.

Der übermäßige Verbrauch tierischer Lebensmittel und die hohe Zahl an Nutztieren, vor allem in Ländern mit hohem Pro-Kopf-Einkommen, stellen weltweit ein zunehmendes ökologisches und gesundheitliches Problem dar. So werden etwa mehr als ein Drittel der weltweit verfügbaren Kalorien an Nutztiere verfüttert. Nur 12% dieser in Futtermitteln eingesetzten Kalorienmenge stehen am Ende der Produktionskette in Form von Fleisch und anderen tierischen Erzeugnissen für die menschliche Ernährung zur Verfügung (Cassidy et al., 2013). Der hohe Konsum tierischer Lebensmittel beschleunigt den Klimawandel und trägt zum Artensterben

bei, da natürliche Lebensräume vermehrt landwirtschaftlich genutzt werden. Etwa ein Drittel der durch den Menschen verursachten Treibhausgasemissionen sind dem Ernährungssystem zuzuordnen, darunter ein beträchtlicher Anteil der Methanemissionen, der durch die Herstellung tierischer Lebensmittel entsteht. Auf Weide- und Anbauflächen für die Futtermittelerzeugung entfallen weltweit rund 80% der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Ihre Ausweitung trägt wesentlich zur Entwaldung bei, vor allem in den artenreichen Tropen (Poore & Nemecek, 2018; Fesenfeld et al., 2022; Pendrill et al., 2022). Der überwiegende Teil der landwirtschaftlichen Produktion ist infolgedessen als nicht zukunftsfähig in die Kritik geraten und muss dringend strukturell in Richtung Nachhaltigkeit und Klimaschutz transformiert werden (Mateo-Sagasta et al., 2017; Pimentel & Burgess, 2013; Amon, 2021; Meyer & Markytan, 2021)³⁾.

2. Landwirtschaftliche Produktion und Treibhausgasemissionen

Die landwirtschaftliche Produktion trägt erheblich zum Ausstoß von Treibhausgasen bei. Emittiert werden vor allem Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O), die in der Viehhaltung, im Düngermanagement der Grünlandwirtschaft und im Ackerbau entstehen. Die energetische Nutzung von fossilen Energieträgern verursacht ebenfalls Treibhausgasemissionen (überwiegend CO₂) durch den Einsatz von Maschinen, Geräten und Traktoren. Methan entsteht hauptsächlich in der Rinderhaltung und bei Wiederkäuern durch Fermentation von Futtermitteln sowie durch Gär- und Zersetzungsprozesse bei der Lagerung der tierischen Ausscheidungen (Wirtschaftsdünger). Die Lagerung von Wirtschaftsdünger und die Stickstoffdüngung der Böden sind die beiden Hauptquellen der landwirtschaftlichen Lachgasemissionen (Umweltbundesamt, 2021b).

In der EU 27 emittierte die Landwirtschaft 2020 382,5 Mio. t CO₂-Äquivalente (12,5% der gesamten EU-Treibhausgasemissionen), wovon 42,9% auf Methan aus der enterischen Fermentation (Österreich 53,6%), 38,4% auf Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden (Österreich 28,8%) und 14,8% auf Emissionen aus der Düngbewirtschaftung (CH₄ und N₂O; Österreich 15,5%) entfielen. In Österreich ist der Anteil der Landwirtschaft an den gesamten Treibhausgasemissionen seit 1990 leicht zurückgegangen (von 10,4% auf 9,5%), und auch die Emissionsmenge hat im Zeitverlauf leicht abgenommen (von 8,1 auf 7 Mio. t CO₂-Äquivalente; 1990/2020). Dies entspricht jedoch nur einer unterdurchschnittlichen Reduktion um etwa 14% (Durchschnitt der

EU 27: rund -21%; Europäische Umweltagentur, 2022).

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Methan- und Lachgasemissionen in der österreichischen Landwirtschaft. Die Methanemissionen sanken 2020 um 0,8% gegenüber dem Vorjahr, gegenüber 1990 betrug der Rückgang rund 15,6%. Die Stickoxidemissionen wurden von 2019 auf 2020 um 0,6% reduziert und sind im Zeitraum 1990/2020 um etwa 14,4% gesunken. Hauptverantwortlich für diese Reduktionen ist der Rückgang des Rinderbestandes sowie der ausgebrachten Mineraldüngermengen (Umweltbundesamt, 2021). Die merkliche Abnahme des Mineraldüngereinsatzes lässt sich u. a. durch den Bedeutungsgewinn des biologischen Ackerbaus und den vermehrten Leguminosenanbau (mehr Soja, weniger Raps und Rübe) erklären (Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 2020).

Die Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten wird zunehmend über globale Lieferketten befriedigt. Landwirtschaftliche Erzeugnisse werden häufig über große Distanzen angeliefert; ihre Herstellung verursacht Emissionen in weit entfernten Regionen. Die EU-Länder verlagern durch Warenimporte mehr Umweltbelastungen in den Rest der Welt, als die anderen Länder durch ihre Warenimporte an Belastungen in der EU verursachen (Steen-Olsen et al., 2012; Wood et al., 2018). Die Bilanzierung und Analyse der aus der Produktion stammenden Emissionen über die nationalen Grenzen hinaus, also die Berücksichtigung der gesamten Lieferkette einschließlich des internationalen Handels mit Agrarprodukten, ist notwendig,

Die Agrarproduktion emittiert vor allem Methan und Lachgas. Aufgrund der Abnahme der Rinderzahl und der ausgebrachten Mineraldüngermengen konnten die Treibhausgasemissionen der österreichischen Landwirtschaft seit 1990 reduziert werden.

Der heimische Konsum landwirtschaftlicher Produkte verursacht über globale Lieferketten Treibhausgasemissionen in weit entfernten Regionen. Eine konsumbasierte Bilanzierung macht das Ausmaß und die Struktur der mit dem internationalen Handel verbundenen Emissionen sichtbar.

³⁾ https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/

[faktencheck-klimawandel-landwirtschaft-ernaehrung.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/faktencheck-klimawandel-landwirtschaft-ernaehrung.html) (abgerufen am 22. 7. 2022).

um die weltweite Emissionsentwicklung zu verstehen und in weiterer Folge den Ausstoß einzudämmen. Eine solche konsumbasierte Treibhausgasbilanzierung spiegelt eine breitere Systemgrenze wider und erfasst auch Emissionen, die außerhalb des jeweiligen Territoriums entstehen. Sie trägt dazu bei, eine Auslagerung der Verschmutzung zu vermeiden bzw. eine globale Dekarbonisierung zu erreichen (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022; Hubacek et al., 2016; Wiedman & Lenzen, 2018; Steininger et al.,

2016). Allerdings ist die konsumbasierte Bilanzierung von Treibhausgasemissionen mit einem erheblichen Datenaufwand verbunden, da die durchschnittliche Anzahl der Grenzen, die im Güterexport überschritten werden, zunimmt. Für Österreich errechneten Steininger et al. (2018), dass die konsumbasierten Treibhausgasemissionen der Gesamtwirtschaft um 54% und jene der Landwirtschaft um rund 33% höher sind als in der produktionsseitigen, nationalen Betrachtung.

Abbildung 1: Methan- und Lachgasemissionen der österreichischen Landwirtschaft



Q: Europäische Umweltagentur (2022).

Konsumseitige Ansätze der Klimaschutzpolitik, etwa im Bereich Ernährung, können einen substantiellen Beitrag zur Emissionsreduktion leisten. Der Handel mit Agrargütern könnte zudem die Nachhaltigkeit und Resilienz⁴⁾ der Nahrungsmittelproduktion befördern, sofern die internationalen Handelsregimes nachhaltig ausgestaltet werden. Ein Instrument dazu könnte ein CO₂-Grenzaus-

gleichsmechanismus sein (Dröge, 2021; Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, 2020). Allerdings werden im internationalen Agrarhandel, der als Bindeglied zwischen landwirtschaftlichen Produktionssystemen in verschiedenen Teilen der Welt gilt, Kriterien wie Nachhaltigkeit und Resilienz bislang weitestgehend ausgeklammert (WBGU, 2020).

Ein Fallbeispiel zum internationalen Vergleich der in der Rindfleischproduktion entstehenden Treibhausgasemissionen

Kirchner et al. (2021) berechnen die Treibhausgasemissionen (den "CO₂-Fußabdruck") der Rindfleischproduktion anhand von Lebenszyklusanalysen. Die Produktion in Österreich wird mit jener in Südamerika und anderen Ländern verglichen. Die unterschiedlich hohen Emissionen sind vor allem auf die Fütterung zurückzuführen: der Einsatz von Kraffutter verursacht im Vergleich zur Grünlandwirtschaft deutlich höhere Emissionen. Weitere Unterschiede ergeben sich aus den Transportdistanzen und Transportmitteln. Nicht berücksichtigt werden Veränderungen in der Landnutzung, die durch die Bereitstellung und den Import von Futtermitteln entstehen können, etwa die Rodung von artenreichen Regenwäldern im Amazonasbecken für den Sojaanbau. Die heimische Rindfleischproduktion verursacht Kirchner et al. zufolge weniger Treibhausgasemissionen als die südamerikanischen Produktionssysteme, insbesondere, wenn Transportemissionen berücksichtigt werden. Würde Österreich kein Rindfleisch erzeugen und seinen Bedarf zur Gänze importieren, wären die globalen Emissionen höher. Würden die emissionsbezogenen Kosten weltweit oder in der EU im Preis von Rindfleisch zum Ausdruck kommen, so hätte die österreichische Landwirtschaft einen Wettbewerbsvorteil.

⁴⁾ Resilienz bedeutet, dass ein Agrarsystem robust gegenüber Schocks und klimatischen Extremereignissen ist.

3. Auswirkungen des Klimawandels auf die Agrarproduktion

Der Agrarsektor trägt nicht nur zum Ausstoß von Treibhausgasen bei, sondern ist zunehmend unmittelbar von den negativen Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Eine wachsende Zahl von Studien legt nahe, dass der Klimawandel die weltweite landwirtschaftliche Produktivität bereits über viele Mechanismen beeinträchtigt, wobei die Erträge vor allem unter dem Anstieg der Durchschnitts- und Extremtemperaturen und einem veränderten Niederschlagsregime leiden. Dies wirkt sich bereits heute nachteilig auf die Ernährungssicherheit aus (Jägermeyr et al., 2021; Mbow et al., 2019). Zukünftige Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Landwirtschaft können nicht ohne den Aspekt der Artenvielfalt betrachtet werden. Die landwirtschaftliche Produktion bedarf funktionierender Ökosysteme, deren Fortbestand vom Erhalt der Artenvielfalt abhängt. Artenvielfalt ist ein entscheidender landwirtschaftlicher Produktionsfaktor (Dasgupta, 2021), da etwa 70% aller Kulturen auf Bestäubung angewiesen sind. Die landwirtschaft-

liche Produktion benötigt zudem fruchtbare Böden, die durch das Zusammenwirken von Pilzen, Mikroorganismen und Kleinstlebewesen entstehen (Seppelt et al., 2022). Intensivierung und energieintensive Bewirtschaftungspraktiken verursachen häufig Boden-degradation. Dies reduziert die landwirtschaftliche Produktivität, die unter den Auswirkungen der Klimaerwärmung und sich verstärkender Wetterextreme leidet, zusätzlich (Díaz et al., 2019). Österreich bleibt von diesen Entwicklungen nicht verschont. Inwieweit der erwartete Klimawandel die Versorgungssicherheit in Österreich beeinflusst, war Gegenstand einer umfassenden Studie (Haslmayr et al., 2018). Wie die Ergebnisse zeigen, dürfte der Klimawandel zwar zu vorteilhafteren Produktionsbedingungen in den Grünlandgebieten Westösterreichs führen. Diesen werden jedoch erhebliche Produktionseinbußen aufgrund von fehlenden Niederschlägen in Ostösterreich gegenüberstehen.

Die landwirtschaftliche Produktion ist auf funktionierende Ökosysteme angewiesen, deren Fortbestand vom Erhalt der Artenvielfalt abhängt.

4. Strategien zur Senkung der Treibhausgasemissionen und zur Anpassung an den Klimawandel

Viele landwirtschaftliche Praktiken können verbessert werden, um Anpassungs- und Vermeidungsstrategien im gesamten Ernährungssystem umzusetzen. Zu den Optionen auf der Angebotsseite zählen in erster Linie die Erhöhung der organischen Bodensubstanz (Humusaufbau) und die Vermeidung von Erosion. Weitere Ansatzpunkte sind das nachhaltige Management von Anbauflächen, Viehzucht und Weideflächen sowie eine klimaorientierte Sortenwahl und Fruchtfolge, um die Toleranz gegenüber Hitzestress und Dürre zu erhöhen.

Auf der Nachfrageseite können Verhaltensänderungen wie z. B. eine gesunde und nachhaltige Ernährung unter Einschränkung des Konsums von tierischem Eiweiß und die Vermeidung von Lebensmittelverschwendung einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Der sparsame Verbrauch tierischer Produkte und eine vermehrt auf Pflanzen basierende Ernährung verringern die benötigte Landfläche und steigern die Resilienz des Ernährungssystems. Damit einher gehen häufig positive Auswirkungen auf Ökosystemleistungen⁵⁾, wie etwa die Wasserhaltekapazität der Böden, d. h. Anpassungs- und Vermeidungsstrategien implizieren einen positiven Zusatznutzen ("Co-benefits").

Um in der Landwirtschaft und im Ernährungssystem die Anpassung an den Klimawandel und Klimaschutz voranzutreiben, müssen anreizkompatible politische und institutionelle Rahmenbedingungen geschaffen werden (Mbow et al., 2019).

4.1 Der europäische Green Deal und die "Farm to Fork"-Strategie

4.1 Der europäische Green Deal und die "Farm to Fork"-Strategie

Im Dezember 2019 präsentierte die EU-Kommission den europäischen Green Deal, der das Ziel verfolgt, die Nettotreibhausgasemissionen bis 2050 auf null zu senken (Europäische Kommission, 2019). Der Green Deal beinhaltet eine Reihe von politischen Initiativen, die sich u. a. der Landwirtschaft, den Ökosystemen und der Biodiversität widmen und die europäische Wirtschaft in Richtung Nachhaltigkeit umgestalten sollen. Mit der "Farm to Fork"-Strategie (Europäische Kommission, 2020) will die EU u. a. den ökologischen und klimatischen Fußabdruck des gesamten Lebensmittelsystems verkleinern und dessen Resilienz erhöhen. Zu den Zielen

Die Erhöhung des organischen Bodenstoffgehaltes und eine Senkung der Nachfrage nach tierischem Eiweiß sind zwei zentrale Hebel zum Klimaschutz und zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel.

Mit der "Farm to Fork"-Strategie will die EU den ökologischen und klimatischen Fußabdruck des gesamten Lebensmittelsystems verkleinern und dessen Resilienz stärken.

⁵⁾ Ökosystemleistungen entstehen in Ökosystemen durch ökologische Prozesse und Funktionen, stellen wahrgenommene und für das menschliche Wohlbefinden wesentliche "Leistungen" der Natur dar (Díaz et al., 2018; Potschin & Haines-Young, 2016) und sind daher ein Produktionsfaktor der Landwirtschaft. Zu den von der Natur "bereitgestellten" Ökosystemleistungen zählen u. a. die Reinigung von Luft, Boden und Wasser, die Regulierung des Wasserabflusses, die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, die Bestäubung durch Insekten bzw. generell der Erhalt der Biodiver-

sität. Kulturelle Ökosystemleistungen – ein Konzept, um auf den nichtmateriellen Nutzen zu verweisen, den Menschen aus Ökosystemen ziehen – bestehen etwa in der Nutzung von Naturräumen für die Erholung und Freizeitaktivitäten. Ökosystemleistungen bilden somit die Grundlage für das menschliche Wohlbefinden und die wirtschaftliche Entwicklung. Jede Interaktion des Menschen mit den ihn umgebenden Ökosystemen hat Auswirkungen auf die Integrität, Funktionsweise und Resilienz von Ökosystemleistungen (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2018).

Maßnahmen zum Humusaufbau bzw. zum Schutz vor Bodenerosion erhöhen die Resilienz und Produktivität des Landbaus und damit die Ernährungssicherheit.

der Strategie zählen der Aufbau einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion, die Einführung nachhaltiger Verfahren in Lebensmittelverarbeitung, Handel und Gastronomie, die Förderung eines nachhaltigen Lebensmittelkonsums und die Verringerung von Lebensmittelverschwendung. Der Übergang zu einer überwiegend pflanzlichen Ernährung, bei der weniger rotes Fleisch (Rind-, Schweine-, Lamm- und Ziegenfleisch) und mehr Obst und Gemüse verzehrt werden, reduziert die negativen Umweltauswirkungen.

Die Verringerung des Anteils tierischer Produkte gilt als einer der wirkungsvollsten Hebel, um Produktions- und Ernährungssysteme nachhaltiger zu gestalten. Die Produktion tierischer Lebensmittel erfordert in Bezug auf den erzeugten Nährwert ein Vielfaches der Ressourcen, die für die Erzeugung pflanzlicher Lebensmittel nötig sind. Zur Fleischerzeugung werden teilweise für den Menschen genießbare Pflanzen an Tiere verfüttert oder Flächen, die bisher Grünland oder unkultiviert waren (vornehmlich Wälder), für die Futtermittelproduktion in Anbauflächen umgewandelt (Van Zanten et al., 2018). Allerdings bietet die Tierhaltung auch eine Reihe von Chancen, die für die Nachhaltigkeit der Lebensmittelsysteme entscheidend sind. So können Nutztiere marginale Ressourcen nutzen, indem sie Ernterückstände aus der Landwirtschaft oder Lebensmittelabfälle verwerten und somit für den Menschen verfügbar machen (Amon, 2021).

4.2 Kohlenstoffspeicherung in Böden

Die Sequestrierung von Kohlenstoff bzw. die Erhöhung des Bodenkohlenstoffgehaltes durch Humusaufbau wirkt sich in vielfältiger Weise positiv auf die Ökosystemleistungen, die Resilienz und die Produktivität des Landbaus aus. Der Kohlenstoffgehalt des Bodens

ist ein bedeutender Qualitätsmaßstab für die pflanzliche Produktion und die regionale Ernährungssicherheit (Baumgarten et al., 2021). Enthält der Boden mehr Kohlenstoff, so kann er mehr Wasser aufnehmen. Zudem senkt ein hoher Kohlenstoffgehalt das Risiko der Bodenerosion und unterstützt die Nährstoffversorgung der Pflanzen.

Konzepte zur klimaschonenden Bewirtschaftung von Ackerland werden u. a. im Rahmen der "4 per mille"-Strategie ("soils for food security and climate") diskutiert (Minasny et al., 2017). Diese Initiative, die von Frankreich im Dezember 2015 auf der 21. UNO-Klimakonferenz (COP 21) ins Leben gerufen wurde, bündelt Interessengruppen des öffentlichen und privaten Sektors und hat zum Ziel, den Bodenkohlenstoffgehalt um durchschnittlich 0,4% pro Jahr zu erhöhen. Das Verständnis über die Möglichkeiten der langfristigen Kohlenstoffsequestrierung im Boden ist allerdings noch unvollständig. Die Bodenart, die oberirdische Vegetation, das Klima und die Geschwindigkeit, mit der die Bodenorganismen den Kohlenstoff verwerten, beeinflussen sämtlich die Sequestrierungsrate. Gründüngung, spezielle Fruchtfolgen, der Anbau von Deckfrüchten und die Kontrolle der Beweidung begünstigen die Kohlenstoffaufnahme im Boden. Agroforstliche Systeme sowie Flächen mit Hecken und Feuchtgebiete weisen in der Regel einen höheren Gehalt an Bodenkohlenstoff auf. Regionale Strategien zur Erhöhung des Bodenkohlenstoffgehaltes müssen den lokalen Bodentypen, klimatischen Bedingungen, der Geschwindigkeit des Klimawandels und dem sozioökonomischen Umfeld Rechnung tragen. Entsprechende Maßnahmen müssen unter Einsatz von Technologie (Stichprobenkontrollen oder Fernerkundung) regelmäßig überprüft und evaluiert werden (Meyer, 2022).

5. Fazit

Die hohe Bedeutung des Erhaltes und weiteren Aufbaus des Humus für eine klimaresiliente und nachhaltige Landwirtschaft, für die Ertragskraft der Böden und die Ernährungssicherheit macht die Steigerung des Bodenkohlenstoffgehaltes zu einem zentralen agrarökologischen Handlungsfeld (Zukunftskommission Landwirtschaft, 2021). Nicht alle Ökosystemleistungen haben einen Markt, wie z. B. die Bereitstellung von Lebens- und Futtermitteln. Häufig handelt es sich vielmehr um öffentliche Güter, wie z. B. die Resilienz der landwirtschaftlichen Produktion, die Agrobiodiversität oder die Wasserbereitstellung. Aufgrund des Charakters solcher Leistungen als öffentlicher Güter bedarf es zielgerichteter öffentlicher Fördermaßnahmen und geeigneter Rahmenbedingungen für eine klimaschonende Landwirtschaft. Agrarsubventionen sollten daher stärker als bisher an die

Bereitstellung von Ökosystemleistungen geknüpft werden.

Alle Akteure entlang der Wertschöpfungskette von Agrargütern und Lebensmitteln stehen vor großen Herausforderungen, die angestrebte Transformation zu bewältigen. Der Übergang zu Klimaneutralität und Nachhaltigkeit erfordert zusätzliche Investitionen und die Entwicklung neuer Produkte. Zugleich gehen bisher profitable Märkte verloren. Um die Anpassungskosten für die Betroffenen tragbar zu machen, schlagen Fesenfeld et al. (2022) einen Transformationsfonds vor, der über den Rahmen der derzeitigen EU-finanzierten Landwirtschaftsfonds hinausreichen soll. Schließlich betrifft die Transformation ja nicht nur die Landwirtschaft, sondern auch nachgelagerte Sektoren. Neben angebotsseitigen Maßnahmen

empfehlen Fesenfeld et al. (2022) auch Instrumente zur Lenkung der Nachfrage. Damit soll die Umstellung der Ernährung auf pflanzenbasierte Nahrungsmittel beschleunigt werden. Schließlich bedarf es – wie am United Nations Food Systems Summit 2021

festgehalten wurde – neuer politischer Zugänge: Statt sektoraler Einzelmaßnahmen müssen kohärente Ansätze entwickelt werden, die die Agrar-, Ernährungs-, Gesundheits-, Umwelt-, Wirtschafts- und Entwicklungspolitik einbeziehen (UNFSS, 2021).

6. Literaturhinweise

- Amon, B. (2021). *Faktencheck Klimawandel, Landwirtschaft, Ernährung: Studie zum Stand des Wissens. Teil A: Ausführlicher Literaturüberblick zum aktuellen Stand des Wissens mit Hintergrundinformationen*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/faktencheck-klimawandel-landwirtschaft-ernaehrung.html.
- Baumgarten, A., Haslmayr, H.-P., Schwarz, M., Huber, S., Weiss, P., Obersteiner, E., Aust, G., Enschlich, M., Horvath, D., Leitgeb, E., Foldal, C., Rodlauer, C., Bohner, A., Spiegel, H., & Jandl, R. (2021). Organic soil carbon in Austria – Status quo and foreseeable trends. *Geoderma*, 402. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115214>.
- Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus – BMLRT (2020). *Grüner Bericht 2020*.
- Cassidy, E. S., West, P. C., Gerber, J. S., & Foley, J. A. (2013). Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*, 8(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034015>.
- Dasgupta, P. (2021). *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. HM Treasury. <https://www.gov.uk/government/publications/final-report-the-economics-of-biodiversity-the-dasgupta-review>.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P. W., van Oudenhoven, A. P. W., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Ameeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C. A., Hewitt, C. L., Keune, H., Lindley, S., & Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270-272. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aap8826>.
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., Armeth, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., Chan, K. M. A., Garibaldi, L. A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G. F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razaque, J., Reyers, B., Roy Chowdhury, R., Shin, Y. J., Visseren-Hamakers, I. J., Willis, K. J., & Zayas C. N. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>.
- Dröge, S. (2021). *Ein CO₂-Grenzausgleich für den Green Deal der EU. Funktionen, Fakten und Fallstricke*. Stiftung Wissenschaft und Politik.
- Europäische Kommission (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*. COM(2019) 640 final.
- Europäische Kommission (2020). *"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*. COM(2020) 381 final.
- Europäische Umweltagentur (2022). EEA greenhouse gases – data viewer. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> (abgerufen am 22. 7. 2022).
- Fesenfeld, L., Pörtner, L. M., Bodirsky, B. L., Springmann, M., von Philipsborn, P., Gaupp, F., Müller, D., Settele, J., Gabrysch, S., Freund, F., Mattauch, L., Creutzig, F., & Lotze-Campen, H. (2022). Policy Brief: Für Ernährungssicherheit und eine lebenswerte Zukunft. Pflanzenbasierte Ernährungsweisen fördern, Produktion und Verbrauch tierischer Lebensmittel reduzieren. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7038961>.
- Haslmayr, H.-P., Baumgarten, A., Schwarz, M., Huber, S., Prokop, G., Sedy, K., Krammer, C., Murer, E., Pock, H., Rodlauer, C., Schaumberger, A., Nadeem, I., & Formayer, H. (2018). *BEAT – Bodenbedarf für die Ernährungssicherung in Österreich. Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 100975*. AGES.
- Hubacek, K., Feng, K., Chen, B., & Kagawa, S. (2016). Linking Local Consumption to Global Impacts. *Journal of Industrial Ecology*, 20(3), 382-386. <https://doi.org/10.1111/jiec.12463>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2022). *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change – Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf.
- Jägermeyr, J., Müller, C., Ruane, A. C., Elliott, J., Balkovic, J., Castillo, O., Faye, B., Foster, I., Folberth, C., Franke, J. A., Fuchs, K., Guarín, J. R., Heinke, J., Hoogenboom, G., Iizumi, T., Jain, A. K., Kelly, D., Khabarov, N., Lange, S., Lin, T.-S., Liu, W., Mialyk, O., Minoli, S., Moyer, E. J., Okada, M., Phillips, M., Porter, C., Rabin, S. S., Scheer, C., Schneider, J. M., Schyns, J. F., Skalsky, R., Smerald, A., Stella, T., Stephens, H., Webber, H., Zabel, F., & Rosenzweig, C. (2021). Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food*, 2(11), 873-885. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00400-y>.
- Kirchner, M., Pözl, W., Mayrhofer, H., Hickersberger, M., & Sinabell, F. (2021). *RESILIENZ – Corona-Krise und land- und forstwirtschaftliche Wertschöpfungsketten, Lessons Learnt. Teilprojekt: Regionale versus internationale Bereitstellung von Agrargütern: eine Fallstudie zur Klimabilanz*. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen. https://bab.gv.at/downloads/Covid-Lessons-Learnt/Arbeitspakete/Vol_1/resilienz-pp-klimawirkungen-rind_endbericht.pdf.

- Kletzan-Slamanig, D., Sinabell, F., Pennerstorfer, D., Böhs, G., Schönhart, M., & Schmid, E. (2014). *Ökonomische Analyse 2013 auf der Grundlage der Wasserrahmenrichtlinie*. WIFO, BOKU. <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/50922>.
- Mateo-Sagasta, J., Marjani Zadeh, S., & Turrall, H. (2017). *Water Pollution from Agriculture: A Global Review – Executive Summary*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Water Management Institute on behalf of the Water Land and Ecosystems research program.
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M. G., Sapkota, T., Tubiello, F. N., & Xu, Y. (2019). Food Security. In Shukla, P. R., Skea, J., Calvo Buendía, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portugal Pereira, J., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M., & Malley, J. (Hrsg.), *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Meyer, I. (2022). Landnutzung im Klimawandel: Herausforderungen für eine zukunftsfähige Landwirtschaft. In Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), *8. Umweltökologisches Symposium 2022* (S. 15-20).
- Meyer, I., & Markytn, S. (2022). *Faktencheck Klimawandel, Landwirtschaft, Ernährung*. WIFO. <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/69435>.
- Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B. S., Field, D. J., Gimona, A., Hedley, C. B., Hong, S.-Y., Mandal, B., Marchant, B. P., Martin, M., McConkey, B. G., Mulder, V. L., O'Rourke, S., Richer-de-Forges, A. C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C.-C., Vågen, T.-G., van Wesemael, B., & Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>.
- Pendrill, F., Gardner, T. A., Meyfroidt, P., Persson, U. M., Adams, J., Azevedo, T., Bastos Lima, M. G., Baumann, M., Curtis, P. G., De Sy, V., Garrett, R., Godar, J., Goldman, E. D., Hansen, M. C., Heilmayr, R., Herold, M., Kuemmerle, T., Lathuilière, M. J., Ribeiro, V., Tyukavina, A., Weisse, M. J., & West, C. (2022). Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation. *Science*, 377(6611). <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abm9267>.
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2013). Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture*, 3(3), 443-463.
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaa0216>.
- Potschin, M., & Haines-Young, R. (2016). Defining and measuring ecosystem services. In Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., & Turner, R. K. (Hrsg.), *Routledge Handbook of Ecosystem Services* (S. 25-44). Routledge. <http://www.routledge.com/books/details/9781138025080/>.
- Seppelt, R., Klotz, S., Peiter, E., & Volk, M. (2022). Landwirtschaft in einer heißen Welt. Warum Effizienzsteigerungen nicht ausreichen, um unsere Ernährung zu sichern. In Wiegandt, K. (Hrsg.), *3 Grad Mehr. Ein Blick in die drohende Hitzezeit und wie uns die Natur helfen kann, sie zu verhindern* (S. 55-78).
- Stangl, M., Formayer, H., Hiebl, J., Pistotnik, G., Orlik, A., Kalcher, M., & Michl, C. (2021). *Klimastatusbericht Österreich 2021*. Climate Change Centre Austria, Universität für Bodenkultur, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. <https://ccca.ac.at/wissenstransfer/klimastatusbericht/klimastatusbericht-2021>.
- Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A. E., & Hertwich, E. G. (2012). Carbon, Land, and Water Footprint Accounts for the European Union: Consumption, Production, and Displacements through International Trade. *Environmental Science & Technology*, 46(20), 10883-10891. <https://doi.org/10.1021/es301949t>.
- Steininger, K. W., Lininger, C., Meyer, L. H., Muñoz, P., & Schinko, T. (2016). Multiple carbon accounting to support just and effective climate policies. *Nature Climate Change*, 6(1), 35-41. <https://doi.org/10.1038/nclimate2867>.
- Steininger, K. W., Muñoz, P., Karstensen, J., Peters, G. P., Strohmaier, R., & Velázquez, E. (2018). Austria's consumption-based greenhouse gas emissions: Identifying sectoral sources and destinations. *Global Environmental Change*, 48, 226-242. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.011>.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity – TEEB (2018). *Measuring what matters in agriculture and food systems. A synthesis of the results and recommendations of TEEB for Agriculture and Food's Scientific and Economic Foundations Report*.
- Umweltbundesamt (2021). *Klimaschutzbericht 2021*.
- United Nations Food Systems Summit – UNFSS (2021). *Governance of Food Systems Transformation. Policy Brief*.
- Van Zanten, H. H. E., Herrero, M., Van Hal, O., Rööß, E., Muller, A., Garnett, T., Gerber, P. J., Schader, C., & De Boer, I. J. M. (2018). Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. *Global Change Biology*, 24(9), 4185-4194.
- Wiedmann, T., & Lenzen, M. (2018). Environmental and social footprints of international trade. *Nature Geoscience*, 11(5), 314-321.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen – WBGU (2020). *Hauptgutachten – Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration*. <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/landwende>.
- Wood, R., Stadler, K., Simas, M., Bulavskaya, T., Giljum, S., Lutter, S., & Tukker, A. (2018). Growth in Environmental Footprints and Environmental Impacts Embodied in Trade: Resource Efficiency Indicators from EXIOBASE3. *Journal of Industrial Ecology*, 22(3), 553-564. <https://doi.org/10.1111/jiec.12735>.
- Zukunftskommission Landwirtschaft (2021). *Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft*.