

© **Schwerpunkt »Welt im Fieber – Klima & Wandel«**

Ökolandbau – besser für das Klima?

Über Landwirtschaft in Zeiten des Klimawandels und die Potenziale der Ökologischen Landwirtschaft

von Michael Hauschild, Philipp Weckenbrock und Andreas Gattinger

Der Klimawandel stellt eine der größten Herausforderungen unserer Zeit dar. Dabei kommt der Landwirtschaft eine besondere Rolle zu. Zum einen ist sie eine wichtige Quelle von Treibhausgasen. Zum anderen ist die Landwirtschaft der wohl am stärksten vom Klimawandel betroffene Sektor und muss sich an sich schnell verändernde Umstände anpassen, insbesondere an Trockenheit und Starkregenereignisse. Der Ökologische Landbau verspricht, neben Leistungen in Bezug auf Umwelt und Tierwohl, auch einen vorteilhaften Einfluss auf das Klima, sowie erhöhte Resilienz gegen durch den Klimawandel induzierte Veränderungen, im Vergleich zum konventionellen Landbau. In dem vorliegenden Artikel werden die Herausforderungen, Leistungen und Potenziale des Ökologischen Landbaus in Bezug auf den Klimawandel beschrieben und diskutiert.

Die globale Erderwärmung schreitet voran und wird uns mit jedem Jahr deutlicher vor Augen geführt. Global gesehen war 2019 das zweitwärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnung¹ und 2020 ist auf dem besten Weg, es ebenfalls weit nach oben in dieser Liste zu schaffen.² Auch in Deutschland sind die Folgen des Klimawandels bereits deutlich zu spüren und haben einen direkten Einfluss auf die Landwirtschaft.

Landwirtschaft als Betroffene des Klimawandels

Dabei sind besonders die immer häufiger auftretenden Wetterextreme ein Problem.³ Dürreperioden mit daraus folgenden Ernteeinbrüchen, wie sie 2018, 2019 und 2020 in weiten Teilen Deutschlands zu beobachten waren, werden in Zukunft häufiger vorkommen.⁴ Gleichzeitig führen immer öfter Starkregenereignisse zu Hochwasser und Erosion, bei welcher der wertvolle Oberboden von landwirtschaftlichen Flächen weggeschwemmt wird und große Sachschäden z. B. in benachbarten Ortschaften und auf Straßen etc. verursachen kann. Eine weitere *langfristige* Folge des Klimawandels für die Landwirtschaft sind die Veränderungen des phänologischen Jahres.⁵ Dadurch verschieben sich Blühzeitpunkte, was negative Folgen für die Bestäubung bedeuten kann. Mildere Winter⁶ sind ungünstig für Pflanzen, die einen Kältereiz benötigen, und führen zu erhöhtem Schädlingsdruck.⁷

Entgegen manchmal geäußerter Vermutungen wird eine erhöhte Menge an CO₂ in der Atmosphäre nicht unbedingt ein stärkeres Pflanzenwachstum nach sich ziehen. Denn durch die gleichzeitig steigenden Temperaturen und dem damit einhergehenden erhöhten Wasserbedarf sind nur geringe bis gar keine dahingehenden Vorteile für das Pflanzenwachstum zu erwarten.⁸ All diese Aussichten scheinen düster, jedoch gibt es Praktiken und Bewirtschaftungsformen, die den negativen Effekten entgegenwirken können. Insbesondere mit der Ökologischen Landwirtschaft verbinden sich viele Hoffnungen.

Anpassung an den Klimawandel: Ökolandbau als Lösungsansatz?

Wie genau sich die Landwirtschaft an zukünftige Veränderungen des phänologischen Jahres und die Krankheits- und Schädlingsentwicklung anpassen muss, ist schwer abzuschätzen. Langfristig ist ein wichtiger Ansatz, die Anbausysteme inklusive Kulturpflanzen und Sorten an die oben genannten Veränderungen anzupassen. An Wetterextreme muss sich jedoch bereits jetzt angepasst werden, und hier hat der Ökolandbau einige Vorteile. Laut der Europäischen Ökoverordnung ist der Ökolandbau dazu verpflichtet, Bodenbearbeitungs- und Anbauverfahren zu verwenden, welche die Bodenerosion verhindern,⁹ und

so finden sich solche Bewirtschaftungspraktiken auch vermehrt im Ökolandbau wieder.

Bereits 1987 ergab eine Studie, dass der Ökolandbau weniger Erosionsanfälligkeit aufweist als der konventionelle.¹⁰ Für den Thünen Report Nr. 65 wurde 2019 eine umfassende Analyse des Potenzials des Ökolandbaus zu Erosions- und Hochwasserschutz durchgeführt.¹¹ Diese ergab, dass durch die Managementpraktiken des Ökolandbaus eindeutige Vorteile beobachtet werden können. In den untersuchten Studien wurden in ökologisch bewirtschafteten Flächen neben höheren Gehalten an organischem Bodenkohlenstoff und höherer Aggregatstabilität auch 26 Prozent weniger Oberflächenabfluss und 22 Prozent weniger Bodenabtrag festgestellt als in vergleichbaren konventionellen Flächen. Der Einfluss des Ökolandbaus auf Hitze und Dürre ist weniger gut untersucht, wobei Einzelstudien hier ebenfalls auf einen Vorteil des Ökolandbaus hindeuten. Durch ökologische Managementpraktiken und die damit einhergehende verbesserte Bodenfruchtbarkeit hat der Ökolandbau während Dürreereignissen geringere Ertragsverluste zu verbuchen.¹² Ob durch ökologische Praktiken ein Kühlungseffekt im Boden, im Pflanzenbestand und in der Agrarlandschaft erzielt wird, ist Gegenstand aktueller Forschungen in Hessen und anderswo.

Die Adaption an den Klimawandel spielt eine wichtige Rolle, um den Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte gerecht zu werden. Wenn der Klimawandel jedoch in prognostizierten Maßen voranschreitet und die negativen Effekte wie erwartet auftreten, reichen auch die besten Anpassungen nicht aus. Demnach ist die Verminderung des Klimawandels weiterhin ein wichtiger Schritt. Parallel zu den Anpassungsbemühungen an den bereits laufenden Klimawandel ist daher erforderlich, die Anstrengungen zu verstärken, Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu reduzieren, um den Klimawandel nicht zusätzlich anzutreiben.

Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft

Laut der Berichterstattung des Umweltbundesamts emittiert die Landwirtschaft circa 7,4 Prozent der gesamten deutschen THG-Emissionen.¹³ Das erscheint auf den ersten Blick relativ unbedeutend.

Klein – im Vergleich mit Giganten

7,4 Prozent klingt nach wenig, aber in absoluten Zahlen ausgedrückt emittiert die deutsche Landwirtschaft 63,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (siehe unten). Dies ist mehr als die *gesamten* THG-Emissionen von Ländern wie der Schweiz, Schweden oder Dänemark. Als wenig erscheinen die 7,4 Prozent nur im Vergleich mit den übrigen THG-Emissionen

Deutschlands, die sich auf 795 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2018 beliefen. Die Hauptquelle unserer THG-Emissionen ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe für Energiegewinnung und Transport. Hierbei entsteht das Treibhausgas CO₂. Die Landwirtschaft ist die wichtigste Quelle der beiden anderen wichtigen Treibhausgase Methan (aus Tierhaltung und Wirtschaftsdünger) und Lachgas (aus landwirtschaftlichen Böden). Um die verschiedenen Treibhausgase miteinander vergleichen zu können, werden sie in eine gemeinsame Einheit umgerechnet. Diese Berechnungsgrundlage ist komplex und nicht unproblematisch.

CO₂-Äquivalente im Wandel

Im Vergleich zu CO₂ kommen Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) deutlich seltener vor, gelten deshalb auch als Spurengase, verweilen jedoch länger in der Atmosphäre und haben ein höheres Potenzial, das Klima zu erwärmen. Die sogenannten *Treibhauspotenziale* sind eine Abschätzung für den Einfluss verschiedener Gase auf das Klima über einen Zeitraum von 100 Jahren. Da CO₂ weltweit das bedeutendste Treibhausgas ist, wird es als Bezugsgröße für die anderen Gase verwendet. Somit kann die Klimawirksamkeit von Methan und Lachgas in *CO₂-Äquivalenten* angegeben werden.

Die jeweiligen Werte der Treibhauspotenziale werden kontrovers diskutiert und fortlaufend an den fortschreitenden Stand der Wissenschaft angepasst. Besonders das Treibhauspotenzial von Methan wird immer wieder unterschiedlich eingestuft, die Schätzungen liegen zumeist zwischen 20 und 80 (d. h. 20- bis 80-mal höhere Klimawirksamkeit als CO₂).¹⁴ Der Weltklimabericht aus dem Jahr 2014 gibt das Treibhauspotenzial von Methan mit 28 an (und 265 für Lachgas).¹⁵ In vielen Berechnungen, wie z. B. denen des Umweltbundesamts, werden jedoch häufig noch die Werte des Weltklimaberichts aus dem Jahr 2007 verwendet.¹⁶ In letzterem werden Methan mit 25 und Lachgas mit 298 gewichtet. Da der Löwenanteil der Methan- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft stammt, bedeutet diese Unsicherheit, dass die Klimaschädlichkeit der Landwirtschaft (und hier insbesondere die der Methanemissionen) auch geringer, wahrscheinlich aber eher höher sein könnte als die oben erwähnten 7,4 Prozent.

Systemgrenzen der Emissionsberichterstattung

Die Berechnung der THG-Emissionen folgt den Richtlinien der internationalen Berichterstattung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC). Demnach setzen sich die landwirtschaftlichen Emissionen primär aus den Ausgasungen aus der Tierhaltung, der landwirtschaftlichen Böden und

der Behandlung von Wirtschaftsdünger zusammen. Jedoch entstehen durch die Landwirtschaft weitere Emissionen, die nicht diesen Kategorien zugeordnet werden können. Dazu zählen die Produktionsketten von synthetischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln und die in der Landwirtschaft verbrauchte Energie und Kraftstoffe. Außerdem werden im Ausland produzierte und nach Deutschland importierte Futtermittel und deren Emissionsketten nicht den deutschen Landwirtschaftsemissionen angerechnet.

Diese zusätzlichen Emissionen sind schwierig zu gewichten, es existieren aber Referenzwerte. Die Düngemittelherstellung ist energieaufwendig und verursacht hohe Mengen an Emissionen. Nach einer Abschätzung der Bundesregierung machte die Stickstoffdüngemittelherstellung im Jahr 2005 14,1 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente aus.¹⁷ Auch wenn die Stickstoffdüngerherstellung in Deutschland in den letzten Jahrzehnten deutlich optimiert wurde, ist sie eine große Quelle von Treibhausgasen, die direkt mit der Landwirtschaft zusammenhängt, jedoch gemäß der oben genannten Vereinbarungen dem Industriesektor zugerechnet wird.

Der Ökolandbau verzichtet auf synthetische Düngemittel und Pflanzenschutzmittel und erspart dem Klima somit schon einmal diesen Teil der Emissionen. Doch ist der Ökolandbau insgesamt besser für das Klima?

Ein Hektar Öko: besser für das Klima

Unabhängig von den Einsparungen durch den Verzicht auf synthetische Düngemittel und Pflanzenschutzmittel zeigt die überwiegende Mehrheit wissenschaftlicher Studien, dass ein Hektar Ökolandbau im Durchschnitt weniger Treibhausgase produziert als ein Hektar unter konventioneller Bewirtschaftung. Im Rahmen des bereits erwähnten Berichts des Thünen-Instituts aus dem Jahr 2019 wurde der bis dato umfangreichste Vergleich der Emissionen von Ökologischer und konventioneller Landwirtschaft durchgeführt.¹⁸ Dabei wurden die Messdaten aus allen wissenschaftlichen Veröffentlichungen zusammengefasst, in welchen die THG-Emissionen im Bereich Boden-Pflanze sowie der im Boden gespeicherten Kohlenstoff ökologisch und konventionell bewirtschafteter Flächen verglichen wurden. Basierend auf 119 Studien kamen die Autoren zu folgendem Ergebnis: Verglichen mit konventioneller Bewirtschaftung ergeben sich durch ökologische Bewirtschaftung pro Hektar und Jahr Einsparungen an bodenbürtigen THG-Emissionen in Höhe von einer Tonne CO₂-Äquivalente. Unter Berücksichtigung weiterer Vergleichsstudien könnten die Einsparungen sogar auf bis zu 1,5 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr eingeschätzt werden.¹⁹ Hochgerechnet auf alle deutschen konventionell bewirtschafteten

Ackerflächen (11,34 Millionen Hektar) entspräche dies einem Einsparpotenzial von 11,34 bis 17,01 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr und somit 18 bis 27 Prozent der gesamten deutschen landwirtschaftlichen THG-Emissionen.

Neben den Gasausträgen der Böden spielen auch die zuvor besprochenen weiteren Emissionen eine wichtige Rolle. Aus der Viehhaltung (Verdauungssystem plus Wirtschaftsdüngermanagement) entstehen laut Umweltbundesamt 55 Prozent der landwirtschaftlichen Emissionen.²⁰ Hierzu ergab eine umfassende Studie, dass bei Emissionen der tierischen Verdauung und des Wirtschaftsdüngermanagements keine signifikanten systembedingten Unterschiede festzustellen waren. Unter Berücksichtigung der gesamten entstehenden Klimagase ermittelte die Studie flächenbezogene Emissionen aus viehhaltenden Betrieben und konnte eindeutige Vorteile für den Ökolandbau feststellen.²¹ Jedoch sind diese Einsparungen weniger auf systemische, als auf betriebliche Unterschiede zurückzuführen. Es ist anzunehmen, dass sich die flächenbezogenen Emissionen der Rinderhaltung bei vergleichbarem Tierbesatz zwischen ökologischer und konventioneller Landwirtschaft nur geringfügig unterscheiden.

Ein Kilo ökologische Lebensmittel: Besser für das Klima?

Während die flächenbezogenen Emissionen deutlich für den Ökolandbau sprechen, ist der Wissensstand bezüglich ertragsbezogener Emissionen (also die Menge an Treibhausgasen pro Kilogramm eines erzeugten Produkts) weniger klar. Aufgrund des Verzichtes auf synthetische Düngemittel und Pflanzenschutzmittel werden auf ökologisch bewirtschafteten Flächen im Durchschnitt geringere Erträge erzielt als auf konventionell bewirtschafteten Flächen. Die genauen Ertragslücken variieren je nach Kulturpflanze und sind neben der Bewirtschaftungsform auch von weiteren Faktoren abhängig, was einen pauschalen Vergleich erschwert. Ein Verweis auf die tatsächlichen Ertragslücken auf deutschen Ökobetrieben ist nur bedingt sinnvoll, da hier die Unterschiede in Erträgen nicht zwingend auf die Bewirtschaftungsform, sondern auch auf die Standortbedingungen und die genauen durchgeführten Praktiken zurückzuführen sind. Eine geeignete Vergleichsbasis bilden auch hier Metaanalysen, die Einzelstudien mit Vergleichsparen zusammenführen, um den Effekt der Bewirtschaftungsform zu identifizieren. Aus diesen Studien geht hervor, dass der Ökolandbau im Durchschnitt zwischen 19 und 25 Prozent geringere Erträge erzielt als die konventionelle Landwirtschaft.²² Wenn die THG-Emissionen pro Hektar auf jedes Kilogramm Ertrag

verteilt werden, sind die Werte umso niedriger, je höher die Erträge sind. Werden damit Ökoprodukte klimaschädlicher als konventionell erzeugte?

Zum Thema der ertragsbezogenen THG-Emissionen wurden zahlreiche Forschungsarbeiten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studien zeichnen kein klares Bild und reichen von geringeren²³ über vergleichbare²⁴ bis hin zu höheren²⁵ THG-Emissionen beim Ökolandbau. Noch unübersichtlicher wird der Sachverhalt dadurch, dass die Emissionen je nach Kulturpflanze und Stellung in der Fruchtfolge unterschiedlich ausfallen²⁶ und sich die Studien neben den untersuchten Kulturen und Betrieben auch bezüglich der verwendeten Methoden und Bezugsgrenzen unterscheiden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich nach aktuellem Wissensstand die ertragsbedingten THG-Emissionen von Ökolandbau und konventioneller Landwirtschaft nur geringfügig unterscheiden. Es ist davon auszugehen, dass betriebsspezifische Faktoren wie der Standort und die Managementpraktiken eine größere Rolle spielen als der systemische Unterschied zwischen Ökologischer und konventioneller Landwirtschaft.

»Studie: Ökolandbau ist schlecht für das Klima«

So betitelt Agrarheute einen Beitrag im Jahr 2018.²⁷ Wieso gilt der Ökolandbau als schlecht für das Klima, wenn die Wissenschaft dem Ökolandbau deutliche Vorteile im Flächenbezug, und vergleichbare Emissionen im Ertragsbezug zuordnet? Dahinter steht die Überlegung, dass aufgrund der niedrigeren Erträge des Ökolandbaus mehr Fläche benötigt wird, um die Produktion aufrechtzuerhalten. Als Konsequenz müssten mehr Wald- und Moorflächen zu Agrarland umgewandelt werden, was mit hohen THG-Emissionen einhergehen würde.²⁸

In einer 2019 erschienen Studie wurde die Umwandlung der englischen und walisischen Landwirtschaft zu 100 Prozent Ökolandbau simuliert, mit dem Ergebnis, dass die geringeren Erträge durch Importe aus dem Ausland kompensiert würden, was die Klimabilanz deutlich verschlechtert.²⁹ Unter den aktuellen Produktions- und Konsumbedingungen würde die beanspruchte Fläche tatsächlich deutlich ansteigen, um die gleiche Menge an Nahrungsmitteln zu produzieren, auch wenn die Annahme, dass diese Fläche ohne die Umstellung zum Ökolandbau geschützt und erhalten bleiben würde, anzuzweifeln ist.

In einer anderen Studie wurde jedoch identifiziert, dass es durchaus möglich ist, die Landwirtschaft auf 100 Prozent Ökolandbau umzustellen und gleichzeitig die Ernährungssicherheit auf den vorhandenen landwirtschaftlichen Flächen aufrechtzuerhalten.³⁰ Jedoch müssten hierfür einige gesellschaftliche Verän-

derungen stattfinden. So müssten Lebensmittelabfälle minimiert und der Fleischkonsum reduziert werden. Etwa ein Drittel der weltweit produzierten Lebensmittel werden weggeworfen, und die Fleischproduktion, wie sie in den Industrieländern vorwiegend praktiziert wird, ist nicht nur klimaschädlich, sondern beansprucht auch sehr viel Fläche. Vieles davon ist Ackerfläche, welche auch für die direkte Produktion von menschlicher Nahrung genutzt werden könnte. Wenn die Lebensmittelabfälle reduziert, eine stärkere Ausrichtung der Wiederkäuerhaltung (Rind, Schaf, Ziege) auf das Grünland und mehr der vorhandenen Ackerfläche für den direkten menschlichen Konsum genutzt würden, wären auch global gesehen 100 Prozent Ökolandbau vorstellbar. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die Ertragslücken – aufgrund der besseren Anpassung an den fortschreitenden Klimawandel – im Laufe der Zeit weiter schwinden werden. Außerdem könnten die Erträge des Ökolandbaus durch weitere Forschung und Entwicklung in Zukunft weiter optimiert werden.³¹

Einige dieser Aspekte, insbesondere die Umstellung auf eine fleischärmere Ernährung, werden häufig als unrealistisch dargestellt.³² Fakt ist jedoch, dass die Ernährungsgewohnheiten auf lange Sicht verändert werden müssen, da auch die konventionelle Landwirtschaft in Zukunft nicht in der Lage sein wird, die stetig wachsende Weltbevölkerung auf der aktuell verfügbaren Fläche zu ernähren.³³

Folgerungen & Forderungen

- Der Ökolandbau verursacht weniger Treibhausgase und ist robuster gegen die Folgen der globalen Erderwärmung als die konventionelle Landwirtschaft.
- Unabhängig vom Bewirtschaftungssystem gibt es klimafreundliche Bewirtschaftungspraktiken, von denen viele noch zu selten praktiziert werden.
- Die Politik muss leistungsorientierte Honorierungssysteme entwickeln, um die Verwendung von klimapositiven Bewirtschaftungspraktiken zu fördern.
- Der Ökolandbau sollte in Deutschland weiter ausgebaut, gleichzeitig aber auch verbessert werden.
- Die Wissenschaft muss Informationen liefern, wie der Ökolandbau weiter verbessert werden kann und welche alternativen Anbausysteme geeignet für die deutsche Landwirtschaft sind.
- Um die Lebensmittelproduktion zukünftig klimafreundlicher zu gestalten, bedarf es nicht nur einer Ökologisierung der Landwirtschaft, sondern des gesamten Ernährungssystems, von der Saatgutherstellung über das Konsumverhalten bis hin zur Abwasserbehandlung.

Dennoch sind wir von der globalen Umstellung zu 100 Prozent Ökolandbau noch weit entfernt und dies sollte kurzfristig auch nicht das Ziel sein. Aktuell sind nicht einmal 1,5 Prozent der weltweiten landwirtschaftlichen Fläche im streng definierten Sinne ökologisch bewirtschaftet³⁴ und in einigen Regionen der Erde sollte der Fokus auf dem Erhalt der Ernährungssicherheit liegen. Eine generelle Ausweitung des Ökolandbaus in Deutschland ist jedoch in jedem Fall sinnvoll und realisierbar.

Ökolandbau allein reicht nicht

Die deutsche Politik sieht den Ökolandbau als eine Lösung im Kampf gegen den Klimawandel. So steht es im Klimaplan der Bundesregierung »Die Ausweitung der ökologisch bewirtschafteten Flächen ist auch eine Klimamaßnahme.«³⁵ Trotzdem wird die »pauschale Förderung des Ökolandbaus allein aus Gründen des Klimaschutzes als nicht zielführend« bewertet. Wir meinen: Der Ökolandbau hat unbestreitbare Vorteile in der Anpassung an den Klimawandel und verursacht weniger Klimagase. Eine Förderung des Ökolandbaus ist, auch aus Klimagründen, sinnvoll.

Natürlich kann Ökolandbau alleine das Problem des Klimawandels nicht lösen. Das momentane Ausmaß der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Gas ist und bleibt der Klimakiller Nr. 1 und muss heruntergefahren werden. Die Reduktion von Fleischkonsum und Lebensmittelabfällen ist ebenfalls ein wichtiger Faktor.

Darüber hinaus müssen sowohl der Ökolandbau als auch die konventionelle Landwirtschaft klimafreundlicher und klimaresilienter werden. Reduzierte Bodenbearbeitung,³⁶ die Verwendung von Biokohle,³⁷ der Zwischenfrucht- und Gemengeanbau³⁸ und die Verwendung von Mulch³⁹ sowie die Anlage von Agroforstsystemen⁴⁰ sind hierfür vielversprechende Konzepte, die unabhängig vom Bewirtschaftungssystem weiterentwickelt und eingesetzt werden sollten. Einige dieser Ansätze werden an der Professur für Ökologischen Landbau der Justus-Liebig-Universität Gießen untersucht.⁴¹ Testflächen und Zwischenergebnisse werden auf den Öko-Feldtagen vorgestellt, die am 23. und 24. Juni 2021 auf dem Gladbacherhof, dem Lehr- und Versuchsbetrieb der Uni Gießen, stattfinden werden.⁴²

Anmerkungen

- 1 World Meteorological Organization, Januar 2020 (<https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2019-second-hottest-year-record>).
- 2 Copernicus, Oktober 2020 (<https://climate.copernicus.eu/september-brings-record-breaking-warm-temperatures-and-low-sea-ice>).

- 3 Helmholtz-Klima-Initiative: Was wir heute übers Klima wissen - Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind. Stand: September 2020, S. 17 ff. (www.klimafakten.de/meldung/was-wir-heute-uebers-klima-wissen-basisfakten-zum-klimawandel-die-der-wissenschaft). – Zu Klimafolgen und Klimaanpassungsoptionen in der Landwirtschaft in Deutschland siehe auch den Beitrag von C. Heidecke et al. in diesem Kritischen Agrarbericht (S. 13–18).
- 4 F. Giorgi, F. Raffaele and E. Coppola: The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections. In: *Earth System Dynamics* 10 (2019), pp. 73–89. DOI: 10.5194/esd-10-73-2019. – T. Deutschländer und C. Dalelane: Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderung des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit. Hrsg. vom Deutschen Wetterdienst. Offenbach 2012 (www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimaprojektionen/extremereignisse/abschlussbericht-2012.pdf?jsessionid=7FE48C40EDD94B6E6547232ED684D551.live21061?__blob=publicationFile&v=1).
- 5 Helmholtz-Klima-Initiative (siehe Anm. 3).
- 6 Ebd.
- 7 D. P. Bebber: Range-expanding pests and pathogens in a warming world. In: *Annual Review of Phytopathology* 53 (2015). DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120207.
- 8 W. I. J. Dieleman et al.: Simple additive effects are rare: a quantitative review of plant biomass and soil process responses to combined manipulations of CO₂ and temperature. In: *Global Change Biology* 18 (2012), pp. 2681–2693. DOI:10.1111/j.1365-2486.2012.02745.x. – K. Zhu et al.: Responses of grassland production to global change field. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113/38 (2016) 201606734. DOI: 10.1073/pnas.1606734113.
- 9 Verordnung (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates, Anhang 2, Absatz 1.9.1. Satz 1.
- 10 P. Reganold et al.: Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. In: *Nature* 330/6146 (1987), pp. 370–372. DOI: 10.1038/330370a0.
- 11 J. Sanders und J. Heß (Hrsg.): Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage. (Thünen Report 65) Braunschweig 2019, S. 191 ff. DOI:10.3220/REP1576488624000. – Siehe hierzu auch den Beitrag von J. Sanders und J. Heß: Gesellschaftliche Leistungen der Ökologischen Landwirtschaft. Interdisziplinäres Forschungsprojekt vergleicht ökologische mit konventionellen Anbausystemen. In: *Der kritische Agrarbericht 2020*, S. 134–139.
- 12 U. Niggli: Sustainability of organic food production: Challenges and innovations. In: *Proceedings of the Nutrition Society* 74/1 (2015), pp. 83–88. DOI:10.1017/S0029665114001438.
- 13 Umweltbundesamt: Treibhausgas-Emissionen aus der Landwirtschaft (veröffentlicht am 10. Juli 2020) (www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft).
- 14 P. Balcombe et al.: Methane emissions: Choosing the right climate metric and time horizon. In: *Environmental Science: Processes & Impacts* 20 (2018), pp. 1323–1339. DOI: 10.1039/C8EM00414E.
- 15 International Panel on Climate Change (IPCC): Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva 2014, S. 87.
- 16 Umweltbundesamt: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgas-

- inventar 1990-2017. (Climate Change 23/2019). Dessau-Roßlau 2019, S. 92 (www.umweltbundesamt.de/publikationen/bericht-erstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-4).
- 17 Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage [...] Landwirtschaft und Klimaschutz (2007). Deutscher Bundestag 16. Wahlperiode. Drucksache 16/5346.
- 18 Sanders und Heß 2019 (siehe Anm. 11), S. 164 ff.
- 19 A. Gattinger et al.: Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 109/44 (2012), pp.18226-18231. DOI: 10.1073/pnas.1209429109. – C. Skinner et al.: Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – A global meta-analysis. In: Science of the Total Environment 468–469 (2014), pp. 553–563. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.08.098, 2014.
- 20 Umweltbundesamt (siehe Anm. 13).
- 21 H.-J. Hülsbergen und G. Rahmann (Hrsg.): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben: Forschungsergebnisse 2013–2014. (Thünen Report 29). Braunschweig 2015, S. 37 ff., S. 74 ff. DOI:10.3220/REP_29_2015.
- 22 E. M. Meemken and M. Qaim: Organic agriculture, food security, and the environment. In: Annual Review of Resource Economics 10 (2018), pp. 39–63. DOI 10.1146/annurev-resource-100517-023252.
- 23 J. Hirschfeld et al.: Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. (Schriftenreihe des IÖW 186/09). Berlin 2008.
- 24 H. Treu et al.: Carbon footprints and land use of conventional and organic diets in Germany. In: Journal of Cleaner Production 161 (2017). DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.05.041. – Vgl. auch Hülsbergen und Rahmann (siehe Anm. 21).
- 25 Skinner et al. (siehe Anm. 19).
- 26 Treu et al. (siehe Anm. 24).
- 27 O. Zinke: Studie: Ökolandbau ist schlecht für das Klima. In: agrarheute vom 28. Dezember 2018 (www.agrarheute.com/markt/marktfruechte/studie-oekolandbau-schlecht-fuer-klima-550610).
- 28 T. Searchinger et al.: Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. In: Nature 564 (2018), pp. 249–253. DOI: 10.1038/s41586-018-0757-z.
- 29 L. G. Smith et al.: The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. In: nature communications 10 (2019), 4641. DOI:10.1038/s41467-019-12622-7.
- 30 A. Muller: Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. In: nature communications 8 (2017) 1290. DOI: 10.1038/s41467-017-01410-w.
- 31 U. Niggli: Sustainability of organic food production: Challenges and innovations. In: Proceedings of the Nutrition Society 74/1 (2015), pp. 83–88. DOI:10.1017/S0029665114001438.
- 32 Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL (WBAE): Politik für eine nachhaltigere Ernährung: Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten. Gutachten. Berlin 2020, S. 234.
- 33 N. Alexandratos and J. Bruinsma: World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. (ESA Working paper 12-03). Rome 2012.
- 34 H. Willer and J. Lernoud (Eds.) (2019): The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2019. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn. S. 47.
- 35 Unterrichtung durch die Bundesregierung: Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Deutscher Bundestag Drucksache 19/13900 vom 11. Oktober 2019, S. 88–89.
- 36 C. van Kessel et al.: Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: A meta-analysis. In: Global Change Biology 19/1 (2013), pp. 33–44. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02779.x.
- 37 N. Borchard et al.: Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: A meta-analysis. In: Science of the Total Environment 651/2 (2019), pp. 2354–2364. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.060.
- 38 Sanders und Heß 2019 (siehe Anm. 11), S. 191 ff.
- 39 T. F. Döring et al.: Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes. In: Field Crops Research 94/2-3 (2005), pp. 238–249. DOI: 10.1016/j.fcr.2005.01.006.
- 40 I. Stavi and R. Lal: Agroforestry and biochar to offset climate change: A review. In: Agronomy for Sustainable Development 33/1 (2013), pp. 81–96. – Zur Agroforstwirtschaft siehe auch den Beitrag von R. Hübner in diesem Kritischen Agrarbericht (S. 241–246).
- 41 So werden in den Projekten Humuvation, Mulchgemüse und Agroforst positive Effekte auf die Klimawirkung und/oder Klimaanpassung erwartet (www.humuvation.de).
- 42 Weitere Informationen auf: www.oeko-feldtage.de.



© Rolf Wegst

Michael Hauschild

Mitarbeiter an der Professur für Ökologischen Landbau der Justus-Liebig-Universität Gießen.

michael.hauschild@agr.uni-giessen.de

© Rolf Wegst

Dr. Philipp Weckenbrock

Mitarbeiter an der Professur für Ökologischen Landbau der Justus-Liebig-Universität Gießen.

philipp.weckenbrock@agr.uni-giessen.de**Prof. Dr. Andreas Gattinger**

Professor für Ökologischen Landbau an der Justus-Liebig-Universität Gießen.

andreas.gattinger@agr.uni-giessen.de