



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license



Zukunftsbild Fokussiert – Landnutzungswandel und Böden

Version 1.0

Andreas Pfennig, Alexander Graf, Bernadette Menacher, Regine Rehaag

Wissenschaftliches Review: Lucie Chmelikova, Sebastian Wolfrum, Anonymus
Sprachliche Durchsicht und Satz: Lea Musiolek, Isabel Schmittknecht

Die Ausgangslage

Zitiervorschlag:

Pfennig, Andreas, Graf, Alexander, Menacher, Bernadette, Rehaag, Regine (2022) Landnutzungswandel und Böden – Version 1.0, Zukunftsbild Fokussiert, DOI 10.5281/zenodo.5865066

Zu Beginn der 2020er Jahre war der Flächenverbrauch für Verkehr und Siedlung noch fast ungebremst und in der Landwirtschaft dominierten strukturarme Monokulturen. Unsere vielen Wälder dienten vor allem der Forstwirtschaft und hatten nur eine geringe Artenvielfalt (1). Die intensive wirtschaftliche Nutzung der Natur hatte zu einem massiven Verlust der biologischen Vielfalt geführt (2; 3; 4; 5) und war für starke Bodenerosion verantwortlich (6; 7).

ERKLÄRUNG: In der Vergangenheit haben Grüne Revolution und Flurbereinigung bereits zu einem massiven Verlust von historischer Kulturlandschaft und biologischer Vielfalt geführt, sowie zu Bodendegradation durch Wind- und Wassererosion und einer Monotonisierung der Landschaft. Dies ist ein weltweit beobachtbares Muster der Umgestaltung von Landschaften (8; 9; 10).

ERKLÄRUNG: Die Nationale Akademie der Wissenschaften schreibt: „Die Ursachen für den Rückgang an Tier- und Pflanzenarten liegen in einem Zusammenspiel vieler Faktoren: die Zunahme von ertragreichen, aber artenarmen Ackerbaukulturen, die vorbeugende und oft flächendeckende Nutzung von Pflanzenschutzmitteln, intensive Düngung, die Erhöhung der Schlaggrößen, der Verlust von artenreichem Grünland und ein struktureller Wandel der Nutztierhaltung hin zu größeren Betrieben mit weniger Weidehaltung, der Verlust der Strukturvielfalt der Landschaft, aber auch der Verlust der Vernetzung von Schutzgebieten. Diese Ursachen sind im Wesentlichen bedingt durch die Intensivierung der Landnutzung und durch biologisch-technische Innovationen für die Erreichung von Produktionszielen“ (11, p.3).

Moore und Auwälder, welche als Kohlenstoffsinken den Wald ergänzen, waren stark reduziert und degradiert (nur noch 5 % der ursprünglichen Bedeckung (12)) und Nationalparks bedeckten lediglich 0,5 % der Landfläche (13).

ERKLÄRUNG: Das Klimaschutzgesetz von 2021 schreibt für die Ökosysteme (Landwirtschaft, Forst, Moore etc.) in Deutschland eine CO₂-Senkenleistung von mindestens 25 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten im Jahr 2030, 35 Mio. Tonnen im Jahr 2040 und 40 Mio. Tonnen im Jahr 2045 vor. Zwischen 2010 und 2019 lag die Senkenleistung im Mittel bei etwa 19 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten (14).

Und wozu das alles? Ungefähr die Hälfte der landwirtschaftlichen Fläche erzeugte Tierfutter. Gleichzeitig deckten tierische Nahrungsmittel nur einen vergleichsweise kleinen Anteil der Ernährung ab (15). Fläche ist stets endlich, und wir mussten uns entscheiden wie wir sie nutzen wollten (Nahrungsmittelanbau, Rohstoffanbau, Infrastruktur etc.).

2040 – Wir haben schon viel erreicht

Im Rahmen der veganen Ernährungswende werden in der Landwirtschaft ausschließlich pflanzliche Nahrungsmittel produziert. Dadurch sind große Landflächen frei geworden,

FACETTENVERWEIS: „Ernährung“

FACETTENVERWEIS: „Produktion von Nahrung und Nachwachsenden Rohstoffen“



die früher für die Erzeugung tierbasierter Nahrungsmittel verwendet wurden.

FACETTENVERWEIS: „Ernährung“

Diese Flächen sind heute die Grundlage für eine nachhaltige Landnutzung.

ERKLÄRUNG: Für die Produktion tierbasierter Nahrungsmittel werden 2020 weltweit 80 % der Fläche eingesetzt, auf der Nahrungsmittel erzeugt werden, die aber nur 18 % der Kalorien zur menschlichen Ernährung beitragen (15). Wird auf eine pflanzliche Nahrungsmittelproduktion umgestellt, können diese 80 % anderweitig genutzt werden, beispielsweise um aufzuforsten und so mehr CO₂ aus der Atmosphäre zu binden, Landwirtschaft nachhaltig zu betreiben, was ebenfalls mehr CO₂ bindet, aber auch um ausreichend Nahrungsmittel herzustellen, so dass der Hunger in der Welt besiegt werden kann. Wie die vegane Ernährungswende erreicht werden kann und zu welchen Konsequenzen sie führt, ist in der Facette „Ernährung“ genauer beschrieben. Beim Zukunftsbild Fokussiert wurden als Grundlage globale Bilanzen ausgewertet, die zeigen, dass mit einer veganen Ernährungswende eine nachhaltige Welt möglich ist, die eine ausreichende Ernährung für alle Menschen sicherstellen kann (16; 17). Für ein nachhaltiges Szenario, das sich aus diesen Bilanzen ergibt, wurde dann eine entsprechende Entwicklung für Deutschland abgeleitet.

Heute ist in Deutschland eine Landfläche von 16 000 km² der Sicherung von Biodiversität gewidmet, beispielsweise in Form von Brachland und Blühstreifen. Das entspricht etwa 10 % der 2020 landwirtschaftlich genutzten Fläche.

ERKLÄRUNG: Der Flächenanteil von 10 % zur Sicherung der Biodiversität entspricht dem, was vom Bund Umwelt und Naturschutz Deutschland zur Sicherung der Biodiversität gefordert wird (18). Zusammen mit den übrigen naturbelassenen Flächen und der nachhaltigen Landwirtschaft sind diese Flächen zum Beispiel durch Korridore vernetzt, was den Erhalt der Artenvielfalt weiter fördert. Treibhausgasemissionen durch die landwirtschaftliche Nutzung ehemaliger Moore und anderer Bereiche organischer Böden betragen etwa 5 % der deutschen Emissionen (19; 20). Die Wiedervernässung dieser Flächen kann daher einen deutlichen Beitrag zur Reduktion der Emissionen leisten und langfristig zur Bindung von CO₂ aus der Atmosphäre beitragen. Dieser positive Effekt der Wiedervernässung der Moore ist allerdings nicht unumstritten, insbesondere kann der Klimawandel dazu führen, dass Moore durch Methanemissionen den Klimawandel verstärken (21).

Die Flächen für die Erhaltung der Biodiversität sind freigestellt, ohne die Ernährungssicherheit zu gefährden. In dieser Fläche sind auch Moore, Anmoore und andere Bereiche organischer Böden berücksichtigt, die bis 2020 teilweise nach Trockenlegung landwirtschaftlich genutzt wurden, die heute aber zu großen Teilen aus der Nutzung genommen sind und wiedervernässt werden.

Flächen, die 2020 noch Dauergrünland, also beispielsweise Weiden waren, werden heute einerseits landwirtschaftlich anders genutzt, beispielsweise zur Bereitstellung der Ausgangsmaterialien für bio-basierte Produkte und für Bioenergie, andererseits sind große Regionen aufgeforstet worden, um Kohlenstoff aus der Atmosphäre als sogenannte negative Emissionen zu binden (22).

ERKLÄRUNG: Im Zukunftsbild Fokussiert wird davon ausgegangen, dass keine Landfläche mehr für die Produktion tierbasierter Nahrungsmittel eingesetzt wird. Dadurch ist genügend Fläche verfügbar, um alle Menschen ausreichend zu ernähren, Rohstoffe für die Bio-Ökonomie bereitzustellen und bio-basierte Maßnahmen umzusetzen, mit denen der CO₂-Gehalt der Atmosphäre so weit reduziert wird, dass das aktuell instabile Erdsystem einschließlich des Klimas in vergleichsweise kurzer Zeit stabilisiert werden kann (16). Da beim heutigen CO₂-Gehalt der Atmosphäre das Erdsystem nicht stabil ist, da beispielsweise die Eisschilde in Grönland sowie der Westantarktis schmelzen und der Meeresspiegel steigt, muss der CO₂-Gehalt der Atmosphäre wieder auf 350 ppm reduziert werden, was zwingend negative Emissionen erfordert (23). Bilanzbasierte Szenarien zeigen, dass lediglich eine Reduktion des Fleischkonsums nicht ausreicht, um diese Ziele zu erreichen (17). Die vegane Ernährungswende verhindert, dass bio-basierte negative Emissionen wie BECCS (bio energy with carbon capture and storage) Landnutzungsänderungen in anderen Regionen wie die Abholzung des Amazonas-Regenwaldes auslösen, die ihrerseits zu erhöhten Treibhausgasemissionen führen würden (24). Eine Verringerung der Nahrungsmittelverluste könnte zwar den Mehrbedarf an Nahrungsmitteln durch eine wachsende Weltbevölkerung decken, allerdings nur dann, wenn die Weltbevölkerung nur mäßig wächst (25). Die Schätzungen zur Entwicklung der Weltbevölkerung wurden in den letzten Jahren allerdings stets nach oben korrigiert (zu UN World Population Prospects siehe (16), zu den SSP (shared socio-economic pathways), die Basis für die Szenarien des Weltklimarates (IPCC) sind, siehe (26) und (27), wobei die letzte Aktualisierung von 2018 bei dem nächsten IPCC Sachstandsbericht, der 2022 erscheinen soll, noch nicht berücksichtigt ist). Nach dem Vorsorgeprinzip müssen auch realistische, weniger optimistische Szenarien mit berücksichtigt



werden, weil nur so sichergestellt werden kann, dass die ergriffenen Maßnahmen auch dann noch eine nachhaltige Zukunft sichern, wenn sich die Welt entlang weniger optimistischer Pfade entwickelt. Bei vorliegenden Studien ist zudem nicht berücksichtigt, dass zusätzlich Landfläche für weitere Ökosystem-Leistungen benötigt wird, die alleine durch Vermeidung von Nahrungsmittelverlusten, die nach unterschiedlichen aktuellen Studien nur bei etwa 10 % liegen, bei weitem nicht bereitgestellt werden können (28; 29; 30; 31). Gelingt es nicht, diese zusätzlichen Landflächen durch die vegane Ernährungswende bereitzustellen, muss als Rohstoff für die chemische Industrie, zur Erzeugung von Kraftstoffen sowie zur Reduzierung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre Kohlendioxid mit technischen Prozessen aus der Atmosphäre abgetrennt werden. Das ist im Vergleich zur bio-basierten Option viel teurer und benötigt wesentlich mehr Energie (32; 33; 34). Dieser zusätzliche Energiebedarf wäre so hoch, dass dadurch die Energiewende deutlich verzögert würde (17).

Insgesamt wurden im Vergleich zu 2020 zusätzliche 24 000 km² aufgeforstet, was etwa 15 % der 2020 landwirtschaftlich genutzten Fläche entspricht. Eine Ausnahme bei der Flächenumwidmung stellen Flächen dar, die Beweidung oder Mähen aus naturschutzfachlichen Gründen (Habitat- und Artenschutz) oder zum Erosions- und Hochwasserschutz (zum Beispiel Deiche) erfordern.

Die Fläche von naturnahen Waldgebieten, Naturschutzgebieten und Wildnisgebieten wurde deutlich ausgeweitet. Damit wird ein großer Flächenanteil nicht mehr landwirtschaftlich genutzt. In Deutschland wird Landwirtschaft nachhaltig betrieben, womit eine Extensivierung einhergeht.

ERKLÄRUNG: Nachhaltige Landwirtschaft benötigt mehr Landfläche für die gleiche Produktmenge (35). Auch wenn davon auszugehen ist, dass die Produktivität pro Landfläche zukünftig wie in der Vergangenheit weiter steigen wird (15), kann dies alleine die zusätzlichen Bedarfe nicht decken. Parallel zur Umstellung auf nachhaltige Landwirtschaft wird daher die vegane Ernährungswende benötigt. So wird verhindert, dass dadurch in anderen Regionen der Welt ein Landnutzungswandel (ILUC, indirect land-use change) beispielsweise mit Abholzung von Regenwäldern ausgelöst wird (36). Um den Humusaufbau zu fördern, werden beispielsweise im Sinne der nachhaltigen Landwirtschaft Gründüngung eingesetzt und Ernterückstände wie Stroh untergepflügt, das heute vielfach anderweitig genutzt wird, unter anderem als Energieträger.

FACETTENVERWEIS: „Rahmen und Grundannahmen“

FACETTENVERWEIS: „Produktion von Nahrung und Nachwachsenden Rohstoffen“

Humusaufbau wird systematisch gefördert, sowohl um die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen, als auch um Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu binden. Dies entspricht dem in „Rahmen und Grundannahmen“ beschriebenen Gesamtkontext, wobei die Flächenaufteilung im Facettentext „Produktion von Nahrung und Nachwachsenden Rohstoffen“ detaillierter ausgeführt ist.

Insgesamt wird auf eine möglichst weitgehende multifunktionale Nutzung der Flächen geachtet, das heißt eine Kombination verschiedener Nutzungsinteressen auf derselben Fläche.

ERKLÄRUNG: Mit Multifunktionalität wird eine Mehrfachnutzung bezeichnet, wie zum Beispiel die gleichzeitige Nutzung eines entsprechend sorgfältig bewirtschafteten Waldes oder Ackers sowohl als Rohstoff- beziehungsweise Nahrungslieferant, als auch zur Aufrechterhaltung der Biodiversität und als CO₂-Speicher, zum Beispiel durch Anbau insektenfreundlicher und Humus aufbauender Zwischenfrüchte in der Landwirtschaft im Winterhalbjahr. Genauso sind Agroforstwirtschaft und Agro-Photovoltaik Formen der multifunktionalen Landnutzung. Dadurch, dass so unterschiedliche Anforderungen auf der Landfläche zukünftig befriedigt werden sollen, ist davon auszugehen, dass der größte Teil der Fläche optimal genutzt werden kann. Dabei kommt der gleichzeitigen Befriedigung unterschiedlicher Nutzungsinteressen eine besondere Bedeutung zu (37). Solche synergistischen „Mehrgewinnstrategien“ werden auch vom ‚Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen‘ empfohlen (8).

Durch diesen Landnutzungswandel in Deutschland, zusammen mit der veganen Ernährungswende, werden auch drei große Beiträge der Landwirtschaft zu Treibhausgasemissionen vermieden: durch Konsum in Deutschland bedingter Landnutzungswandel in anderen Ländern, Lachgasemissionen aus Düngung mit Tierexkrementen, sowie Methanemissionen aus der Wiederkäuerverdauung.

ERKLÄRUNG: Durch den Verzicht auf tierische Produkte wird die zur Erzeugung der Nahrungsmittel benötigte Landfläche reduziert, so dass Landnutzungsänderung in anderen Regionen der Welt, wie die Regenwaldabholzung im Amazonasgebiet, vermieden wird (36; 35). Es werden keine Wiederkäuer mehr gezüchtet, so dass der durch deren Verdauung erzeugte Methanausstoß



entfällt. Auch Emissionen des sehr starken Treibhausgases Lachgas werden reduziert, da diese unter anderem durch Überdüngung als Entsorgungsweg für Tierexkrememente hervorgerufen werden. Stattdessen erfolgt eine lokal bedarfsgerechte Stickstoffdüngung.

OPTION/VARIANTE: Das Label ‚Bio‘ ist einem rational begründeten Nachhaltigkeitslabel gewichen, das den Erfordernissen einer veganen, flächensparenden Ernährung Rechnung trägt. Dadurch wird vermieden, dass über ein durch Werbung emotional überzeichnet positives Image des ‚Bio‘-Labels eine Bewirtschaftung unterstützt wird, die rationalen Nachhaltigkeitszielen zuwiderläuft. Dabei sind auch ‚künstliche‘ Produkte in der Landwirtschaft zur Düngung und Schädlingsbekämpfung zugelassen, die aber sehr strengen Auflagen und Prüfungen unterliegen, so dass sichergestellt werden kann, dass Nebenwirkungen insbesondere auf das Ökosystem weitestgehend ausgeschlossen werden können. So konnte zum Beispiel der Einsatz von Kupfersalzen (Schwermetall) als Fungizid im Bio-Obstbau durch wirksame aber ansonsten unschädlichere ‚künstliche‘ Alternativen ersetzt werden. Genauso werden ‚künstliche‘ Düngemittel eingesetzt, wie Stickstoffdünger, die mit Ammoniak aus dem Haber-Bosch-Verfahren erzeugt werden, das mit erneuerbaren Rohstoffen und Luft-Stickstoff gespeist wird. Mineralische Düngemittel werden zu großen Teilen aus dem Klärschlamm der Kläranlagen zurückgewonnen (38). So kann die tierbasierte Düngung von 2020 fast vollständig durch nicht-fossile Quellen ersetzt werden.

2020 – Die Maßnahmen, welche uns auf den Weg brachten

FACETTENVERWEIS: „Ernährung“

FACETTENVERWEIS: „Politische Beteiligung“

Die vegane Ernährung wurde wie in der Facette „Ernährung“ beschrieben gefördert, beispielsweise durch die Schaffung von Ernährungsumgebungen, die Nachhaltigkeit und Gesundheit unterstützen. Die Umwidmung der Flächen wurde durch eine zunehmend gesamtheitliche Sicht parallel zur veganen Ernährungswende möglich, durch die Energiewende angetrieben und entsprechend vorangebracht (8). Der Ausgleich der unterschiedlichen Interessen in diesem Übergangsprozess zum Beispiel zwischen Umweltschutz, Lebensmittelproduzent:innen und Landwirt:innen wurde im Rahmen von Bürger:innenräten ausgehandelt, so dass dieser Ausgleich zwischen Umwelt- und finanziellen Interessen von allen betroffenen Gruppen getragen wurde.

FACETTENVERWEIS: „Rahmen und Grundannahmen“

ERKLÄRUNG: Der politischen Beteiligung kommt eine zentrale Rolle zu bei der Veränderung hin zum Zukunftsbild. Fokussiert. Bürger:innenräte haben das Potenzial, komplexere Zusammenhänge zu vermitteln und eine Systemsicht zu entwickeln, die in „Rahmen und Grundannahmen“ erläutert ist (39; 40). Wertefragen, die beantwortet werden müssen, betreffen den Ausgleich zwischen tierbasierter Ernährung, nachhaltiger Landwirtschaft, Erreichen der Klimaziele, Kosten für die zukünftige Entwicklung, Verantwortung der reichen Länder gegenüber den ärmeren und den Hunger in der Welt. Solche Wertefragen müssen in einer Demokratie im gesellschaftlichen Diskurs unter Ausgleich der unterschiedlichen Interessen beantwortet werden. Nur so bleibt auch in der parlamentarischen, das heißt repräsentativen Demokratie die Bürgerschaft der Souverän. Außerdem ist abzusehen, dass der Umbau beispielsweise der Landwirtschaft sowie die zunehmenden Kosten für CO₂-Emissionen durch entsprechende staatliche Unterstützung und Förderung begleitet werden müssen. Wie dies finanziert wird, muss im gesellschaftlichen Ausgleich abgestimmt werden, denn nur dann haben die Regelungen eine Chance, die nächsten Wahlen zu überstehen. Medien und Kommunikation allein, beispielsweise in den sozialen Medien, können dies nicht leisten.

Als Ergebnis der parlamentarischen Abstimmung und der Umsetzung der in den Bürger:innenräten erarbeiteten Vorschläge wurde die landwirtschaftliche Produktion auf nationaler Ebene durch Nachhaltigkeitsvorgaben und eine angemessene Vergütung für Ökosystemleistungen gesteuert. Diese Umstrukturierung wurde in engem Austausch zwischen Landwirt:innen als Praxisexpert:innen sowie Berater:innen aus Naturschutz-, Land- und Forstwissenschaft entwickelt, um sicherzustellen, dass auf jeder Teilfläche die jeweils zielführendsten Nutzungsarten wo möglich multifunktional etabliert werden. Beispiele sind intensiver Ackerbau auf fruchtbaren Böden ohne gefährdete Arten und Wiederherstellung der Biodiversität auf ursprünglich nährstoffarmen Böden.



Literatur

1. Thünen-Institut. Pressemitteilung 24.02.2021: Wald im Trockenstress: Schäden weiten sich weiter aus - Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020 zeigen: Die anhaltenden Dürrejahre fordern Tribut. Pressemitteilung, Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (2021). URL <https://www.thuenen.de/de/infotehek/presse/aktuelle-pressemittelungen/wald-im-trockenstress-schaeden-weiten-sich-weiter-aus/>.
2. Raven, P. H. & Wagner, D. L. Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **118** (2021). URL <https://www.pnas.org/content/118/2/e2002548117>.
3. Wagner, D. L. Insect declines in the anthropocene. *Annual Review of Entomology* **65**, 457–480 (2020). URL <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-ento-011019-025151>.
4. Newbold, T. *et al.* Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature* **520**, 45–50 (2015). URL <https://www.nature.com/articles/nature14324>.
5. Tsiafouli, M. A. *et al.* Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology* **21**, 973–985 (2015). URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25242445/>.
6. Panagos, P. *et al.* The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy* **54**, 438–447 (2015). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901115300654>.
7. Panagos, P. *et al.* Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy* **48**, 38–50 (2015). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837715001611>.
8. WBGU - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen *et al.* Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration. Hauptgutachten. Hauptgutachten ISBN 978-3-946830-32-0, WBGU, Berlin (2020). URL <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/landwende>.
9. SRU Sachverständigenrat für Umweltfragen & WBBGR Wissenschaftlichen Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen. Für einen flächenwirksamen Insektenschutz. Stellungnahme ISBN 978-3-947370-13-9, SRU Sachverständigenrat für Umweltfragen / WBBGR Wissenschaftlichen Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen (2018). URL https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2016_2020/2018_10_AS_Insektenschutz.html.
10. Heißenhuber, A., Haber, W. & Krämer, C. Umweltprobleme der Landwirtschaft – 30 Jahre SRU-Sondergutachten. Hintergrundpapier 2015 28, UBA Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau (2015). URL <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltprobleme-der-landwirtschaft-30-jahre-sru>.
11. Leopoldina, acatech & Union der deutschen Akademien der Wissenschaften. Energiewende 2030: Europas Weg zur Klimaneutralität. Tech. Rep., Leopoldina (Nationale Akademie der Wissenschaften), acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften), Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (2020). URL https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2020_Energiewende_2030_Final.pdf.
12. NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. Moore in Deutschland - Entstehung und Zerstörung der heimischen Moorlandschaften (2021). URL <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/moore/deutschland/index.html>.
13. BfN Bundesamt für Naturschutz. Handlungserfordernisse zur Ausgestaltung des nationalen GAP-Strategieplans. Tech. Rep., Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn (2021). URL https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/20210108_Positionspapier_GAP2023.pdf.
14. Umweltbundesamt. Submission under the United Nations framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 2021 - National inventory report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2019. Tech. Rep. 44/2021, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau (2021). URL <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/submission-under-the-united-nations-framework-6>.
15. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Food and agriculture data (2021). URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
16. Pfennig, A. Sustainable Bio- or CO2 economy: Chances, Risks, and Systems Perspective. *ChemBioEng Reviews* **6**, 90–104 (2019). URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cben.201900006>.
17. Pfennig, A. Bilanz-basierte Welt-Szenarien (2021). URL <https://www.vision3000.eu/sustainability-en/scenario-explorer-en>.



18. BUND Arbeitskreis Landwirtschaft und Arbeitskreis Naturschutz & Wenz, K. Anforderungen an die Ackerbaustrategie der Bundesregierung. Positionspapier, BUND Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. - Arbeitskreis Landwirtschaft und Arbeitskreis Naturschutz, Berlin (2019). URL <https://www.bund.net/service/publikationen/detail/publication/anforderungen-an-die-ackerbaustrategie-der-bundesregierung/>.
19. Hansjürgens, B., Schröter-Schlaack, C. & Berghöfer, A. Moore und Klimaschutz : eine ökonomische Sicht. *Geoservices Earth System Knowledge Platform* 6 (2019). URL <https://www.eskp.de/klimawandel/moore-und-klimaschutz-eine-oekonomische-sicht-9351064/>.
20. Umweltbundesamt *et al.* Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2010 - Umweltbundesamt - UNFCCC-Submission. UNFCCC-Submission 2012/08 / ISSN 1862-4359, UBA Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau (2012). URL <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/berichterstattung-unter-klimarahmenkonvention-1>.
21. Rinne, J. *et al.* Effect of the 2018 European drought on methane and carbon dioxide exchange of northern mire ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **375**, 20190517 (2020). URL <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2019.0517>.
22. Umweltbundesamt *et al.* Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017 - Umweltbundesamt - UNFCCC-Submission. UNFCCC-Submission 2019/23 / ISSN 1862-4359, UBA Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau (2019). URL <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-4>.
23. Hansen, J. *et al.* Target Atmospheric CO2: Where Should Humanity Aim? *The Open Atmospheric Science Journal* **2** (2008). URL <https://openatmosphericsciencejournal.com/VOLUME/2/PAGE/217/>.
24. Heck, V., Gerten, D., Lucht, W. & Popp, A. Biomass-based negative emissions difficult to reconcile with planetary boundaries. *Nature Climate Change* **8**, 151–155 (2018). URL <https://www.nature.com/articles/s41558-017-0064-y>.
25. Gerten, D. *et al.* Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability* **3**, 200–208 (2020). URL <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0465-1>.
26. KC, S. & Lutz, W. Demographic scenarios by age, sex and education corresponding to the SSP narratives. *Population and Environment* **35**, 243–260 (2014). URL <https://doi.org/10.1007/s11111-014-0205-4>.
27. ECJRC *et al.* *Demographic and Human Capital Scenarios for the 21st Century: 2018 Assessment for 201 Countries* (Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018). URL <https://data.europa.eu/doi/10.2760/835878>.
28. INCOME CONSULTING & Vernier, A. Pertes et gaspillages alimentaires: l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire – Rapport. Tech. Rep., Le Librairie ADEME, Angers (2016). URL <https://bibliothec.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/2435-etat-des-lieux-des-masses-de-gaspillages-alimentaires-et-de-sa-gestion-aux-differentes-etapes-de-la-chaîne-alimentaire.html>.
29. Stenmarck, Å., Jensen, C., Quested, T. & Moates, G. Estimates of European food waste levels. Project report FUSIONS. Projektbericht ISBN 978-91-88319-01-2 / C186, SIK - The Swedish Institute for Food and Biotechnology, Stockholm (2016). URL <https://www.ivl.se/english/ivl/publications/publications/report-on-estimates-of-european-food-waste-levels.html>.
30. Hübsch, H. & Adlwarth, W. Systematische Erfassung von Lebensmittelabfällen der privaten Haushalte in Deutschland. Schlussbericht zur GfK-Studie durchgeführt für das BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Projektbericht, GfK SE / BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Nürnberg (2018). URL https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittelverschwendung/Studie_GfK.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
31. Schmidt, T. G., Schneider, F., Levenenz, D. & Hafner, G. Lebensmittelabfälle in Deutschland - Baseline 2015. Tech. Rep. 71 / ISSN 2196-2324 / ISBN 978-3-86576-198-9, Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Braunschweig (2019). URL https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn061131.pdf.
32. Keith, D. W., Holmes, G., Angelo, D. S. & Heidel, K. A Process for Capturing CO2 from the Atmosphere. *Joule* **2**, 1573–1594 (2018). URL [https://www.cell.com/joule/abstract/S2542-4351\(18\)30225-3](https://www.cell.com/joule/abstract/S2542-4351(18)30225-3).



33. Minx, J. C. *et al.* Negative emissions—Part 1: Research landscape and synthesis. *Environmental Research Letters* **13**, 063001 (2018). URL <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9b>.
34. Fuss, S. *et al.* Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters* **13**, 063002 (2018). URL <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f>.
35. WBAE Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL *et al.* Politik für eine nachhaltigere Ernährung: Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten - WBAE-Gutachten. Gutachten, WBAE Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin (2020). URL https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/wbae-gutachten-nachhaltige-ernaehrung.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
36. Smith, L. G., Kirk, G. J. D., Jones, P. J. & Williams, A. G. The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nature Communications* **10**, Article number: 4641 (2019). URL <https://www.nature.com/articles/s41467-019-12622-7>.
37. LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Multifunktionale Landnutzung – Flächennutzung, Flächenverbrauch und Ziele (2021). URL <https://www.lfl.bayern.de/iab/kulturlandschaft/219884/index.php>.
38. Phos4You *et al.* Phos4You - PHOSPHORUS Recovery from waste water FOR YOUr Life (2021). URL <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/phos4you-phosphorus-recovery-from-waste-water-for-your-life/>.
39. Mehr Demokratie e.V. Bürgerrat (2021). URL <https://www.buergerrat.de/>.
40. Hagedorn, G. *et al.* Scientists for Future empfiehlt eine repräsentative Klima-Bürger:innenversammlung im Jahr 2021 / Scientists for Future recommends a representative Climate Citizens' Assembly in 2021 (Version 1.1). Tech. Rep. 5, Scientists for Future (S4F) (2021). URL <https://doi.org/10.5281/zenodo.4417265>.