

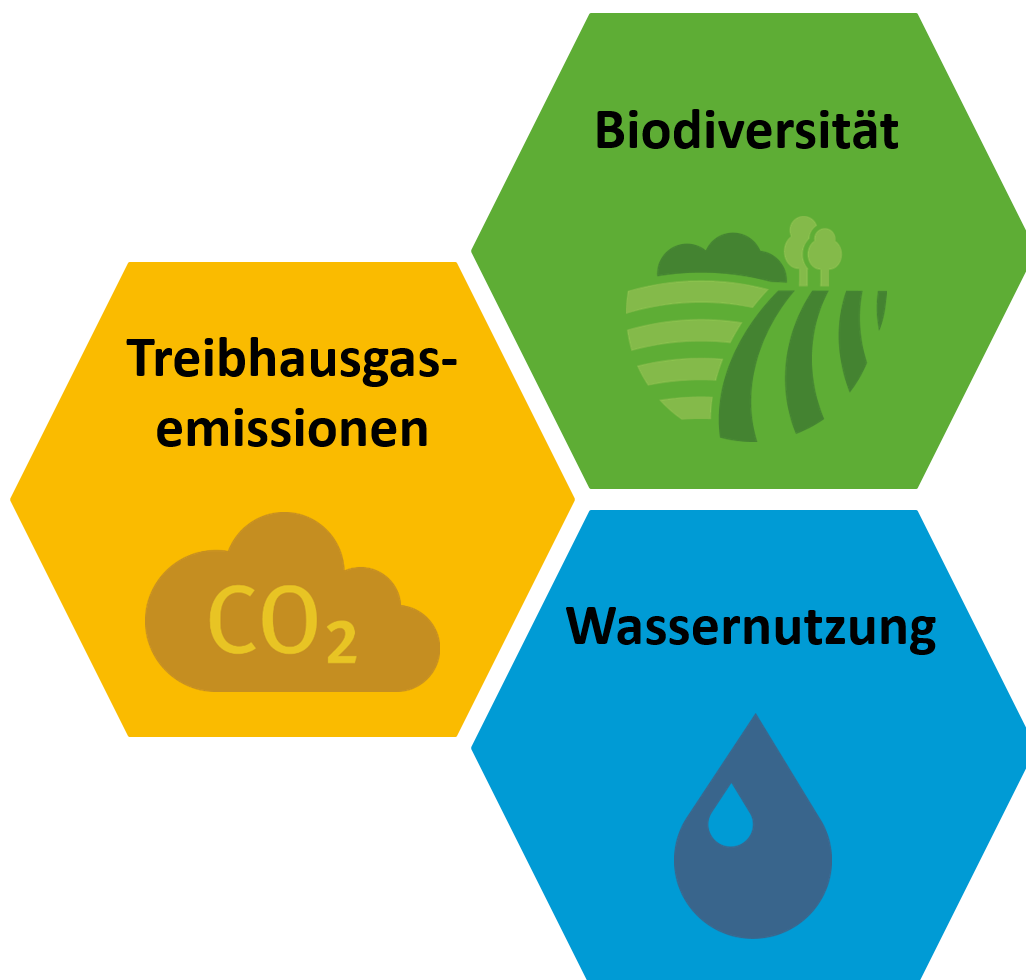
Treibhausgasemissionen, Biodiversität und Wassernutzung

Die drei „must have“-Kriterien der ökologischen Bewertung von Lebensmitteln und Ernährungsmustern

Ergebnisse eines Fachdialogs des Umweltbundesamtes
2023/24



Jahre
Umweltbundesamt
1974–2024



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Zusammenfassung

Diese Publikation fasst die Ergebnisse des Fachdialogs zu Kriterien der ökologischen Bewertung von Lebensmitteln und Ernährungsweisen zusammen, der zwischen Mai 2023 und Oktober 2024 vom Umweltbundesamt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz durchgeführt wurde.

Die Aufgabe des Fachdialogs war es, den Stand der wissenschaftlichen Debatte in Deutschland zu folgenden Themen zu erfassen:

- 1) die wichtigsten Kriterien für die ökologische Bewertung von Lebensmitteln und Ernährungsweisen
- 2) Methoden, Datenverfügbarkeit und Weiterentwicklungsbedarfe

Das Ziel dabei war, zu erfassen, bei welchen Aspekten es weitgehende Konsense gibt und wo die Debatte noch sehr dynamisch ist.

Zu diesem Zweck wurden drei Fachgespräche und zwei Umfragen mit Wissenschaftler*innen durchgeführt, die sich im Bereich der produktbezogenen Nachhaltigkeitsbewertung mit der Entwicklung und Anwendung von Methoden beschäftigen.

Wesentliche Ergebnisse:

- ▶ Die Teilnehmer*innen befürworteten die Verwendung des Konzepts der **Planetaren Grenzen** als Grundlage für die Umweltbewertung im Ernährungssystem.
- ▶ **Treibhausgasemissionen, Biodiversität** und **Wassernutzung** sollten als Bewertungskriterien für jegliche Anwendungsfälle mindestens berücksichtigt werden.
- ▶ Die Berechnung des Treibhausgasfußabdrucks ist bereits gut standardisiert und methodisch relativ robust. Demgegenüber wird insbesondere zur Ermittlung des Biodiversitätsfußabdrucks derzeit noch eine Vielzahl an methodischen Ansätzen genutzt und weiterentwickelt. Für die Abschätzung des wasserknappheitsgewichteten Wasserfußabdrucks gibt es erste Standards mit punktuellen Weiterentwicklungen.
- ▶ Mehrere Teilnehmer*innen positionierten sich dahingehend, dass es besser sei, einen methodisch unbefriedigenden Biodiversitätsfußabdruck auszuweisen, als ganz darauf zu verzichten.
- ▶ Bedarf zur methodischen Weiterentwicklung sahen die Teilnehmer*innen u. a. in Bezug auf die Erfassung von Biodiversitätswirkungen, der Berücksichtigung von bodenbezogenen Schutzaspekte (u. a. Winderosion) und neuartigen Entitäten (bspw. Mikroplastik) in der Bewertung sowie der Standardisierung der Berechnung von Treibhausgasemissionen aus Landnutzungsänderungen.
- ▶ Die für die Quantifizierung der Umweltwirkungen von Lebensmitteln erforderlichen Daten sind unterschiedlich gut verfügbar und ihre Verfügbarkeit ist abhängig von Anwendungsfällen, Fragestellungen, genutzten Methoden und Betrachtungsebenen.

- ▶ Da die Datenlage für die Ermittlung der Biodiversitätsauswirkung noch mangelhaft ist, sollte der Mindeststandard die benötigte Fläche sein. Um der Komplexität und bestehenden Wechselwirkungen der Biodiversitätsauswirkungen gerecht zu werden, sollte der Biodiversitätsfußabdruck jedoch anhand mehrerer Indikatoren (Stickstoffüberschüsse und Ökotoxizität sowie ggf. weiterer Input- und kontextabhängiger Faktoren) ermittelt werden.
- ▶ Darüber hinaus betonten die Teilnehmenden die Wichtigkeit der **Harmonisierung** der Datengrundlagen, den Bedarf einer **öffentlichen und frei zugänglichen Datenbank** zu Umweltwirkungen von Lebensmitteln in Deutschland und die aktive Partizipation Deutschlands an internationalen und insbesondere EU-Arbeitsprozessen zum ökologischen Fußabdruck (z. B. Erarbeitung des Product Environmental Footprint, GreenClaims, OECD-Prozessen).

1 Hintergrund und Ziel des Fachdialogs

Hintergrund

In den vergangenen Jahren hat sich das Bewusstsein dafür, wie sehr sich die Ernährung auf die Umwelt auswirkt, deutlich verbessert. Infolge dessen ist der gesellschaftliche Bedarf nach Wissen über lebensmittel- und lebensmittelgruppen-spezifischen Umweltwirkungen deutlich gestiegen. Der Aspekt Umwelt fließt immer mehr in Diskurse und Entscheidungen im Ernährungssystem ein und zwar in den unterschiedlichsten Kontexten: beispielsweise in Berechnungen und Ausweisungen von externen Kosten („True Cost Accounting“), in die Ableitung von Ernährungsempfehlungen wie die der Deutschen Gesellschaft für Ernährung, in freiwillige Produktkennzeichnungen, in die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen der Lebensmittelwirtschaft oder in Diskurse über die Gestaltung politischer Rahmenbedingungen.

Carbon Footprint greift zu kurz

Dabei ist nicht einheitlich, welche Umweltaspekte der Ernährung bedacht, berichtet und adressiert werden. Häufig wird in der Berücksichtigung der ernährungsbedingten Umweltwirkungen auf Treibhausgasemissionen bzw. den Carbon Footprint fokussiert, etwa bei der Konzeption und Durchführung von Forschungsprojekten, in Diskursen zu politischen Instrumenten (z. B. Klimalabel, Monitoring, Berichtspflichten) und in der Unternehmenskommunikation („Dieses Produkt wurde klimaneutral hergestellt“).

Wissenschaftlich besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass das Bewertungskriterium Treibhausgasemissionen für die ökologische Bewertung im Kontext Ernährung und Lebensmittel nicht ausreicht: Es ist nicht repräsentativ für andere wichtige Umweltwirkungen und mitunter können Verlagerungseffekte in andere Umweltwirkungskategorien entstehen („burden shifting“), wenn Ernährungsentscheidungen allein auf die Minimierung von Treibhausgasemissionen ausgerichtet werden (Ran et al. 2024). Beispielsweise lässt sich die Klimabilanz durch eine Erhöhung der Flächenerträge verbessern; diese kann jedoch mit einem Verlust von Biodiversität in der Agrarlandschaft verbunden sein oder zulasten der Bodenfruchtbarkeit gehen. Daher ist es eine gesellschaftliche relevante Frage, welche Umweltwirkungen über den Carbon Footprint hinaus den Kern jeglicher Betrachtung der Umweltauswirkungen im Ernährungssystem bilden sollten. Ökobilanzen können eine Vielzahl von Umweltwirkungskategorien quantifizieren und ausweisen, die den Rahmen dessen, was in öffentlichen Diskursen und politischen Prozessen kommunizierbar ist, deutlich überschreiten würde. Hinzu kommen Aspekte, die mit den Methoden der Ökobilanzierung derzeit noch nicht erfassbar sind bzw. im Grenzgebiet der Methodenentwicklung liegen, wie z. B. die Plastikemissionen. Daher war es offen, ob sich unter den Wissenschaftler*innen, die sich mit den Umweltwirkungen von Lebensmitteln befassen, bereits ein weitgehender Konsens in dieser Frage herausgebildet hatte.

Harmonisierung als Voraussetzung für Belastbarkeit und Vergleichbarkeit

Die gleiche Frage danach, inwieweit sich Wissenschaftler*innen bereits weitgehend einig sind, gilt für die Methoden, Systemgrenzen und die Datengrundlagen, mit denen die Umweltwirkungen berechnet werden. Vergleichende Analysen und daraus abgeleitete Aussagen sind im Grunde unzulässig, wenn diese nicht hinreichend vereinheitlicht sind. Im ungünstigsten

Fall erfolgt ein *cherry picking*¹, wodurch Umweltentlastungspotenziale ungenutzt bleiben bzw. Fehlanreize gesetzt werden können.

Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt im Auftrag des Bundesumweltministeriums einen Fachdialog mit Wissenschaftler*innen durchgeführt, um insbesondere in Erfahrung zu bringen, inwiefern bereits ein weitgehender Konsens dazu vorhanden ist, welche Umweltkriterien² im Allgemeinen bei der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung von Lebensmitteln, Lebensmittelgruppen und Ernährungsweisen³ zu berücksichtigen sind.

Balance zwischen Händelbarkeit und Abdeckung der relevanten Umweltwirkungen

Üblicherweise werden solche Kriteriensets passgenau für einen Anwendungsfall entwickelt. Das hier gesuchte Set an Bewertungskriterien sollte demgegenüber für möglichst vielfältige Kontexte geeignet sein: z. B. für fiskalische Instrumente, ein Monitoring im Rahmen von Strategien öffentlicher und privatwirtschaftlicher Akteure, in der Kommunikation an Konsumenten*Konsumentinnen, wissenschaftliche Arbeiten zu umweltgerechten Ernährungsmustern oder als Mindeststandard für den Aufbau öffentlicher Datenbanken. Das Kriterienset muss somit eine pragmatische Balance zwischen „Händelbarkeit“ und Abdeckung der wesentlichen Umweltwirkungen darstellen.

Davon unberührt bleibt die gesamte Bandbreite an Umweltkriterien, die insbesondere im Rahmen der Ökobilanzierung erforscht und erhoben wird, für spezifische Fragestellungen bedeutsam. Letztlich müssen auch die Kern-Kriterien im zeitlichen Verlauf an den Wissensstand zu den gravierendsten Umweltauswirkungen der Ernährung angepasst und weiterentwickelt werden.

Stand der Methodenentwicklung und der Datengrundlagen

Darüber hinaus sollten diejenigen Methoden und Datengrundlagen identifiziert werden, die die Umweltwirkungen in den zentralen Kriterien nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft bestmöglich quantitativ abbilden. Dabei wurde die internationale Anschlussfähigkeit angestrebt.

Ein drittes Ziel des Fachdialogs war die Erfassung methodischer Weiterentwicklungsbedarfe.

Wir haben für diese Zielsetzung das Dialogformat auch in der Annahme gewählt, dass der Meinungbildungsprozess noch am Anfang steht und dass dieser durch den Austausch der Argumente unter den beteiligten Wissenschaftler*innen in diesem Format profitiert, wodurch die Ergebnisse an fachlicher Qualität gewinnen können.

2 Aufbau und Vorgehen des Fachdialogs

Der Fachdialog wurde in Form von drei jeweils vierstündigen virtuellen Fachgesprächen durchgeführt. Die teilnehmenden Wissenschaftler*innen sind im Bereich der produktbezogenen Nachhaltigkeitsbewertung in der Methodenentwicklung und Anwendung tätig. Ergänzend wurden zwei Umfragen durchgeführt, die per Mail versandt wurden und unabhängig von einer

¹ Der Begriff „cherry picking“ bezeichnet das Selektieren von Kriterien, Methoden und Daten, das durch das Interesse geleitet ist, das jeweilige Produkt möglichst gut abschneiden zu lassen.

² Der Begriff „Kriterium“ wird in diesem Papier synonym zu „Kategorien“ und „Wirkungen“ (im Sinne von Umweltwirkungskategorien) genutzt.

³ Im Folgenden werden die Aussagen für eine bessere Lesbarkeit des Textes auf Lebensmittel beschränkt, wobei die Anwendungsfälle Lebensmittelgruppen und Ernährungsmuster hierbei impliziert sein sollen.

Teilnahme an den Gesprächen beantwortet werden konnten. Insgesamt beteiligten sich 33 Wissenschaftler*innen am Fachdialog.

Die Fachgespräche waren an folgenden Leitfragen orientiert:

Forschungsfragen des Fachdialogs

1. Welche **ökologischen Kriterien** sollten nach derzeitigem Stand der Wissenschaft für eine Aussage über die Umweltwirkungen von in Deutschland konsumierten Lebensmitteln und Ernährungsweisen in Deutschland im Allgemeinen berücksichtigt werden? („Kernset“)
2. Was sind die besten derzeit verfügbaren **Methoden** für die Berechnung ökologischer Fußabdrücke von Lebensmitteln in den identifizierten Kriterien?
3. Wie gut ist die **Datenverfügbarkeit** in diesen Kriterien?
4. In Bezug worauf existiert relevanter methodischer **Weiterentwicklungsbedarf**?

Diese Fragen sollten nicht für einen spezifischen Anwendungsfall oder politischen Prozess beantwortet werden, sondern für möglichst viele potenzielle Aufgaben nutzbar sein.

Auswahl möglicher Anwendungsfälle

- ▶ Ableitung von Ernährungsempfehlungen
- ▶ Monitoring zu ökologischen Auswirkungen der Ernährungsmuster in Deutschland
- ▶ Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen
- ▶ Aufbau von Datenbanken
- ▶ Internalisierung externer Kosten
- ▶ Instrumente der Verbraucherinformation und -kommunikation

Diskussionsgrundlage

Welche Kriterien für die ökologische Bewertung bzw. Umweltbewertung von Lebensmitteln von zentraler Relevanz sind, hängt unter anderem davon ab, was in diesem Zusammenhang unter „Umwelt“ verstanden und welcher Zweck mit der Bewertung verfolgt wird. Beispielsweise erfordert das Ziel, die Nutzung knapper Ressourcen nachhaltig auszurichten, andere Wirkungskategorien als der Schutz der menschlichen Gesundheit. Aspekte der Humantoxizität können für spezifische Fragestellungen im Lebensmittelbereich entscheidend sein, während diese im Konzept der Planetaren Grenzen nicht berücksichtigt werden. Auch zeitliche und räumliche Dimensionen sind relevant, da einige Umweltrisiken regional begrenzt sind oder im zeitlichen Verlauf an Relevanz gewinnen oder verlieren können.

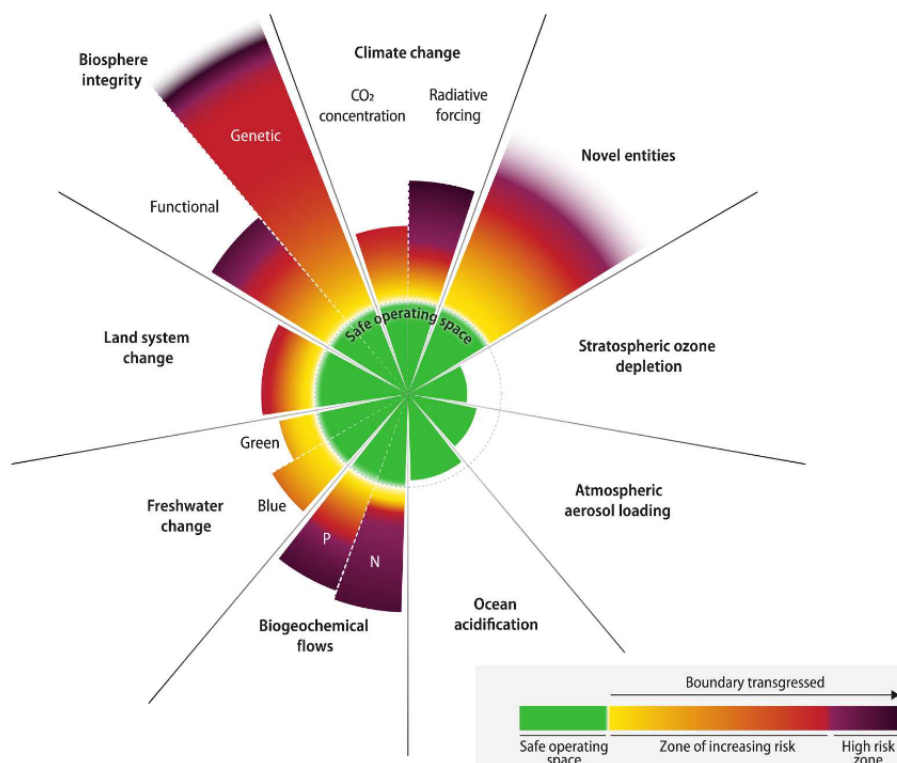
Für das erste Fachgespräch schlugen wir vor, das Konzept der planetaren Belastungsgrenzen als Grundlage für die Bewertung der Umweltauswirkungen in der Ernährung zu verwenden.

Planetare Grenzen

Die Wahl der Planetaren Grenzen als Grundlage der Umweltbewertung impliziert die Stabilisierung des Erdsystems als Ziel der Umweltbewertung. Demnach geht es um die Rückkehr in den sogenannten sicheren Handlungsraum („safe operating space“) der Planetaren Grenzen, siehe Abbildung 1. Eine hinreichende Stabilisierung des Erdsystems, wie es im Holozän der Fall war, ist das Fundament für das Wohlergehen der Menschheit insgesamt. Eine Fokussierung auf

regionale Umweltprobleme ist oft nicht ausreichend, um diese Grundlage zu schaffen und wird zudem der globalen Vernetztheit von Ernährungssystemen nicht gerecht. Zudem sind die Umweltauswirkungen des Ernährungssystems maßgeblich an der Überschreitung der derzeit bereits überschrittenen Planetaren Grenzen beteiligt (Campbell et al. 2017; Global Nutrition Report 2022), Durch den weiteren Anstieg der Weltbevölkerung und die Ausweitung ressourcenintensiver Ernährungsmuster könnte sich die ernährungsbedingte Überlastung der ökologischen Funktionssysteme noch ausweiten (Springmann et al. 2018; Clark et al. 2018). Wird das Ernährungssystem nicht in Bezug auf diese Umweltwirkungskategorien verbessert, wird die Rückkehr in den sicheren Handlungsraum wahrscheinlich nicht gelingen. Darüber hinaus kann die Rückkehr in den sicheren Handlungsraum ohne diese Kriterien nicht richtungssicher abgeschätzt und überwacht werden.

Abbildung 1: Planetaren Grenzen



Quelle: Abbildung nach (Richardson et al. 2023)

Auch in einigen Arbeiten zur Weiterentwicklung der Ökobilanzmethodik werden die Planetaren Grenzen aufgegriffen (Vgl. (Bjørn und Hauschild 2015; Sala et al. 2020).

Nicht alle der Planetaren Grenzen nach Rockström und Steffen und anderen (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015) werden vom Ernährungssystem beeinflusst (Campbell et al. 2017). Daher ist es im Kontext Ernährung und Lebensmittel angemessen, nur diejenigen einzubeziehen, auf die sich die ernährungsbedingten Praktiken stark auswirken (Frischwassernutzung, Biogeochemische Flüsse, Landnutzungsänderungen, Integrität der Biosphäre und Klimawandel), analog zum Vorgehen der EAT-Lancet Kommission (Willett et al. 2019).

3 Ergebnisse

3.1 Kernset an Kriterien für die Umweltbewertung

Erste Leitfrage: Welche ökologischen Kriterien sollten nach derzeitigem Stand der Wissenschaft für eine Aussage über die Umweltwirkungen von in Deutschland konsumierten Lebensmitteln und Ernährungsweisen in Deutschland im Allgemeinen berücksichtigt werden? („Kernset“)

Im ersten Fachgespräch wurde zunächst die Grundlage für die Bestimmung eines Kernsets diskutiert:

Die Teilnehmer*innen sprachen sich für die Nutzung des Konzepts der Planetaren Grenzen als Grundlage für die Auswahl der Kriterien der Umweltbewertung von Lebensmitteln und Ernährungsmustern aus.

Die Teilnehmer*innen äußerten wiederholt Skepsis, ob sich überhaupt ein Kriterienset losgelöst von spezifischen Anwendungsfällen definieren lässt. Dennoch sprachen sich die Teilnehmer*innen am Ende des Fachdialogs für die folgendem drei Kriterien aus:

Kernset an Kriterien für die Umweltbewertung von Ernährungsmustern und Lebensmitteln

- ▶ Treibhausgasemissionen
- ▶ Biodiversität
(wobei dieses Kriterium andere, teilweise separat ausgewiesene Kriterien integriert, insbesondere Landnutzung, Nährstoffeintrag/ Eutrophierung und Bodengesundheit)
- ▶ Wassernutzung

Diese drei Wirkungskategorien sollten in sämtlichen Anwendungsfällen **mindestens** einbezogen werden. Mindestens heißt, dass je nach Kontext und Datenverfügbarkeit gegebenenfalls noch weitere Kriterien berücksichtigt werden sollten.

3.2 Die besten der derzeit verfügbaren Methoden in den Kernkriterien

Zweite Leitfrage: Was sind die besten derzeit verfügbaren Methoden für die Berechnung ökologischer Fußabdrücke von Lebensmitteln in den identifizierten Kriterien?

Für die meisten Kriterien steht bereits eine Vielfalt an Methoden und Varianten dieser Methoden zur Abschätzung der Umweltwirkungen zur Verfügung. Mit dem Voranschreiten der wissenschaftlichen Methodenentwicklung erhöht sich die methodische Vielfalt weiter. Dies hat zur Folge, dass Ergebnisse zu Umweltwirkungen bzw. ökologischen Fußabdrücken unterschiedlicher Untersuchungen nicht miteinander vergleichbar sind, weil sie in der Regel mit unterschiedlichen Methoden ermittelt wurden. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten sind methodische Konsense und Standardisierungen wichtig.

Das allgemeine Vorgehen zur Berechnung einer Ökobilanz wird durch die ISO-Norm 14040/44 (ISO 2006a, b) strukturiert. Methodische Empfehlungen im Sinne einer Harmonisierung für die Ermittlung einzelner Umweltwirkungen von Produkten werden beispielsweise im Product Environmental Footprint (PEF) gegeben. Das dort enthaltene Kriterienset umfasst 16 Umweltwirkungen, wobei es nicht spezifisch für den Ernährungssektor entwickelt worden ist.

Die Auswirkungen auf die Biodiversität sowie die Haltungsbedingungen für Nutztiere/Tierwohl sind nicht umfassend abgedeckt. Zwar übten die Teilnehmer*innen des Fachdialogs Kritik sowohl am Prozess der Erarbeitung des PEF als auch an den Ergebnissen⁴, maßen gleichwohl dem Ziel des PEF, die internationale Harmonisierung der Kriterien und Methoden in der Umweltbewertung von Produkten, eine hohe Relevanz bei und empfahlen daher, bei nationalen Initiativen zur Kriterien- und Methodenharmonisierung auf grundlegende Konsistenz zum PEF zu achten.

Neben dem Kriterienset des PEF existieren weitere, heterogene, ebenfalls nicht spezifisch für Lebensmittel entwickelte Kriteriensets in Kombination mit Methodenstandards, z. B. Umweltbelastungspunkte (BAFU 2021), ReCiPe (Goedkoop et al. 2008; Huijbregts et al. 2017), UNEP-SETAC Life Cycle Initiative (Joliet et al. 2018) sowie IMPACT World+ (Bulle et al. 2019).

Im Hinblick auf den Stand der verfügbaren Methoden und Datengrundlagen in den Kern-Kriterien ergibt sich aus den Diskussionen im Fachdialog folgendes Bild:

Treibhausgasemissionen: In der Berechnung der Treibhausgasemissionen ist die Standardisierung der Methoden bereits vergleichsweise vorangeschritten. Insbesondere regelt die ISO-Norm 14067 (ISO 2018) in Kombination mit den Charakterisierungsfaktoren zur Berechnung der CO₂-Äquivalente der jeweils aktuellen Version des IPCC Berichts das Vorgehen bei der Berechnung von Treibhausgas-Fußabdrücken.

Ergänzend gibt es methodische Weiterentwicklungen, die weitere Aspekte einbeziehen, die derzeit noch kontrovers diskutiert werden. Dazu gehört die Frage, wie die Treibhausgasemissionen aus Landnutzungsänderungen (engl. Land-use change, LUC) zu quantifizieren sind. Auch unter den Teilnehmer*innen des Fachdialogs bestand hierzu kein Konsens. Beispielsweise ist eine Verständigung auf eine zeitliche Zuordnung der Emissionen („Über wie viele Jahre sollten diese Emissionen „abgeschrieben“/auf Produkte umgelegt werden?“) sowie deren räumliche Zuordnung erforderlich, was nicht im Rahmen des Fachdialogs geleistet werden konnte. Auch die Frage, wie die Treibhausgasemissionen aus Landnutzungsänderungen berücksichtigt werden sollten, konnte im Fachdialog nur angerissen werden. Diese den Produkten zuzuschreiben, die unmittelbar auf den umgewandelten Flächen angebaut werden (direct land use-change, (Blonk Consultants 2014)), greift nach Auffassung einiger Teilnehmer*innen zu kurz, da Verdrängungseffekte, die bei zusätzlicher Flächeninanspruchnahme zur Ausweitung der Agrarproduktion insgesamt zur Flächenumwandlung führen, nicht erfasst werden (indirect land use-change, iLUC)⁵. Eine Möglichkeit könnte daher die attributive Aufteilung von Landnutzungsänderungsemissionen (aLUC) sein (Fehrenbach et al. 2020), diese wurde jedoch bislang noch nicht einem peer-review-Verfahren unterzogen und international debattiert. Auch die Berechnungen von Kohlenstoff-Opportunitätskosten, wie zum Beispiel in (Fehrenbach und Bürck 2022), erachteten die Teilnehmenden als sinnvoll und je nach Fragestellung angemessen.

⁴ Prozedural kritisierten die Teilnehmer*innen Intransparenz und der überproportional große Einfluss von Unternehmen. Die Kritik an den Ergebnissen betraf insbesondere die Möglichkeit, die 16 Umweltwirkungen in einen Einzelscore zu aggregieren, die mangelhafte und unterschiedliche Abdeckung von Biodiversität in den einzelnen PEF Category Rules sowie, dass der PEF keinen Vergleich zwischen Produkten aus unterschiedlichen Produktgruppen vorsieht.

⁵ Intensiv wurde dies bei dem wissenschaftlichen Disput darum, wie die Klimawirkung von Bioenergie adäquat abzubilden ist, diskutiert. Die zusätzliche Nachfrage nach Agrarprodukten für die energetische Nutzung führt bei konstanter übriger Nachfrage zu einer Ausweitung der Agrarfläche, was in der Regel mit einer Degradierung natürlicher Habitats und Verlust an darin gebundenem Kohlenstoff verbunden ist. Auch wenn die Bioenergieträger nicht auf diesen kürzlich umgewandelten Flächen angebaut werden, ist diese Umwandlung ein Effekt der Nachfrage nach Bioenergieträgern. Diese sogenannte „iLUC-Debatte“ hat die Relevanz von methodischen Fragen für die wissenschaftliche Politikberatung gezeigt.

INFO-BOX: Carbon Opportunity Costs

Unter Kohlenstoff-Opportunitätskosten (Carbon Opportunity Costs) wird die Kohlenstoffmenge verstanden, die auf der Fläche, die für die Produktion des betrachteten Agrarprodukts benötigt wird, gebunden wäre, wenn diese nicht landwirtschaftlich genutzt werden würde. Anders gesagt ist es die Menge an Kohlenstoff, die durch die Umwandlung von der natürlichen Vegetation und ungenutzten Böden in Agrarfläche auf der für das jeweilige Agrarprodukt benötigten Fläche, verloren geht. Der entgangene Nutzen ist somit die hypothetische Kohlenstoffsequestrierung, die bei der Nutzung eines Gutes mit geringerem Flächenbedarf oder Verzicht der Nutzung des ursprünglichen Gutes realisiert werden könnte.

Die Berechnung der Carbon Opportunity Costs erfolgt typischerweise für flächeneffizientere pflanzliche Ernährungsgüter und -muster im Vergleich zu den Tierprodukten bzw. tierproduktreichen Ernährungsmustern (z. B. Wirsenius et al. 2020; Hayek et al. 2021) und Bioenergie als zusätzliche und optionale Nachfrage nach Agrarprodukten (Searchinger et al. 2018; Fehrenbach und Bürck 2022).

Biodiversität: Die methodische Vielfalt zur Quantifizierung der produktspezifischen Auswirkungen auf die Biodiversität ist sehr groß (Damiani et al. 2023) und unterliegt einer hohen Dynamik. Von den fünf Haupttreibern für Biodiversitätsverlust (Klimawandel, Umweltverschmutzung, Nutzungsänderungen von Land- und Seegebieten, Übernutzung von Ressourcen und Ausbreitung invasiver Arten) (UNEP 2022) wird, je nach Methodik, bislang nur ein Teil in die Bewertung auf Produktebene einbezogen.

Beispiele für Herausforderungen bei der ökologischen Bewertung von Lebensmitteln im Hinblick auf deren Auswirkungen auf die Biodiversität sind:

- ▶ **Vielfalt der Ansätze:** Je nach Betrachtungsebene (z. B. global/national, innerhalb oder zwischen Produktgruppen, genetische Vielfalt/Zusammensetzung und Struktur von Lebensgemeinschaften/Funktionalität von Ökosystemen) werden verschiedene Methoden und Datengrundlagen benötigt. Daneben existieren konkurrierende Ansätze für gleiche oder ähnliche Anwendungen. Die Perspektiven reichen von fernerkundungsgestützten Modellen (Cabernard et al. 2024) über Modellierungen des Artverlusts auf Taxa-Ebene (Chaudhary und Brooks 2018) bis zu Abschätzungen anhand von Treibern (Lindner et al. 2019, 2020; Fehrenbach et al. 2021).
- ▶ **Datenverfügbarkeit:** Unterschiedliche Datengrundlagen führen zu abweichenden Ergebnissen, selbst wenn dieselben Methoden angewandt werden. Für viele Inputdaten, die für einen Biodiversitätsfußabdruck genutzt werden könnten, fehlt eine ausreichend fundierte Datengrundlage (z. B. zu Pflanzenschutz- oder Düngemiteleinsatz, Strukturelementen oder betroffenen Rote-Liste-Arten).
- ▶ **Treiber für Biodiversitätsverlust:** Faktoren wie z. B. Eutrophierung, Pflanzenschutzmitteleinsatz, Pflugtiefe, Feldgröße oder fehlende Strukturelemente werden je nach Methodik unterschiedlich berücksichtigt. Sehr selten berücksichtigt wird klimawandel-bedingter Biodiversitätsverlust. Die Wichtung der Treiber zueinander ist bislang nicht erfolgt.

- **Ausbreitung invasiver Arten:** Für Methoden, welche zur Bilanzierung auf Produktebene auf Systemgrenzen angewiesen sind, stellt die Berücksichtigung des Beitrags invasiver Arten am Biodiversitätsverlust eine Herausforderung dar.
- **Dopplung mit anderen Umweltwirkungskategorien:** Die Berechnung von vielen Biodiversitätsfußabdrücken überschneidet sich beispielsweise mit etablierten Ökobilanzkriterien wie Eutrophierung, Ökotoxizität und Versauerung.
- **Validierung:** Die Passgenauigkeit von Methoden im Hinblick auf die Zielsicherheit zur Entscheidungsunterstützung kann aufgrund des Aufwands in der Erhebung von Biodiversitätsdaten bislang nicht validiert werden. Zukünftig stehen diesbezüglich voraussichtlich DNA-Barcoding-Methoden zur Verfügung.

Die Teilnehmenden betonten, dass es maßgeblich von der Fragestellung und dem Anwendungsfall sowie der Datenverfügbarkeit abhängt, welche Methoden in welcher Ausdifferenzierung genutzt werden. Der fachliche **Mindeststandard sollte die Quantifizierung der Flächenbelegung** sein. Jedoch sollte angestrebt werden, weitere biodiversitätsrelevante Faktoren zu berücksichtigen.

Vor dem Hintergrund der vielfach unbefriedigenden Datenlage und des methodischen Weiterentwicklungsbedarfes positionierten sich mehrere Teilnehmer*innen dahingehend, dass es besser sei, einen methodisch unbefriedigenden Biodiversitätsfußabdruck auszuweisen, als ganz darauf zu verzichten. Gleichzeitig sollten die damit verbundenen Unsicherheiten offen und transparent kommuniziert werden.

Aktuell gibt es für die Quantifizierung von Biodiversitätsauswirkungen auf Fußabdrucks-Ebene keine ISO-Norm.

Wassernutzung: Eine Möglichkeit zur Bewertung der Wassernutzung besteht über den Wasserfußabdruck. Für den Wasserfußabdruck gibt es mit der ISO-Norm 14046 (ISO 2014) einen Rahmen für dessen Ermittlung samt einer Wirkungsabschätzung im Hinblick auf die Wassernutzung und -verschmutzung. Die Norm gibt jedoch keine konkreten methodischen Vorgaben. Während die von der Norm DIN EN ISO 14046 intendierte umfassende Berichterstattung für die Bewertung der Wasserverschmutzung aufgrund begrenzter Datenverfügbarkeit schwierig ist, sprachen sich die Teilnehmer*innen des Fachdialogs dafür aus, dass für Lebensmittel generell mindestens der blaue Wasserfußabdruck⁶ berücksichtigt werden sollte. Der grüne Wasserfußabdruck solle nur in Abhängigkeit der Fragestellungen und der graue Wasserfußabdruck als Teil der Biodiversitätswirkungsabschätzung betrachtet werden.

Bei der Anwendung des blauen Wasserfußabdrucks sollte gezielt der knappheitsgewichtete blaue Wasserfußabdruck herangezogen werden, da somit eine Aussage über das Verhältnis zwischen Wassernutzung und Wasserdargebot getroffen werden. Besonders geeignet für die Ermittlung des knappheitsgewichteten blauen Wasserfußabdrucks ist die AWARE - Methode (Available Water Remaining) (Boulay et al. 2018). Die AWARE - Methode charakterisiert die Wassernutzung nach ihrem Potenzial, Ökosysteme oder Menschen den Zugang zu Wasser zu verwehren (Bunsen et al. 2022). Vorteilhaft für die Anwendung von AWARE - Methode ist zum einen, dass die Methode sowie die Charakterisierungsfaktoren öffentlich verfügbar sind. Zum

⁶ Der Wasserfußabdruck wird üblicherweise wie folgt differenziert: „blau“ umfasst Grund- und Oberflächenwasser, „grün“ umfasst das im Boden gespeicherte, für Pflanzen verfügbare Regenwasser, „grau“ ist die Menge an Frischwasser, welche benötigt wird um verunreinigtes Wasser wieder bis zum Erreichen von Qualitätsstandards zu verdünnen (hypothetisches Konzept).

anderen wird die Methode im International Life Cycle Data Handbuch sowie zur Ermittlung von Product Environmental Footprints empfohlen.

Als methodische Weiterentwicklung wurde AWARE 2.0 kürzlich veröffentlicht (Seitfudem et al.). AWARE bzw. AWARE 2.0 können als methodischer Standard dienen.

3.3 Datenverfügbarkeit

Dritte Leitfrage: Wie gut ist die Datenverfügbarkeit in diesen Kriterien?

Die Datenverfügbarkeit für die Quantifizierung der Umweltwirkungen von Lebensmitteln im Allgemeinen ist heterogen und hängt von Anwendungsfällen, Fragestellungen und Betrachtungsebenen ab. Vergleiche zwischen Produktgruppen (z. B. Fleisch vs. Hülsenfrüchte) erfordern vergleichsweise hoch aggregierte Daten, während Vergleiche innerhalb einer Produktgruppe (z. B. Rindfleisch vs. Hähnchenfleisch) sowie Vergleiche auf Produktebene (z. B. Rindfleisch von Hersteller A vs. Rindfleisch von Hersteller B) deutlich spezifischere Datengrundlagen benötigen.

Insgesamt ist ein leicht positiver Trend in Bezug auf die Datenverfügbarkeit zu verzeichnen, da viele Unternehmen und öffentliche Einrichtungen z. B. im Rahmen der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) sowie der Anforderungen an die klimaneutrale Verwaltung in den Klimaschutzgesetzen des Bundes und vieler Länder verpflichtet sind, Umweltwirkungen ihrer Aktivitäten zu bilanzieren.

Auf die herausgearbeiteten Kriterien bezogen bewerten die Teilnehmer*innen des Fachdialogs die Datenverfügbarkeit folgendermaßen:

Treibhausgasemissionen

- Insgesamt wird die Datenverfügbarkeit bei der Abschätzung von Treibhausgasemissionen als zufriedenstellend eingeschätzt. Im Hinblick auf die Berücksichtigung von Emissionen aus Landnutzungsänderungen (LUC) bestehen Datenlücken beispielsweise in der globalen Berichterstattung von länderspezifischen Landnutzungsänderungen.

Biodiversität

- Für Biodiversitätswirkungsabschätzungen werden durch die Vielzahl von Einflussfaktoren verschiedene Inventargrößen und Charakterisierungsfaktoren benötigt. Für einfache Inventargrößen wie Erträge/Flächennutzung sowie Anbauländer ist die Datenverfügbarkeit gut. Für viele weitere Inventargrößen (z. B. Stickstoffmenge, Art und Menge an Pflanzenschutzmitteln und Strukturelemente), deren Interaktion untereinander sowie für die Charakterisierungsfaktoren bestehen erhebliche Datenlücken.

Wassernutzung

- Für die Berechnung von Wasserfußabdrücken im Lebensmittelbereich wurden in der Vergangenheit unterschiedliche Datenquellen genutzt (Mekonnen und Hoekstra 2010, 2011; Pfister et al. 2011). In Zukunft kann für generische Anwendungsfälle auf eine aktuellere Datengrundlage zurückgegriffen werden (Mialyk et al. 2024), weshalb die Datenverfügbarkeit als gut eingeschätzt werden kann.

Neben der Verfügbarkeit ist die Datenqualität ein weiterer wesentlicher Faktor für die Aussagekraft von Berechnungen des ökologischen Fußabdrucks. Bislang wenig thematisiert werden Datensicherheits- und -eigentumsfragen bei der Berechnung von ökologischen Fußabdrücken, welche auch in den Fachgesprächen nicht thematisiert wurden.

3.4 Methodischer Weiterentwicklungsbedarf

Vierte Leitfrage: In Bezug worauf existiert relevanter methodischer Weiterentwicklungsbedarf?

Weiterentwicklungsbedarfe in Bezug auf die Kriterien Treibhausgasemissionen, Biodiversität und Wassernutzung wurden in Bezug auf folgende Aspekte gesehen:

Treibhausgasemissionen

- ▶ Harmonisierung der methodischen Berücksichtigung von Emissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderungen, sog. LULUC-Emissionen

Biodiversität

- ▶ Wechselwirkung zwischen Klimawandel und Biodiversität: Die Berücksichtigung der indirekten Effekten von Treibhausgasemissionen.
- ▶ Aquatische Systeme: Auswirkungen von Düngung und anderen Substanzen auf marine Ökosysteme und die Biodiversität in Gewässern sowie Biodiversitätsverluste durch Blue Food⁷.
- ▶ Bodenaspekte: Effekte von landwirtschaftlichen Praktiken auf biotische und abiotische Prozesse im Boden. Bei biotischen Prozessen bspw. Auswirkungen auf mikrobielle Diversität inklusive Protozoen und Archaeen. Bei abiotischen Prozessen bspw. Winderosion und Versalzung.

Wassernutzung

- ▶ Definition von Anwendungsfällen, bei denen zusätzlich zum blauen Wasserfußabdruck auch der grüne Wasserfußabdruck berücksichtigt werden sollte.
- ▶ Weitere methodische Weiterentwicklungsbedarfe können aktuell noch nicht abgeschätzt werden, da die neue AWARE 2.0-Methodik zum Zeitpunkt des Fachgesprächs noch nicht publiziert war.

Darüber hinaus gaben die Teilnehmer*innen folgende **Weiterentwicklungsbedarfe** in Bezug auf andere Kriterien und übergreifende Aspekte an:

- ▶ Verbesserung und/oder Entwicklung von Ökobilanz-Methoden bei weiteren Umweltwirkungskategorien bspw. bei Licht-, Lärm- und Mikroplastikemissionen
- ▶ Berücksichtigung harmonisierter Datengrundlagen und Methoden z. B. in Datenbanken sowie bei der Konzeption von Forschungsprojekten
- ▶ Aufbau öffentlicher, transparenter und kostenfrei nutzbarer Datenbanken (Dauerfinanzierung) sowie deren Etablierung und Aktualisierung (z. B. über Projektförderungen)

4 Diskussion und Einordnung

Die Ergebnisse des Fachdialogs geben einen Einblick in den Status quo der wissenschaftlichen Debatte zur Quantifizierung des ökologischen Fußabdrucks von Lebensmitteln. Neben den

⁷ Lebensmittel aus Gewässern wie Fische, Krebse oder Algen.

inhaltlichen Diskussionspunkten zu Kriterien, Methoden und Datengrundlagen wurden wiederholt Weiterentwicklungsbedarfe durch die Teilnehmenden hervorgehoben.

Sowohl für unternehmerische Berichtspflichten im Ernährungssektor als auch im Bereich Labeling, reguliert durch die Green Claims Directive auf EU-Ebene, ist eine wissenschaftliche Einordnung und Bewertung von Kriteriensets und Methoden zur Qualitätskontrolle erforderlich.

In anderen Prozessen und Publikationen, die ebenfalls die Fragestellungen des Fachdialogs behandeln, wird auf ähnliche oder identische Kriterien für die Berücksichtigung in ökologischen Fußabdrücken von Lebensmitteln hingewiesen, z. B. 14. Ökobilanz-Plattform Land- und Ernährungswirtschaft von Agroscope und das CLIF-Projekt (CLIF 2022). Daneben gibt es Ansätze in der wissenschaftlichen Literatur, die ähnliche Kriteriensets ausweisen.

Beispielsweise nutzen (Mehner et al. 2024) Treibhausgasemissionen, Wassernutzung und Biodiversität zur Bewertung von pflanzlichen Milch- und Fleischproduktalternativen.

Neben den oben genannten Beispielen für Kriteriensets, die den Ergebnissen des Fachdialogs entsprechen, schlagen (Ran et al. 2024) ein leicht abweichendes Set an Kriterien für die ökologische Bewertung von Ernährungsweisen vor: Klimawandel, Integrität der Biosphäre, Verbrauch von blauem Wasser, neuartige Entitäten und Auswirkungen auf die natürlichen Ressourcen (insbesondere Wildfischbestände). Auch hier wurden die Planetaren Grenzen als Grundlage genutzt. Die Auswirkungen der Produktion von marinen Lebensmitteln wurde im Fachdialog nicht als Kriterium, sondern unter Weiterentwicklungsbedarfen im Kriterium Biodiversität genannt. Bei weiteren Kriterien bestehen methodische Unterschiede, beispielsweise bei der Wasserknappheit in der Produktionsregion im Kriterium Wassernutzung.

Für Anwendungsfälle, in denen die Umweltwirkungen nicht im Fokus stehen, reicht es mitunter auf einfachere, günstigere und robustere Indikatoren, wie „Anteil vegetarischer/veganer Gerichte“, „Fleisch- und Fischmenge“, „Herkunftsland“ oder „Anteil weggeworfener Lebensmittel“ zurückzugreifen.

Teilweise wird Biodiversität in Form von Teilbereichen des Biodiversitätsverlustes als Landnutzung, Eutrophierung und Versauerung von Ökosystemen und nicht in einem einzelnen Biodiversitätsscore gebündelt ausgewiesen. Für Anwendungen, bei denen kein einzelner Score unbedingt notwendig ist, wäre ein solches Vorgehen der aggregierten Ausweisung zu bevorzugen, um Unterschiede in Bezug auf einzelne Umweltwirkungen sehen und benennen zu können. Neben dem Vorteil einer für bestimmte Kontexte erforderlichen Komplexitätsreduktion und einer leichteren Kommunizierbarkeit hat die Bündelung in einen einzelnen Score folgende Nachteile:

- ▶ die Gesamtbewertung hängt mehr oder weniger stark von den Gewichtungsfaktoren ab
- ▶ Überlappung/Doppelzählung von Kriterien oder Effekten, da diese verknüpft sind
- ▶ Erschwerte Analyse welche Kriterien oder Effekte den größten Beitrag zur Umweltbelastung leisten und damit Handlungsansätze zur Verringerung darstellen
- ▶ geringere Transparenz

Dies betrifft sowohl die Quantifizierung von produktbezogenen Biodiversitätsverlusten als auch einen, beispielsweise aus Treibhausgasemissionen, Biodiversität und Wassernutzung, aggregierten ökologischen Fußabdruck.

Limitationen des Fachdialogs

In der Konzeption des Fachdialogs mussten Entscheidungen getroffen werden, die die Aussagekraft der Ergebnisse limitieren:

- ▶ Beschränkung auf deutschsprachige Teilnehmer*innen
- ▶ Fokus auf Ökobilanzierung
- ▶ Fokus auf den wissenschaftlichen Diskurs

Der Grund für diese Eingrenzung auf deutschsprachige Wissenschaftler*innen war die Ausgangsbasis in Form des Auftrags aus dem 20. KoA der Bundesregierung, wofür wir die Erfassung des Diskurses in Deutschland als adäquat erachteten. Methodisch unterscheidet sich die Perspektive und Herangehensweise der Ökobilanzierung grundlegend von anderen Methoden zur Abschätzung von Umweltfolgen, wie zum Beispiel Umweltverträglichkeitsprüfungen, welche für andere Fragestellungen, z. B. in der Raumplanung, herangezogen werden. Für eine äußere Perspektive auf die Fragestellungen des Fachdialogs sowie auf die Methoden der Ökobilanzierung im Allgemeinen, wäre die Erweiterung des Kreises der Teilnehmenden voraussichtlich eine wertvolle Ergänzung gewesen, hätte jedoch eine Erweiterung des Kapazitätsrahmens des Fachdialogs erfordert.

Auch konnten im Rahmen des Fachdialogs nicht alle für die Forschungsfragen relevante Themen adressiert werden. Beispiele für nicht-adressierte Themen und Themenkomplexe sind folgende:

- ▶ Mikrobielle Resistenzen
- ▶ Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS, Relevanz u. a. bei Pfannen, Backpapier, Verpackungen von Fischstäbchen)
- ▶ Übertrag von Verpackungschemikalien an Lebensmittel (Beispiel: Bisphenol A in Konservendosen)
- ▶ Allokations- und Gutschriftsverfahren: Für die Aufteilung von Umweltwirkungen, wenn mehrere (Neben-)Produkte aus Basisprodukten hergestellt werden, können verschiedene Allokations- und Gutschriftsverfahren angewandt werden. Diese sind abhängig von der Fragestellung, mit der ökologische Fußabdrücke berechnet werden, sowie von der Datenverfügbarkeit.
- ▶ Beyond-LCA-Verfahren bezeichnen Methoden, welche „klassische“ Ansätze der Lebenszyklusanalyse (LCA), um zusätzliche Umweltaspekte (z. B. invasive Arten, Übernutzung von Ressourcen, Antibiotikaresistenzen), soziale und/oder ökonomische Faktoren erweitern, um eine umfassendere Bewertung zu ermöglichen.
- ▶ Funktionelle Einheiten: Als Bezugsgröße für Umweltwirkungen von Lebensmitteln wird häufig die Masse (z. B. pro 1 kg Lebensmittel) herangezogen. Je nach Anwendungsfall sind andere funktionelle Einheiten, z. B. Energiegehalt, einzelne kritische Nährstoffe oder Nährstoffdichte, möglich.
- ▶ Datenqualität, -sicherheit und -eigentum
- ▶ Weitere Aspekte bei der Wirkungsabschätzung im Hinblick auf Biodiversität:
 - Barrierewirkung bspw. von Infrastruktur
 - Biodiversitätsauswirkungen von Licht und Lärm

- Dreidimensionaler Betrachtungsraum (relevant für Windkraftanlagen oder aquatische Ökosysteme – limnisch oder marin)
- Seltene Arten vs. Artenanzahl (Wichtung im Biodiversitätsfußabdruck)
- Differenzierung von Grünlandqualitäten (intensiv bewirtschaftetes Grünland vs. extensive Grünlandnutzung)

5 Fazit und Ausblick

Fazit

Aktuell wächst das öffentliche und politische Interesse daran, den ökologischen Fußabdruck von Lebensmitteln und Ernährungsgewohnheiten quantitativ zu erfassen. Die Diskussionen im Fachdialog zeigen jedoch, dass bei der Auswahl geeigneter Kriterien (abhängig vom Ziel der Analyse), bei Berechnungsmethoden sowie bei den Datengrundlagen weiterhin großer Forschungsbedarf besteht. Gleichwohl konnten sich die Teilnehmer*innen konsensual auf drei zentrale Kriterien im Kontext Ernährung verständigen: **Treibhausgasemissionen, Biodiversität und Wassernutzung**. Mit Ausnahme der Biodiversität sind die Datenverfügbarkeit und methodisch Reife für die Kriterien als gut einzustufen. Dennoch sprachen sich die Teilnehmer*innen in diesem Zusammenhang beim Biodiversitätsfußabdruck dafür aus, lieber mit methodisch noch nicht vollständig ausgereiften Ansätzen und Datengrundlagen zu arbeiten, als ganz auf die Sichtbarmachung der individuellen ökologischen Folgewirkungen von Lebensmitteln und Ernährungsmustern zu verzichten.

Die Umweltwirkungen von verschiedenen Entscheidungs- und Gestaltungsoptionen im Ernährungssystem zu differenzieren, ist die Voraussetzung dafür, spezifische und effektive Handlungsansätze zu identifizieren, die die Umweltwirkungen im Ernährungssystem verringern können, wie z. B. in (Springmann et al. 2018). Angesichts des Ausmaßes der Problemlage – das Ernährungssystem trägt maßgeblich zur Überschreitung der Planetaren Belastungsgrenzen bei – und der schwindenden Zeit, die für das Erlangen erdsystemverträglicher Ernährungssysteme bleibt, erscheint es erforderlich, das Potenzial vorhandener Kriterien, Methoden und Daten z. B. in der Setzung politischer Anreize wie der Mehrwertsteuer, der Bildungsarbeit und der politischen Kommunikation zu nutzen und gleichzeitig die Datengrundlagen und Methoden voranzubringen.

Ausblick

Die Ergebnisse geben einen Eindruck vom naturwissenschaftlichen Diskurs um die Quantifizierung des ökologischen Fußabdrucks wieder. Je nach Anwendungszweck können spezifische Anschlussfragen relevant werden, wie z. B. nach der Justiziabilität einer Besteuerung auf Grundlage des ökologischen Fußabdrucks, nach der Kommunizierbarkeit, nach sozialen und ökonomischen Wirkungen von Instrumenten, die auf den ökologischen Fußabdruck von Produkten aufbauen.

Daneben bieten Beyond-LCA Verfahren die Möglichkeit, bislang nicht quantitativ ausreichend erfassbare Umweltwirkungen semi-quantitativ oder qualitativ abzudecken. Da die Entwicklung dieses Feldes der umweltseitigen Bewertung von Produkten noch relativ jung ist, kann erst in Zukunft bewertet werden, was es zur Umweltentlastung beitragen kann.

Sowohl auf nationaler Ebene als auch auf internationaler Ebene ergeben sich verschiedene Möglichkeiten, die Weiterentwicklung des ökologischen Fußabdrucks von Lebensmitteln auch über die Fachgesprächsreihe hinaus zu fördern. Diese sind u. a.:

- ▶ Beteiligung von Vertreter*innen Deutschlands an EU-Arbeitsprozessen (z. B. EU-Forschungsprojekten, PEF-Weiterentwicklungen)
- ▶ Schaffung einer öffentlich verfügbaren Datenbank zu Umweltwirkungen von Lebensmitteln in Deutschland
- ▶ Förderung der Harmonisierung auf Daten- und Methodenebene z. B. durch die Etablierung von sektoralen und ressort-übergreifenden Standards

6 Literaturverzeichnis

BAFU (2021): Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Bundesamt für Umwelt, Bern. Download unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wirtschaft-und-konsum/wirtschaft-und-konsum--publikationen/publikationen-wirtschaft-und-konsum/oekofaktoren-schweiz.html>

Blonk Consultants (2014): Direct Land Use Change Assessment Tool. Gouda. Download unter <https://blonksustainability.nl/>

Boulay, A-M; Bare, J; Benini, L; Berger, M; Lathuillière, MJ; Manzardo, A; Margni, M; Motoshita, M; Núñez, M; Pastor, AV; Ridoutt, B; Oki, T; Worbe, S; Pfister, S (2018): The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). The International Journal of Life Cycle Assessment 23 (2), S. 368–378, doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>

Bulle, C; Margni, M; Patouillard, L; Boulay, A-M; Bourgault, G; De Bruille, V; Cao, V; Hauschild, M; Henderson, A; Humbert, S; Kashef-Haghighi, S; Kounina, A; Laurent, A; Levasseur, A; Liard, G; Rosenbaum, RK; Roy, P-O; Shaked, S; Fantke, P; Joliet, O (2019): IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. The International Journal of Life Cycle Assessment 24 (9), S. 1653–1674, doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>

Bunsen, J; Berger, M; Finkbeiner, M (2022): Konzeptionelle Weiterentwicklung des Wasserfußabdrucks. UBA-Schriftenreihe 44/2022. Technische Universität Berlin, Berlin. Download unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_44-2022_konzeptionelle_weiterentwicklung_des_wasserfussabdrucks.pdf

Cabernard, L; Pfister, S; Hellweg, S (2024): Biodiversity impacts of recent land-use change driven by increases in agri-food imports. Nature Sustainability 7 (11), S. 1512–1524, doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01433-4>

Campbell, BM; Beare, DJ; Bennett, EM; Hall-Spencer, JM; Ingram, JSI; Jaramillo, F; Ortiz, R; Ramankutty, N; Sayer, JA; Shindell, D (2017): Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. Ecology and Society, 22(4), Article 8, doi: <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>

Chaudhary, A; Brooks, TM (2018): Land Use Intensity-Specific Global Characterization Factors to Assess Product Biodiversity Footprints. Environmental Science & Technology 52 (9), S. 5094–5104, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05570>

Clark, M; Hill, J; Tilman, D (2018): The Diet, Health, and Environment Trilemma. Annual Review of Environment and Resources 43 (Volume 43, 2018), S. 109–134, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-025957>

CLIF (2022): How to untangle food labelling: Development of a comprehensive tool for the communication of sustainability impacts of food. Impacts of food Download unter https://food-impacts.com/wp-content/uploads/2025/03/WWF_Impacts_of_food_presentation_en.pdf

Damiani, M; Sinkko, T; Caldeira, C; Tosches, D; Robuchon, M; Sala, S (2023): Critical review of methods and models for biodiversity impact assessment and their applicability in the LCA context. Environmental Impact Assessment Review 101, S. 107134, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107134>

Fehrenbach, H; Bürck, S. (2022): Carbon opportunity costs of biofuels in Germany—An extended perspective on the greenhouse gas balance including foregone carbon storage [Systematic Review]. Frontiers in Climate, Volume 4 - 2022. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.941386>

Fehrenbach, H; Busch, M; Bürck, S; Bischoff, M; Theis, S; Reinhardt, J; Blömer, J; Grahl, B (2021): Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen. Texte 168/2021. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Download unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/flaechenrucksaecke-von-guetern-dienstleistungen>

Fehrenbach, H; Keller, H; Abdalla, N; Rettenmaier, N (2020): Attributive Landnutzung (aLU) und attributive Landnutzungsänderung (aLUC), Eine neue Methode zur Berücksichtigung von Landnutzung und Landnutzungsänderung in Ökobilanzen. ifeu paper Version 2.1 des ifeu paper 03/2018. Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) Heidelberg, Heidelberg. Download unter https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/ifeu_paper_3-2018_aLULUC_DE.pdf

Global Nutrition Report (2022): Global Nutrition Report: Stronger commitments for greater action. Development Initiatives, Bristol, UK. Download unter <https://globalnutritionreport.org/>

Goedkoop, M; Heijungs, R; Huijbregts, M; Schryver, A; Struijs, J; Zelm, R (2008): ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level

Hayek, MN; Harwatt, H; Ripple, WJ; Mueller, ND (2021): The carbon opportunity cost of animal-sourced food production on land. *Nature Sustainability* 4 (1), S. 21–24, doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00603-4>

Huijbregts, MAJ; Steinmann, ZJN; Elshout, PMF; Stam, G; Verones, F; Vieira, M; Zijp, M; Hollander, A; van Zelm, R (2017): ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 22 (2), S. 138–147, doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>

ISO (2006a): ISO 14040:2006, Life cycle assessment — Principles and framework. <https://www.iso.org/standard/37456.html>

ISO (2006b): ISO 14044:2006; Life cycle assessment — Requirements and guidelines. In: ISO. <https://www.iso.org/standard/38498.html>

ISO (2018): ISO 14067:2018; Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. In: ISO. <https://www.iso.org/standard/71206.html>

ISO (2014): ISO 14046:2014; Water footprint — Principles, requirements and guidelines. In: ISO. <https://www.iso.org/standard/43263.html>

Jolliet, O; Antón, A; Boulay, A-M; Cherubini, F; Fantke, P; Levasseur, A; McKone, TE; Michelsen, O; Milà I Canals, L; Motoshita, M; Pfister, S; Verones, F; Vigon, B; Frischknecht, R (2018): Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators: impacts of climate change, fine particulate matter formation, water consumption and land use. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 23 (11), S. 2189–2207, doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1443-y>

Lindner, JP; Fehrenbach, H; Winter, L; Bloemer, J; Knuepfer, E (2019): Valuing Biodiversity in Life Cycle Impact Assessment. *Sustainability* 11 (20), S. 5628, doi: <https://doi.org/10.3390/su11205628>

Lindner, JP; Fehrenbach, H; Winter, L; Bischoff, M; Blömer, J; Knüpfper, E (2020): Biodiversität in Ökobilanzen. Weiterentwicklung und vergleichende Studien, 575. edn. BfN-Skripten 575. Bundesamt für Naturschutz, DE. Download unter <https://doi.org/10.19217/skr575>

Mehner, E; Ehlers, M-H; Herrmann, M (2024): Fleisch- und Milchersatzprodukte – besser für Gesundheit und Umwelt? Auswirkungen auf Ernährung und Nachhaltigkeit, die Sicht der Konsumentinnen und Konsumenten sowie ethische und rechtliche Überlegungen. TA-SWISS 84/2024. vdf, Zollikon. Download unter <https://www.ta-swiss.ch/fleisch-und-milch-ersatz>

Mekonnen, MM; Hoekstra, AY (2010): The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. *Value of Water*, 48. <https://www.waterfootprint.org/publications/>

Mekonnen, MM; Hoekstra, AY (2011): The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences* 15 (5), S. 1577–1600, doi: <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

Mialyk, O; Schyns, JF; Booi, MJ; Su, H; Hogeboom, RJ; Berger, M (2024): Water footprints and crop water use of 175 individual crops for 1990–2019 simulated with a global crop model. *Scientific Data* 11, S. 206, doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03051-3>

Pfister, S; Bayer, P; Koehler, A; Hellweg, S (2011): Environmental Impacts of Water Use in Global Crop Production: Hotspots and Trade-Offs with Land Use. *Environmental Science & Technology* 45 (13), S. 5761–5768, doi: <https://doi.org/10.1021/es1041755>

Ran, Y; Cederberg, C; Jonell, M; Bergman, K; Boer, IJMD; Einarsson, R; Karlsson, J; Potter, HK; Martin, M; Metson, GS; Nemecek, T; Nicholas, KA; Strand, Å; Tidåker, P; Werf, HV der; Vanham, D; Zanten, HHEV; Verones, F; Röö, E (2024): Environmental assessment of diets: overview and guidance on indicator choice. *The Lancet Planetary Health* 8 (3), S. e172–e187, doi: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00006-8)

Rockström, J; Steffen, W; Noone, K; Persson, Å; Chapin, FS; Lambin, EF; Lenton, TM; Scheffer, M; Folke, C; Schellnhuber, HJ; Nykvist, B; de Wit, CA; Hughes, T; van der Leeuw, S; Rodhe, H; Sörlin, S; Snyder, PK; Costanza, R; Svedin, U; Falkenmark, M; Karlberg, L; Corell, RW; Fabry, VJ; Hansen, J; Walker, B; Liverman, D; Richardson, K; Crutzen, P; Foley, JA (2009): A safe operating space for humanity. *Nature* 461 (7263), S. 472–475, doi: <https://doi.org/10.1038/461472a>

Searchinger, TD; Wiersma, S; Beringer, T; Dumas, P (2018): Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature* 564 (7735), S. 249–253, doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0757-z>

Seitfudem, G; Berger, M; Schmied, HM; Boulay, A-M The updated and improved method for water scarcity impact assessment in LCA, AWARE2.0. *Journal of Industrial Ecology* n/a (n/a), doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.70023>

Springmann, M; Clark, M; Mason-D'Croz, D; Wiebe, K; Bodirsky, BL; Lassaletta, L; de Vries, W; Vermeulen, SJ; Herrero, M; Carlson, KM; Jonell, M; Troell, M; DeClerck, F; Gordon, LJ; Zurayk, R; Scarborough, P; Rayner, M; Loken, B; Fanzo, J; Godfray, HJ; Tilman, D; Rockström, J; Willett, W (2018): Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562 (7728), S. 519–525, doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>

Steffen, W; Richardson, K; Rockström, J; Cornell, SE; Fetzer, I; Bennett, EM; Biggs, R; Carpenter, SR; de Vries, W; de Wit, CA; Folke, C; Gerten, D; Heinke, J; Mace, GM; Persson, LM; Ramanathan, V; Reyers, B; Sörlin, S (2015): Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347 (6223), S. 1259855, doi: <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

UNEP (2022): Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Conference of the parties to the convention on biological diversity. United Nations Environment Programme (UNEP), Montreal, Kanada. Download unter <http://www.unep.org/resources/kunming-montreal-global-biodiversity-framework>

Willett, W; Rockström, J; Loken, B; Springmann, M; Lang, T; Vermeulen, S; Garnett, T; Tilman, D; DeClerck, F; Wood, A; Jonell, M; Clark, M; Gordon, LJ; Fanzo, J; Hawkes, C; Zurayk, R; Rivera, JA; De Vries, W; Majele Sibanda, L; Afshin, A; Chaudhary, A; Herrero, M; Agustina, R; Branca, F; Lartey, A; Fan, S; Crona, B; Fox, E; Bignet, V; Troell, M; Lindahl, T; Singh, S; Cornell, SE; Srinath Reddy, K; Narain, S; Nishtar, S; Murray, CJL (2019): Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* 393 (10170), S. 447–492, doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

Wiersma, S; Searchinger, T; Zions, J; Peng, L; Beringer, T; Dumas, P (2020): Comparing the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Dairy and Pork Systems Across Countries Using Land-Use Carbon Opportunity Costs. *World Resources Institute*, Washington D.C. Download unter <https://www.wri.org/research/comparing-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-dairy-and-pork-systems-across-countries>

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel: +49 340-2103-0

buergerservice@uba.de

Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

DOI

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7917>

Stand: 05/2025

Autorenschaft, Institution

Dr. Claudius Grehl & Anne Klatt

mit Unterstützung von Nick Dühr, Ulrich Gromke, Manuela Helmecke und Dr. Hyewon Seo (alle Umweltbundesamt)