



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland

Guido Reinhardt, Sven Gärtner, Tobias Wagner

Heidelberg, 2020



Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland

Autoren:

Dr. Guido Reinhardt

Dipl.-Phys. Ing. Sven Gärtner

M. Sc. Tobias Wagner

Kontakt:

Dr. Guido Reinhardt

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg, Germany

Telefon: +49-6221-4767-0, Fax: +49-6221-4767-19

guido.reinhardt@ifeu.de, www.ifeu.de

Danksagung:

Teile dieser Arbeit wurden gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des KEEKS-Projektes (Förderkennzeichen 03KF0037) sowie durch das Umweltbundesamt im Rahmen des Vorhabens „Online-Verbraucherinformation zum nachhaltigen Konsum: Wissenschaftliche Datenbasis für Bilanzierungsinstrumente und sozialwissenschaftliche Auswertungen“ (Förderkennzeichen 3718163130). Dafür danken wir den Fördermittelgebern recht herzlich, insbesondere Herrn Dr. Michael Bilharz vom Umweltbundesamt für seine unkomplizierte Art der Betreuung und konstruktivem Diskurs. Außerdem bedanken wir uns bei Herrn Dr. Hans Marten Paulsen vom Thünen-Institut für Ökologischen Landbau für seinen großartigen Einsatz bei der Bereitstellung von Daten zur Fütterung von Milchkühen [Paulsen 2020]. Des Weiteren danken wir unseren ifeu-Kolleg*innen Marie Hemmen, Heiko Keller, Nils Rettenmaier und Christina Zinke für ihre wertvollen Hinweise und tatkräftige Unterstützung an dieser Studie.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Ziel	4
2	Betrachtete Lebensmittel	5
3	Methodik	5
4	Ergebnisse	7
4.1	Ergebnisse: CO ₂ -Fußabdrücke	8
4.1.1	Obst und Gemüse	8
4.1.2	Milchprodukte, Eier und Milchersatzprodukte	11
4.1.3	Fleisch und alternative Proteinlieferanten	13
4.1.4	Stärke-, öl- oder zuckerhaltige Produkte	15
4.1.5	Getränke	17
4.1.6	Gerichte	18
4.2	Ergebnisse: Diverse ökologische Fußabdrücke	19
4.3	Hinweise zur Verwendung und Interpretation der Ergebnisse	21
5	Literatur	22

1 Hintergrund und Ziel

In den letzten Jahren sind die Umweltauswirkungen von Lebensmittelproduktion und -konsum verstärkt in den Fokus des öffentlichen Interesses gerückt. Dazu zählt insbesondere auch der CO₂-Fußabdruck von Lebensmitteln. Es zeigt sich jedoch, dass die vorhandenen Daten zu den CO₂-Fußabdrücken von Lebensmitteln teilweise deutlich auseinander liegen. Dazu gehören beispielsweise die öffentlich verfügbaren Daten aus der World Food LCA Database [World Food LCA Database 2015], dem Klimatarier-Rechner [ifeu 2016] und der Gerichte-Applikation [Eyrich et al. 2019]. Die Hintergründe für die unterschiedlichen Ergebnisse sind Ökobilanzexperten geläufig, im Regelfall nicht aber der breiten Öffentlichkeit.

Darüber hinaus gelangen neben dem CO₂-Fußabdruck zunehmend auch weitere, wichtige Umweltauswirkungen der Lebensmittelproduktion in die Diskussion, nämlich die Verfügbarkeit von Ressourcen zu deren Produktion. Die weltweit hierfür zur Verfügung stehenden Ressourcen, insbesondere von Wasser, Flächen und Rohphosphat, stoßen vielerorts mittlerweile an die Grenze ihrer Verfügbarkeit oder haben sie bereits überschritten, wie man an vielen Konkurrenzen und Konflikten erkennen kann.

Ziel dieser Expertise ist es daher, interessierte Leser*innen für die beiden o. g. Themen zu sensibilisieren. Hierfür werden die folgenden drei Schwerpunkte thematisiert und mit vielen Beispielen hinterlegt:

- Schwerpunkt 1 thematisiert den Einfluss unterschiedlicher Lebensmittel-Bereitstellungsprozesse auf die Umweltauswirkungen, einschließlich einer Betrachtung von Teilaspekten wie Verpackung, Transporte, usw. Dadurch sollen Leser*innen oder Anwender*innen in die Lage versetzt werden zu erkennen, dass es nicht einen einzigen CO₂-Fußabdruck eines Lebensmittels geben kann, sondern dass dieser von unterschiedlichen Randbedingungen abhängen kann: zum Beispiel von der Art der landwirtschaftlichen Produktion (konventioneller oder ökologischer Landbau), der gewählten Systemgrenze (Lebensmittel an der Supermarktkasse oder fertig zubereitet auf dem Teller), der Verpackungsart (Glas oder Verbundkarton) und vielem mehr. Dazu werden für knapp 200 Lebensmittel insbesondere folgende Teilaspekte des CO₂-Fußabdrucks im Einzelnen betrachtet:
 - Konventioneller bzw. ökologischer Landbau
 - Durchschnittliche bzw. saisonale / regionale Produktion
 - Inländische Produktion bzw. Import per Lkw, Schiff oder Flugzeug
 - Unterschiedliche Lebensmittelverpackungen
 - Frischware bzw. Tiefkühlware.
- Schwerpunkt 2 widmet sich der Tatsache, dass neben dem CO₂-Fußabdruck weitere wichtige ökologische Fußabdrücke mit der Produktion von Lebensmitteln verbunden sein können. Zu diesem Zweck werden für eine Reihe von Lebensmitteln die Phosphat-, Flächen- und Wasser-Fußabdrücke ebenfalls exemplarisch dargestellt.
- Unter Schwerpunkt 3 werden – zusätzlich zu den genannten Fußabdrücken für einzelne Lebensmittel – CO₂-Fußabdrücke für ausgewählte, fertig zubereitete Gerichte (Systemgrenze Teller) dargestellt. Zum einen soll dadurch der teils erhebliche Einfluss der Zubereitung exemplarisch dargestellt werden, zum anderen aber auch die möglichen Auswirkungen von Rezeptveränderungen (wie Soja- statt Fleischbolognese oder Nudeln statt Reis) auf die Gesamtbilanz.

Neben der Sensibilisierung für diese Themen soll Leser*innen oder Anwender*innen auch die Möglichkeit gegeben werden, Werte für eine Vielzahl von ausgewählten Lebensmitteln sachgerecht nutzen zu können, z. B. zur Einschätzung der Umweltfolgen von Ernährungsoptionen in Deutschland. Entsprechende Hinweise zur Verwendung der Werte sind daher ebenfalls in dieser Studie enthalten.

2 Betrachtete Lebensmittel

Für die plakative Darstellung der Ergebnisunterschiede wurden knapp 200 unterschiedliche Lebensmittel mit unterschiedlichen Differenzierungen (Anbau, Verpackung, Import etc., siehe oben) ausgewählt.

Aus Gründen der Darstellung wurden diese in folgende Gruppen unterteilt:

- Obst und Gemüse
- Milchprodukte, Eier und Milchersatzprodukte
- Fleisch und alternative Proteinlieferanten
- Stärke-, öl- oder zuckerhaltige Produkte
- Getränke.

Bei allen Gruppen wurden diverse Differenzierungen vorgenommen, die innerhalb der jeweiligen Gruppe besonders ausgeprägt sind. Diese sind in den jeweiligen Ergebnisdarstellungen ausgewiesen.

3 Methodik

Die folgenden methodischen Elemente gelten für die Berechnung aller hier untersuchten ökologischen Fußabdrücke:

- **Systemgrenze „Supermarktkasse“:** Die Systemgrenze umfasst die landwirtschaftliche Produktion inklusive aller vorgelagerten Prozesse wie z. B. Düngemittelproduktion, die Lebensmittelverarbeitung (u. a. Waschen, Sortieren und ggf. Konservieren), die Verpackung (inklusive Entsorgung derselben) sowie die Distribution der einzelnen Lebensmittel (siehe Abbildung 1).
- **Systemgrenze „fertig zubereitet auf dem Teller“:** Ausschließlich für die angefragten *Gerichte* sind auch eine Einkaufsfahrt durch den Endverbraucher berücksichtigt sowie die Küchenprozesse beim Endverbraucher, was insbesondere Kühlung, Zubereitung und Spülen umfasst.

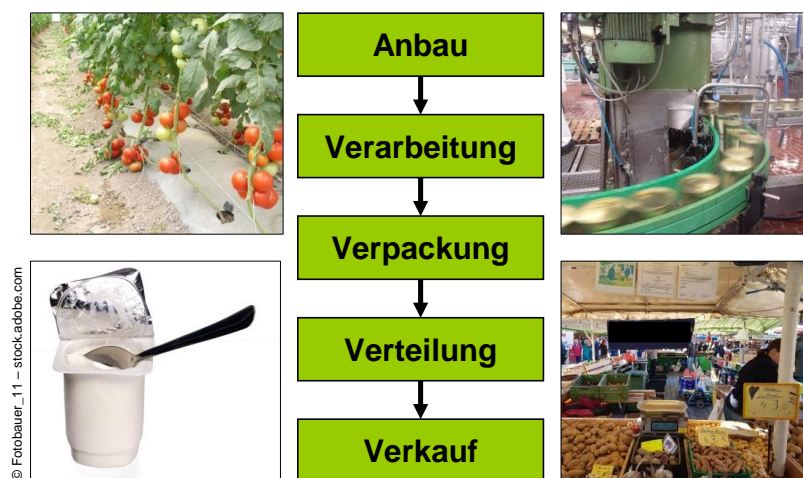


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der jeweiligen lebensmittelspezifischen Produktsysteme. Die an mehreren Stellen stattfindenden Transporte sind in diesem vereinfachten Schema nicht dargestellt.

- **Bezugseinheit Lebensmittel:** Die jeweiligen ökologischen Fußabdrücke der einzelnen Lebensmittel werden auf 1 Kilogramm des Lebensmittels „an der Supermarktkasse“ bezogen. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass ein Vergleich pro Kilogramm Lebensmittel nur dann sinnvoll ist, wenn die betrachteten Lebensmittel eine identische ernährungsphysiologische Funktion erfüllen. Näherungsweise sind Vergleiche mittels einer zweckmäßigen Bezugsgröße wie z. B. Eiweißgehalt möglich, die die Hauptfunktion der verglichenen Lebensmittel in der Ernährung widerspiegeln (siehe auch Kapitel 4.3).
- **Bezugseinheit Gerichte:** Für die Gerichte erfolgt der Bezug auf 1 Portion des jeweiligen Gerichts.
- **Methodischer Rahmen:** Die ISO-Normen 14040 und 14044 zur Produktökobilanzierung [ISO 2006a; b] dienen als methodischer Rahmen für die Erstellung aller hier untersuchten ökologischen Fußabdrücke. Es wurde eine sogenannte attributive Bilanzierung gewählt.
- **Repräsentation eines durchschnittlichen Lebensmittels:** Die Lebensmittel repräsentieren – sofern nicht anders ausgewiesen – jeweils ein durchschnittliches in Deutschland verkauftes Lebensmittel, d. h. die Berechnung erfolgt entsprechend gewichtet nach
 - dem Eigenproduktions- bzw. Importanteil
 - der Importzusammensetzung aus den unterschiedlichen Ländern
 - den Anbaumethoden (Freiland, Gewächshaus) über alle Monate eines Jahres (u. a. saisonaler / nicht-saisonaler Anbau) sowie
 - den jeweiligen Transporten wie z. B. anteilig See- und Lufttransport.
- **Abbildung von Transportprozessen auf Basis des aktuellen TREMOD-Modells:** Die mit Transportprozessen verbundenen Treibhausgasemissionen werden auf Basis des aktuellen TREMOD-Modells [ifeu 2020] und den dem Modell zugrunde liegenden jüngsten vorliegenden Fahrzeugdaten berechnet.
- **Abbildung der Küchenprozesse für einen 4-Personen-Haushalt:** Für die Berechnung der CO₂-Fußabdrücke von verzehrfertigen Gerichten wurde angesetzt, dass die Küchenprozesse in einem 4-Personen-Haushalt stattfinden. Das bedeutet u. a., dass die Effizienz für Zubereitungsprozesse (Kochen, Backen, Mixen, usw.) besser ist als in einem Single-Haushalt, aber schlechter als in einer Großküche. Für die Bilanzierung der Gerichte wurden bei den Emissionen, die mit den Küchenprozessen wie z. B. Kühlung, Lagerung, Zubereitung und Spülen verbunden sind, u. a. die durchschnittliche Lagerdauer im Kühlschrank bzw. im Gefrierfach, durchschnittliche Zubereitungsprozesse sowie Energieverbräuche der Geräte (wie z. B. Spülmaschine) berücksichtigt.

CO₂-Fußabdruck:

- Gemäß ISO 14067 zum Carbon Footprint von Produkten [ISO 2018] sind alle Treibhausgasemissionen berücksichtigt, darunter neben Kohlenstoffdioxid (CO₂) insbesondere auch Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O), und mittels Umrechnungsfaktoren auf CO₂-Äquivalente bezogen [IPCC 2013].
- Landnutzungsänderungen und damit verbundene Treibhausgasemissionen, insbesondere solche, die durch das Abholzen von Wäldern zur Gewinnung von landwirtschaftlicher Fläche entstehen, wurden mit einem sogenannten attributiven Landnutzungsänderungs-Ansatz berücksichtigt, Details siehe [Fehrenbach et al. 2020].
- Insgesamt wurden 188 Lebensmittel und 8 Gerichte bilanziert. Der CO₂-Fußabdruck ist für alle diese Lebensmittel und Gerichte berechnet. Der Phosphat-, Flächen- und Wasser-Fußabdruck sowie der Energiebedarf wurde für 35 ausgewählte Lebensmittel ermittelt. Zahlreiche Lebensmittel sind in unterschiedlichen Varianten berechnet, z. B. „Rosenkohl, frisch“ und „Rosenkohl, tiefgekühlt“. Bei zwei der acht Gerichte wurden insgesamt 11 optimierte Varianten bilanziert. Die vollständigen Listen sind in Tabelle 1 - Tabelle 7 aufgeführt.

Phosphat-Fußabdruck:

- Phosphat ist eine global erschöpfliche Ressource. Es wird in der Regel im Bergbau außerhalb Deutschlands gewonnen. Zum Phosphat-Fußabdruck der Lebensmittel trägt hauptsächlich das Phosphat bei,

das als Düngemittel für die landwirtschaftliche Produktion benötigt wird. Hinzu kommen Phosphate, die verarbeiteten Lebensmitteln zugesetzt werden. Details siehe [Reinhardt et al. 2019].

- Die Ergebniswerte für die 35 ausgewählten Lebensmittel in Tabelle 7 sind in Gramm Phosphatgestein-Äquivalenten angegeben. Damit wird die Masse an phosphathaltigem Gestein bezeichnet, die für 1 Kilogramm des Lebensmittels verbraucht wird.

Flächen-Fußabdruck:

- Bei der Berechnung erfolgt eine Gewichtung der unterschiedlichen benötigten Flächen nach ihrer jeweiligen Distanz zu einem natürlichen Zustand. Details siehe [Fehrenbach et al. 2019].
- Die Ergebniswerte für die 35 ausgewählten Lebensmittel in Tabelle 7 sind in Quadratmeter-Jahren Naturflächenbelegung angegeben. Dafür werden alle jeweils unterschiedlich genutzten Flächen eines Lebenswegs (wie für Landwirtschaft, Straßen, Industrieflächen) in Äquivalente vollständig versiegelten¹ Flächen umgerechnet, die für das jeweilige Lebensmittel ein Jahr lang belegt werden.²

Wasser-Fußabdruck:

- Bei der Berechnung erfolgt eine Gewichtung der unterschiedlichen verbrauchten Wassermengen nach der Wasserknappheit, die in dem jeweiligen Land herrscht, in dem der Verbrauch stattfindet. Dieses und weitere methodische Elemente sind weitestgehend an die AWARE-Methode angelehnt [Boulay et al. 2018].
- Die Ergebniswerte für die 35 ausgewählten Lebensmittel in Tabelle 7 sind in Litern Wasser-Äquivalenten angegeben. Damit wird das Äquivalent an Wasservolumen von durchschnittlicher Knappheit bezeichnet, das für das Lebensmittel benötigt wird.

Energiebedarf:

- Es wird der Kumulierte Energieaufwand (Primärenergie) berechnet, der aus nicht-erneuerbaren Ressourcen gedeckt wird ($KEA_{\text{nicht-erneuerbar}}$), siehe z. B. [VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 2012].
- Die Ergebniswerte für die 35 ausgewählten Lebensmittel in Tabelle 7 sind in Kilowattstunden Primärenergie-Äquivalenten angegeben.

4 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel 4.1 sind die berechneten CO₂-Fußabdrücke dargestellt. Kapitel 4.1.1 - 4.1.5 enthalten dabei die CO₂-Fußabdrücke der ausgewählten Lebensmittel. Die ausgewählten Gerichte sind in Kapitel 4.1.6 dargestellt. Der Phosphat-, Flächen- und Wasser-Fußabdruck sowie der Energiebedarf der 35 ausgewählten Lebensmittel ist in Kapitel 4.2 aufgeführt. In Kapitel 4.3 sind abschließend noch Hinweise zur Verwendung und Interpretation der Ergebnisse zusammengefasst.

¹ z. B. mit Asphalt versiegelte Flächen. Fachbegriff: artifizielle Flächen.

² Beispielsweise tragen zum Flächen-Fußabdruck von 1 kg Rübenzucker aus konventionellem Anbau u. a. der landwirtschaftliche Anbau und die Zuckerfabrikation bei. Für den Anbau werden ca. 0,9 m² ein Jahr lang belegt. Konventioneller Zuckerrübenanbau wird als intensivste landwirtschaftliche Nutzung eingestuft und daher mit dem Faktor 0,5 multipliziert (Details u. a. in Bezug auf die Hemerobieklassen siehe [Fehrenbach et al. 2019]). Darüber hinaus werden pro Kilogramm Zucker ca. 0,0005 m² Industriefläche für die Zuckerfabrikation belegt. Die versiegelte Fläche wird aufgrund der maximalen Naturferne mit dem Faktor 1,0 multipliziert. Die Industriefläche wird also doppelt so stark gewichtet wie die Anbaufläche, trägt aber trotzdem mit deutlich weniger als 1 % zum Gesamt-Flächenfußabdruck bei.

4.1 Ergebnisse: CO₂-Fußabdrücke

4.1.1 Obst und Gemüse

Im Folgenden sind die CO₂-Fußabdrücke von zahlreichen Obst- und Gemüseprodukten dargestellt. Die Lebensmittelvarianten umfassen dabei insbesondere unterschiedliche Anbaumethoden, saisonale bzw. nicht-saisonale Produktion, Import aus bestimmten Ländern bzw. Eigenproduktion, unterschiedliche Verpackungsformen sowie Frischware im Vergleich zu Tiefkühlware.



© eyetronic / Fotolia.de

Tabelle 1: CO₂-Fußabdrücke von ausgewählten Obst- und Gemüseprodukten „an der Supermarktkasse“ in Deutschland in Kilogramm CO₂-Äquivalenten pro Kilogramm Lebensmittel. Bezugsjahr: 2019.

Nr.	Lebensmittel	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq. / kg Lebensmittel]
1	Ananas, frisch, gemäß realem Transport-Durchschnitt	0,9
2	Ananas, per Schiff	0,6
3	Ananas, per Flugzeug	15,1
4	Ananas, Dose	1,8
5	Apfel, Durchschnitt	0,3
6	Apfel, aus der Region im Herbst	0,3
7	Apfel, aus der Region im April	0,4
8	Apfel (Bio), Durchschnitt	0,2
9	Apfel, aus Neuseeland	0,8
10	Aubergine	0,2
11	Avocado, Durchschnitt	0,6
12	Avocado, aus Peru	0,8
13	Avocado (Bio), aus Peru	0,8
14	Banane	0,6
15	Birne	0,3
16	Blumenkohl	0,2
17	Bohnen, frisch	0,8
18	Bohnen, Dose	1,3

Nr.	Lebensmittel	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq. / kg Lebensmittel]
19	Brokkoli, frisch	0,3
20	Brokkoli, gefroren	0,7
21	Champignons, frisch, hell oder dunkel	1,3
22	Champignons, Dose	2,4
23	Erbsen, frisch, grün, in Schoten	0,4
24	Erbsen, getrocknet	2,3
25	Erbsen, gefroren	1,2
26	Erbsen, grün, Dose	1,7
27	Erbsen, grün, Glas	1,7
28	Erdbeeren, frisch, Durchschnitt	0,3
29	Erdbeeren, frisch, aus der Region, saisonal	0,3
30	Erdbeeren, frisch, aus Spanien	0,4
31	Erdbeeren, gefroren	0,7
32	Erdbeeren, frisch, „Winter-Erdbeeren“	3,4
33	Feldsalat	0,3
34	Fenchel	0,2
35	Grünkohl, frisch	0,3
36	Grünkohl, Glas	0,9
37	Karotten	0,1
38	Kartoffeln, frisch	0,2
39	Kartoffeln (Bio)	0,2
40	Kartoffelpüreepulver	0,9
41	Kichererbsen, Dose	1,3
42	Kohlrabi	0,2
43	Kürbis	0,2
44	Lauch	0,2
45	Leinsamen	1,4
46	Linsen, getrocknet	1,2
47	Linsen (Bio), getrocknet	1,7
48	Linsen, Dose	1,7
49	Mais, Dose	1,2
50	Orange / Apfelsine	0,3
51	Paprika	0,6
52	Pfirsich, frisch	0,2
53	Pfirsich, Dose	1,6
54	Rettich	0,2

Nr. Lebensmittel	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq. / kg Lebensmittel]
55 Rosenkohl, frisch	0,3
56 Rosenkohl, gefroren	0,6
57 Rote Beete, frisch	0,2
58 Rote Beete, Glas	1,3
59 Rotkohl, frisch	0,2
60 Rotkohl, Glas	0,7
61 Rucola	0,3
62 Salatgurke mit Plastikfolienverpackung	0,4
63 Salatgurke, ohne Plastikfolienverpackung	0,4
64 Salatgurke (Bio), mit Plastikfolienverpackung	0,4
65 Salatgurke (Bio), ohne Plastikfolienverpackung	0,4
66 Salatmischung, gewaschen	0,4
67 Sellerie	0,2
68 Spargel	0,7
69 Spinat, frisch	0,2
70 Spinat, Blattspinat, gefroren	0,6
71 Tomaten, frisch, Durchschnitt	0,8
72 Tomaten, aus Deutschland, saisonal	0,3
73 Tomaten, aus Südeuropa, Freiland	0,4
74 Tomaten (Bio), frisch	1,1
75 Tomaten, Kirschtomaten	0,9
76 Tomaten, aus Deutschland, beheiztes Gewächshaus, „Winter-Tomate“	2,9
77 Tomaten, passiert, Verbundkarton	1,6
78 Tomaten, passiert, Dose	1,8
79 Tomaten, passiert, Glas	1,9
80 Tomatenmark	4,3
81 Trauben, frisch, Durchschnitt	0,4
82 Trauben, frisch, aus Deutschland, saisonal	0,3
83 Trauben, frisch, aus Italien, saisonal	0,3
84 Weißkohl	0,1
85 Zucchini	0,2
86 Zwiebeln	0,2

4.1.2 Milchprodukte, Eier und Milchersatzprodukte

Im Folgenden sind die CO₂-Fußabdrücke von zahlreichen Milch-, Ei- und Milchersatzprodukten dargestellt. Die Lebensmittelvarianten umfassen dabei insbesondere unterschiedliche Bewirtschaftungsformen (konventionell, bio), Fettgehalte der unterschiedlichen Produkte (Vollfett, fettarm, mager) und Verpackungsvarianten.



© Marazem / Dreamstime.com

Tabelle 2: CO₂-Fußabdrücke von ausgewählten Milch-, Ei- und Milchersatzprodukten „an der Supermarktkasse“ in Deutschland in Kilogramm CO₂-Äquivalenten pro Kilogramm Lebensmittel. Bezugsjahr: 2019.

Nr.	Lebensmittel	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq. / kg Lebensmittel]
1	Butter	9,0
2	Butter (Bio)	11,5
3	Ei	3,0
4	Joghurt, natur, Kunststoffbecher papierummantelt	1,7
5	Joghurt, Früchte, Kunststoffbecher papierummantelt	1,7
6	Joghurt (Bio), natur, Kunststoffbecher papierummantelt	1,9
7	Joghurt-Ersatz, Soja, Kunststoffbecher papierummantelt	0,6
8	Käse, Durchschnitt	5,7
9	Käse (Bio), Durchschnitt	7,2
10	Käse, Frischkäse	5,5
11	Käse (Bio), Frischkäse	6,9
12	Käse, Feta	7,0
13	Käse, Hartkäse, wie Emmentaler	6,0
14	Käse, Hartkäse, wie Parmesan	6,3
15	Käse-Ersatz, vegane Genießerscheiben, auf Basis von Kokosfett	2,0
16	Milch, ESL, Vollmilch, Verbundkarton	1,4
17	Milch, ESL, fettarm, Verbundkarton	1,2
18	Milch, H-Milch, Vollmilch, Verbundkarton	1,3
19	Milch, H-Milch, fettarm, Verbundkarton	1,1
20	Milch (Bio), ESL, Vollmilch, Verbundkarton	1,7

Nr.	Lebensmittel	CO₂-Fußabdruck [kg CO₂-Äq. / kg Lebensmittel]
21	Milch-Ersatz, Dinkeldrink	0,3
22	Milch-Ersatz, Haferdrink	0,3
23	Milch-Ersatz, Mandeldrink	0,3
24	Milch-Ersatz, Sojadrink	0,4
25	Quark, 40 % Fett	3,3
26	Quark (Bio), 40 % Fett	4,1
27	Quark, Magerquark, 10 % Fett	2,4
28	Quark-Ersatz, Soja	0,7
29	Sahne	4,2
30	Sahne (Bio)	5,3
31	Sahne-Ersatz, Hafer Cuisine	0,6
32	Saure Sahne	3,0

4.1.3 Fleisch und alternative Proteinlieferanten

Im Folgenden sind die CO₂-Fußabdrücke von zahlreichen Fleischprodukten und Fleischersatzprodukten dargestellt. Die Lebensmittelvarianten umfassen dabei insbesondere unterschiedliche Bewirtschaftungsformen (konventionell, bio), Verarbeitungsgrade (Filet, Bratwurst, Wurstaufschnitt, Nugget), Import aus bestimmten Ländern bzw. Eigenproduktion sowie Frischware im Vergleich zu Tiefkühlware.



© anusorn – stock.adobe.com

Tabelle 3: CO₂-Fußabdrücke von ausgewählten Fleisch- und Fleischersatzprodukten „an der Supermarktkasse“ in Deutschland in Kilogramm CO₂-Äquivalenten pro Kilogramm Lebensmittel. Bezugsjahr: 2019.

Nr.	Lebensmittel	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq. / kg Lebensmittel]
1	Bratling/Veggieburger/Patty auf Sojabasis	1,1
2	Bratling/Veggieburger/Patty auf Erbsenbasis	1,8
3	Fisch, Wildfang, Massenware, gefroren	2,4
4	Fisch, Wildfang, Spezialität, gefroren	10,0
5	Fisch, Aquakultur	5,1
6	Fisch, Garnelen, gefroren	12,5
7	Fisch, Wildfang, frisch	4,0
8	Gemüsenugget /-schnittel	1,3
9	Hähnchen, Durchschnitt	5,5
10	Hähnchen, gefroren	5,7
11	Hähnchen, Nuggets	3,3
12	Hähnchen, Wurstaufschnitt	2,9
13	Lupinenmehl	0,4
14	Rindfleisch, Durchschnitt ³	13,6
15	Rindfleisch (Bio) ³	21,7
16	Rinder-Hackfleisch ⁴	9,2
17	Rinder-Hackfleisch (Bio) ⁴	15,1
18	Rinder-Patty/-Bratling, tiefgekühlt	9,0

³ Sowohl konventionelles Rindfleisch (11 bis >30 kg CO₂-Äq. / kg Lebensmittel) als auch Bio-Rindfleisch (16 bis >30 kg CO₂-Äq. / kg Lebensmittel) weisen große Bandbreiten auf, wobei Bio-Rindfleisch tendenziell etwas schlechter abschneidet.

⁴ Verarbeitungsfleisch wie Hackfleisch weist einen geringeren CO₂-Fußabdruck auf als Edelfleisch; auch die Bandbreite ist geringer: 7 bis 26 kg CO₂-Äq. / kg Lebensmittel für konventionelles Rinder-Hackfleisch.

Nr.	Lebensmittel	CO₂-Fußabdruck [kg CO₂-Äq. / kg Lebensmittel]
19	Schweinefleisch, Durchschnitt	4,6
20	Schweinefleisch (Bio)	5,2
21	Schweinefleisch, gefroren	4,6
22	Seitan	2,5
23	Sojagranulat, Textured Vegetable Protein (TVP)	1,0
24	Tempeh	0,7
25	Tofu	1,0
26	Wildfleisch, Hirsch ⁵	11,5
27	Wurst, Bratwurst, Thüringer Rostbratwurst	2,9
28	Wurst-Ersatz, vegane Bratwurst	1,7
29	Wurstaufschnitt vom Rind, Aufschnitt	7,9

⁵ In diesen Durchschnittswert geht insbesondere Wildfleisch ein, das durch landwirtschaftliche Gatterhaltung produziert und teilweise aus Übersee importiert wird, beispielsweise in Neuseeland produziertes Hirschfleisch.

4.1.4 Stärke-, öl- oder zuckerhaltige Produkte

Im Folgenden sind die CO₂-Fußabdrücke von zahlreichen stärke-, öl- bzw. zuckerhaltigen Produkten dargestellt. Die Lebensmittelvarianten umfassen dabei insbesondere unterschiedliche Anbaumethoden (konventionell, bio), unterschiedliche Fettstufen (Vollfett, Halbfett), unterschiedliche Verpackungsformen sowie Frischware im Vergleich zu Tiefkühlware.



© ratmaner – stock.adobe.com

Tabelle 4: CO₂-Fußabdrücke von ausgewählten stärke-, öl- bzw. zuckerhaltigen Produkten „an der Supermarktkasse“ in Deutschland in Kilogramm CO₂-Äquivalenten pro Kilogramm Lebensmittel. Bezugsjahr: 2019.

Nr.	Lebensmittel	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq. / kg Lebensmittel]
1	Brot, Mischbrot	0,6
2	Brot (Bio), Mischbrot	0,6
3	Brötchen, Weißbrot	0,7
4	Bulgur	0,6
5	Dinkel, Reisersatz	0,7
6	Erdnüsse, in Schale	0,8
7	Erdnussbutter	2,0
8	Feinbackwaren	1,6
9	Gnocchi	0,6
10	Haferflocken	0,6
11	Honig, Glas	2,0
12	Kokosöl	2,3
13	Margarine, halbfett	1,7
14	Margarine, vollfett	2,8
15	Margarine (Bio), vollfett	2,5
16	Nudeln	0,7
17	Nudeln (Bio)	0,8
18	Olivenöl, Glaseinwegflasche	3,2
19	Palmfett ⁶	2,9
20	Pommes, tiefgekühlt	0,7

⁶ Dieser CO₂-Fußabdruck hängt wegen der sehr unterschiedlichen Entwaldung in den einzelnen Herkunftsländern stark vom Importmix und der ökobilanziellen Bewertung der Entwaldung ab.

Nr.	Lebensmittel	CO₂-Fußabdruck [kg CO₂-Äq. / kg Lebensmittel]
21	Rapsöl, Glaseinwegflasche	3,3
22	Reis	3,1
23	Schokolade, Vollmilchschokolade, Tafel, 35 % Kakaogehalt	4,1
24	Sonnenblumenkerne	1,5
25	Sonnenblumenöl, Glaseinwegflasche	3,2
26	Walnüsse, in Schale	0,9
27	Zucker, Rübenzucker	0,7
28	Zucker (Bio), Rübenzucker	0,5
29	Zucker, Rohrzucker	1,0
30	Zucker (Bio), Rohrzucker	0,9

4.1.5 Getränke

Im Folgenden sind die CO₂-Fußabdrücke von einigen Getränken dargestellt. Die Lebensmittelvarianten konzentrieren sich dabei auf unterschiedliche Verpackungsformen.



© stokkete – stock.adobe.com

Tabelle 5: CO₂-Fußabdrücke von ausgewählten Getränken „an der Supermarktkasse“ in Deutschland in Kilogramm CO₂-Äquivalenten pro Kilogramm Lebensmittel. Bezugsjahr: 2019.

Nr.	Lebensmittel	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq. / kg Lebensmittel]
1	Bier, 0,5 L-Glasmehrwegflasche	0,9
2	Bier, 0,5 L-Weißblechdose	1,0
3	Kaffee, Pulver	5,6
4	Kakao, Pulver	5,0
5	Limonade, Orangenlimonade, 0,75 L-Einwegplastikflasche	0,4
6	Mineralwasser, 0,7 L-Glasmehrwegflasche	0,2
7	Saft, Orangensaft, 1,0 L-Verbundkarton	0,7
8	Saft, Apfelsaft, 1,0 L-Glasmehrwegflasche	0,4
9	Saft, Apfelsaft, 1,0 L-Verbundkarton	0,4
10	Wasser, Leitungswasser	0,0
11	Wein, 0,75 L-Glaseinwegflasche	1,0

4.1.6 Gerichte

Im Folgenden sind die CO₂-Fußabdrücke von einigen ausgewählten Gerichten dargestellt. Die Auswahl soll exemplarisch aufzeigen,

- welche Einsparpotentiale sich bei gängigen Gerichten durch die Substitution bestimmter Lebensmittel erreichen lassen können,
- und außerdem die Bandbreite darstellen, innerhalb derer die Treibhausgasemissionen von fleischhaltigen, vegetarischen und veganen Gerichten liegen können.



© Anatoly Repin – stock.adobe.com

Tabelle 6: CO₂-Fußabdrücke von 8 verzehrfertigen Gerichten „fertig zubereitet auf dem Teller“ in Kilogramm CO₂-Äquivalenten pro Portion. Die Küchenprozesse sind für einen 4-Personen-Haushalt abgebildet (siehe Kapitel 3). Die Maßnahmen bei Gerichten 1 und 2 geben jeweils den Wert des Gerichts mit der durchgeführten Maßnahme an. Bezugsjahr: 2019.

	CO₂-Fußabdruck [kg CO₂-Äq. / Portion]
Maßnahmen	
Gericht 1: Rinderfrikadelle mit Reis und frischen Erbsen	2,0
mit Maßnahme 1: Hähnchenbrustfilet statt Rinderfrikadelle	1,3
mit Maßnahme 2: Veggieburger auf Sojabasis statt Rinderfrikadelle	1,0
mit Maßnahme 3: Nudeln statt Reis	1,9
mit Maßnahme 4: Kartoffeln statt Reis	1,9
mit Maßnahme 5: Tiefgefrorene Erbsen statt frische Erbsen	2,0
mit Maßnahme 6: Frische Karotten statt frische Erbsen	1,9
Gericht 2: Lasagne	1,6
mit Maßnahme 1: Schweinegehacktes statt Rindergehacktes	1,0
mit Maßnahme 2: Sojagranulat statt Rindergehacktes	0,7
mit Maßnahme 3: Vegane Genießerscheiben auf Kokosfettbasis statt Käse	1,5
mit Maßnahme 4: Haferdrink statt Kuhmilch	1,5
mit Maßnahme 5: Passierte Tomaten aus Verbundkarton statt aus Dose	1,5
Fleischhaltig: hohe und niedrige CO₂-Fußabdrücke	
Gericht 3: Rindergulasch	2,6
Gericht 4: Seelachsfilet mit Blumenkohl und Couscous	0,6
Vegetarisch: hohe und niedrige CO₂-Fußabdrücke	
Gericht 5: Reis-Gemüse-Auflauf	1,0
Gericht 6: Spaghetti mit Paprikarahmsauce	0,6
Vegan: hohe und niedrige CO₂-Fußabdrücke	
Gericht 7: Sojabolognese mit Reis	0,9
Gericht 8: Penne Napoli	0,6

4.2 Ergebnisse: Diverse ökologische Fußabdrücke

Im Folgenden sind die Phosphat-, Flächen- und Wasser-Fußabdrücke sowie die Energiebedarfe von insgesamt 35 ausgewählten Lebensmitteln dargestellt. Die Lebensmittel sind so ausgewählt, dass Einträge zu möglichst allen unterschiedlichen Lebensmittelkategorien enthalten sind.



© Arcady – stock.adobe.com

Tabelle 7: Phosphat-, Flächen- und Wasser-Fußabdrücke sowie Energiebedarfe ausgewählter Lebensmittel „an der Supermarktkasse“ in Deutschland, jeweils pro Kilogramm Lebensmittel (LM). Bezugsjahr: 2019.

Nr.	Lebensmittel	Phosphat-	Flächen-	Wasser-	Energie-
		Fußabdruck [g Phosphatge- stein-Äq. / kg LM]	Fußabdruck [m ² · a Naturflächen- belegung ⁷ / kg LM]	Fußabdruck [L Wasser- Äq. / kg LM]	bedarf [kWh Primärener- gie-Äq. / kg LM]
1	Apfel, Durchschnitt	1	0,1	1.500	0,8
2	Brot, Mischbrot	30	0,3	600	2
3	Butter	100	3	10.000	10
4	Dinkel, Reisersatz	30	0,6	600	1,5
5	Ei	10	3	900	6
6	Fisch, Wildfang, Massenware, gefroren	1	0	80	10
7	Fisch, Wildfang, Spezialität, gefroren	2	0	100	40
8	Fisch, Aquakultur	20	3	15.000	15
9	Gemüsenugget /-schnittel	20	0,5	1.000	5
10	Hähnchen, Durchschnitt	60	4	20.000	10
11	Joghurt-Ersatz, Soja, Kunst- stoffbecher papierummantelt	1	0,3	3.000	3
12	Kartoffeln, frisch	6	0,1	100	2
13	Käse, Durchschnitt	60	1,5	6.000	8
14	Margarine, vollfett	100	0,9	3.000	4
15	Milch, ESL, Vollmilch, Ver- bundkarton	20	0,5	2.000	2
16	Milch-Ersatz, Haferdrink	8	0,2	300	3
17	Milch-Ersatz, Sojadrink	8	0,3	3.000	1,5
18	Nudeln	40	0,4	600	2

⁷ siehe Abschnitt „Flächen-Fußabdruck“ in Kapitel 3 und das dort aufgeführte Beispiel.

Nr.	Lebensmittel	Phosphat-	Flächen-	Wasser-	Energie-
		Fußabdruck [g Phosphatge- stein-Äq. / kg LM]	Fußabdruck [m ² · a Naturflächen- belegung / kg LM]	Fußabdruck [L Wasser- Äq. / kg LM]	bedarf [kWh Primärener- gie-Äq. / kg LM]
19	Olivenöl, Glaseinwegflasche ⁸	300	3	900.000	10
20	Orange/Apfelsine	2	0,1	15.000	1
21	Saft, Orangensaft, Verbundkar- ton	5	0,2	40.000	3
22	Quark, 40 % Fett	30	0,8	3.000	6
23	Rapsöl, Glaseinwegflasche	150	2	800	5
24	Reis	30	0,7	60.000	5
25	Rinder-Hackfleisch	50	5	15.000	6
26	Rindfleisch	70	7	20.000	8
27	Sahne-Ersatz, Hafer Cuisine	20	0,3	800	1,5
28	Seitan	200	2	3.000	5
29	Sojagranulat, Textured Vege- table Protein (TVP)	15	2	30.000	3
30	Sonnenblumenkerne	70	0,5	7.000	2
31	Sonnenblumenöl, Glaseinweg- flasche	200	1	7.000	5
32	Tofu	3	0,5	7.000	3
33	Tomaten, frisch, Durchschnitt	2	0,1	1.000	1,5
34	Wurstaufschnitt vom Rind, Aufschnitt	60	4	10.000	6
35	Zucker, Rübenzucker	20	0,5	90	2

⁸ Die Umweltlasten der Olivenproduktion werden nahezu vollständig dem Olivenöl zugerechnet, da vielfach keine hochwertige Nutzung der Koppelprodukte, insbesondere der Pressrückstände, stattfindet. Bei Raps- und Sonnenblumenöl dagegen wird der Presskuchen als hochwertiges Futtermittel verwendet, welches damit einen Teil der Umweltlasten trägt. Beim hohen Wasser-Fußabdruck kommt darüber hinaus noch hinzu, dass Oliven in Ländern mit hoher Wasserknappheit angebaut werden.

4.3 Hinweise zur Interpretation und Verwendung der Ergebnisse

Folgende Hinweise sollten bei der Verwendung und Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden:

- **Abweichungen zu Literaturwerten u. a. aufgrund von Landnutzungsänderungen:** Die in Tabelle 1 - Tabelle 5 dargestellten CO₂-Fußabdrücke weichen teilweise deutlich von den Werten ab, die in der Literatur aufgeführt sind, z. B. von den Werten, die im Klimatarier-Rechner [ifeu 2016] hinterlegt sind. Hauptursache dafür ist, dass die Werte in Tabelle 1 - Tabelle 5 jeweils anteilige Treibhausgasemissionen aufgrund von Landnutzungsänderungen gemäß des Ansatzes nach [Fehrenbach et al. 2020] (siehe Kapitel 3) beinhalten. Diese werden in der Literatur vielfach nicht berücksichtigt. Andere Gründe sind unterschiedliche Systemgrenzen („Supermarktkasse“ etc.), nur in Deutschland produzierte Ware gegenüber dem Jahresdurchschnitt einschließlich des Imports und einiges mehr, wie bereits in den Kapiteln 1 und 3 erwähnt.
- **Kontraintuitive Ergebniswerte exemplarisch erläutert:** Einige Ergebniswerte in Kapiteln 4.1 und 4.2 mögen selbst für Fachleute überraschend sein. Dazu könnten beispielsweise die durchschnittlichen (inkl. Import) bzw. länderspezifischen CO₂-Fußabdrücke von Lebensmitteln oder die von konventionellen bzw. Bio-Lebensmitteln⁹ gehören. Einige besonders auffällige Ergebnisse sind in Fußnoten erläutert.
- **Verwendung der Ergebnisse zum Vergleich von Handlungsoptionen:** Die hier vorliegende Übersichtspublikation basiert auf methodischen Festlegungen, die nicht zur Beantwortung jeder erdenklichen Fragestellung geeignet sind. Beispielsweise wurde eine standardisierte Zurechnung der Lasten zu den Lebensmitteln verwendet (eine sogenannte attributive Bilanzierung) und zumeist der heutige Durchschnitt der Lebensmittel abgebildet. Diese Festlegungen können nur bedingt für zukunftsgerichtete Fragestellungen verwendet werden¹⁰. Für solche Fragestellungen müssten im Einzelfall Szenarien definiert, die ökologischen Fußabdrücke mit angepasster Methodik (z. B. mittels konsequenzieller Bilanzierung) auf Grundlage der hier dargestellten Ergebnisse ermittelt und weitere Fußabdrücke ergänzt werden.
- **Bewusste Wahl der Bezugsgröße bei vergleichenden Aussagen:** Die Ergebnisse in Tabelle 1 - Tabelle 5 sowie Tabelle 7 sind zweckmäßigerweise jeweils auf 1 kg des Lebensmittels bezogen. Allerdings ist ein Vergleich pro Kilogramm Lebensmittel in den meisten Fällen nur dann sinnvoll, wenn die betrachteten Lebensmittel eine identische ernährungsphysiologische Funktion erfüllen. Insbesondere bei vergleichenden Aussagen und darauf basierenden Empfehlungen sollte eine zweckmäßige Bezugsgröße gewählt werden, beispielsweise durch Umrechnung der in Tabelle 1 - Tabelle 5 angegebenen CO₂-Fußabdrücke pro Kilogramm auf eine typische Portionsgröße oder auf bestimmte Nährstoffgehalte wie z. B. Eiweiß. Außerdem können sinnvolle Vergleiche zwischen Lebensmitteln teilweise auch erst dann ermöglicht werden, wenn auch die auf den Einkauf folgenden Lebenswegabschnitte berücksichtigt werden, insbesondere die Kühlung und die Zubereitung. Am zielsichersten sind Vergleiche zwischen vollständigen, verzehrfertigen Gerichten „fertig zubereitet auf dem Teller“ mit bewusst variiertem Zutatensatz bei weitestgehend gleichen Nährwerten in den unterschiedlichen Gerichtsvarianten.

⁹ Bio-Lebensmittel haben gegenüber konventionellen Lebensmitteln zumeist keine klaren Vorteile beim CO₂-Fußabdruck, weil sie wegen geringerer Erträge in der Regel mehr Anbaufläche benötigen. Dieser Flächenbelegung werden anteilig Klimagasemissionen zugerechnet, in Deutschland vor allem dadurch entstehen, dass ehemalige Moore landwirtschaftlich genutzt werden.

¹⁰ Verbraucher*innen könnten zu dem Schluss kommen, keine Bio-Lebensmittel mehr zu kaufen, da diese nach der hier verwendeten Methodik zumeist keine Klimavorteile oder sogar Klimanachteile aufweisen, obwohl diese bzgl. anderer Umweltaspekte (z. B. Erhalt der Biodiversität) sehr vorteilhaft sind. Eine Kaufzurückhaltung würde allerdings vermutlich wenig an der landwirtschaftlichen Nutzung ehemaliger Moore in Deutschland ändern, die ein Hauptgrund dafür ist, dass die höhere Flächenbelegung durch Biolebensmittel sich nachteilig auswirkt. Diese Emissionen würden dann lediglich anteilig anderen Lebensmitteln zugerechnet werden müssen. Dagegen sollten politische Entscheidungsträger diese Ergebnisse zum Anlass nehmen zu hinterfragen, ob eine weitere landwirtschaftliche Nutzung ehemaliger Moore mit einer nachhaltigen Ernährung kompatibel ist.

- **Interpretation von Flächen- und Wasser-Fußabdruck:** Da eine Gewichtung von belegten Flächen und Wasserverbräuchen nach dem Grad ihrer ökologischen Auswirkung erfolgt, können die Ergebnisse nicht wie gewöhnliche Quadratmeter bzw. Liter Wasser interpretiert werden (siehe Kapitel 3).

5 Literatur

- Boulay, A.-M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuilière, M. J., Manzardo, A., Margni, M., Motoshita, M., Núñez, M., Pastor, A. V., 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*, Vol. 23, No.2, pp. 368–378.
- Eyrich, R., Meurer, U., Wagner, T., Buchheim, E., Reinhardt, G., Sven, G., Hemmen, M., Monetti, S., Stübner, M., Koch, S., Hildebrandt, T., Scharp, M. (2019): KEEKS-Web-App – Klimaschonende Schulküche mit vielen Rezepten. KEEKS-Material 2019-E. <<https://smartlearning.izt.de/keeks/rezpte>>.
- Fehrenbach, H., Keller, H., Abdalla, N., Rettenmaier, N. (2020): Attributive Landnutzung (aLU) und attributive Landnutzungsänderung (aLUC): Eine neue Methode zur Berücksichtigung von Landnutzung und Landnutzungsänderungen in Ökobilanzen, Version 2.1 von ifeu paper 03/2018. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Heidelberg, Deutschland. www.ifeu.de/ifeu-papers/.
- Fehrenbach, H., Rettenmaier, N., Reinhardt, G., Busch, M. (2019): Festlegung des Indikators für die Bilanzierung und Bewertung der Ressource Fläche in Ökobilanzen [Establishment of the indicator for the resource “land” in life cycle assessments]. In: *ifeu papers 02/2019*, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Heidelberg, Germany.
- ifeu (2016): Klimatarier-Rechner. CO₂-Fußabdrücke von 150 ausgewählten Lebensmitteln. https://www.klimatarier.com/de/CO2_Rechner.
- ifeu (2020): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018) – Berichtsteil „TREMOD“. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Heidelberg, Deutschland. <https://www.ifeu.de/tremod>.
- IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ISO (2006a): ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. International Organization for Standardization.
- ISO (2006b): ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Organization for Standardization.
- ISO (2018): ISO 14067:2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization.
- Paulsen, H. M. (2020): Kraftfutterkomponenten in mittleren Futterrationen der Milchkühe ökologischer und konventioneller Betriebe (2008-2010, Netzwerk Pilotbetriebe, www.pilotbetriebe.de). Ergänzung zur Datengrundlage. In: Schulz, F., Warnecke, S., Paulsen, H. M., Rahmann, G. (2013) *Unterschiede der Fütterung ökologischer und konventioneller Betriebe und deren Einfluss auf die Methan-Emission aus der Verdauung von Milchkühen. Thünen Report 8:189-205, Tabelle 4.8-1*, Thünen-Institut für Ökologischen Landbau.
- Reinhardt, G., Rettenmaier, N., Vogt, R. (2019): Festlegung des Indikators für die Bilanzierung der Ressource Phosphat in Umweltbewertungen [Establishment of the indicator for the resource “phosphate” in environmental assessments]. In: *ifeu papers 01/2019*, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Heidelberg, Germany.
- VDI (Association of German Engineers) (2012): VDI Standard 4600: Cumulative energy demand - Terms, definitions, methods of calculation. VDI (Association of German Engineers) e.V. / Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf / Berlin, Germany. http://www.vdi.eu/nc/guidelines/vdi_4600-kumulierter_energieaufwand_kea_begriffe_berechnungsmethoden/.
- World Food LCA Database (2015): World Food LCA Database. Agroscope.