



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Ökologische Fußabdrücke von Kakao, Kakaoprodukten und Schokolade in Deutschland



ifeu paper 02/2022

Claudius Grehl, Guido Reinhardt

Heidelberg, 2022

In diesem ifeu paper veröffentlicht das Institut seine Position zu einem fachlichen Querschnittsthema mit gesellschaftlicher Relevanz und möchte damit den wissenschaftlichen Diskurs fördern. Die Autoren und Autorinnen begrüßen Rückmeldungen zu den Inhalten.

Kontakt:

Dr. Guido Reinhardt

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg
guido.reinhardt@ifeu.de, +49-6221-4767-31

Zitierweise:

Grehl, C., Reinhardt, G. (2022): Ökologische Fußabdrücke von Kakao, Kakaoprodukten und Schokolade in Deutschland. ifeu paper 02/2022, verfügbar unter: www.ifeu.de/ifeu-papers, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Heidelberg.

Danksagung:

Wir danken unseren ifeu-Kolleg*innen Sven Gärtner, Dr. Sonja Haertlé, Dr. Hanna Karg, Dr. Heiko Keller, Nils Rettenmaier, Julian Senn und Christina Zinke für ihre wertvollen Hinweise und tatkräftige Unterstützung bei dieser Studie.

Bildnachweise:

Titelseite & Kapitel 8: © SebastianDuda_stock.adobe.com_122302193

Abbildung 1: © kovaleva_ka_stock.adobe.com_276745827, By Chianti - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53945227>, © Sanja_stock.adobe.com_414811684, © Olya_stock.adobe.com_268476022, © pachinko_stock.adobe.com_94131343, © Abel_Tumik_stock.adobe.com_28532606, © graf_stock.adobe.com_48409868

Abbildung 2: © Paitoon_stock.adobe.com_480245311

Abbildung 3: © GATO_stock.adobe.com_301188707

Abbildung 4: © Picture_Partners_stock.adobe.com_253996655

Abbildung 12: © graf_stock.adobe.com_48409868

Kapitel 6: © kasia2003_stock.adobe.com_500022247

Heidelberg, 2022

Inhalt

1 Hintergrund und Ziel	3
1.1 Hintergrund	3
1.2 Ziel	3
2 Methodik	4
2.1 Definitionen von Kakao und Kakaoprodukten	4
2.2 Betrachtete Produkte und ökologische Fußabdrücke	6
2.2.1 Betrachtete Produkte	6
2.2.2 Betrachtete ökologische Fußabdrücke	6
2.3 Systemgrenzen der Produkte	8
3 Ökologische Fußabdrücke von Kakaobohnen	9
3.1 Importe von Kakaobohnen	9
3.2 Anbau von Kakao	10
3.2.1 Erträge und Landnutzung	10
3.2.2 Düngemittleinsatz	12
3.2.3 Weitere Betriebsmittel	13
3.3 Verarbeitung und Logistik	14
3.4 Ergebnisse für Kakaobohnen	15
4 Ökologische Fußabdrücke von Kakaobutter und Kakaopulver	16
4.1 Ableitung von Allokationsfaktoren	16
4.1.1 Kakaobutter und Kakaopulver: Allokation nach Ökonomie	16
4.1.2 Kakaobutter und Kakaopulver: Allokation nach Masse	18
4.2 Ergebnisse für Kakaobutter und Kakaopulver	19
4.2.1 Ergebnisse für Kakaobutter und Kakaopulver	19
4.2.2 Exkurs: Gegenüberstellung der Ergebnisse unterschiedlicher Allokationsverfahren	20
5 Ökologische Fußabdrücke von Schokoladen	21
5.1 Verarbeitung von Kakaobohnen zu Schokolade	21
5.2 Zusammensetzung	21
5.3 Ergebnisse für Schokoladen	23
6 Übertragbarkeit und Verwendungshinweise	25
7 Zusammenfassung und Ausblick	26
8 Abkürzungen	27
9 Anhang	28
10 Literatur	30

1 Hintergrund und Ziel

1.1 Hintergrund

In den letzten Jahren wurde Kakao bzw. Schokolade in verschiedenen Medien als prominentes Beispiel gewählt, um auf ökologische Auswirkungen von Lebensmitteln hinzuweisen – dabei neben dem CO₂-Fußabdruck verstärkt auch auf weitere Kenngrößen wie den Wasser- oder auch den Flächenfußabdruck.

Hintergrund der vorliegenden Ableitung ist, dass in der Literatur unterschiedliche Ergebnisse für die ökologischen Fußabdrücke von Kakao und Kakaoprodukten zu finden sind, die so weit auseinander liegen, dass sie für eine vorbehaltlose Verwendung in Ökobilanzen, zur ökologischen Bewertung von Lebensmitteln sowie als Einkaufsempfehlung nicht nutzbar sind. Beispielsweise reichen die Werte für den CO₂-Fußabdruck von Milkschokolade von 3,6 kg CO₂-Äq. / kg Lebensmittel [Büsser & Jungbluth 2009] bis 17,6 kg CO₂-Äq. / kg Lebensmittel [Colomb et al. 2014].

Dies liegt daran, dass den Analysen teilweise inkonsistente Bilanzierungsansätze, unterschiedliche Systemgrenzen oder unterschiedliche methodische Vorgehensweisen zugrunde gelegt wurden. Weitere Beispiele und eine vertiefende Gegenüberstellung finden sich im Anhang (siehe Kapitel 9).

1.2 Ziel

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die wichtigsten ökologischen Fußabdrücke für Kakao und Kakaoprodukte wie Schokolade abzuleiten, welche in Deutschland konsumiert werden. Die Ableitung soll dabei in sich konsistent sein und die aktuellen Bilanzierungsmethoden berücksichtigen.

Neben dem aus Klimaschutzsicht wichtigen CO₂-Fußabdruck sollen auch weitere Umweltwirkungskategorien wie der Wasser-, Flächen- und Phosphatfußabdruck betrachtet werden. Der Grund hierfür ist, dass diese endlichen Ressourcen zu großen Teilen für die landwirtschaftliche Produktion von Lebensmitteln in Anspruch genommen werden. Außerdem zeigen sich bereits heute zum Teil große Konflikte um diese Ressourcen, so dass diese bei einer ökologischen Bewertung von Lebensmitteln aus unserer Sicht in Zukunft zwingend betrachtet werden sollten.

Dabei sollen die Wasser- und Flächenfußabdrücke nicht nur quantitativ die in Anspruch genommenen Ressourcen aufführen, sondern zusätzlich entsprechend des Grades ihrer ökologischen Auswirkungen auf Basis der Knappheit (Wasser) bzw. Naturnähe (Fläche) bewertet werden.

Damit die Ergebnisse über die gesamte Kakao-Produktpalette hinweg in sich konsistent Verwendung finden können, sollen folgende Produkte betrachtet werden: Kakaobohnen bzw. Kakaonibs, deren direkte Verarbeitungsprodukte Kakaomasse, Kakaobutter und Kakaopulver sowie verschiedene Schokoladen als Kakaoerzeugnisse. Bei den Schokoladen soll zwischen Milch-, dunkler und weißer Schokolade unterschieden werden, da deren Kakaoanteile und sonstige Bestandteile jeweils deutlich variieren.

2 Methodik

Im Folgenden werden die Produkte und die Prozessschritte definiert (Kapitel 2.1; Abbildung 1), auf die verwendeten Methoden zur Berechnung der einzelnen Fußabdrücke vertiefend eingegangen (Kapitel 2.2.2), sowie die verwendeten Systemgrenzen (Kapitel 2.3) beschrieben.

2.1 Definitionen von Kakao und Kakaoprodukten

Kakaofrucht:	Die Frucht des Kakaobaumes (<i>Theobroma cacao</i>) hat eine Fruchtschale, die die rohen Kakaobohnen und das Fruchtfleisch enthält.
Kakaobohnen, roh:	Die unverarbeiteten Samen, welche aus der Kakaofrucht entnommen werden, werden in dieser Publikation „Kakaobohnen, roh“ genannt.
Kakaobohnen:	Als „Kakaobohnen“ werden im Folgenden die Kakaobohnen nach den ersten Verarbeitungsschritten bezeichnet. Hierzu zählen: Fermentation, Trocknung, Rösten, Brechen, Veredelung (Druckreaktor) und Alkalisieren. Kakaobohnen werden zunehmend gebrochen zu sogenannten „Kakaonibs“ für den direkten Konsum angeboten.
Kakaomasse:	Kakaomasse entspricht der unter leichtem Erhitzen gemahlene Bohne.
Kakaopulver, stark entfettet:	Als „Kakaopulver, stark entfettet“ wird Kakaopulver mit einem Fettgehalt < 10 % verstanden. Es handelt sich um den gemahlene Presskuchen, nachdem die Kakaomasse gepresst und Kakaobutter abgetrennt wurde.
Kakaopulver, schwach entfettet:	Als „Kakaopulver, schwach entfettet“ wird Kakaopulver mit einem Fettgehalt > 10 % verstanden. Es handelt sich um den gemahlene Presskuchen, nachdem die Kakaomasse gepresst und Kakaobutter abgetrennt wurde.
Kakaobutter:	Kakaobutter ist der aus der Kakaomasse abgepresste Fettanteil.
Milkschokolade:	Milkschokolade ist ein verarbeitete Kakaerzeugnis. Diese muss mindestens 25 % Gesamtkakaotrockenmasse besitzen. Der Milchtrockenmasseanteil muss über 14 % liegen [KakaoV 2003].
Dunkle Schokolade:	Wie bei Milkschokolade handelt es sich um ein verarbeitete Kakaerzeugnis. Um die Kriterien für Schokolade zu erfüllen, muss es mindestens 35 % Gesamtkakaotrockenmasse, davon mindestens 18 % Kakaobutter enthalten [KakaoV 2003]. Je nach Kakao- bzw. Zuckergehalt gibt es alternative Bezeichnungen, z.B.: Zartbitterschokolade, feinherbe Schokolade, Edelbitterschokolade, Bitterschokolade.
Weißer Schokolade:	Weißer Schokolade ist ein Erzeugnis aus Kakaobutter, Milch oder Milcherzeugnissen und Zuckerarten, das mindestens 20 % Kakaobutter und mindestens 14 % Milchtrockenmasse enthalten muss [KakaoV 2003].

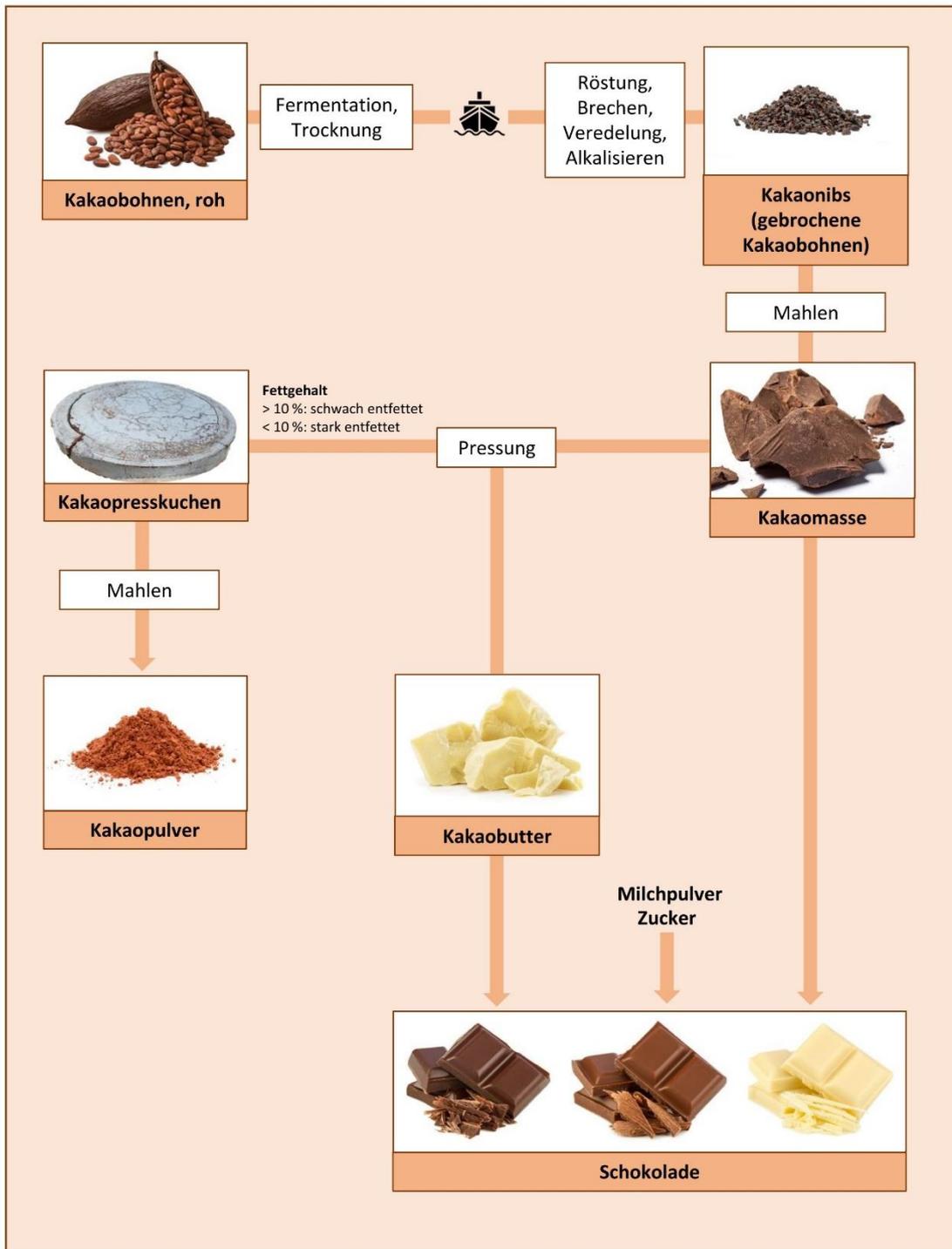


Abbildung 1: Prozessschritte der Kakaoverarbeitung.

2.2 Betrachtete Produkte und ökologische Fußabdrücke

2.2.1 Betrachtete Produkte

Damit die Ergebnisse über die gesamte Kakao-Produktpalette hinweg in sich konsistent Verwendung finden können, werden folgende Produkte betrachtet: Kakaobohnen, deren direkte Verarbeitungsprodukte Kakaomasse, Kakaobutter und Kakaopulver (stark entfettet) sowie Schokoladen als Kakaoerzeugnisse. Bei den Schokoladen wird nach Milch-, dunkler und weißer Schokolade differenziert, da deren Kakaoanteile und Schokoladenbestandteile jeweils deutlich variieren. Dabei handelt es sich sowohl um Handels- als auch Konsumprodukte in der Wertschöpfungskette von Kakao und Schokolade.

2.2.2 Betrachtete ökologische Fußabdrücke

Im Folgenden werden die verwendeten Methoden für die Berechnung der einzelnen Fußabdrücke in Kurzform beschrieben.

CO₂-Fußabdruck

- Der CO₂-Fußabdruck wurde in Anlehnung an ISO 14046 [ISO 2018] als Carbon Footprint bestimmt. Enthalten sind alle Treibhausgasemissionen (u. a. Kohlenstoffdioxid CO₂, Methan CH₄, Lachgas N₂O) umgerechnet auf CO₂-Äquivalente. Um Vergleichbarkeit zu erreichen wurden die Umrechnungsfaktoren nach [IPCC 2021] genutzt.
- Die mit Landnutzung und Landnutzungsänderungen verbundenen Klimagasemissionen wurden über den Ansatz der so genannten attributiven Landnutzung/Landnutzungsänderung (aLULUC) berücksichtigt [Fehrenbach et al. 2020].

Wasserfußabdruck

- Da sauberes (Trink-)Wasser in einigen Regionen dieser Erde eine knappe Ressource darstellt und die landwirtschaftliche Produktion in zunehmendem Maße Wasserressourcen nutzt, spielt der Wasserfußabdruck bei der ökologischen Bewertung von Lebensmitteln eine zunehmend wichtige Rolle. In Form von „virtuellem“ Wasser tragen (importierte) Produkte einen Wasserrucksack mit sich, welcher durch den Anbau, die Verarbeitung sowie durch das Maß der Wasserverfügbarkeit in einer Region geprägt ist.
- Die Ableitung des Wasserfußabdrucks ist methodisch an die Available Water REmaining (AWARE)-Methode angelehnt [Boulay et al. 2018] und berücksichtigt neben der für die Produktion benötigten Wassermenge die Wasserverfügbarkeit in einem Land im Verhältnis zum weltweiten Durchschnitt. Eine Erweiterung der Methodik zur Berücksichtigung der Bewässerungsmethodik sowie von Wasserentsalzung wurde vorgenommen (kombinierter AWARE-, Beregnungstechnik-Effizienz- sowie Entsalzungs-Faktor, IFEU-interne Werte [ifeu 2022]). Der Wasserfußabdruck wird in m³ Wasser-Äquivalente / kg Lebensmittel angegeben.

Flächenfußabdruck

- Durch zunehmende Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Non-Food Zwecke besteht eine verstärkte Flächennutzungskonkurrenz zum Anbau von Futterpflanzen, zu Pflanzen für die Materialnutzung oder die Treibstoffherstellung, sowie zu Naturschutzflächen (Food, Feed, Fibre, Fuel, Flower-Debatte).
- Die Berechnung des Flächenfußabdruckes erfolgte unter Anwendung des Hemerobiekonzeptes, bei welchem die genutzte landwirtschaftliche Fläche zur Produktion eines Produktes in Äquivalente für ein Jahr voll-versiegelte Fläche umgerechnet wird. Dabei erfolgt eine Bewertung anhand der Distanz zu naturnahen Flächen (Naturferne) [Fehrenbach et al. 2019]. Die resultierende Einheit sind Quadratmeter-Jahre Naturflächenbelegung ($\text{m}^2 \cdot \text{a NFP}/\text{kg}$). Für die wissenschaftliche Darstellung (ISO-konforme Ökobilanzen) wird die Bezeichnung „Naturferne-Potential“ (NFP) genutzt.

Phosphatfußabdruck

- Durch die Endlichkeit der Phosphatgesteinslagerstätten ist die durch ein Produkt „verbrauchte“ Phosphatmenge von Bedeutung. Dies ist besonders relevant bei der Produktion von Lebensmitteln durch den Einsatz von phosphathaltigen Düngemitteln.
- Die Menge an Phosphat pro kg Lebensmittel wird in g Phosphatgesteinsäquivalenten berechnet. Details siehe Reinhardt et al. [2019].

2.3 Systemgrenzen der Produkte

Für die einzelnen Produkte haben wir die Systemgrenzen wie folgt angesetzt:

Kakaobohne

- Anbau bis Anlieferung in Deutschland, inklusive der ersten Verarbeitungsschritte Fermentation und Trocknung im Anbauland.
- Durchschnittlicher Importmix der Kakaobohnen für Deutschland.
- Anlieferung aus den Anbauländern nach Deutschland per Schiff.
- Weiterverarbeitung, inkl. Rösten und Brechen in Deutschland.

Kakaomasse

- Wie Kakaobohne.
- Mahlen der Kakaobohnen in Deutschland, inklusive Logistik für den Transport zur Verarbeitung innerhalb Deutschlands.

Kakaobutter

- Wie Kakaomasse, bis zum Pressen der Kakaomasse.

Kakaopulver

- Wie Kakaomasse, bis zum Pressen der Kakaomasse und Mahlen des Presskuchens.

Rübenzucker

- Anbau und Verarbeitung bis Anlieferung in der Schokoladenfabrik, Produktion in Deutschland.

Milchpulver

- Aufwendungen für die Haltung sowie Emissionen der Milchkühe (wie Futtermittelbereitstellung, Emissionen aus enterischer Fermentation und Gülle), Berücksichtigung der Eltern- und Großelterntiere, Milchproduktion inkl. Abschläge für Nebenprodukte wie Altkuhverwertung und Wirtschaftsdünger. Verarbeitung der Milch zu Milchpulver bis Anlieferung in der Schokoladenfabrik. Gesamte Produktionskette in Deutschland, dabei Futtermittel nach Verbrauchsmix.

Schokoladen

- Vom Anbau bis zur Supermarktkasse in Deutschland.
- Mit Verpackung, inklusive Recycling.
- „Typische“ Schokoladenrezepte mit durchschnittlichem Rübenzucker und Milchpulver. Kakaobestandteile wie oben beschrieben.
- Komplette Produktion in Deutschland (d.h., importierte Schokoladen oder teilweise importierte Schokoladenbestandteile außer den Kakaobestandteilen sind nicht Teil dieser Untersuchung).

Als Bezugseinheit wurde 1 kg des jeweiligen Lebensmittels bzw. Handelsproduktes gewählt.

3 Ökologische Fußabdrücke von Kakaobohnen

Der Kakaobaum (*Theobroma cacao*) wird in vielen tropischen Ländern angebaut. Nach der Ernte, dem Herauslösen der Kakaobohnen aus der Kakaofrucht (Abbildung 2) und der Fermentation und Trocknung der Kakaobohnen in den jeweiligen Anbauländern erfolgt der Transport weltweit.

Der Herkunft der nach Deutschland importierten Kakaobohnen kommt eine besondere Bedeutung zu, denn auf den gewichteten Importanteilen basieren einige Teilbereiche der ökologischen Fußabdrücke wie die Klimagasemissionen durch Landnutzung und Landnutzungsänderungen und die Wasserknappheiten beim Wasserfußabdruck, ebenso wie die Transportentfernungen für den Schiffs-transport der Kakaobohnen nach Deutschland.

Aus diesem Grund wird im Folgenden nach den drei Unterkapiteln „Import“ (3.1), „Anbau“ (3.2) sowie „Verarbeitung und Logistik“ (3.3) unterschieden. Anschließend in Kapitel 3.4 werden die Ergebnisse der ökologischen Fußabdrücke für Kakaobohnen beschrieben.



Abbildung 2: Kakaofrüchte.

3.1 Importe von Kakaobohnen

Für die Ableitung von ökologischen Fußabdrücken von für Deutschland typische Kakao- und Schokoladenprodukte ist der Anteil der einzelnen Anbauländer am Import nach Deutschland ein entscheidender Faktor. Da die Erträge des Kakaobaumes in den einzelnen Anbauländern starken Schwankungen ausgesetzt sind, muss der angesetzte Ertrag aus den Importanteilen nach Deutschland sowie den Erträgen in diesen Ländern gewichtet berechnet werden. Weitere Faktoren, die durch die Importe bestimmt werden sind die Transportentfernungen per Schiff nach Deutschland, die Faktoren der attributiven Landnutzung und Landnutzungsänderung (aLULUC), Bewässerungsangaben sowie länder-spezifische Wasserverfügbarkeitswerte (AWARE-Faktoren).

Die Hauptanbauländer für den Kakaobohnenimport nach Deutschland sind die Elfenbeinküste, Nigeria und Ghana [Destatis 2021], siehe Tabelle 1. Insgesamt machen diese drei Länder 72 % des Direktimportes von Kakaobohnen nach Deutschland aus. Hinzu kommen Kakaobohnen aus diesen Ländern, über den Umweg aus Belgien bzw. den Niederlanden. Sollten die Importanteile ähnlich liegen wie in Deutschland, kommen annähernd 90 % der Kakaobohnen aus den drei aufgeführten Hauptlieferländern.

Der Kakaoanbau in Ecuador (4 %) und Kamerun (3 %) hat gemessen an den Importmengen nach Deutschland einen sehr geringen Anteil, weshalb sich bei Einbezug dieser Länder keine großen Änderungen in den Ergebnissen ergeben. Gleiches gilt für alle folgenden Länder mit geringen Importanteilen. Die Importländer für den Kakaobohnenimport nach Deutschland sind für den europäischen Markt repräsentativ [Europäisches Parlament et al. 2010; EuroStat 2017].

Tabelle 1: Top 10 Exportländer für Kakaobohnen nach Deutschland auf Basis des 5-Jahres-Mittelwertes der Importmengen für die Jahre 2016-2020 [Destatis 2021].

	Land	Anteil an der Importmenge nach Deutschland
1	Elfenbeinküste	47 %
2	Nigeria	15 %
3	Ghana	9 %
4	Belgien	9 %
5	Niederlande	8 %
6	Ecuador	4 %
7	Kamerun	3 %
8	Peru	2 %
9	Dominikanische Republik	1 %
10	Guinea	1 %

Zusammengefasst: Wir setzen die Importanteile aus den drei Hauptexportländern bezogen auf 100 % importierte Kakaobohnen für die diversen Analysen an, bei denen der Importmix eine Rolle spielt.

3.2 Anbau von Kakao

Für die Ableitung der ökologischen Fußabdrücke des Anbaus der Kakaobohnen sind folgende Prozesse bzw. Parameter zu betrachten:

- Erträge
- Landnutzung und Landnutzungsänderungen
- Anlage der Plantagen (Setzlinge, Feldarbeit)
- Betrieb der Plantagen (Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Feldarbeit)

3.2.1 Erträge und Landnutzung

Der Ableitung der Erträge fällt bei den betrachteten ökologischen Fußabdrücken eine Schlüsselrolle zu, da die klimagasrelevanten Emissionen durch Landnutzung bzw. den Landnutzungsänderungen und auch der Wasserfußabdruck direkt von den Erträgen und damit der Flächenbelegung abhängig sind.

Die gesamte Anbaufläche weltweit betrug 2019 12,2 Millionen Hektar. Der durchschnittliche Hektar-Ertrag belief sich dabei auf 457,4 kg/ha. Insgesamt wurden 2019 weltweit 5.596.397 t Kakaobohnen produziert [FAOStat 2021](Tabelle 2).

Tabelle 2: Produktionsmenge von den Top 10 der Kakao-produzierenden Länder, 2019 [FAOStat 2021].

	Land	Produktionsmenge in t
1	Elfenbeinküste	2.180.000
2	Ghana	811.700
3	Indonesien	783.978
4	Nigeria	350.146
5	Ecuador	283.680
6	Kambodscha	280.000
7	Brasilien	259.425
8	Peru	135.928
9	Dominikanische Republik	88.961
10	Kolumbien	85.139
	TOP 10	5.258.957

Die Hauptanbauggebiete liegen in Afrika. Das Land mit der größten Kakaoproduktion der Welt ist die westafrikanische Elfenbeinküste, die 39 % der weltweiten Ernte des Jahres 2019 produzierte. Annähernd 90 % der nach Deutschland importierten Kakaobohnen kommen aus der Elfenbeinküste, Nigeria und Ghana (siehe Kapitel 3.1).

Tabelle 3: Anteil der Hauptexportländer an den Kakaobohnenimporten nach Deutschland [Destatis 2021] mit 5-Jahres-Mittelwerten der Erträge im jeweiligen Land [FAOStat 2021].

	Anteil an der direkten Importmenge nach Deutschland	5-Jahres-Mittelwerte der Erträge in kg/ha [2015-2019]
Elfenbeinküste	47 %	483,7
Nigeria	15 %	272,0
Ghana	9 %	525,3

Rechnerisch ergibt sich auf Basis der 5-Jahres-Mittelwerte dieser drei Haupt-Exportländer (Tabelle 3) mit einer Wichtung nach Importanteilen ein Ertragswert in Höhe von 444 kg/ha. Dabei ist festzuhalten, dass sich die Werte in einer enormen Bandbreite bewegen: zwischen den Ländern und in den Jahresunterschieden. Aus diesem Grund setzen wir für diese Studie einen gerundeten Ertragswert von 450 kg/ha an. Dieser Wert muss allerdings einem Korrekturfaktor unterzogen werden:

Während in Kakaoproduktionsländern wie Brasilien, Trinidad und Ecuador der Anbau in industriellem Maßstab unter Schattennetzen mit relativ hohen Flächenerträgen erfolgt, wird der Anbau in den für Deutschland entscheidenden Exportländern hauptsächlich in kleinbäuerlichem Maßstab auf Farmen von 2-5 ha Kakaoanbau mit jährlichen Erträgen zwischen 200 und 1.000 kg/ha betrieben [OroVerde 2021]. Die Hauptanbauländer für den Kakaobohnenimport nach Deutschland sind dabei die Elfenbeinküste, Nigeria und Ghana (siehe Kapitel 3.1). Hier sorgen Schattenbäume für die nötige Beschattung, welche in Mischkultur mit den Kakaobäumen wachsen (Abbildung 3).

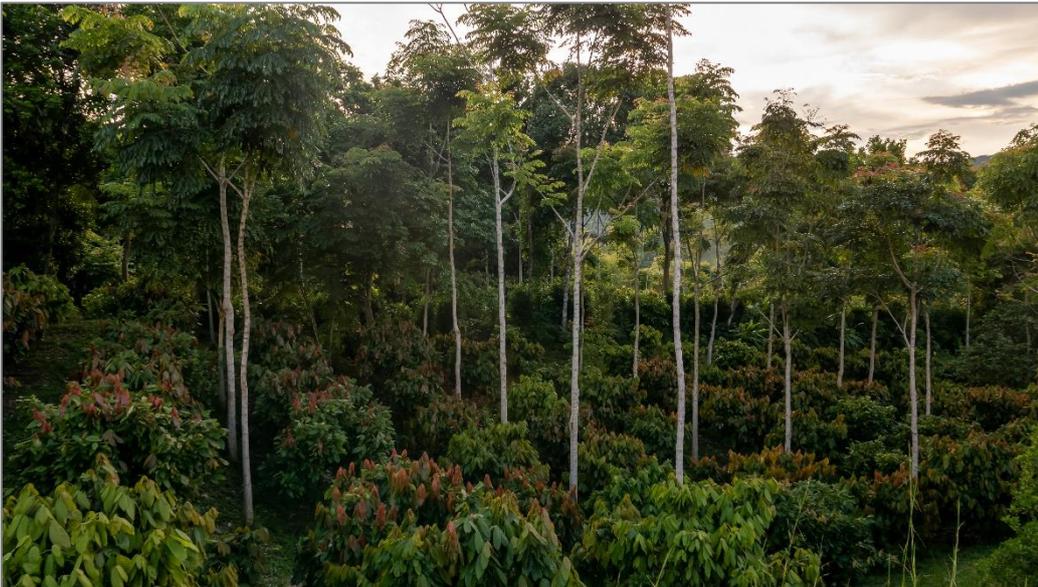


Abbildung 3: Kakaoanbau unter Schattenbäumen.

Da sich die oben aufgeführten Ertragsdaten auf die Mischkulturen beziehen, ist es notwendig, einen Netto-Ertragsfaktor abzuleiten, um die mit der Landnutzung einhergehenden Umweltauswirkungen (z.B. die damit verbundenen Klimagasemissionen) auf die Kakaobäume bzw. die anderen Nutzpflanzen der Mischkultur aufzuteilen. Hierzu schätzen wir ab, dass ca. 75 % der Fläche durch Kakaobäume belegt werden. Die restlichen 25 % der Flächennutzung dienen dem Anbau u. a. von Bananen sowie von Schattenbäumen, welche ebenfalls in Form von Brennholz, Bauholz oder durch Ernten der Früchte genutzt werden. Damit ergibt sich ein anzurechnender Jahresertrag in Höhe von 600 kg/ha. Dieser Wert wird den Hektar-bezogenen Umweltauswirkungen wie der Landnutzung bzw. den Landnutzungsänderungen oder beim Flächenfußabdruck zugrunde gelegt.

Für die Landnutzung bzw. Landnutzungsänderungen setzen wir die Methode nach aLULUC an [Fehrenbach et al. 2020]. Dabei setzen wir den oben aufgeführten Hektar-Ertrag in Höhe von 600 kg Kakaobohnen an.

3.2.2 Düngemittleinsatz

Für die Ableitung der Düngungswerte sind zwei Themenbereiche zu berücksichtigen: Zum einen die Zuordnung der Düngung auf die einzelnen Kuppelprodukte der Kakaofrüchte und zum zweiten das Düngemittelregime.

Kuppelprodukte: Die Früchte werden in der Regel direkt am Sammelplatz geöffnet und die rohen Kakaobohnen entnommen und sofort weiterverarbeitet, um ein Keimen der Samen zu verhindern. Von den Rückständen dienen die Fruchtschalen als Dünger, Viehfutter oder Heizmaterial und das Fruchtfleisch zur Herstellung von Gelee oder zur Vergärung zu Alkohol oder Essig. Da die Kakaobohnen das eindeutige Hauptprodukt des Kakaoanbaus darstellen, sind aus methodischer Sicht Düngemittelgutschriften für die Nutzung der Kuppelprodukte anzusetzen.

Der Düngemittelbedarf kann über die Feldabfuhrwerte abgeleitet werden. Zu Feldabfuhrwerte von Kakaofrüchten (rohe Kakaobohnen mit Fruchtfleisch und Schale, siehe Definition in Kapitel 2.1) finden sich diverse Angaben (Tabelle 4). Für Kakaobohnen beträgt der Nährstoffgehalt größenordnungsmäßig 20 kg N, 4 kg P und 10 kg K nach [Rehm & Espig 1996] (für 1.000 kg trockene Bohnen).

Tabelle 4: Feldabfuhrwerte in kg für die Hauptnährstoffe (N, P, K) für Kakaofrüchte mit den rohen Kakaobohnen. Die Werte beziehen sich auf die Fruchtmenge welche benötigt wird um 1.000 kg trockene Kakaobohnen zu erhalten.

Land	N	P	K	Quelle
Elfenbeinküste	35,3	4,8	50,5	Hartemink [2005]
Nigeria (1)	38,3	5,7	76,9	Hartemink [2005]
Nigeria (2)	39,8	6,3	85,6	Hartemink [2005]
Ghana	30-40	5,7-7,0	58-71	van Vliet & Giller [2017]
Verschiedene Länder, weltweit	35	6	60	van Vliet & Giller [2017]
Feldabfuhrwerte für diese Studie	35	6	60	

Da der Düngemittelbedarf für Kakao vergleichsweise niedrig ist, schätzen wir die Düngemittelgaben konservativ ab. Dies gilt für alle folgenden Einzelschritte.

Düngemittelregime: Hier setzen wir eine nachhaltige Düngung an, d. h. basierend auf den Feldabfuhrwerten. Diese werden wie folgt abgeleitet: In einem ersten Schritt setzen wir konservativ Feldabfuhrwerte für die Kakaofrüchte, siehe Tabelle 4 „Feldabfuhrwerte für diese Studie“. An Gutschriften für die Nutzung des Fruchtfleischs und der Schale (als Dünger, Futtermittel bzw. Bioenergie) setzen wir die Hälfte der Differenz zu den aufgeführten Feldabfuhrwerten der Kakaobohnen nach [Rehm & Espig 1996].

Neben den Feldabfuhrwerten sind beim hier gewählten Ansatz eines nachhaltigen Düngeregimes noch zwei weitere Aspekte zu berücksichtigen: die natürliche Deposition, insbesondere von Stickstoffverbindungen, und Austräge (durch Erosion bzw. Verlagerung/Auswaschung). Für die Deposition setzen wir 7,5 kg N/(ha·a) (dabei werden 75 % dieser Menge auf den Ertrag von 450 kg Kakaobohnen bezogen) basierend auf den in [van Vliet & Giller 2017] aufgeführten 5 – 12 kg N/(ha·a) an. Für P und K existiert keine relevante Deposition. Für die Austräge setzen wir die in [Müller-Lindenlauf et al. 2014] aufgeführte Vorgehensweise an.

Damit ergeben sich numerisch und bezogen auf die üblicherweise bei Düngeangaben bezogenen Einheiten folgende Werte pro 1.000 kg Kakaobohnen: 20,59 kg N, 12,08 kg P₂O₅ und 51,49 kg K₂O. Damit nicht der Eindruck einer Pseudogenauigkeit erweckt wird, runden wir diese Werte (Tabelle 5).

Tabelle 5: Düngemittelbedarf in [kg] zur Produktion von 1.000 kg Kakaobohnen.

Düngemittel	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Menge in kg	21	12	51

3.2.3 Weitere Betriebsmittel

Die Arbeiten zur Anlage und Pflege der Kakaobäume sowie für die Ernte in den Anbauländern erfolgt im Wesentlichen manuell. Ein Maschineneinsatz ist marginal und wirkt sich auf die Ergebnisse nicht signifikant aus. Ebenso ist die Bereitstellung von Setzlingen für die

Ergebnisse nicht relevant. Für diese Prozesse werden durchschnittliche Daten aus IFEU 2022 angesetzt [ifeu 2022].

An Pflanzenschutzmitteln werden nach Asogwa & Dongo [2009] pro Fläche folgende Mengen aktiver Substanz ausgebracht: Fungizide: 2,3-3,8 kg/ha sowie Herbizide: 0,5-3,9 kg/ha. In Afrane & Ntiamoah [2011] finden sich folgende Angaben: Fungizide: 1.997,7 t für 632.000 t Kakaoproduktion in Ghana 2009 (das sind ca. 1,9 kg Fungizid/ha, bei 0,6 t/ha Ertrag), sowie Insektizide: 2.300 l, ebenfalls für 632.000 t Kakaoproduktion in Ghana 2009/10. In der Annahme, dass hier ein Übertragungsfehler beim Verrechnen von Einheiten mit Faktor 1.000 vorliegt, sind das 2,2 l/ha (bei 0,6 t/ha Ertrag).

Auf dieser Basis setzen wir 5 kg aktive Substanz für den Pestizideinsatz pro 450 kg trockene Kakaobohnen an (6,7 kg für 600 kg trockene Kakaobohnen). Damit ist die Bereitstellung von Pflanzenschutzmitteln in Bezug auf die untersuchten Fußabdrücke ebenfalls nicht relevant.

3.3 Verarbeitung und Logistik

Nach der Ernte der Kakaofrucht werden die rohen Kakaobohnen aus dieser herausgelöst und bereits in den jeweiligen Anbauländern fermentiert und getrocknet.

Der Transport erfolgt per Schiff. Die Transportentfernung wurde auf Basis der Entfernung der Handelsrouten von den jeweiligen Häfen der Produktionsländer nach Deutschland ermittelt und gewichtet über die Importanteile aus den Erzeugerländern bestimmt. Sie beträgt gerundet 6.600 km.

Schließlich werden die Kakaobohnen in einem mehrstufigen Verarbeitungs- und Veredelungsprozess verarbeitet: Rösten, Brechen, Veredelung (Druckreaktor) und Alkalisieren, um Säuren und weitere unerwünschte Geschmackskomponenten zu entfernen. Dadurch entsteht das typische Kakaoaroma.

Für die einzelnen Verarbeitungsschritte wurden Daten aus der IFEU-Datenbank [ifeu 2022] herangezogen.



Abbildung 4: Kakaobohnen

3.4 Ergebnisse für Kakaobohnen

Die Ergebnisse für die vier betrachteten ökologischen Fußabdrücke von Kakaobohnen sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Ökologische Fußabdrücke von Kakaobohnen.

	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq./kg]	Phosphat-fußabdruck [g P-Äq./kg]	Wasser-fußabdruck* [m ³ H ₂ O-Äq./kg]	Flächen-fußabdruck** [m ² ·a NFP/kg]
Kakaobohnen	4,2	48	100	2,1

* Wasserfußabdruck in Anlehnung an AWARE, siehe Kapitel 2.2.2.

** Flächenfußabdruck als Naturflächenbelegung/Naturferne-Potential, siehe Kapitel 2.2.2.

Beispielhaft für den CO₂-Fußabdruck von Kakaobohnen sind in Tabelle 7 die differenzierten Einzelwerte nach Lebenswegabschnitten aufgeschlüsselt.

Tabelle 7: CO₂-Fußabdruck von Kakaobohnen differenziert nach Entstehungsort in der Prozesskette.

[kg CO ₂ -Äq./kg]	Land-wirtschaft	Land-nutzung	Langstrecken-transporte	Verar-beitung	Summe
Kakaobohnen	0,7	2,8	0,2	0,5	4,2

Der CO₂-Fußabdruck der Kakaobohnen ist besonders durch die Landwirtschaft sowie die Landnutzung geprägt (Abbildung 5). Im Bereich der Landwirtschaft und Landnutzung ist der Haupteinflussfaktor der geringe Ertrag von 450 kg pro Hektar Gesamtanbaufläche. Zusätzlich spielt bei der Landnutzung der jeweilige aLULUC-Faktor der Anbauländer eine Rolle. Verarbeitung und Landstreckentransporte machen nur einen kleinen Anteil am CO₂-Fußabdruck aus.

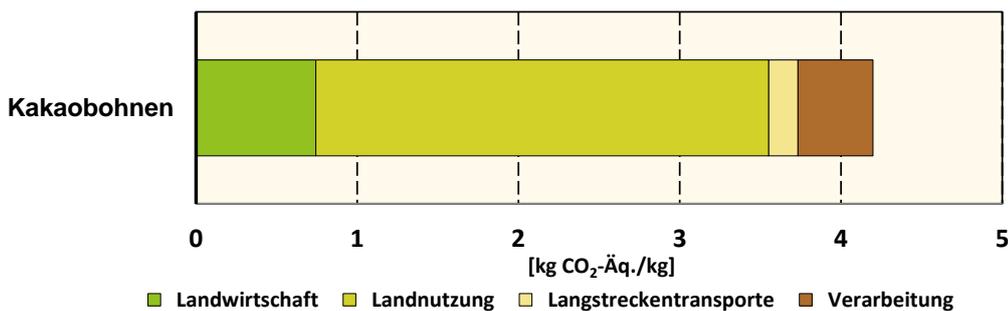


Abbildung 5: CO₂-Fußabdruck von Kakaobohnen.

Hinweis zur Berechnung: Außer den bereits in den vorstehenden Kapiteln aufgeführten Vorgehensweisen und Festlegungen ist für die Berechnung der Flächennutzung, d. h. zur Abbildung des Naturferne-Potenzials (NFP), entsprechend der in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Vorgehensweise die Hemerobiekategorie für den Anbau von Kakao festzulegen. In Analogie zu den mehrjährigen Tropenfruchtbäumen Ölpalme, Kokos, Kautschuk und Mango haben wir den Wert für Kakao auf IV gesetzt. Hierbei ist der Schattenanbau mit anderen Nutzbäumen (Bauholz, Brennholz, Ernährung) bereits berücksichtigt (siehe Kapitel 3.2).

4 Ökologische Fußabdrücke von Kakaobutter und Kakaopulver

Für die Berechnung der ökologischen Fußabdrücke von Kakaobutter und Kakaopulver muss ein Weg gefunden werden die Lasten der ökologischen Fußabdrücke der Kakaobohne aufzuteilen. Entsprechend der Ökobilanznorm ISO 14040/43 sind hierfür Gutschriftsverfahren (Systemerweiterung) anderen Verfahren wie Allokation vorzuziehen. In diesem Fall halten wir allerdings Gutschriftsverfahren nicht für angemessen, da es in unseren Augen keine sinnvollen, realistischen (marktgerechten) Alternativen gibt. Aus diesem Grund greifen wir in dieser Untersuchung auf die Verteilung der Umweltlasten mittels Allokation zurück, was wir für die hier diskutierten Kuppelprodukte für sinnvoll, realitätsnah und angemessen ansehen.

Hier bietet sich allem voran die ökonomische Allokation als zweckmäßig an. Ergänzend soll eine Allokation nach Masse erfolgen.

4.1 Ableitung von Allokationsfaktoren

Wie bereits vorstehend ausgeführt, wird die Aufteilung der ökologischen Fußabdrücke der beiden Produkte aus der Kakaobohne nach ökonomischer Allokation vorgenommen. Ergänzend werden auch die Werte für die Allokation nach Masse aufgeführt.

4.1.1 Kakaobutter und Kakaopulver: Allokation nach Ökonomie

Für die ökonomische Allokation haben sich die Weltmarktpreise als Indikator bei solchen Produkten bewährt, die auf dem Weltmarkt gehandelt werden, da hier die externen, marktverschiebenden Einflüsse minimal sind. Da beide betrachteten Produkte auf dem Weltmarkt gehandelt werden, können hier die Weltmarktpreise bei der Ableitung des Allokationsfaktors zugrunde gelegt werden.

Die Kakaoproduktpreise waren dabei in den letzten Jahren starken Schwankungen ausgesetzt. Die Preise für Kakaobutter stiegen 2012-2014 stark an, während die Kakaopulverpreise abfielen. Seitdem sind die Preisschwankungen für die Kakaobutter auf relativ hohem Niveau schwächer geworden. Für Kakaopulver hat sich der Preis auf niedrigem Niveau eingependelt. Insgesamt sind die Preise mit hohen Unsicherheiten an den Märkten verbunden, welche sich durch den zunehmenden Virusbefall durch *Cacao swollen shoot virus* (CSSV) in den Anbauländern erklären lassen. Für das Verhältnis aus Kakaobutterpreis und Kakaopulverpreis ergibt sich daraus die Notwendigkeit eine längere Zeitreihe einzubeziehen. Für die Preise von Kakaobutter und Kakaopulver haben wir daher die letzten 8 Jahre als Berechnungsgrundlage genutzt um einen entsprechenden ökonomischen Allokationsfaktor abzuleiten (Abbildung 6).

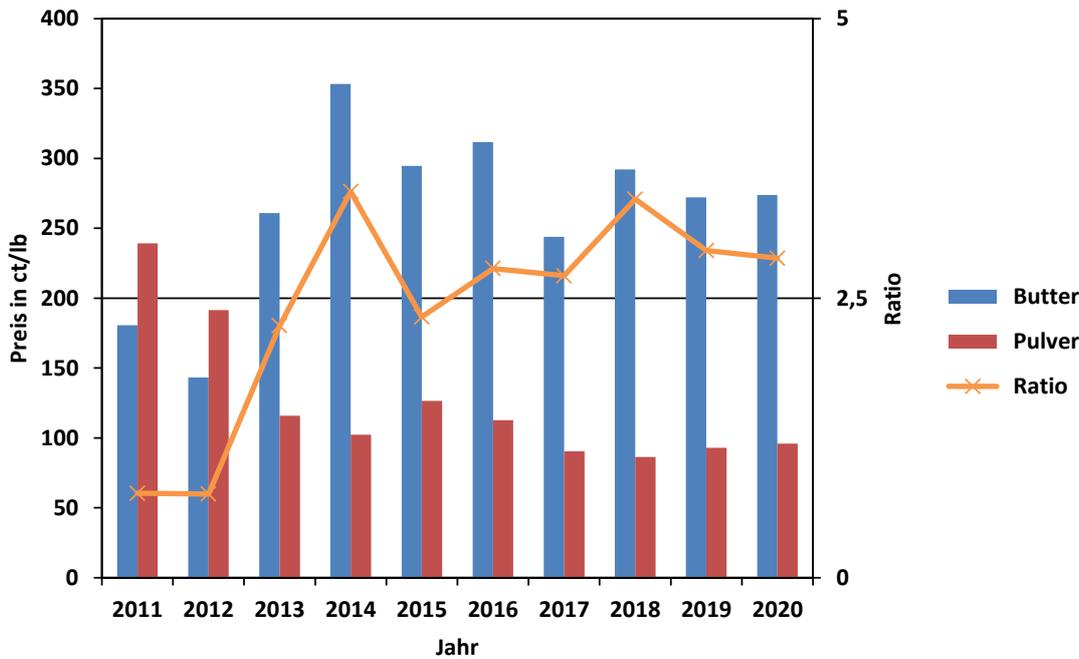


Abbildung 6: Kakaobutter und Kakaopulverpreise der letzten 10 Jahre, mit Darstellung des Preisverhältnisses (Verhältnis Butter/Pulver) zueinander [Meyers 2021].

Dazu betrachten wir den Zeitraum ab 2013, da sich seitdem die beiden Weltmarktpreise in etwa auf ihrem spezifischen Niveau bewegen. Der entsprechende Jahres-Mittelwert [2013-2020] des Kakaobutter-Kakaopulverpreisverhältnisses beträgt rechnerisch 2,83. Um der Volatilität der Weltmarktpreise Rechnung zu tragen und eine pseudo-genaue Wertstellung zu vermeiden, setzen wir den Faktor auf gerundet 2,5.

D.h., die Allokation wird mit dem Verhältnis 1 : 2,5 berechnet (Kakaopulver : Kakaobutter).

Die ökonomische Allokation ist mit Nachteilen verbunden, da die Preisgestaltung des Kakao-marktes insgesamt verschiedenen Schwächen unterliegt. Exemplarisch sollen hier drei genannt sein, welche ggf. die Datengrundlage schwächen [Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit; Südwind e.V.; Deutschland / Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung et al. 2018]:

- Preisgestaltung des Weltmarktes weitgehend unabhängig von Angebot/Nachfrage durch wenige Einzelunternehmen
- Spekulation von Kakaobohnen sowie von Kakao-Kuppelprodukten auf dem Weltmarkt
- Informeller Handel von Kakaobohnen und Kakao-Kuppelprodukten nicht über den Weltmarkt (z.B. Schmuggel)

In dieser Studie haben wir uns trotzdem dafür entschieden die ökonomische Allokation anhand der Weltmarktpreise vorzunehmen, da diese nach dem aktuellen Stand aus unserer Sicht die beste Möglichkeit ist die Umweltkosten der Kakaoproduktion auf die Kuppelprodukte der Kakaobohne zu verteilen.

4.1.2 Kakaobutter und Kakaopulver: Allokation nach Masse

Der Anteil der Kakaobutter an der Kakaobohne schwankt stark, siehe Daten aus unterschiedlichen Quellen in Tabelle 8 und Abbildung 7.

Tabelle 8: Kakaobutteranteil an der Kakaobohne und zugehörige Literaturquelle.

Kakaobutteranteil an der Kakaobohne	Quelle
50-58 %	Naik & Kumar [2014]
47-56 %	Kamphuis [2017]
54 %	Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie e.V. [2020]
45-55 %	Chclt.net [2013]

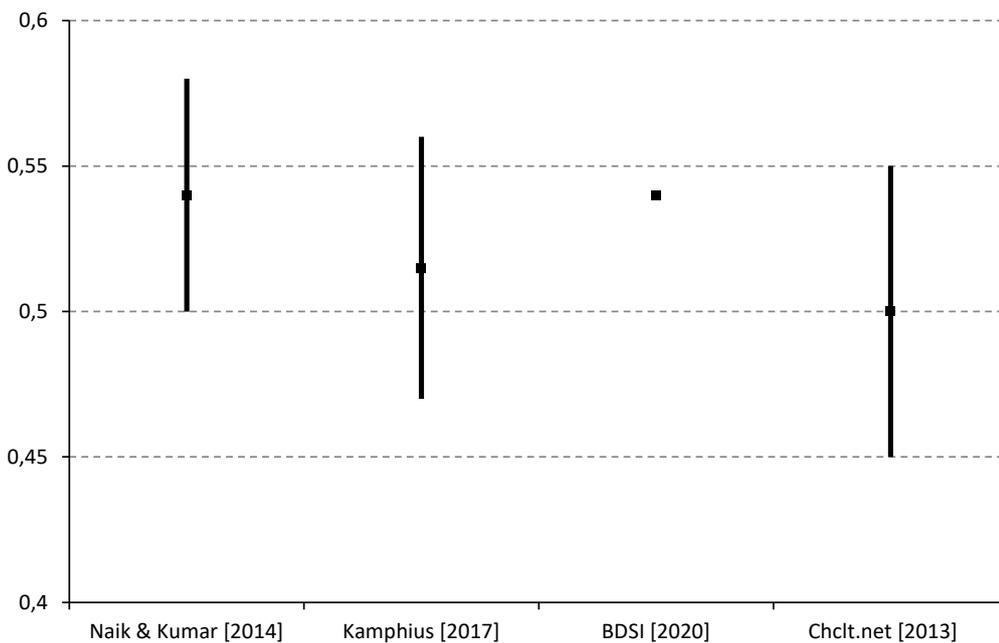


Abbildung 7: Massenanteile der Kakaobutter an der Kakaobohne, Angaben aus der Literatur.

Diesen Daten kann man entnehmen, dass der Kakaobutteranteil in der Bohne leicht über 50 % liegt. Bei diesen Angaben ist aber nicht klar, ob es sich hier um die vollständige Kakaobutterfettanteile in der Kakaobohne handelt oder um das erhaltene Produkt nach dem Abpressen der Kakaobutter von der Kakaomasse. Der Unterschied ist, dass grundsätzlich ein Teil des Kakaobutterfetts im Pulver verbleibt, auch bei stark entfettetem Kakaopulver. Um diesem Sachverhalt gerecht zu werden und auch die Volatilität der Kakaobutteranteile hinreichend zu berücksichtigen, setzen wir das Verhältnis zwischen Kakaobutter und Kakaopulver gerundet auf 50 : 50.

4.2 Ergebnisse für Kakaobutter und Kakaopulver

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse für die ökologischen Fußabdrücke für Kakaobutter und Kakaopulver nach ökonomischer Allokation dargestellt, dem zentralen Ergebnis für diese beiden Produkte. Es folgt in einem Exkurs eine Gegenüberstellung dieser Ergebnisse mit denen für eine Allokation nach Masse.

4.2.1 Ergebnisse für Kakaobutter und Kakaopulver

Die ökologischen Fußabdrücke für Kakaobutter und Kakaopulver nach ökonomischer Allokation errechnen sich aus den Ergebnissen der ökologischen Fußabdrücke von Kakaomasse, den Massenanteilen der von Kakaobutter und Kakaopulver (siehe Kapitel 4.1.2) sowie dem zuvor abgeleiteten ökonomischen Allokationsfaktor (siehe Kapitel 4.1.1). Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 aufgeführt und in Abbildung 8 bis Abbildung 11 als Grafiken dargestellt. Zu beachten ist hierbei, dass die Werte pro kg Handelsware angegeben sind.

Tabelle 9: Ökologische Fußabdrücke für Kakaomasse sowie für Kakaobutter und Kakaopulver.

	CO ₂ -Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq./kg]	Phosphat-fußabdruck [g P-Äq./kg]	Wasser-fußabdruck* [m ³ H ₂ O-Äq./kg]	Flächen-fußabdruck** [m ² ·a NFP/kg]
Kakaomasse	4,3	48	100	2,1
Kakaobutter	6,4	69	143	3,0
Kakaopulver	2,4	28	57	1,2

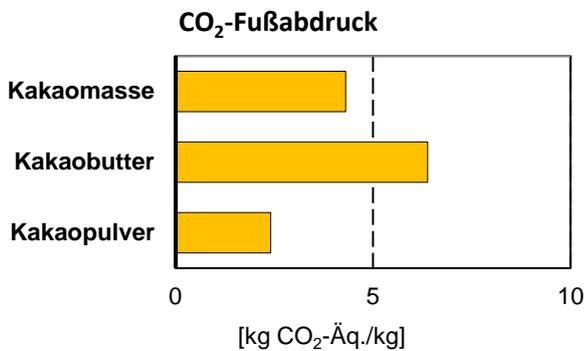


Abbildung 8: CO₂-Fußabdruck von Kakaoprodukten.

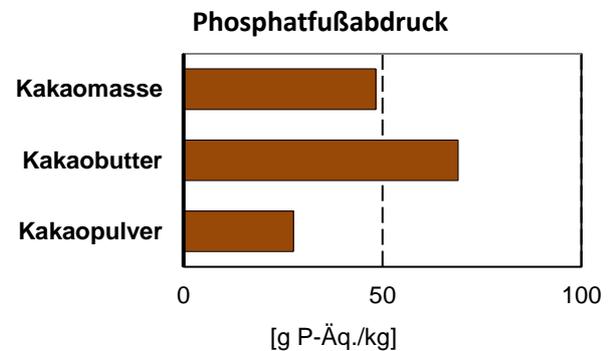


Abbildung 9: Phosphatfußabdruck von Kakaoprodukten.

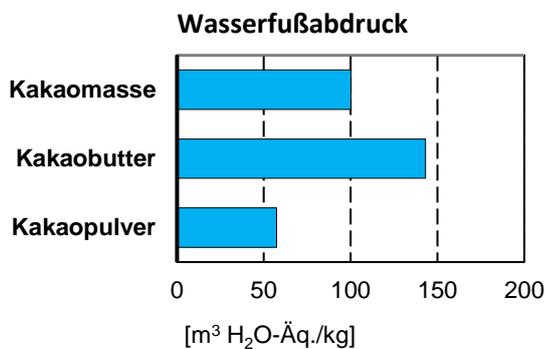


Abbildung 10: Wasserfußabdruck* von Kakaoprodukten.

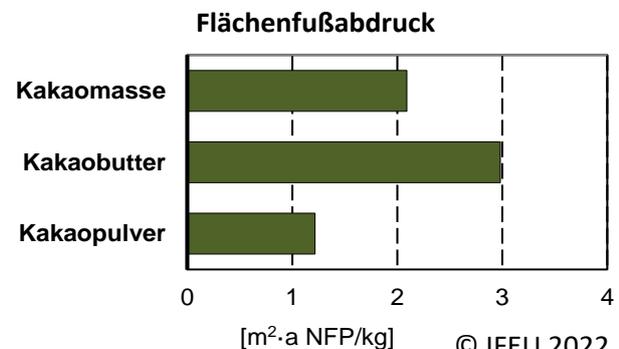


Abbildung 11: Flächenfußabdruck** von Kakaoprodukten.

* Wasserfußabdruck in Anlehnung an AWARE, siehe Kapitel 2.2.2.

** Flächenfußabdruck als Naturflächenbelegung/Naturferne-Potential, siehe Kapitel 2.2.2.

4.2.2 Exkurs: Gegenüberstellung der Ergebnisse unterschiedlicher Allokationsverfahren

In Tabelle 10 sind die ökologischen Fußabdrücke für Kakaobutter und Kakaopulver nach Allokation auf Basis der Massenbilanz aufgeführt. Durch das angesetzte Massenverhältnis von 50 : 50 für Kakaobutter und Kakaopulver ist die Umweltlast pro kg Lebensmittel für die Kuppelprodukte gleich der Kakaomasse.

Tabelle 10: Ökologische Fußabdrücke für Kakaomasse sowie für Kakaobutter und Kakaopulver nach Allokation nach Massenanteilen an der Kakaobohne.

	CO₂- Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq./kg]	Phosphat-fuß- abdruck [g P-Äq./kg]	Wasser- fußabdruck* [m ³ H ₂ O-Äq./kg]	Flächen- fußabdruck** [m ² -a NFP/kg]
Kakaomasse, Kakaobutter & Kakaopulver	4,3	48	100	2,1

* Wasserfußabdruck in Anlehnung an AWARE, siehe Kapitel 2.2.2.

** Flächenfußabdruck als Naturflächenbelegung/Naturferne-Potential, siehe Kapitel 2.2.2.

Die Allokation nach Masse unterschätzt die ökologischen Umweltlasten von Kakaobutter, während die Umweltlasten für Kakaopulver im Vergleich zur ökonomischen Allokation überschätzt werden.

Die Allokation nach dem Verhältnis der Weltmarktpreise ist in diesem Fall sinnvoll um die Umweltlast auf Basis der ökonomischen Bewertung zu verteilen. Insbesondere die Beachtung von langen Zeiträumen ist dabei wichtig.

5 Ökologische Fußabdrücke von Schokoladen

5.1 Verarbeitung von Kakaobohnen zu Schokolade

Nach der Ernte der Kakaofrucht werden die rohen Kakaobohnen aus dieser herausgelöst. Durch Fermentation und Röstung wird das typische Kakaoaroma erzielt. Aufgebrochen werden die Kakaobohnen in Druckreaktoren veredelt und anschließend alkalisiert um Säuren und weitere unerwünschte Geschmackskomponenten zu entfernen.

Die Kakaobohnen werden dann unter leichtem Erhitzen gemahlen. Die entstehende Kakaomasse findet Verwendung in vielen Kakaoprodukten (Schokolade, Getränkpulver, Glasuren) – abhängig vom jeweiligen Mahlgrad. Ein sich anschließender Pressvorgang trennt die Kakaobutter vom Kakaopresskuchen. Je nach Pressdruck wird unterschiedlich viel Kakaobutter aus der Kakaomasse herausgepresst, wodurch das aus dem Kakaopresskuchen entstehende Kakaopulver verschiedene Restfettanteile enthalten kann. Der Presskuchen wird nach dem Pressen vermahlen und abhängig vom Pressdruck als leicht oder stark entfettetes Kakaopulver weiter verarbeitet oder vertrieben [KATALYSE Institut 2021].

Die Verarbeitung zu Schokolade gelingt schließlich durch Conchieren einer Mischung aus Kakaoprodukten, Zucker sowie weiteren Bestandteilen wie Milchpulver. Dabei wird der Masse Feuchtigkeit durch Verdunsten entzogen und eine zartschmelzende, feincremige Struktur erreicht. Anschließend wird die Schokolade verpackt, gelagert, vertrieben und im Supermarkt verkauft.

Die ökologischen Fußabdrücke der einzelnen Kakao-Komponenten sind in den vorstehenden Kapiteln aufgeführt. Für Zucker und Milchpulver sind diese in Kapitel 5.2 aufgeführt. Für die letzten Schritte der Verarbeitung, Verpackung und Logistik setzen wir typische Verbräuche bzw. Daten an [ifeu 2022], wobei bei der Verpackung ein Recyceln / Entsorgen nach typischen Verhältnissen in Deutschland bereits berücksichtigt ist. Eine tiefergehende Analyse dieser Schritte ist nicht notwendig, da diese Einzelschritte zum Gesamtergebnis nur marginal beitragen.

5.2 Zusammensetzung

Für die Berechnung der ökologischen Fußabdrücke von Schokolade wurden die in typischen Basisrezepten enthaltenen Hauptzutaten mit ihren jeweiligen Anteilen ermittelt und für die drei betrachteten Schokoladen (Abbildung 12) jeweils ein typisches Basisrezept abgeleitet. Die in Tabelle 11 angegebenen Anteile der Hauptzutaten der abgeleiteten typischen Rezepte wurden beispielhaft für eine Bandbreite von Schokoladen gewählt [Schokoladenrezepturen 2021]. Im Einzelfall können die Werte bei speziellen Rezepten um 10-20 % um die vorliegenden Angaben schwanken.

Für die Produktion von Schokolade werden neben den Kakaobestandteilen weitere Zutaten benötigt, insbesondere Zucker und Milchpulver. Die ökologischen Fußabdrücke für Rübenzucker und Milchpulver sind in Tabelle 12 aufgeführt und beziehen sich auf in Deutschland hergestellte Produkte (siehe Kapitel 2.3, Tabelle 12). Die meistens enthaltenen Nebenzutaten wie insbesondere Emulgatoren, wie Lecithin und Aromastoffe wie Vanillearoma wurden aufgrund ihrer geringen Anteile nicht in den Rezepten abgebildet.

Tabelle 11: Typische Zusammensetzung von Milkschokolade, dunkler Schokolade und weißer Schokolade mit den Masseanteilen der jeweiligen Hauptzutaten.

Milkschokolade		Dunkle Schokolade		Weiße Schokolade	
Zucker	45 %	Zucker	45 %	Zucker	45 %
Kakaobutter	20 %	Kakaomasse	45 %	Kakaobutter	30 %
Milchpulver	20 %	Kakaobutter	10 %	Milchpulver	25 %
Kakaomasse	15 %				

Milkschokolade besteht hauptsächlich aus Zucker, Kakaobutter, (Voll-)milchpulver sowie Kakaomasse. Weitere Inhaltsstoffe können Vanille(-extrakte), Haselnusszubereitungen, sowie Emulgatoren sein.

Im Gegensatz zu Milkschokolade enthält **dunkle Schokolade** nur selten Milchpulver. Verglichen mit Milkschokolade wird ein deutlich höherer Kakaomasseanteil sowie ein geringerer Kakaobutteranteil in den Rezepturen verwendet.

Weiße Schokolade enthält in allen betrachteten Rezepturen neben dem Zuckeranteil Kakaobutter sowie verschiedene Milchpulvertypen. Weitere optionale Inhaltsstoffe sind Buttereinfett, Vanille(-aroma) sowie Emulgatoren.



Abbildung 12: Dunkle Schokolade, Milkschokolade und weiße Schokolade.

Tabelle 12: Werte der verwendeten ökologischen Fußabdrücke für Rübenzucker und Milchpulver [ifeu 2022].

	CO ₂ - Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq./kg]	Phosphat- fußabdruck [g P-Äq./kg]	Wasser- fußabdruck* [m ³ H ₂ O-Äq./kg]	Flächen- fußabdruck** [m ² ·a NFP/kg]
Rübenzucker	0,7	24	0,4	0,5
Milchpulver	9,5	113	11,0	2,7

* Wasserfußabdruck in Anlehnung an AWARE, siehe Kapitel 2.2.2.

** Flächenfußabdruck als Naturflächenbelegung/Naturferne-Potential, siehe Kapitel 2.2.2.

5.3 Ergebnisse für Schokoladen

Abbildung 13 bis Abbildung 16 führen die ökologischen Fußabdrücke für die drei betrachteten Schokoladensorten auf (Milkschokolade, dunkler Schokolade und weiße Schokolade). Dabei werden die Ergebnisse differenziert nach einzelnen, wesentlichen Bereichen dargestellt: den Kakaobestandteilen, dem Milchbestandteil sowie dem Zuckeranteil. „Sonstiges“ umfasst alle anderen Prozesse: die Herstellung der Schokoladen (Mischen, Erwärmen, Conchieren), die Verpackung sowie die Logistik zum Supermarkt.

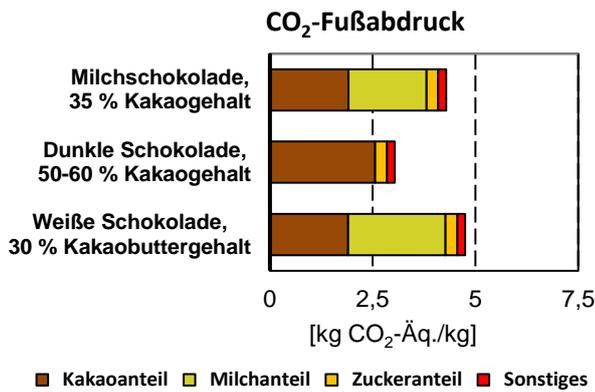


Abbildung 13: CO₂-Fußabdruck von Schokoladen.

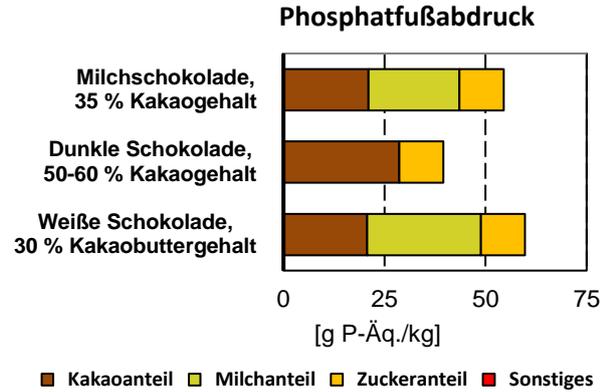


Abbildung 14: Phosphatfußabdruck von Schokoladen.

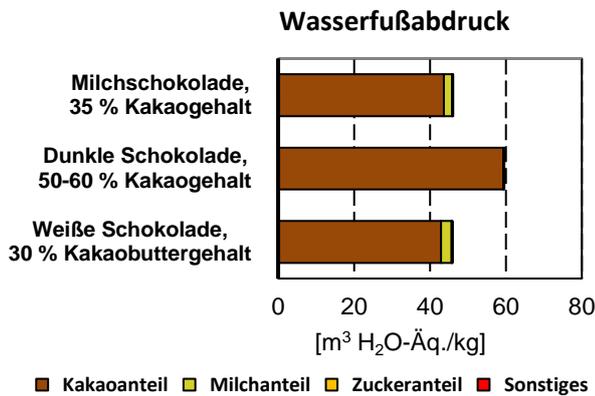


Abbildung 15: Wasserfußabdruck* von Schokoladen.

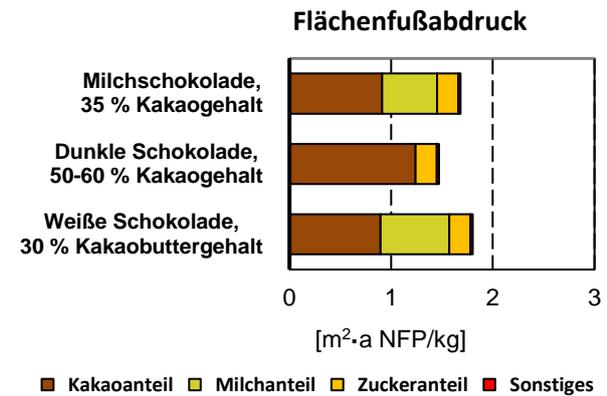


Abbildung 16: Flächenfußabdruck** von Schokoladen

* Wasserfußabdruck in Anlehnung an AWARE, siehe Kapitel 2.2.2.

** Flächenfußabdruck als Naturflächenbelegung/Naturferne-Potential, siehe Kapitel 2.2.2.

Für den CO₂-Fußabdruck sowie für den Phosphatfußabdruck schneidet die dunkle Schokolade im Vergleich zu Milkschokolade und weißer Schokolade am besten ab. Diese beiden ökologischen Fußabdrücke weisen für weiße Schokolade höhere Werte im Vergleich zu Milkschokolade und dunkler Schokolade auf. Beim Wasserfußabdruck schneidet Milkschokolade im Vergleich zu den anderen Schokoladen am besten ab, wobei Milkschokolade und weiße Schokolade nahezu gleiche Werte haben (Tabelle 13).

Tabelle 13: Ökologische Fußabdrücke für Schokoladen.

	CO₂- Fußabdruck [kg CO ₂ -Äq./kg]	Phosphat- fußabdruck [g P-Äq./kg]	Wasser- fußabdruck* [m ³ H ₂ O-Äq./kg]	Flächen- fußabdruck** [m ² ·a NFP/kg]
Milchschokolade	4,3	54	46	1,7
Dunkle Schokolade	3,0	40	60	1,5
Weißer Schokolade	4,8	60	46	1,8

* Wasserfußabdruck in Anlehnung an AWARE, siehe Kapitel 2.2.2.

** Flächenfußabdruck als Naturflächenbelegung/Naturferne-Potential, siehe Kapitel 2.2.2.

Bei der Betrachtung des Flächenfußabdruckes fallen die geringen Unterschiede zwischen den Schokoladen auf. Dies ist damit zu erklären, dass Milchpulver einen Flächenfußabdruck hat, der ansatzweise in die Nähe des Flächenfußabdruckes von Kakaomasse kommt. Für den Wasserfußabdruck liegt der Wert von Milchpulver deutlich unter dem Wert von Kakaomasse. Dies wird nicht durch den etwas höheren Kakaobutteranteil ausgeglichen.

Fazit:

Insgesamt ist hervorzuheben, dass die Umweltlast der Schokoladen nicht direkt mit dem Anteil der Kakaobestandteile in Zusammenhang steht, da durch Milchpulver signifikante Anteile an Umweltlasten in die ökologischen Fußabdrücke eingebracht werden. Lediglich beim Wasserfußabdruck dominieren die Kakaobestandteile.

6 Übertragbarkeit und Verwendungshinweise

Anliegen der vorliegenden Publikation war die Ableitung von ökologischen Fußabdrücken für typische Kakao- und Schokoladenprodukte.

Die in dieser Studie gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf den Produktkonsum für Kakao- und Schokoladenprodukte in Deutschland, Stand 2022. Die hier aufgeführten Ergebnisse für typische Zusammensetzungen beziehen sich auf die für Deutschland wichtigen Importländer was die Verwendbarkeit der Ergebnisse ggf. einschränkt.

Für spezifische Produkte und Rezepturen können sich erhebliche Abweichungen von den gezeigten Werten ergeben. Weitere **Haupteinflussfaktoren** neben den **Rezepturen** sind der angesetzte **Ertrag** sowie die Bilanzierung der **Landnutzungsänderung**, insbesondere für den CO₂-Fußabdruck, sowie die angesetzten **Allokations- und Wichtungsfaktoren** (z.B. AWARE). Ein weiteres Beispiel ist die Allokation der Erträge auf 75 % der Fläche, da in den wichtigen Importländern Mischkultursysteme mit Schattenanbau der Kakaopflanzen genutzt werden.

Mit entsprechenden Anpassungen der genutzten Rahmenbedingungen nach den hier vorgeschlagenen Berechnungsmethoden oder einem Ansatz, der der Bandbreite an unterschiedlichen Kakao- und Schokoladenprodukten auf dem Markt sowie weiteren Produktionsmethoden gerecht wird, ist die Übertragung auf andere

- Rezepte (z.B. Trinkschokoladen, zucker-reduzierte Schokolade, Nuss-Schokolade),
- Produktionsstandorte (Belgische Schokolade, Schweizer Schokolade o. ä.) oder
- Rahmenbedingungen (z.B. Veredelung im Produktionsland, europäische Schokolade, Bio-Schokolade)

problemlos möglich.

Hierbei müssen insbesondere die oben genannten Haupteinflussfaktoren sowie die genutzten Methoden (siehe Kapitel 2) berücksichtigt werden.

Verwendung finden können die hier gezeigten Werte z.B. um die Umweltwirkungen der Luxus-Lebensmittelproduktion aufzuzeigen sowie um Abwägungseffekte bei der Betrachtung mehrerer Umweltwirkungskategorien zu verdeutlichen.

Beispiel Leitfrage: Ist der Wasserfußabdruck wichtiger als der CO₂-Fußabdruck?

Weiterhin kann die hier vorgestellte Studie zur methodischen Diskussion anregen und die Methodenentwicklung im Bereich der Ökobilanzierung voranbringen (z.B. Berechnung von Emissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderungen).

Als Orientierung bei Konsumentenscheidungen ist die Verwendung selbstverständlich ebenfalls möglich, wobei hier persönliche Präferenzen ggf. entscheidender sind.



7 Zusammenfassung und Ausblick

Die hier aufgeführten Ergebnisse für Kakao, die Kakaobestandteile und verschiedenen Schokoladen wurden vor allem nach zwei Aspekten abgeleitet:

- nach den aktuellen methodischen Vorgehensweisen zur Berechnung der betrachteten ökologischen Fußabdrücke
- für typische Verhältnisse in Deutschland (bei Importware: nach Importanteilen. Bei Produkten, insbesondere Schokoladen: in Deutschland produziert).

Damit stellen die Ergebnisse den derzeit bestmöglichen Stand der Wissenschaft dar und können für Fragestellungen oder Vergleiche mit diesen Randbedingungen gut herangezogen werden. Zudem listen sie ökologische Fußabdrücke wie Wasser- und Flächenfußabdruck auf, die bei vielen anderen Literaturquellen nicht oder nur teilweise oder unter Berücksichtigung veralteter Bilanzierungsmethoden, und damit nicht in sich konsistent abgebildet sind. Durch die Berücksichtigung von vier bei der Ernährungswende besonders wichtigen ökologischen Fußabdrücken können die Ergebnisse als Vergleich für die Bilanzen von anderen Genussmitteln herangezogen werden.

Andere Umweltwirkungen die beispielsweise bei Ökobilanzen oft bilanziert werden wie Versauerung, Ozonabbau oder Eutrophierung, lassen sich im Bedarfsfall mit den hier dokumentierten Systemgrenzen und Vorgehensweisen problemlos nachführen.

Insgesamt ist die Produktion von Kakao sowie von Kakaoprodukten wie Schokolade mit hohen lokalen und globalen Umweltwirkungen verbunden. Zukünftige Optimierungen lassen sich durch höhere Erträge sowie durch andere Zusammensetzungen der Importländer erzielen. Insbesondere die Rodung von Regenwaldflächen – auch bei kleinbäuerlichem Anbau – führt zu einem erheblichen Verlust an Biodiversität und der Emission von Klimagasen. Mit dem Kakaoanbau verbundene soziale und ökonomische Faktoren waren explizit nicht Teil der vorliegenden Studie, auch wenn diese durch gegebene Eigentumsstrukturen, Investitionsanreize sowie Lieferketten einen Einfluss auf die ökologischen Fußabdrücke von Kakaobohnen haben.

Fazit:

Die verschiedenen ökologischen Fußabdrücke, welche in dieser Studie abgeleitet wurden, geben einen Überblick über verschiedene ökologische Umweltwirkungen von Kakao- und Schokoladenprodukten und können so einen Beitrag zu umweltverträglichem Konsumverhalten leisten. Die Aufmerksamkeit auf weitere Umweltwirkungskategorien, neben dem CO₂-Fußabdruck, im Bereich der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung zu lenken war dabei wesentliches Anliegen dieser Publikation.

Aus Konsumentensicht können die Ergebnisse durchaus so interpretiert werden, dass die Unterschiede zwischen den Schokoladensorten in der Gesamtschau gering sind und somit der Konsument durchaus die Schokolade essen kann, die ihm schmeckt. Die Wahl von Bio- sowie Fairtrade-Ware sollte im Vordergrund stehen da diese Produkte mit einem Mehrwert im Bereich Biodiversität bzw. unter sozialen Gesichtspunkten verbunden sind. Insgesamt steht der reduzierte Konsum, sowie das Ersetzen durch andere Produkte ebenfalls als Möglichkeit offen die persönlichen ökologischen Fußabdrücke zu optimieren.



8 Abkürzungen

a	Jahr
aLULUC	Attributive Landnutzung-/Landnutzungsänderung
AWARE	Available WAter REmaining
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CH ₄	Methan
CSSV	Cacao swollen shoot virus
dLUC	Direkte Landnutzungsänderung
Äq.	Äquivalente
g	Gramm
ha	Hektar
H ₂ O	Wasser
kg	Kilogramm
K ₂ O	Kaliumoxid
m	Meter
N	Stickstoff
NFP	Naturferne-Potential
N ₂ O	Lachgas
P	Phosphat
P ₂ O ₅	Diphosphorpentoxid
t	Tonne



9 Anhang

Andere Studien in diesem Bereich zeigen stark voneinander abweichende Ergebnisse (siehe Abbildung 17 - Abbildung 20). Ein direkter Vergleich zu anderen Studien ist allerdings nur bedingt möglich, da zum Teil andere Berechnungsmethoden, Systemgrenzen und Einheiten genutzt wurden. Die Grafiken sollen lediglich einen Anhaltspunkt liefern.

Die Ergebnisse dieser Studie liegen für den CO₂-Fußabdruck von Schokolade teilweise im Bereich vorheriger Publikationen [Büsser & Jungbluth 2009; Konstantas et al. 2018]. Der Effekt ist jedoch nicht auf ähnliche Bilanzierungsmethoden zurück zu führen, sondern beruht zum Teil auf zwei gegenläufigen Effekten in unseren Berechnungen. Die Einbeziehung von Mischkultursystemen in der Bilanz verringert „unseren“ CO₂-Fußabdruck, während der Einbezug von aLULUC zu einer deutlichen Erhöhung führt. Beide Aspekte wurden in den genannten Publikationen nicht berücksichtigt.

Die wesentlich höheren Werte für den CO₂ Fußabdruck anderer Studien [Colomb et al. 2014; Dräger de Teran & Suckow 2021] ergeben sich vermutlich durch eine andere Berechnung der Landnutzungsänderung (dLUC vs. aLULUC) sowie durch andere Systemgrenzen (siehe Kapitel 2.2.2). Inwieweit sich weitere Unterschiede durch andere Werte für den genutzten Energiemix sowie aus unterschiedlichen Transportentfernungen ergeben, kann hier nicht beurteilt werden. Dies dürfte aber keine wesentliche Rolle spielen da diese Prozesse nur unwesentlich zu den Ergebnissen beitragen.

Für den Wasserfußabdruck und den Flächenfußabdruck sind ebenfalls verschiedene methodische Ansätze der Grund für deutliche Unterschiede zu bereits publizierten Werten. Dabei ist die Bewertung der Nutzung von limitierten Ressourcen ein Hauptunterschied (z.B. AWARE vs. Blaues Wasser).

Der Phosphat-Fußabdruck wurde in den zu Vergleichszwecken herangezogenen Studien nicht betrachtet und stellt daher ein Alleinstellungsmerkmal der hier vorgestellten Studie dar.

Diese Beispiele zeigen, dass die methodischen Herangehensweisen und das Setzen von Systemgrenzen für die Berechnung von Umweltwirkungen der Lebensmittelproduktion nicht standardisiert sind und große Auswirkungen auf die Ergebnisse haben können.

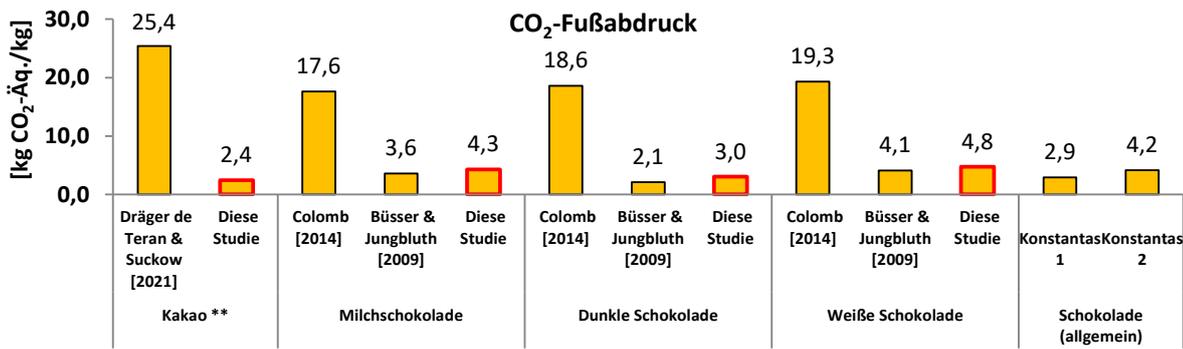


Abbildung 17: CO₂-Fußabdruck von Kakao und Schokoladenprodukten aus der Literatur im Vergleich zu Werten aus dieser Studie.

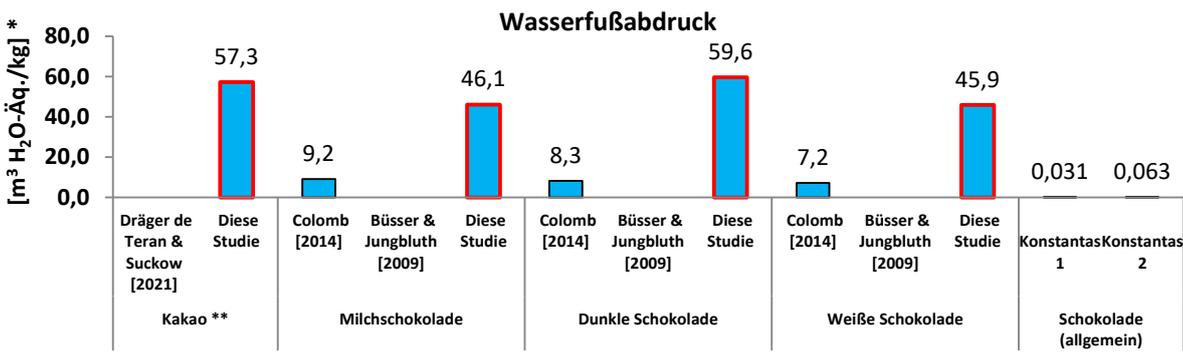


Abbildung 18: Wasserfußabdruck von Kakao und Schokoladenprodukten aus der Literatur im Vergleich zu Werten aus dieser Studie.

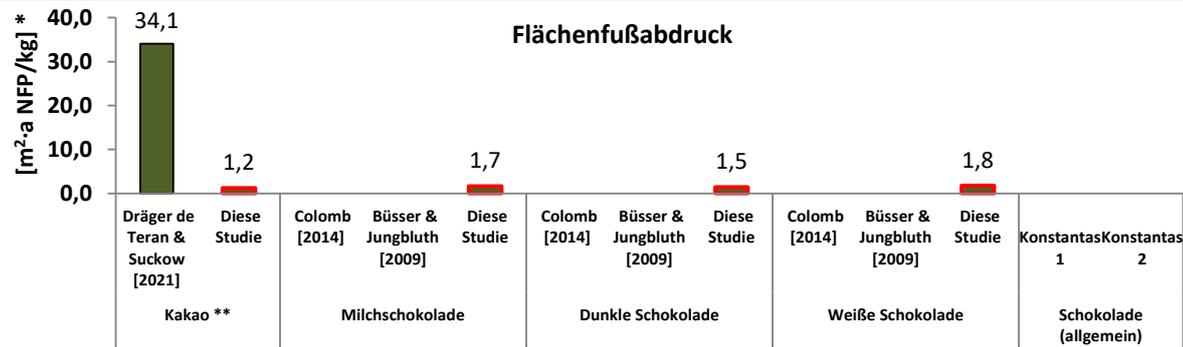
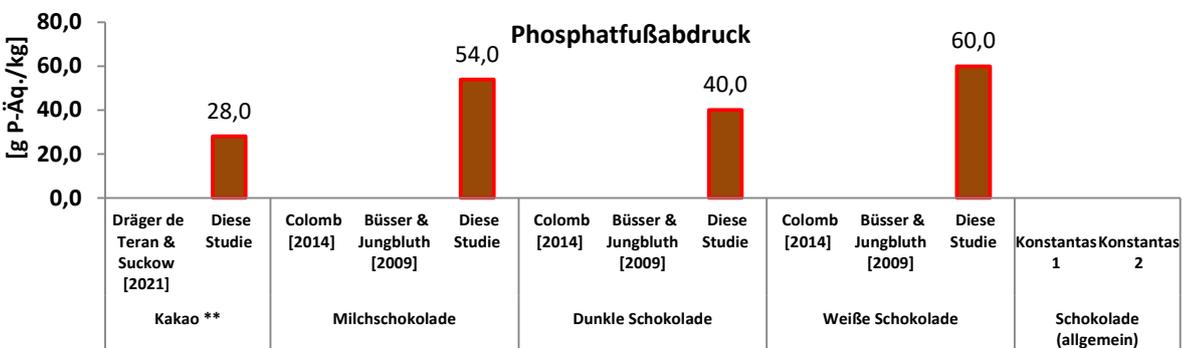


Abbildung 19: Flächenfußabdruck von Kakao und Schokoladenprodukten aus der Literatur im Vergleich zu Werten aus dieser Studie.



© IFEU 2022

Abbildung 20: Phosphatfußabdruck von Kakao und Schokoladenprodukten aus der Literatur im Vergleich zu Werten aus dieser Studie.

* zur Erläuterung, s. Kapitel 2.2.2.

** „Kakao“ wird an dieser Stelle als Kakaopulver, stark entfettet, verstanden – die Bezeichnung ist aus [Dräger de Teran & Suckow 2021] übernommen).

10 Literatur

- Afrane, G., Ntiamoah, A. (2011): Use of Pesticides in the Cocoa Industry and Their Impact on the Environment and the Food Chain. In: Stoytcheva, M. (ed.): *Pesticides in the Modern World: Risks and Benefits*, Ghana.
- Asogwa, E. U., Dongo, L. N. (2009): Problems associated with pesticide usage and application in Nigerian cocoa production: A review. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 4, No. 8, pp. 675–683. <https://doi.org/10.5897/AJAR.9000564>.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>.
- Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie e.V. (BDSI) (2020): So entsteht Kakaopulver. In: *SchokoInfo, Alles über Schokolade*, <<https://schokoInfo.de/schokotorial/so-entsteht-kakaopulver/>>.
- Büsser, S., Jungbluth, N. (2009): LCA of Chocolate Packed in Aluminium Foil Based Packaging.
- Chclt.net (2013): Wie Kakaobutter Schokolade verfeinert. In: *chclt.net, Der Schokoladen-Geschmacksführer*, <<http://de.chclt.net/kakaobutter-und-schokolade/>>.
- Colomb, V., Amar, S., Basset-Mens, C., Gac, A., Gaillard, G., Koch, P., Mousset, J., Salou, T., Tailleur, A., van der Werf, H. (2014): AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling.
- Destatis (2021): Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online#astructure>.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit; Südwind e.V.; Deutschland / Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Hütz-Adams, F., Schneeweiß, A. (2018): Preisgestaltung in der Wertschöpfungskette Kakao - Ursachen und Auswirkungen. Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn, Deutschland.
- Dräger de Teran, T., Suckow, T. (2021): So schmeckt Zukunft: Der kulinarische Kompass für eine gesunde Erde, Klimaschutz, landwirtschaftliche Fläche und natürliche Lebensräume. In: *Besseresser:innen - planetarisch kulinarisch, Ernährung in den Grenzen unseres Planeten*. WWF Deutschland, Berlin. <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/kulinarische-kompass-klima.pdf>.
- Europäisches Parlament, International Cocoa Organization, EuroStat (2010): Kakao in Zahlen. <https://www.europarl.europa.eu/pdf/cocoa/cocoa_exp_in_de.pdf>.
- EuroStat (2017): Where does your Easter chocolate come from? In: *eurostat, Your key to European statistics*, <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20170414-1>>.
- FAOStat (2021): FAO Statistics Database (FAOStat). Statistics Division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- 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.
- Fehrenbach, H., Rettenmaier, N., Reinhardt, G., Busch, M. (2019): Festlegung des Indikators für die Bilanzierung der Ressource Fläche bzw. Naturraum in Ökobilanzen [Land use in life cycle assessment: proposal for an indicator and application guidelines]. In: *ifeu papers*, 02/2019. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Heidelberg, Germany. www.ifeu.de/ifeu-papers/.

- Hartemink, A. E. (2005): Nutrient Stocks, Nutrient Cycling, and Soil Changes in Cocoa Ecosystems: A Review. In: *Advances in Agronomy*, Elsevier. pp. 227–253. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)86005-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86005-5).
- ifeu (2022): Kontinuierlich aktualisierte interne ifeu-Datenbank. IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Heidelberg.
- IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ISO (2018): ISO 14067:2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization.
- KakaoV (2003): Verordnung über Kakao- und Schokoladenerzeugnisse.
- Kamphuis, H. J. (2017): Production of cocoa mass, cocoa butter and cocoa powder. In: *Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use*, John Wiley & Sons, Ltd. pp. 50–71. <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch3>.
- KATALYSE Institut (2021): Gewinnung von Kakaopulver und Kakaobutter – Chemie in Lebensmitteln – KATALYSE Institut. <<http://chemie-in-lebensmitteln.katalyse.de/gewinnung-von-kakaopulver-und-kakaobutter/>>. (Jun. 25, 2021).
- Konstantas, A., Jeswani, H. K., Stamford, L., Azapagic, A. (2018): Environmental impacts of chocolate production and consumption in the UK. *Food Research International*, Vol. 106, pp. 1012–1025. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.042>.
- Meyers, P. J. (2021): Cocoa Monthly Report, Foresight. 29 p.
- Müller-Lindenlauf, M., Gärtner, S., Reinhardt, G. (2014): Nährstoffbilanzen und Nährstoffemissionsfaktoren für Ökobilanzen landwirtschaftlicher Produkte [Nutrient balances and emission factors for life cycle assessment of agricultural products]. ifeu - Institute for Energy and Environmental Research, Heidelberg, Germany.
- Naik, B., Kumar, V. (2014): Cocoa Butter and Its Alternatives: A Review. *Journal of Bioresource Engineering and Technology*, p. 2:1-11.
- OroVerde (2021): Kakao und Schokolade, Süße Versuchung mit gutem Gewissen? - Verbrauchertipps. <<https://www.regenwald-schuetzen.org/verbrauchertipps/kakao-und-schokolade>>.
- Rehm, S., Espig, G. (1996): Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen: Anbau, wirtschaftliche Bedeutung, Verwertung. Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- 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.
- Schokoladenrezepturen (2021): Schokoladenrezepturen basierend auf: <http://de.chclt.net/schokolade/>, <https://www.schoki-welt.de/schokolatensorten/>, <https://de.openfoodfacts.org>, <https://www.kochbar.de>, <https://www.chefkoch.de/rezepte/>, <https://www.rewe.de/ernaehrung/schokolade/warenkunde/>. Seitenabruf: 08/2021.
- van Vliet, J. A., Giller, K. E. (2017): Chapter Five - Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. In: Sparks, D. L. (ed.): *Advances in Agronomy*, Academic Press. pp. 185–270. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>.

