



---

# **BACHELORARBEIT**

---

Frau

**Alida Kreißig**

**Schweinefleisch oder Soja-  
bohne? Der Einfluss von  
Fleisch und seinen pflanzli-  
chen Alternativen auf die Um-  
welt in Deutschland und auf  
das Klima**

Mittweida, 2022

## **BACHELORARBEIT**

---

# **Schweinefleisch oder Sojabohne? Der Einfluss von Fleisch und seinen pflanzlichen Alternativen auf die Umwelt in Deutschland und auf das Klima**

Autor:

**Frau**

**Alida Kreißig**

Studiengang:

**Energie- und Umweltmanagement**

Seminargruppe:

**EU19w1-B**

Erstprüfer:

**Dr. Inga-Maria Eichentopf**

Zweitprüfer:

**Prof. Dr. rer. nat. Dieter Braun**

Einreichung:

**Mittweida, 12.08.2022**

Verteidigung/Bewertung:

**Mittweida, 2022**

# BACHELOR THESIS

---

## **Pork meat or soybean? The impact of meat and its plant- based alternatives on the en- vironment in Germany and on the climate**

author:

**Ms.**

**Alida Kreißig**

course of studies:

**energy and environmental management**

seminar group:

**EU19w1-B**

first examiner:

**Dr. Inga-Maria Eichentopf**

second examiner:

**Prof. Dr. rer. nat. Dieter Braun**

submission:

**Mittweida, 12.08.2022**

defence/ evaluation:

**Mittweida, 2022**



## **Bibliografische Beschreibung:**

Kreißig, Alida:

Schweinefleisch oder Sojabohne? Der Einfluss von Fleisch und seinen pflanzlichen Alternativen auf die Umwelt in Deutschland und auf das Klima.

51 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen, Bachelorarbeit, 2022

## **Abstract:**

Der Verzehr von Fleisch wird zunehmend als globales Problem im Hinblick auf den Klimawandel betrachtet. Eine Lösung für dieses Problem versprechen Fleischersatzprodukte, da diese Produkte vermeintlich klimafreundlicher als Fleisch sind.

Das Ziel dieser Arbeit ist es daher, zu beantworten, inwiefern sich der Verzehr von Fleisch im Vergleich zu pflanzlichen Fleischersatzprodukten auf die Umwelt und das Klima auswirkt. Dabei wird betrachtet, welche Auswirkungen pflanzliche Fleischersatzprodukte auf Sojabasis im Vergleich zu konventionell hergestellten Fleischprodukten auf die Umwelt in Deutschland und das globale Klima haben.

Anhand einer Literaturrecherche und einer selbst erstellten Ökobilanz werden die Auswirkungen analysiert. Bei den zu vergleichenden Produkten liegt der Fokus insbesondere auf dem Wasser- und Landverbrauch sowie dem Ausstoß von Treibhausgasemissionen während der Herstellung.

Die Ergebnisse der Literaturstudie und eigenen Berechnungen zeigen, dass konventionell hergestelltes Fleisch einen höheren Wasser- und Landverbrauch, sowie höhere Emissionen von Treibhausgasen verursacht, als das zu vergleichende Fleischersatzprodukt auf Sojabasis.

Unter der Annahme, dass Fleischprodukte umwelt- und klimaschädlicher sind als pflanzliche Fleischersatzprodukte würde die Reduzierung des hohen Fleischkonsums in Deutschland einen positiven Effekt mit sich bringen.

# Inhalt

<b>Abstract:</b> .....	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>iv</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>viii</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung und Eingrenzung des Themas .....	2
1.3 Vorgehensweise .....	2
<b>2 Definitionen</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Signifikanz der Fleischindustrie im Umwelt- und Klimabereich</b> .....	<b>4</b>
3.1 Aktuelle Problemfelder der Umwelt .....	4
3.1.1 Fakten und Entwicklung des Klimawandels .....	5
3.1.2 Beitrag der Landwirtschaft am Klimawandel .....	7
3.1.3 Anteil des Ernährungssektors am Klimawandel .....	8
3.2 Begriffsverständnis und Rahmenbedingungen für pflanzliche Fleischersatzprodukte... 10	
3.3 Konsumverhalten von Fleisch und Fleischersatzprodukten .....	11
3.3.1 Aktuelle Entwicklungen Welt- und Deutschlandweit.....	11
3.3.2 Prognosen und einhergehende globale Auswirkungen der Fleischproduktion bezogen auf die Umwelt und das Klima .....	14
<b>4 Vergleich der Umwelt- und Klimaauswirkungen der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie in Deutschland</b> .....	<b>18</b>
4.1 Herstellungsverfahren der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie .....	18
4.2 Wasserfußabdruck der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie .....	22
4.3 Flächenfußabdruck der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie.....	25
4.4 Treibhausgasausstoß der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie.....	28
4.5 Auswertung und Zwischenfazit.....	30
<b>5 Methodik und allgemeines Vorgehen</b> .....	<b>33</b>

<b>6</b>	<b>Erstellung einer Ökobilanz.....</b>	<b>38</b>
6.1	Definition von Ziel und Umfang .....	38
6.2	Beschreibung der Sachbilanz.....	40
6.3	Festlegung der Wirkungskategorien und –indikatoren.....	42
6.4	Ergebnisse.....	43
6.4.1	Vergleich zwischen Schweine- und Sojaschnitzel.....	43
6.4.2	Beitragsanalyse Schweineschnitzel .....	45
6.4.3	Beitragsanalyse Sojaschnitzel.....	46
6.4.4	Vergleich der Phasen in der Wirkungskategorie des Klimawandels .....	47
<b>7</b>	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>50</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>ix</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>xxii</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung.....</b>	<b>xxxiv</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die wichtigsten Umweltprobleme weltweit, Angabe in Prozent, IN: Grey und Jackson, 2020, S. 21.....	4
Abbildung 2: Atmosphärische Kohlenstoffdioxidkonzentration und globale Temperaturabweichung seit 1850, IN: BMU, 2021, S. 7.....	5
Abbildung 3: Anteile der Treibhausgase an den Emissionen der Landwirtschaft 2021, Anteile in Prozent IN: Umweltbundesamt, 2022.....	7
Abbildung 4: Beitrag der Ernährung zum Treibhauseffekt anhand einzelner Prozesse in Deutschland, IN: eigene Darstellung nach von Koerber und Kretschmer, 2009a, S. 2 .....	8
Abbildung 5: Basisdaten für die Berechnung der direkten Treibhausgas Emissionen der Ernährung in Deutschland, IN: Noleppa, 2012, S. 27 .....	9
Abbildung 6: Anstieg der weltweiten Fleischproduktion von 1961 bis 2017 verschiedener Kontinente, Angabe in Tonnen, IN: Ritchie, 2019.....	12
Abbildung 7: Fleischkonsum der Deutschen nach Jahr und Fleischart IN: BLE, 2021 ....	13
Abbildung 8: Prognose der weltweiten Fleischproduktion, von 2013 -2050. Angaben in Tonnen. IN: our World in Data, o.D.....	14
Abbildung 9: Globale Markttrends für Fleisch und Fleischersatz, in Billionen US-Dollar und Prozent, sowie durchschnittliches jährliches Wachstum bis 2040, Prognose IN: Wunder, 2021, S. 44.....	16
Abbildung 10: Flächennutzung in Deutschland 2020, Angabe in Hektar und Abgrenzung der Landwirtschaftlichen Nutzfläche in Prozent, IN: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2021, S. 7 .....	17
Abbildung 11: Futtermittelverbrauch von Kraftfutter für Schweinefleisch in Deutschland (in %/ kg Tierprodukt) IN: eigene Darstellung nach von Witzke et al., 2011, S. 26.....	19
Abbildung 12: Typischer Herstellungsprozess pflanzenbasierter Fleischalternativen, IN: Jetzke et al., 2020, S. 30.....	22



Abbildung 13: Durchschnittlicher Wasserfußabdruck konventionelles Schweinefleisch ( m <sup>3</sup> /t, Angabe der Anteile in Prozent, IN: eigene Darstellung nach Mekonnen und Hoekstra, 2010, S. 29.....	24
Abbildung 14: Durchschnittlicher Wasserfußabdruck Sojabohnen ( m <sup>3</sup> /t), Angabe der Anteile in Prozent, IN: eigene Darstellung nach Mekonnen und Hoekstra, 2010, S. 22 ..	25
Abbildung 15: Flächenfußabdruck für Ackerland verschiedener Nahrungsmittel in Deutschland 2010 IN: eigene Darstellung nach Fischer et al., 2017, S. 39.....	26
Abbildung 16: Flächenbedarf von Fleisch pro verzehrsfähiger Energie des Produkts (m <sup>2</sup> /1000 kcal), Angabe der Anteile in Prozent, IN: eigene Darstellung nach von Koerber et al., 2009b, S. 179.....	26
Abbildung 17: Verwendung von Sojabohnen, Angabe in Prozent, IN: Ritchie und Roser, 2021 .....	27
Abbildung 18: globale THG-Emissionen bei der Schweinefleischherstellung (cradle-to-gate), Angabe in Prozent, IN: eigene Darstellung nach Rojas-Downing et al., 2017, S. 155 .....	28
Abbildung 19: Anteil von wichtigen Prozessschritte für die Gesamtumweltbelastung einer Portion Sojabohnen, eingeweicht und gekocht (60 g), Angabe in UBP IN: Jungbluth et al., 2016, S. 24.....	29
Abbildung 20: ökologischer Vergleich unterschiedlicher Fleischarten mit einer Sojaalternative auf Grundlage von drei Umweltkategorien, Angaben in Prozent, IN: eigene Darstellung nach Jetzke et al., 2020, S. 63 und S. 69; von Koerber et al., 2009b, S. 179; Noleppa, 2012, S. 27; Fresán et al., 2019 .....	31
Abbildung 21: Phasen einer Ökobilanz, IN: DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 17 .....	33
Abbildung 22: Bestandteile der Wirkungsabschätzungsphase, IN: DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 25.....	35
Abbildung 23: Systemgrenzen Herstellung Schweineschnitzel IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., 2022, S. 5 .....	39

Abbildung 24: Systemgrenzen Herstellung Sojaschnitzel IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., 2022, S. 5 .....	39
Abbildung 25: Vergleich der Umweltkategorien zwischen Schweine- und Sojaschnitzel, Angabe in Prozent, Absolutwerte in jeweiliger Einheit, IN: eigene Darstellung .....	43
Abbildung 26: Anteil der jeweiligen Bestandteile an den Wirkungskategorien vom Schweineschnitzel, Angabe in Prozent, IN: eigene Darstellung .....	45
Abbildung 27: Anteil der jeweiligen Inhaltsstoffe an den Wirkungskategorien vom Sojaschnitzel, Angabe in Prozent, IN: eigene Darstellung.....	46
Abbildung 28: Vergleich der Bestandteile von Schweine- und Sojaschnitzel anhand der Wirkungskategorie des Klimawandels, Angaben in Prozent IN: eigene Darstellung .....	48
Abbildung 29: Grafik zur Schweineschnitzelherstellung aus Umberto LCA+, IN: eigene Darstellung.....	xxxiii
Abbildung 30: Grafik zur Sojaschnitzelherstellung aus Umberto LCA+, IN: eigene Darstellung.....	xxxiii

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswirkung der Prozessschritte von Schweine- und Sojaschnitzel auf die Wirkungskategorien; IN: eigene Darstellung.....	44
Tabelle 2: In- und Outputs der Sojaschnitzelherstellung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.6, 2022.....	xxiv
Tabelle 3: In- und Outputs der Schweineaufzucht, IN: eigene Darstellung.....	xxvi
Tabelle 4: In- und Outputs der Schweineschlachtung und Zerlegung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.3, 2022 .....	xxvii
Tabelle 5: In- und Outputs der Schweineverarbeitung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.4, 2022.....	xxix
Tabelle 6: Allokationsfaktoren der Schweineschlachtung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.1, 2022.....	xxix
Tabelle 7: Allokationsfaktoren der Fleischzerlegung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.2, 2022.....	xxix
Tabelle 8: absolute Anteile der Wirkungskategorien von Schweine und Sojaschnitzel, mit Gruppe und Faktor, IN: eigene Darstellung .....	xxx
Tabelle 9: Anteil der Inhaltsstoffe an den jeweiligen Wirkungskategorien der Sojaschnitzelherstellung, IN: eigene Darstellung.....	xxx
Tabelle 10: Anteil der Bestandteile an den jeweiligen Wirkungskategorien der Schweineschnitzelherstellung, IN: eigene Darstellung .....	xxxi
Tabelle 11: Vergleich der Bestandteile von Schweine- und Sojaschnitzel anhand der Wirkungskategorie Klimawandel, IN: eigene Darstellung .....	xxxii

# Abkürzungsverzeichnis

BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
bzw.	beziehungsweise
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> eq	Kohlenstoffdioxid Äquivalente
FAO	Food and Agriculture Organization (zu Deutsch: Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen)
GWP	global warming potential (zu Deutsch: globales Erwärmungspotential) (IPCC, 2022, S. 7)
i.H.v.	in Höhe von
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (zu Deutsch: Weltklimarat)
kcal	Kilokalorien
LCA	Lebenszyklusanalyse
N <sub>2</sub> O	Lachgas
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development (zu Deutsch Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
p.a.	per annum (zu Deutsch pro Jahr)
THG	Treibhausgas
TierSchIV	Tierschutz-Schlachtverordnung
TierSchTrV	Tierschutztransportverordnung
UBP	Umweltbelastungspunkte
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (zu Deutsch: Klimarahmenkonvention)
uvm.	und viele mehr

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

*„Der Ackerbau ist die Wurzel all Bildung in der Welt.“ - Berthold Auerbach.*

Durch diese alte Bauernregel von Berthold Auerbach (1812 - 1882) erkannte man schon damals die Bedeutung der Landwirtschaft (Diller, 2020). Seit Jahrhunderten durchläuft die Landwirtschaft einen stetigen Wandel. Der Einsatz modernster Technologie ermöglicht eine immer weiter steigende Effizienz (BMEL, 2020, S. 11). Aktuell haben die Themen Tierwohl und besonders Klimawandel einen zentralen Einfluss auf die Entwicklungsrichtung der Landwirtschaft (ebd., S. 13). Doch Fakt ist, dass die Landwirtschaft nach wie vor die Grundlage der Nahrungsmittelversorgung der Menschen darstellt. Durch etwa 275.400 landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland werden jeden Tag pflanzliche und tierische Produkte für den menschlichen Verzehr produziert (ebd., S. 7). Gleichzeitig wird insbesondere die Herstellung von Fleisch zunehmend kritisiert, da unter anderem die Haltung von Nutztieren für 7 % der deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich sind (Jetzke et al., 2020, S. 10; Umweltbundesamt, 2022a). Landnutzungsänderungen, Futtermittelproduktion, Tierproduktion, Gülle-Management und Transport tragen zu einem jährlichen Ausstoß von 54 Mio. t Kohlenstoffdioxid Äquivalenten (CO<sub>2</sub> eq) in Deutschland bei (Steinfeld et al., 2006, S. XX; Umweltbundesamt, 2022a). Demzufolge hat die Landwirtschaft einen maßgeblichen Anteil an den von 1881 bis heute angestiegener Temperatur von 1,6 °C in Deutschland (BMU, 2021, S. 10). Die Folgen sind unter anderem durch Extremwetterereignisse, niedrigen Grundwasserständen oder die Ausbreitung von gefährlichen Tierarten wie die Tigermücke, die in Deutschland nicht auftretende Krankheiten wie Chikungunya- oder Denguefieber mit sich bringt, bereits heute spürbar (ebd., S. 10-11).

Doch anstatt Fleischprodukte zu reduzieren und so den Treibhausgasausstoß zu minimieren, wächst durch die steigende Weltbevölkerung auch der Bedarf an Fleisch. So hat Chemnitz (2018, S. 10) in einer Studie ein Szenario beschrieben, bei der die jährliche Produktion fleischhaltiger Lebensmittel bis 2050 nochmals um 85 % wachsen soll. Der wachsende Fleischbedarf kann allerdings nur durch den Ausbau der Viehwirtschaft gedeckt werden, was folglich einen großen Anteil am Klimawandel hat (Umweltbundesamt, 2022a).

Die globale Landwirtschaft und Fleischindustrie steht somit vor enormen Herausforderungen, der wachsenden globalen Fleischnachfrage gerecht zu werden und gleichzeitig den Prozess zu einem nachhaltigeren Fleischsystem fortzuführen (Gerhardt et al., 2019, S. 7). Letztendlich wird ersichtlich, dass die Notwendigkeit darin besteht, den derzeitigen Fleischkonsum zu reduzieren. Entweder sollte auf diese Produkte verzichtet oder nach

Alternativen gesucht werden (Jetzke et al., 2020, S. 10, 15). Auch die Lebensmittelindustrie hat diese Notwendigkeit erkannt und bietet nun eine Reihe von Fleischersatzprodukten an. Diese sollen in Konsistenz, Geschmack und Aussehen echtem Fleisch ähneln und gleichzeitig umweltfreundlicher produziert werden, um Fleisch langfristig zu ersetzen (Jetzke et al., 2020, S. 10, 15).

Aus Umweltsicht konzentriert sich der eingangs erwähnte Diskurs in dieser Arbeit insbesondere auf die Treibhausgasemissionen, den hohen Flächenverbrauch und die Wassereffizienz der konventionellen Tierhaltung (Jetzke et al., 2020, S. 11). Es wird untersucht, ob pflanzliche Fleischprodukte in diesen Bereichen nachhaltiger produziert werden und so einen wertvollen Impact für die Umwelt darstellen können. Ebenso wird erörtert, ob für die Produktion von Fleischersatzprodukten der Regenwald abgeholzt werden muss, wie viele Kritiker behaupten. Daher wird in der vorliegenden Arbeit folgende Forschungsfrage beantwortet: Welche Auswirkungen haben pflanzliche Fleischersatzprodukte auf Sojabasis im Vergleich zu konventionell hergestellten Fleischprodukten auf die Umwelt in Deutschland und das globale Klima?

## **1.2 Zielsetzung und Eingrenzung des Themas**

Dieses ohnehin komplexe Thema lässt sich nicht in jedem erdenklichen Zusammenhang darstellen. Daher werden die Themen des ethischen Kontexts, der gesundheitlichen Aspekte und des Nährwertprofils der zu vergleichenden Produkte nicht behandelt. Im Fokus steht hingegen der umwelt- und klimabezogene Vergleich zwischen Fleisch und pflanzlichen Fleischersatzprodukten. Dabei werden insbesondere die Bedeutung des Wasser- und Landverbrauchs sowie der Klimaauswirkung in Form vom THG Ausstoß im Vordergrund stehen. Im Wesentlichen wird dieser Vergleich auf Deutschland begrenzt. Internationale Verflechtungen und Einflüsse tragen dazu bei, die Argumente an geeigneter Stelle zu stützen.

## **1.3 Vorgehensweise**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sieben Kapitel. Nach der Einleitung und einer Ausführung in die relevanten Definitionen in Kapitel zwei folgt zunächst die theoretische Betrachtung auf Grundlage einer Literaturrecherche. Dabei kennzeichnet Kapitel drei den voranschreitenden Klimawandel durch die landwirtschaftliche Relevanz und den Anteil des Ernährungssektors. Dargestellt werden zudem die Bedeutung, Entwicklung und Prognosen von Fleisch und Fleischersatzprodukten. Das vierte Kapitel bewertet die Umweltbelastung von konventionell hergestellten Fleischprodukten im Vergleich zu einem pflanzlichen Fleischersatzprodukt auf Sojabasis. Faktoren zum Vergleich bedienen sich bei der Herstellung, dem Wasser- und Landverbrauch sowie der THG Emissionen.

Eine selbst erstellte Ökobilanz und dessen Erläuterung in Kapitel fünf und sechs runden diese Arbeit um die Ergebnisse aus der Breite der aktuellen Literatur ab. Kapitel sieben fasst die zentralen Ergebnisse zusammen und endet mit den gewonnen Erkenntnissen.

## 2 Definitionen

Im Folgenden werden Begriffe definiert, die für den weiteren Verlauf der Arbeit von Relevanz sind.

### **Die Umwelt**

Der Begriff Umwelt wird als die Summe der äußeren Objekte und Bedingungen definiert, die auf den Organismus einwirken und die Lebensbedingungen beeinflussen (Dudenredaktion, o.D.; Toepfer, 2011, S. 566).

### **Das Klima**

Der Begriff Klima bezeichnet das statistische Durchschnittswetter einer Region über einen definierten Zeitraum von mindestens 30 Jahren (Umweltbundesamt, 2021).

### **Der Treibhauseffekt**

Als Treibhauseffekt wird die Erwärmung der Erdoberfläche durch kurzwellige Sonnenstrahlung verstanden. Dabei reflektiert die Erdoberfläche die einfallende Strahlung als langwellige Wärmestrahlung, die teilweise von atmosphärischen Treibhausgasen absorbiert wird. Durch die anschließende Abgabe der absorbierten Energie wird ein Teil der Strahlung zurück zur Erde reflektiert, die dann wiederum die Erdoberfläche und die untere Atmosphärenschicht erwärmt (Birkmann et al., 2013, S. 23).

### **Die Kohlenstoffdioxid-Äquivalente**

Die Kohlenstoffdioxid Äquivalente (CO<sub>2</sub> eq) wird als Maßeinheit verwendet, um die Emissionen verschiedener Treibhausgase, wie Methan oder Lachgas, nach dem global warming potential, zu Deutsch: globales Erwärmungspotential (GWP), zu vergleichen (Eurostat, 2017). Das GWP stellt die Erwärmungswirkung einer bestimmten Menge an Treibhausgasen im Vergleich zu CO<sub>2</sub> über einen festgelegten Zeitraum von 100 Jahren dar (IPCC Synthesebericht, 2014, S. 46, 129). Dazu werden die Mengen anderer Gase in äquivalente Mengen zu CO<sub>2</sub> umgerechnet (Eurostat, 2017).

### 3 Signifikanz der Fleischindustrie im Umwelt- und Klimabereich

Im Juli 2022 umfasste die Weltbevölkerung etwa 7,99 Mrd. Menschen (Weltbevölkerung, 2022). Die Vereinten Nationen prognostizieren, dass die Weltbevölkerung bis 2050 auf 9,7 Mrd. Menschen wachsen wird (United Nations, 2019, S. 1). Diese werden mehr Nahrung benötigen und mit zunehmendem Wohlstand ebenso höhere Ansprüche an Fleisch und Milchprodukte haben. Um diesen Bedarf decken zu können, muss die landwirtschaftliche Produktion bis 2050 um etwa zwei Drittel gesteigert werden (BMEL, 2018, S. 5). Dazu müssen Wasser, fruchtbare Böden wie auch Biodiversität intelligenter und vor allem effizienter genutzt und erhalten werden (ebd.). Doch gerade mal 18 % des weltweit verfügbaren Ackerlandes werden für den menschlichen Verzehr verwendet. Der größte Teil der Ernte (71 %) wird an Tiere verfüttert, um Fleisch zu produzieren, das schließlich von Menschen gegessen wird (Jering et al., 2013, S. 12).

Der weltweite Fleischkonsum wird zunehmend aus ökologischen Gründen kritisiert, was zu einer Diskussion über alternative Proteinquellen führt (BMEL, 2021a, S. 1).

#### 3.1 Aktuelle Problemfelder der Umwelt

Die Autoren Grey und Jackson führten 2020 eine Befragung durch, anhand derer die wichtigsten Umweltprobleme in den verschiedenen Ländern auf der ganzen Welt abgebildet werden sollten (Abbildung 1).

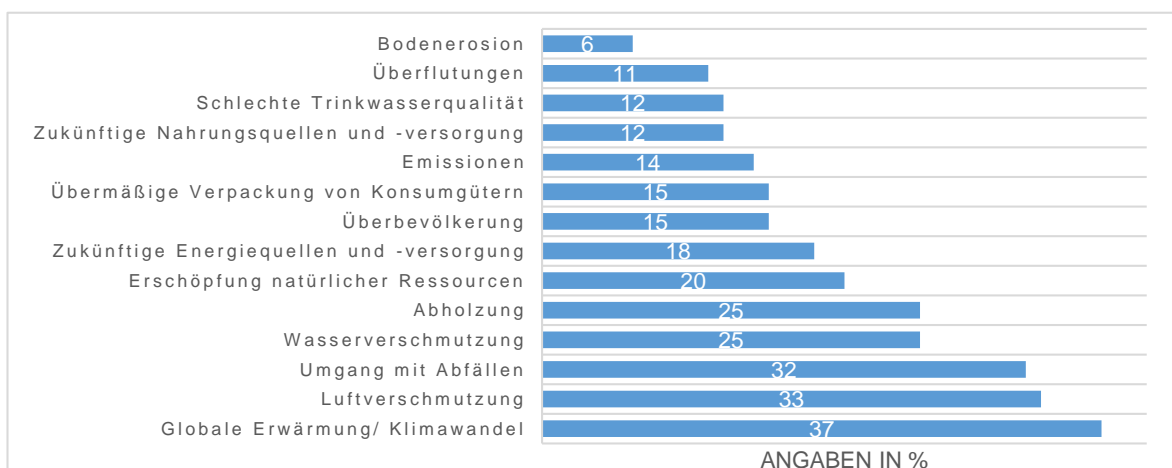


Abbildung 1: Die wichtigsten Umweltprobleme weltweit, Angabe in Prozent, IN: Grey und Jackson, 2020, S. 21



Die Bewertungen von Umweltproblemen und ihrer Bedeutung variieren je nach Region. Gleichwohl kamen sie zu dem Ergebnis, dass die globale Erwärmung, bzw. der Klimawandel zusammen mit der Luftverschmutzung und dem Umgang mit Abfällen zu den drei bedeutendsten Umweltproblemen gehören, mit denen die Weltbevölkerung konfrontiert wird (Grey und Jackson, 2020, S. 21).

Besonders der globale Klimawandel stellt sich als die größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts dar (Claupein, 2011, S. 1/5).

### 3.1.1 Fakten und Entwicklung des Klimawandels

Die United Nations Framework Convention on Climate Change, zu Deutsch Klimarahmenkonvention, (UNFCCC) definiert den Klimawandel in Artikel 1 des Rahmenübereinkommens der vereinten Nationen über Klimaänderungen als: „*Änderungen des Klimas, die unmittelbar oder mittelbar menschlicher Aktivität zugeordnet sind und die Zusammensetzung der globalen Atmosphäre verändern und die zu der über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimavariabilität hinzukommen.*“ (UNFCCC, o. D., S. 4). Somit unterscheidet die UNFCCC zwischen Klimaänderungen die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind und Klimavariabilitäten aufgrund natürlicher Ursachen (Edenhofer et al., 2014, S. 8). Der Intergovernmental Panel on Climate Change, zu Deutsch: Weltklimarat, (IPCC) macht hingegen keine solche Unterscheidung und definiert den Klimawandel als „*eine Zustandsänderung des Klimas, die aufgrund von Änderungen des Mittelwerts und/oder der Variabilität seiner Eigenschaften nachgewiesen werden kann (z. B. mit Hilfe von statistischen Methoden) und die über einen längeren Zeitraum von typischerweise Jahrzehnten oder länger andauert*“ (ebd.).

Im Jahr 2020 lag die globale Durchschnittstemperatur etwa 1,2 °C über dem vorindustriellen Niveau von 1850 (BMU, 2021, S. 7) (Abbildung 2).

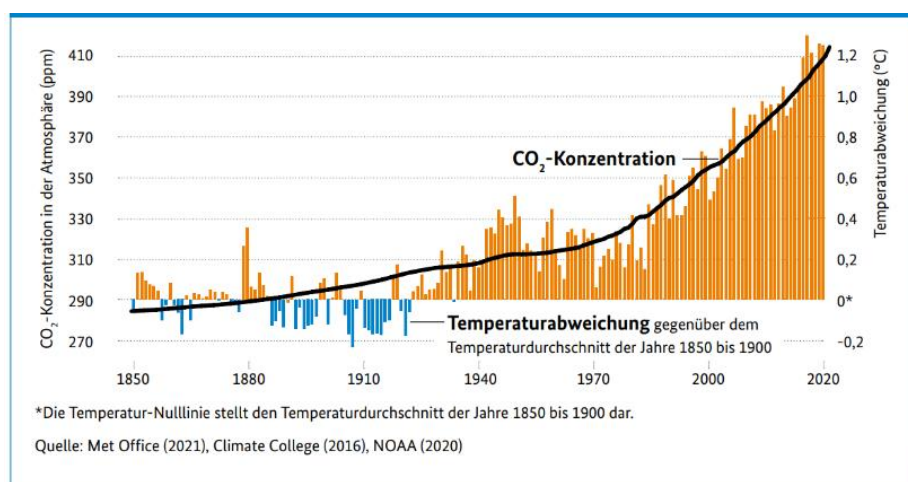


Abbildung 2: Atmosphärische Kohlenstoffdioxidkonzentration und globale Temperaturabweichung seit 1850, IN: BMU, 2021, S. 7

Der sehr schnelle Temperaturanstieg macht den Unterschied zwischen dem anthropogenen Klimawandel und natürlichen Veränderungen, wie der Eiszeit- Warmzeit-Zyklen, deutlich. Die Folgen der Erderwärmung sind bereits heute spürbar, so haben beispielsweise die Temperaturrekorde in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Nach 2016 war 2020 das weltweit zweitwärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (BMU, 2021, S. 7). Steigende Temperaturen sind allerdings nicht die einzigen Folgen des Klimawandels. In Europa ist in den nächsten Jahren mit einer steigenden Hochwassergefahr zu rechnen. Davon sind besonders Wohngebiete an der Küste bedroht (Reese et al., 2016, S. 6-11). Der zukünftige Anstieg des Meeresspiegels ist eine schwer festzumachende Variable, da erhebliche regionale Unterschiede im Anstieg der Meeresspiegel existieren (DKK und KDM, 2019, S. 6). Jedoch wird davon ausgegangen, dass bis zum Ende dieses Jahrhunderts mit einem globalen Meeresspiegelanstieg von 60 bis 110 cm zu rechnen ist, wenn die Konzentration der Emissionen weiter wie bisher zunimmt (DKK und KDM, 2019, S. 15). Durch den Meeresspiegelanstieg könnten Wohnflächen von mindestens 1,6 Mio. Menschen allein in Europa überschwemmt werden (Reese et al., 2016, S. 6-11). Wasserknappheit, Veränderungen und Degradationen der Gewässerqualität sowie Hitzebelastungen und die Verbreitung wärmeabhängiger Krankheitserreger sind weitere Beispiele für die Folgen des Klimawandels (ebd.). Der Klimawandel ist auf den vom Menschen verursachten Anstieg des Treibhauseffekts zurückzuführen. Wie in Abbildung 2 dargestellt, ist die Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre seit Mitte des 19. Jahrhunderts um 45 % gestiegen (BMU, 2021, S. 7). Dieses Wachstum ist hauptsächlich auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Erdgas, die Verwendung von Kalkstein zur Herstellung von Zement wie auch auf die großflächige Entwaldung zurückzuführen (BMU, 2021, S. 7). Ebenso steigen die Konzentrationen anderer klimarelevanter Treibhausgase deutlich an. Dazu gehören Methan und Lachgas, die hauptsächlich in der Landwirtschaft produziert werden, sowie fluorierte Gase (ebd.). Dabei hat Lachgas eine 300-fach und Methan eine 20-fach höhere Klimawirkung als CO<sub>2</sub> (Claupein, 2011, S. 1/5).

### 3.1.2 Beitrag der Landwirtschaft am Klimawandel

Der Agrarsektor hat eine CO<sub>2</sub> eq von 54,8 Mio. t und ist somit für 7 % der gesamten Emissionen Deutschlands im Jahr 2021 verantwortlich (Umweltbundesamt, 2022a). Dabei entstehen die meisten Emissionen in Form von Methan und Lachgas. Demnach stammen etwa 65 % der Methan- und 77 % der Lachgas-Emissionen in Deutschland aus der Landwirtschaft (ebd.). Wie bereits in Kapitel 3.1.1 beschrieben, haben diese Treibhausgas (THG) Emissionen eine viel höhere Klimawirkung als CO<sub>2</sub>. Methanemissionen machen mit 56,4 % den größten Teil der Treibhausgasemissionen des Agrarsektors aus (Umweltbundesamt, 2022a). Es entsteht hauptsächlich durch den Verdauungsvorgang von Wiederkäuern, darunter insbesondere Rindern und Milchkühen, aber auch bei der Lagerung und Ausbringung von Dung (ebd.). Lachgasemissionen machen anteilig 38,8 % aus und werden vorwiegend durch die Bewirtschaftung organischer Böden und den Einsatz von mineralischen und organischen Düngemitteln freigesetzt. Daneben wird nur ein kleiner Teil von 4,7 % CO<sub>2</sub>, hauptsächlich durch die Kalkung der Böden, ausgestoßen (Umweltbundesamt, 2022a). Die genaue Aufteilung der Anteile ist in Abbildung 3 wiedergegeben.

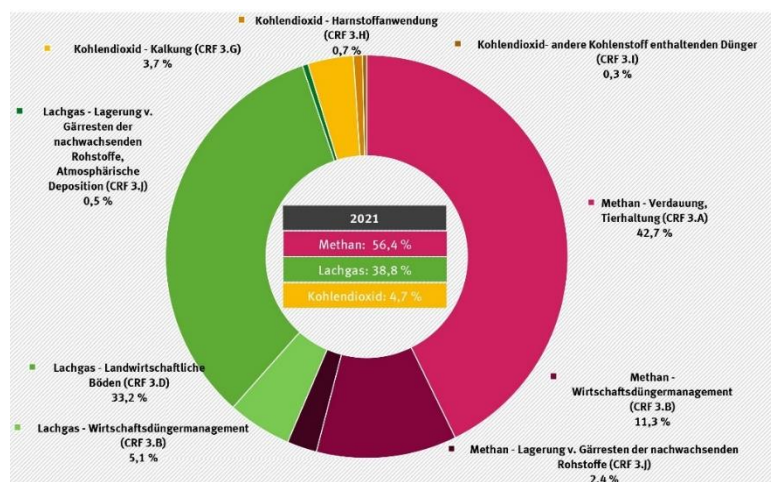


Abbildung 3: Anteile der Treibhausgase an den Emissionen der Landwirtschaft 2021, Anteile in Prozent IN: Umweltbundesamt, 2022

36 Mio. t CO<sub>2</sub> eq der relevanten THG Emissionen sind auf die Viehhaltung zurückzuführen (Umweltbundesamt, 2022a), womit die Tierhaltung für 66 % der landwirtschaftlichen Emissionen und knapp 5 % der deutschen Gesamtemissionen verantwortlich ist (ebd).

Das menschliche Konsumverhalten bestimmt die Höhe der THG Emissionen aus Landwirtschaft und Ernährung. Die Landwirtschaft liefert nur die Rohstoffe für die Lebensmittelproduktion, alle weiteren Indikatoren, wie z.B. die Herstellung, die Verarbeitung und der Transport der Lebensmittel, werden im Ernährungssektor verwirklicht (BMEL, 2022).

### 3.1.3 Anteil des Ernährungssektors am Klimawandel

Die menschliche Ernährung trägt maßgeblich zur Emissionsbildung klimaschädlicher Gase bei (Noleppa, 2012, S. 8). Der durch die Nahrung verursachte Anteil an den THG-Emissionen in Deutschland beläuft sich nach von Koerber und Kretschmer (2009a, S. 280) auf 20 %. Dagegen publizieren Fritsche und Eberle (2007, S. 4) einen Wert von 16 %. Diese Systemschwankungen entstehen, da sich die bisherigen Studien nur auf grobe Rahmenkalkulationen und Literaturrecherchen stützen (Noleppa, 2012, S. 8).

Zudem entstehen THG-Emissionen von Lebensmitteln entlang der Wertschöpfungskette. Diese besteht aus mehreren Teilschritten, welche die landwirtschaftliche Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung sowie den Transport, die Zubereitung von Speisen Zuhause und die Entsorgung von Speiseresten dazuzählt (ebd., S. 11). Dadurch ist es problematisch, sinnvolle Grenzen zur Berechnung der ernährungsbedingten THG-Emissionen zu ziehen (ebd., S. 8). Je mehr Verarbeitungsschritte für ein Produkt notwendig sind, desto stärker fällt die Umweltbelastung des einzelnen Produkts aus. Der Anteil der Treibhausgase in der Produktion variiert in Abhängigkeit von anderen Faktoren wie Verpackung, Lagerung, Transport und Abfallentsorgung (ebd., S. 13). Somit entstehen die THG Emissionen nicht nur durch die Landwirtschaft. Demzufolge ist es sinnvoll, die Emissionen jedes Prozessschrittes in der Wertschöpfungskette möglichst einzeln darzustellen (ebd.). Abbildung 4 veranschaulicht den Beitrag der Ernährung zum Treibhauseffekt in Deutschland bezogen auf einzelne Prozesse.

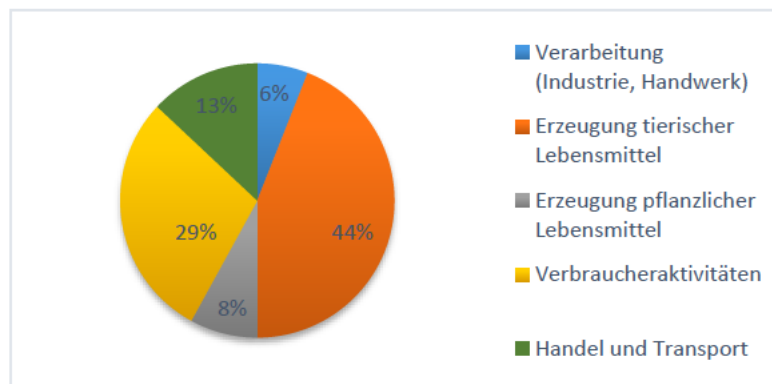


Abbildung 4: Beitrag der Ernährung zum Treibhauseffekt anhand einzelner Prozesse in Deutschland, IN: eigene Darstellung nach von Koerber und Kretschmer, 2009a, S. 2

Der Großteil (44 %) der lebensmittelbedingten Emissionen stammt aus der Produktion tierischer Lebensmittel, was auf den hohen Methanausstoß der Rinder- und Milchviehhaltung zurückzuführen ist (von Koerber und Kretschmer, 2009a, S. 280; Umweltbundesamt, 2022a). Fast ein Drittel (29 %) der THG Emissionen wird durch Verbraucheraktivitäten, wie Heizen, Kühlen, Einkaufen, Kochen oder Geschirrspülen, verursacht. Der Handel, einschließlich der Verpackung und des Transports von Lebensmitteln, macht einen Anteil von 13 % aus. Im Vergleich dazu erwirtschaften die Lebensmittelindustrie und das verarbeitende Gewerbe einen relativ geringen Anteil von 6 % (von Koerber und Kretschmer, 2009a, S. 280).

Die folgende Abbildung 5 liefert Informationen über verschiedene Lebensmittelprodukte, die den Pro-Kopf-Verbrauch (in kg), die THG-Emissionen je kg Nahrungsmittel (in kg CO<sub>2</sub> eq) und die direkten THG-Emissionen pro Kopf Verbrauch (in kg CO<sub>2</sub> eq) darstellt. Die Nahrungsmittel sind systematisch in sieben Kategorien aufgeschlüsselt.

Nahrungsmittel	Pro-Kopf-Verbrauch (in kg)	THG-Emissionen (in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent je kg Nahrungsmittel)	Direkte THG-Emissionen des Pro-Kopf-Verbrauchs (in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent)
<b>Getreideerzeugnisse</b>			
Weizenmehl	66,4	1,68	111,6
Roggenmehl	8,9	1,68	15,0
Erzeugnisse aus sonstigem Getreide	16,4	1,68	27,6
<b>Reis, Hülsenfrüchte und Kartoffeln</b>			
Reis	4,9	6,20	30,4
Hülsenfrüchte	1,0	2,75	2,7
Kartoffeln	65,5	0,62	40,9
Kartoffelstärke	6,5	3,12	20,3
<b>Zucker, Honig und Kakao</b>			
Zucker	33,9	2,81	95,2
Honig	1,0	---	---
Kakaomasse	3,2	2,79	8,9
<b>Gemüse und Obst</b>			
Gemüse aus Marktanbau*	92,7	0,90	83,4
Obst aus Marktanbau*	70,9	0,98	69,8
Zitrusfrüchte	43,2	0,98	42,5
Schalenfrüchte (Nüsse u. Kerne)	4,1	1,77	7,3
Trockenobst	1,4	3,12	4,4
<b>Fleisch und Fleischerzeugnisse, Fische und Fischerzeugnisse</b>			
Rind- und Kalbfleisch	12,6	20,65	260,2
Schweinefleisch	54,4	7,99	434,8
Schaf- und Ziegenfleisch	0,8	14,90	11,9
Geflügelfleisch	19,3	4,22	81,5
Sonstiges Fleisch	2,2	11,94	26,3
Fische und Fischerzeugnisse	15,7	4,12	64,6
<b>Milch und Milcherzeugnisse</b>			
Frismilcherzeugnisse	84,6	1,76	149,2
Sahneerzeugnisse	5,7	3,28	18,7
Kondensmilcherzeugnisse	2,7	3,28	8,8
Vollmilchpulver	1,3	14,70	19,1
Magermilch- und Buttermilchpulver	0,7	14,70	10,3
Käse	22,8	7,84	178,7
<b>Fette und Öle, Eier und Eierzeugnisse</b>			
Butter	6,0	14,77	88,6
Pflanzliche Fette (Margarine, Speiseöle)	15,1	2,48	37,5
Eier und Eierzeugnisse	13,1	2,00	26,3
<b>Gesamt</b>	<b>676,9</b>	<b>n. d.</b>	<b>1.976,3</b>

Abbildung 5: Basisdaten für die Berechnung der direkten Treibhausgas Emissionen der Ernährung in Deutschland, IN: Noleppa, 2012, S. 27

Auffällig ist, dass der Anteil des Pro-Kopf-Verbrauchs von Gemüse und Obst mit etwa 212 kg mit Abstand der höchste ist. Darauf folgen Milch und Milcherzeugnisse mit insgesamt 117,8 kg, Getreide und Getreideprodukte mit 91,7 kg sowie Fleisch und Fleischprodukte

mit 89,3 kg (Noleppa, 2012, S. 27). In Bezug auf die THG-Emissionen je kg Nahrungsmittel wird deutlich, dass Fleisch und Fleischerzeugnisse mit insgesamt 814,7 kg CO<sub>2</sub> eq pro kg die höchsten THG-Emissionen aufweisen. Dabei verursacht Geflügelfleisch mit 4,22 kg CO<sub>2</sub> eq/kg viel weniger THG Emissionen als Rindfleisch mit 20,65 kg CO<sub>2</sub> eq/kg. Ebenso unterliegen Milchprodukte starken Schwankungen. Die Werte reichen von 1,76 kg CO<sub>2</sub> eq/kg für Frischmilchprodukten bis 14,7 kg CO<sub>2</sub> eq/kg für stark verarbeitetes Milchpulver (Noleppa, 2012, S. 27). Gemüse und Obst, sowie Getreide und Getreideprodukte weisen die niedrigsten THG Emissionen auf. Im Unterschied dazu weisen die Daten aus den direkten THG-Emissionen bezogen auf den Pro-Kopf-Verbrauch, starke deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Lebensmitteln auf. Während Rindfleisch am meisten THG-Emissionen pro kg Lebensmittel ausstößt, liegt es jetzt an zweiter Stelle, 1,6-mal übertroffen von Schweinefleisch (ebd.). Darüber hinaus haben frische Milchprodukte und Käse, die im Vergleich zu ihrer Herstellung recht niedrige THG-Emissionen pro kg Lebensmittel aufweisen, aufgrund ihres hohen Pro-Kopf-Verbrauchs ebenso hohe THG-Gesamtemissionen. Doch nicht immer haben tierische Lebensmittel einen höheren Gesamt THG Ausstoß als pflanzliche Lebensmittel. Die gesamten THG-Emissionen aus der Geflügelfleischproduktion betragen 81,5 kg CO<sub>2</sub> eq/kg. Diese sind im Vergleich um einiges niedriger ist als die gesamten THG-Emissionen von Weizenmehl und die vom Gemüse aus dem Marktanbau (ebd.). Auch das Fleisch von Schafen und Ziegen schneidet aufgrund der geringen Verzehr Quote bei der Berechnung der THG-Emissionen des Pro-Kopf-Verbrauchs deutlich besser ab als einige pflanzliche Produkte (ebd.).

Dennoch wird deutlich, dass der Verzehr von tierischen Lebensmitteln im Allgemeinen, dabei insbesondere von Fleisch, reduziert werden muss. Die Abbildung zeigt deutlich welche Lebensmittelgruppen schlussendlich einen großen Einfluss auf die Umwelt und das Klima haben. Eine Möglichkeit besteht entweder darin, keines dieser Produkte zu verzehren oder auf Alternativen zurückzugreifen (Jetzke et al., 2020, S. 11). Letzteres wird im folgenden Kapitel näher erläutert.

### **3.2 Begriffsverständnis und Rahmenbedingungen für pflanzliche Fleischersatzprodukte**

Zur Umstellung des Fleischkonsums gibt es derzeit viele Alternativen und Ersatzprodukte. Ersatzprodukte können verwendet werden, um den Bedarf an tierischem Protein zu decken, ohne auf konventionelle Fleischprodukte zurückgreifen zu müssen (Jetzke et al., 2020, S. 15).

Neben den über Jahren etablierten Fleischersatzprodukten, die beispielsweise aus Seitan (Weizeneiweiß), Quorn (fermentiertes Pilzmyzel) oder Soja hergestellt werden, gibt es auch neue Produkte auf dem Markt, die tierischem Fleisch sehr ähnlich sind (Wunder, 2021, S. 44). Beispiele bieten hier das In-Vitro-Fleisch (Laborfleisch) oder essbare Insekten (Jetzke et al., 2020, S. 15 -16).

Bei Fleischersatzprodukten werden die Inhaltsstoffe so verändert, dass pflanzliche Proteine an Muskelketten erinnern. Hinzu kommen neue Inhaltsstoffe wie Erbsen- und Lupinoproteine oder auch pflanzliches Hämoglobin, die dem Produkt nicht nur ein blutiges Aussehen, sondern auch einen fleischigen Geschmack verleihen (Wunder, 2021, S. 44).

Zum besseren Verständnis und aufgrund des Umfangs dieser Arbeit werden im Folgenden ausschließlich die pflanzlichen Fleischersatzprodukte näher erläutert. Diese Produkte enthalten keine Erzeugnisse tierischen Ursprungs. Ebenso werden weder bei der Produktion noch bei der Verarbeitung Zutaten, Verarbeitungshilfsstoffe oder Zusatzstoffe tierischer Herkunft verwendet (Verbraucherschutzministerkonferenz, 2016, S. 1). Pflanzliche Fleischersatzprodukte sind seit dem 19. Jahrhundert in der Wirtschaft etabliert (Shurtleff & Aoyagi, 2014, S. 5-9). Aufgrund der verbesserten Herstellungsverfahren werden sie zunehmend als Imitate von Fleischprodukten beschrieben (Jetzke et al., 2020, S. 16). Sie kommen in vielen verschiedenen Formen vor und bestehen aus einer Vielzahl von Inhaltsstoffen. Neben Gemüse-Burgern oder Seitan- und Sojaschnitzel, gibt es unter anderem auch Soja-, Getreide- und Erbsenwürste, Geflügel- und Hackfleischimitate und vieles mehr (ebd.).

Infolgedessen gibt es viele Anzeichen dafür, dass pflanzliche Fleischalternativen ein komplexes und dynamisches Feld bieten, deren zukünftige Entwicklung spannend bleibt (ebd., S. 18). Die nachfolgenden Kapitel geben einen Überblick über die Entwicklung des umweltrelevanten Produkts.

### **3.3 Konsumverhalten von Fleisch und Fleischersatzprodukten**

Konsum- und Ernährungsverhalten sind nicht konstant, sondern verändern sich aufgrund vielfältiger Einflussfaktoren ständig. In diesem Zusammenhang ist es von besonderer Relevanz zu beschreiben, inwieweit Muster beim Konsum von Fleisch und Fleischersatzprodukten in der Zukunft bereits heute erkennbare Veränderungen aufzeigen (Jetzke et al., 2020, S. 21).

#### **3.3.1 Aktuelle Entwicklungen Welt- und Deutschlandweit**

Die weltweite Fleischproduktion hat sich in den letzten 20 Jahren mehr als verdoppelt (Tostado, 2021, S. 10). Aus 41,5 kg Fleisch pro Kopf im Jahr 2010 wurden 43,2 kg im Jahr 2019 (Statistisches Bundesamt, 2022). Die weltweite Zunahme der Fleischproduktion ist zu gleichen Teilen auf das Bevölkerungswachstum und die steigenden Gehälter zurückzuführen. Prognosen der Heinrich-Böll-Stiftung zufolge, wird der Fleischkonsum bis 2028 möglicherweise noch einmal um 13 % steigen (Tostado, 2021, S. 10).

Die Fleischproduktion hat auf allen Kontinenten der Erde zugenommen. Das schnellste Wachstum fand allerdings in Asien statt, denn wie auch der Abbildung 6 zu entnehmen ist, hat sich die dortige Fleischproduktion in der Zeit von 1961 bis 2017 verzehnfacht, während sich die europäische Fleischproduktion im gleichen Zeitraum verdoppelt hat (Ritchie, 2019).

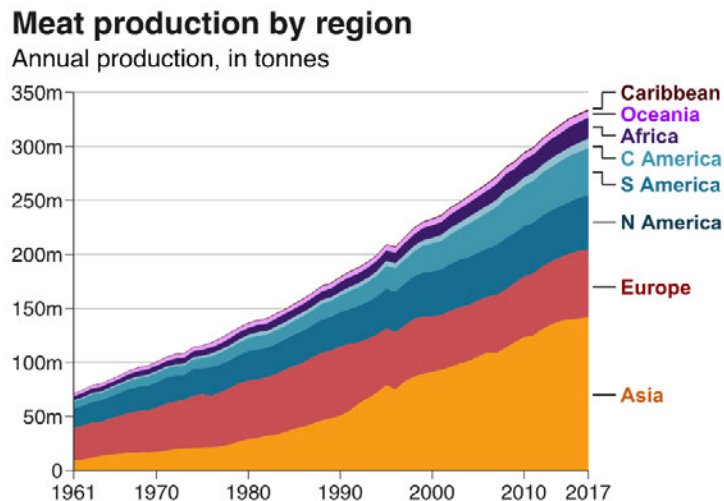


Abbildung 6: Anstieg der weltweiten Fleischproduktion von 1961 bis 2017 verschiedener Kontinente, Angabe in Tonnen, IN: Ritchie, 2019

Unterschiede zwischen den Kontinenten spiegeln sich nicht nur in der Fleischproduktion, sondern auch im Fleischkonsum der einzelnen Länder, wider. Im weltweiten Vergleich führt Australien die Liste des Fleischkonsums an. Im Jahr 2013 hatte Australien mit 116 kg den höchsten Pro-Kopf-Fleischkonsum, gefolgt von den USA mit 115 kg (Ritchie, 2019).

In afrikanischen oder asiatischen Ländern, in denen die Menschen ein niedriges Einkommen beziehen, ist der Fleischkonsum sehr gering. Beispielsweise verzehrt eine durchschnittliche Person in Indien nur etwa 5 kg Fleisch pro Jahr (Fiedler, 2014).

In Deutschland lag der Verzehr von Fleisch im Jahr 2021 bei 57,3 kg/ Kopf und damit so niedrig wie noch nie seit der Berechnung des Verzehrs im Jahr 1989 (BLE, 2021). Dabei aß jede\*r Deutsche im Durchschnitt 750 g weniger Fleisch als im Vorjahr (ebd.). Laut Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE, 2021) wurde im Jahr 2020 am meisten Schweinefleisch mit 32,8 kg pro Kopf konsumiert, weswegen diese Fleischart nach wie vor als die am meisten verzehrteste Fleischart in Deutschland gilt. Dennoch sank der Verbrauch auch hier am stärksten. Der Verzehr fiel dabei von 1995 mit 38,8 kg bis 2020 auf 32,8 kg um 6 kg pro Kopf (ebd.).

Darauf folgt der Verzehr von Geflügelfleisch mit 13,3 kg sowie Rind- und Kalbfleisch mit 9,8 kg pro Kopf/ Jahr (BLE, 2021). Zwar stieg der Verzehr von Geflügelfleisch von 1995 bis 2020 um 6 kg an, jedoch sank der Rind- und Kalbfleischverzehr im gleichen Zeitraum um 1,7 kg (ebd.) (Abbildung 7).





Abbildung 7: Fleischkonsum der Deutschen nach Jahr und Fleischart IN: BLE, 2021

Immer mehr Menschen in Deutschland entscheiden sich für eine bewusstere Ernährung, welche sich durch einen Wertewandel in der Gesellschaft auszeichnet. Dazu gehört nicht nur eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Ernährung etwa durch umfassende Informationsrecherchen bei Verbrauchsentscheidungen, sondern auch eine konsequente Überprüfung etablierter Ernährungsweisen und den damit verbundenen (Umwelt)Auswirkungen. Befürworter bevorzugen Ernährungsweisen die aus gesundheitlichen, ökologischen oder ethischen Gründen tierische Produkte reduzieren oder ganz darauf verzichten (Jetzke et al., 2020, S. 21).

Der gegenwärtige Fleischkonsum wird besonders durch verfügbares Einkommen (insbesondere im globalen Süden), Klima, Alter, Geschlecht, Lebensmittelpreise sowie der Entwicklung der Lebensmittelindustrie beeinflusst (Bodirsky et al., 2015, S. 2). In Deutschland konsumieren Männer etwa 103 g Fleisch und Wurst/Tag und damit knapp doppelt so viel wie Frauen mit 53 g/Tag (BMEL und Max Rubner-Institut, 2008, S. 44). Dennoch schlägt sich der Trend zur fleischlosen Ernährung auch in den Zahlen nieder. Laut Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) ernährten sich 2021 10 % der deutschen Bevölkerung vegetarisch und 2 % vegan und damit jeweils doppelt so viel wie im Vergleich zum Vorjahr (BMEL, 2021b). Demzufolge entscheiden sich etwa 10 Mio. Menschen in Deutschland dazu, auf Fleisch und Fisch oder ganz auf tierische Produkte zu verzichten (ebd.). Somit bekommt der Markt für Fleischersatzprodukte einen neuen Aufschwung. 2017 betrug der globale Absatzmarkt für Fleischersatzprodukte 4,6 Milliarden US-Dollar, also nur etwa 0,6 % des weltweiten Fleischmarktes (Wunder, 2021, S. 44).

Dennoch kommen laut einer Umfrage der Heinrich-Böll-Stiftung vor allem pflanzliche Fleischalternativen in Deutschland besonders gut an. Demnach denken 15 % der Befragten, dass sie einen guten Ersatz liefern und 26 % würden sie probieren (ebd.).

### 3.3.2 Prognosen und einhergehende globale Auswirkungen der Fleischproduktion bezogen auf die Umwelt und das Klima

Aufgrund der aktuellen Datengrundlagen werden im folgenden Abschnitt die Prognosen und Auswirkungen der Fleischproduktion global beschrieben.

#### 3.3.2.1 Prognosen zur weltweiten Fleischproduktion

Im Hinblick auf die wachsenden Weltbevölkerung (siehe Kapitel 3) weist auch der globale Fleischmarkt ein ebenso starkes Wachstum auf. Dies betrifft sowohl die Produktion als auch den Verzehr. Gleichzeitig wird nach Einschätzung des Umweltbundesamts in den Schwellen- und Entwicklungsländern die Nachfrage nach Fleisch in den nächsten Jahren um etwa 80 bis 100 % steigen (Jetzke et al., 2020, S. 23). Wenn sich die landwirtschaftliche Lebensmittelproduktion weiter so entwickelt wie bisher, wird sich die weltweite Fleischproduktion verdoppeln (ebd.; our World in Data, o.D.) (Abbildung 8).

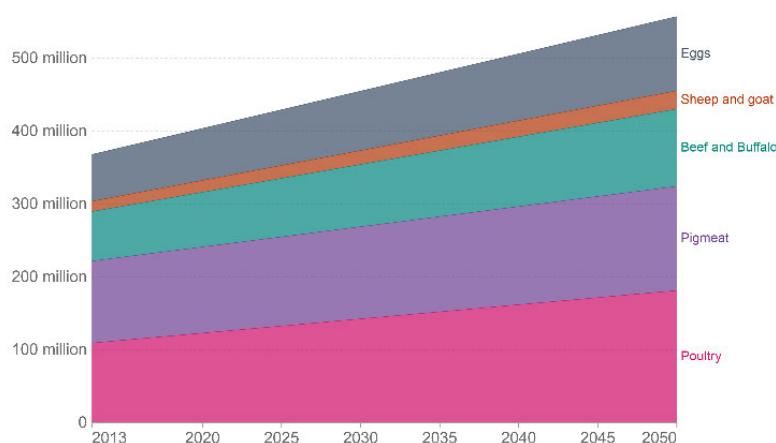


Abbildung 8: Prognose der weltweiten Fleischproduktion, von 2013 - 2050. Angaben in Tonnen. IN: our World in Data, o.D.

Allein im Jahr 2017 stieg die weltweite Fleischproduktion im Jahresvergleich um 1,2 %. Wobei das Wachstum hauptsächlich in den Vereinigten Staaten, aber auch in Argentinien, China, Indien, Mexiko, Russland und in der Türkei zu verzeichnen war (OECD und FAO, 2018, S. 19). Übertragen auf die weltweite Fleischproduktion bedeutet dies eine Zunahme von 13 Mio. t von 2016 (317 Mio. t) bis 2018 (330 Mio. t) (Jetzke et al., 2020, S. 23). Für die nächsten zehn Jahre gibt es nach der Organization for Economic Co-operation and Development, zu Deutsch Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, (OECD) und der Food and Agriculture Organization, zu Deutsch: Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen, (FAO) ähnliche jährliche Wachstumsprognosen. Bis 2027 soll diese Zahl auf 367 Mio. t wachsen, wobei der weltweite Pro-Kopf-Verbrauch von 34,7 kg im Jahr 2018 auf 35,4 kg im Jahr 2027 steigen soll (OECD und FAO, 2018, S. 238).

## Exkurs globaler Sojaanbau

Durch den wachsenden Fleischkonsum wächst auch der Bedarf an Tierfutter (Lang, 2021, S. 16). Während in den 1960er Jahren 20 - 30 Mio. t Soja pro Jahr produziert wurden, waren es im Jahr 2018 bereits 350 Mio. t (Ritchie und Roser, 2021).

Sojabohnen werden als Lebensmittel, Brennstoff oder Industriematerial verwendet, dennoch gehen weltweit 77 % der Sojabohnen in die Herstellung von Tierfutter (Ritchie und Roser, 2021).

Die Länder mit dem größten Sojabohnen Wachstum sind Brasilien mit 133 Mio. t, die Vereinigten Staaten mit 117 Mio. t und Argentinien mit 53 Mio. t (ebd.). Im Jahr 2019 stammten fast 90 % der weltweiten Sojabohnenexporte aus diesen drei Ländern (Lang, 2021, S. 16). Mit der Erweiterung der Anbaufläche hat sich ebenso die Anbaufläche von gentechnisch veränderten Sojabohnen vergrößert (ebd.). Kritikpunkte sind dabei unter anderem die mögliche Übertragung veränderter Gene auf andere Arten, der exzessive Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die Zunahme intensiver Anbaumethoden zulasten anderer, nachhaltigerer Ansätze (Kleba, 2000, S. 19, 215). In den USA werden 94 % der Pflanzen gentechnisch verändert. In Brasilien umfasste die Ernte 2017 sogar 97 % der gentechnisch veränderten Sorten (Lang, 2021, S. 16).

Zwischen 2006 und 2017 wurde im Amazonas-Regenwald eine Fläche von 220.000 km<sup>2</sup> eines wertvollen Trockenwalds abgeholzt, was mehr als 60 % der Fläche Deutschlands entspricht. Der größte Teil davon wurde für Viehweiden genutzt, 10 % der gerodeten Fläche wurden direkt für den Sojaanbau verwendet (Lang, 2021, S. 16). Gleichzeitig kann durch diese Annahme der Mythos, dass für Fleischersatzprodukte auf Sojabasis der Regenwald abgeholzt wird, widerlegt werden.

### 3.3.2.2 *Prognosen zur weltweiten Fleischersatzproduktion*

Im Vergleich zu den Daten aus dem globalen Fleischmarkt ist der Fleischersatzmarkt derzeit ein Nischenmarkt (siehe Kapitel 3.3.1). Dennoch geht man davon aus, dass sich das Umsatzwachstum bei dem Absatz von Fleischersatzprodukten bis 2025 zwischen 5 und 8 % p.a. bewegen wird (Jetzke et al., 2020, S. 24). Es gibt Analystenschätzungen, die von einem deutlicheren Marktwachstum ausgehen und ein globales Marktvolumen von etwa 10,9 Milliarden US-Dollar in diesem Jahr prognostizieren (ebd.). Die Ergebnisse der Studie von Kearney mit dem Titel „*How will Cultured Meat and Meat Alternatives disrupt the Agricultural and Food Industry?*“ legen dar, dass bis 2040 nur noch 40 % des weltweiten Fleischkonsums aus konventionellen Fleischquellen stammen werden (Gerhardt et al., 2019, S. 18) (Abbildung 9). Obwohl auch die Autoren ein weiteres Wachstum des Fleischmarktes prognostizieren, gehen sie davon aus, dass neue Fleischersatzprodukte sowie gezüchtetes Fleisch das konventionell hergestellte Fleisch zunehmend ersetzen werden (ebd., S. 16).

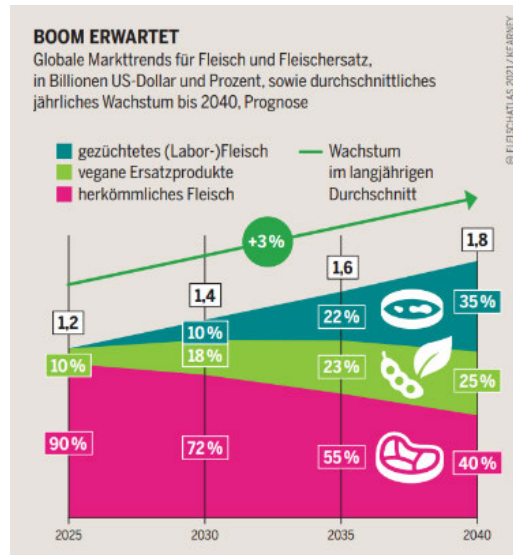


Abbildung 9: Globale Markttrends für Fleisch und Fleischersatz, in Billionen US-Dollar und Prozent, sowie durchschnittliches jährliches Wachstum bis 2040, Prognose IN: Wunder, 2021, S. 44

Ebenso hat sich die Sojaanbaufläche zur Körnergewinnung nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (Destatis) in Deutschland im Zeitraum von 2016 bis 2020 mit einer Menge von 15.800 ha auf 33.800 ha mehr als verdoppelt (Statistisches Bundesamt, 2021). Auch die heimische Erntemenge von Sojabohnen hat sich seit 2016 von 43.200 t auf rund 90.500 t im Jahr 2020 mehr als verdoppelt (ebd.). Somit ist aktuell eine Veränderung zu beobachten, welche sich durch den zunehmenden Anbau dieser Rohstoffe in Deutschland und auch im restlichen Europa kennzeichnet. Dadurch können zukünftige Importe aus Übersee reduziert und die Umwelt somit entlastet werden (Jetzke et al., 2020, S. 29).

### 3.3.2.3 Auswirkungen auf Umwelt und Klima

Je mehr Nutztiere gehalten werden, desto höher sind die THG Emissionen (Sharma, 2021, S. 22). Wie bereits im Kapitel 3.1.3 erläutert, betragen die in Deutschland berechneten durchschnittlichen Emissionen aus der Lebensmittelproduktion 7,99 kg CO<sub>2</sub> eq pro kg Schweinefleisch (Noleppa, 2012, S. 27). Pro kg Sojabohnen dagegen nur 2,1 kg CO<sub>2</sub> eq (Fresán et al., 2019). Beispielsweise werden für die Produktion von 1 kg Schweinefleisch bis zu 3,4 kg Futter (von Witzke et al., 2011, S. 26), 6000 l Wasser (Jetzke et al., 2020, S. 63) und bis zu 12 m<sup>2</sup> Fläche (de Vries und de Boer, 2010, S. 5) benötigt. Wie sich die Werte genau zusammensetzen, wird in den folgenden Kapiteln erläutert. Der mit der Verarbeitung im Zusammenhang stehende Ausstoß von Abgasen beginnt bereits mit dem Transport der Tiere zu den Schlachthäusern. Allein 390.000 LKWs sind für die Schweineschlachtungen pro Jahr auf den deutschen Straßen unterwegs, was einen erheblichen Einfluss auf die Infrastruktur und auch auf die Umwelt hat (OroVerde, 2022).

Von der Gesamtfläche Deutschlands (35,8 Mio. ha) wird bereits heute fast die Hälfte (16,7 Mio. ha) landwirtschaftlich genutzt (FNR, 2022, S. 3). Der Anbau von Futtermitteln hat einen Anteil von 60 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (ebd.) (Abbildung 10). Die Aufzucht und Haltung von Nutztieren beansprucht die natürlichen Ressourcen in Bezug auf Fläche und Wasser im erheblichen Ausmaß (von Witzke et al., 2014, S. 9-10). Der genaue Vergleich der Auswirkung der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie auf die Umwelt wird im nächsten Abschnitt erläutert.

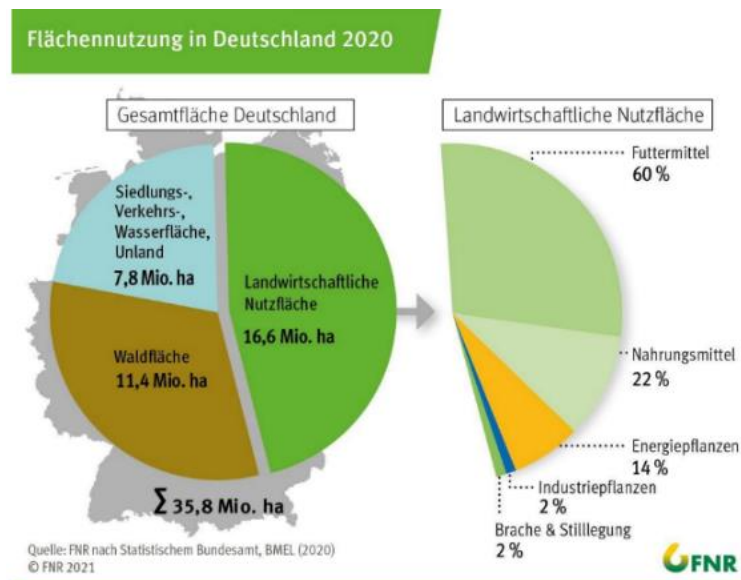


Abbildung 10: Flächennutzung in Deutschland 2020, Angabe in Hektar und Abgrenzung der Landwirtschaftlichen Nutzfläche in Prozent, IN: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2021, S. 7

# **4 Vergleich der Umwelt- und Klimaauswirkungen der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie in Deutschland**

In der Umweltforschung wird das Konzept des ökologischen Fußabdrucks verwendet, um Umweltauswirkungen zu beurteilen. Dabei werden alle Verbräuche von Ressourcen für Land, Wasser und Kohlenstoff berechnet und ins Verhältnis zur Biokapazität der Erde gesetzt (Schnauss, 2009, S. 2-4).

In den folgenden Kapiteln wird anhand einer Literaturrecherche der Vergleich zwischen konventioneller Tierproduktion und pflanzlicher Fleischersatzproduktion hinsichtlich des Wasser- und Landfußabdruck sowie der THG-Emissionen beschrieben. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem ökologischen Vergleich zwischen unterschiedlichen Fleischarten und einem Fleischersatzprodukt auf Sojabasis. Das Produkt auf Sojabasis wurde aus dem Grund der Beständigkeit und weiten Verbreitung ausgewählt (Jetzke et al., 2020, S. 29). Dabei wird die Gegenüberstellung größtenteils auf Deutschland bezogen, um einen grundlegenden Überblick über die wichtigsten Umweltauswirkungen hierzulande zu bekommen. Themen wie ethische Fragen zum Tierwohl oder der menschlichen Gesundheit werden nicht berücksichtigt.

## **4.1 Herstellungsverfahren der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie**

In den folgenden beiden Abschnitten werden zum besseren Verständnis die grundlegenden Herstellungsverfahren für Schweinefleisch und einer Sojaalternative beschrieben.

### **Konventionelle Tierproduktion**

Da Schweinefleisch die beliebteste Fleischart in Deutschland ist (vgl. Kapitel 3.3.1; BLE, 2021), wird im folgenden Kapitel insbesondere die Herstellung dieser Fleischart unter der konventionellen Haltungform hierzulande näher beschrieben.

Die Herstellung von Schweinefleisch wird nach dem cradle-to-gate Prinzip dargestellt. Dies beginnt bei der Schweinehaltung, geht über den Transport und endet mit der Schlachtung (von der Wiege bis zum Werktor) (DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 30).

## Schweinehaltung

Die heutige moderne Schweinewirtschaft ist nicht nur durch starkes Wachstum der Tierzahlen, sondern auch durch fortschreitende Spezialisierung gekennzeichnet. Viele Unternehmen konzentrieren sich nur auf eine oder zwei Produktionslinien. Dabei ist zwischen Zucht, Jungsauenaufzucht, Ferkelerzeugung, Ferkelaufzucht und Mast zu unterscheiden (BZL, 2021).

Zuchtsauen sind etwa 115 Tage trächtig. Etwa eine Woche vor dem voraussichtlichen Abferkeltermin werden die Sauen für vier bis fünf Wochen in die Abferkelbucht gebracht. Danach erfolgt die Entwöhnung. Fortan wachsen die Ferkel in einem speziellen Schweinestall, dem sogenannten Flatdeck, auf. Am Ende dieses Zeitraums beträgt das durchschnittliche Gewicht der Tiere 25 kg und die Schweine kommen in den Maststall, wo die Tiere in Gruppen von zwölf bis 45 Tieren in getrennten Buchten gehalten werden (BZL, 2021). Hier leben sie, bis sie im Alter von etwa sechs Monaten ein Schlachtgewicht von etwa 110 kg erreichen. Während des Mastprozesses sollen Schweine in möglichst kurzer Zeit möglichst viel Muskelfleisch aufbauen, weswegen die Tiere optimal ernährt werden müssen. Wie in Abbildung 11 dargestellt, werden sie in der Regel mit Getreide und eiweißreichen Futtermitteln, wie Sojaschrot, gefüttert (ebd.). 3,4 kg Krafftutter sind für 1 kg verzehrfertiges Stück Schweinefleisch notwendig. Etwa ein Fünftel des Krafftutters besteht aus Sojamehl. Wie bereits im Kapitel 3.3.1.1 beschrieben, werden für den Anbau von Sojabohnen riesige Waldflächen umgewandelt, wodurch einzigartige Lebensräume für Pflanzen sowie Tiere verloren gehen und fruchtbare Böden zerstört und Gewässer verschmutzt werden (WWF, 2020).

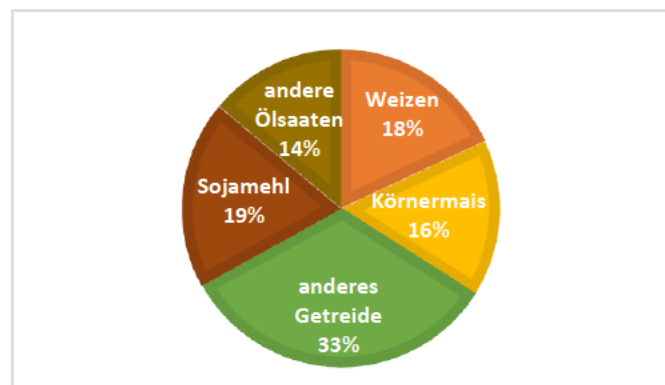


Abbildung 11: Futtermittelverbrauch von Krafftutter für Schweinefleisch in Deutschland (in %/ kg Tierprodukt) IN: eigne Darstellung nach von Witzke et al., 2011, S. 26

## Transport

Im Alter von sechs Monaten und mit einem Gewicht von 100 - 120 kg werden die Schweine geschlachtet (Land schafft Leben, 2022). Für die Verladung und den Transport von Nutz- und Heimtieren gibt es in Deutschland seit 1997 die Tierschutz-Transportverordnung (TierSchTrV) (BZL, 2019). Diese regelt im Abschnitt 3 in § 9 den Raumbedarf und die Pflege und in § 10 die Begrenzung von Transporten von Nutztieren beim innerstaatlichen Transport (§§9 - 10 TierSchTrV).

Zusammengefasst heißt es darin, dass Schweine nicht länger als acht Stunden transportiert werden dürfen (§10 Absatz 1 Satz 1 TierSchTrV). Wenn die Außentemperatur über 30 °C beträgt, darf die Beförderung nicht länger als viereinhalb Stunden dauern (§10 Absatz 1 Satz 2 TierSchTrV). Die Fläche jedes Schweins wird nach Körpergewicht abgestuft, so muss ein 70 kg schweres Mastschwein beispielsweise mindestens 0,37 m<sup>2</sup> Platz im Transportfahrzeug haben (§ 9 Absatz 1 und 2, Anlage 2 Satz 4.3 TierSchTrV). Die Mast Schweine, die über 70 kg wiegen, dürfen in einer Gruppe von maximal 15 Tieren gehalten werden und sind durch Trennvorrichtungen von den anderen Tieren abzutrennen (§ 9 Absatz 1 und 2, Anlage 2 Satz 4.2 TierSchTrV).

## Schlachtung

Die Tierschutz-Schlachtverordnung (TierSchlV) schreibt vor, dass *„die Tiere so zu betreuen, ruhigzustellen, zu betäuben, zu schlachten oder zu töten [sind], dass bei ihnen nicht mehr als unvermeidbare Aufregung oder Schäden verursacht werden“* (§3 Absatz 1 Satz 1 TierSchlV).

In Deutschland werden Schweine durch eine elektrische Betäubung oder Kohlendioxidbetäubung getötet (BZL, 2019).

Bei der elektrischen Betäubung wird mit Zangen elektrischer Strom an den Kopf des geschlachteten Tieres angelegt, wobei die Pinzette so eingesetzt wird, dass sich das Gehirn zwischen den beiden Elektroden der Pinzette befindet. Wenn die Betäubungsaktion korrekt durchgeführt wird, ist das Tier sofort betäubt und nach 30 bis 60 Sekunden tot (ebd.). Auf größeren Betrieben ist eine Kohlendioxidbetäubung üblich. Die Tiere werden hier in einen mit Kohlendioxid gefüllten Raum gebracht, anschließend mit dem Gas betäubt und verenden bereits nach 10 -20 Sekunden (ebd.).

Unmittelbar nach der Betäubung wird dem Schwein in die Kehle gestochen und das Tier zum Bluten aufgehängt. Das Blut wird in speziellen Behältern gesammelt. Je gründlicher das Schwein ausblutet, desto länger hält das Fleisch (ebd.).

Der Kadaver wird dann in einem Brühkessel oder Brühltunnel gebrüht, um die spätere Haarentfernung zu erleichtern. Im anschließenden viszeralen Prozess werden die inneren Organe aus dem Kadaver entfernt. Abschließend wird der Schlachtkörper geteilt und ggf. weiterverarbeitet (BZL, 2019).



## Pflanzliche Fleischersatzprodukte

Die Herstellung von pflanzlichen Fleischalternativen stellt ein komplexes Zusammenspiel von Hauptzutaten, Zusatz- und funktionellen Hilfsstoffen sowie Prozessparametern dar. Fleischersatzprodukte sollen die gleiche Farbe, das gleiche Mundgefühl und den gleichen Geschmack wie Fleisch haben. Gleichzeitig sollen sie satt machen, Nährstoffe wie Eiweiß oder Mineralstoffe liefern und frei von Zusatzstoffen wie Geschmacksverstärkern oder synthetischen Aromen sein. Trotz der vielen Anforderungen sind inzwischen vielfältige attraktive Produkte entwickelt worden, die von fleischlosem Aufschnitt und Wurst über Hackfleisch bis hin zu Convenience-Produkten reichen (Pabel und Schiller, 2017, S. 4).

Pflanzliche Alternativen bestehen hauptsächlich aus pflanzlichen Proteinen, Proteinkonzentraten oder Proteinisolaten. Die Proteine stammen dabei aus Hülsenfrüchten wie Sojabohnen, Erbsen, Süßlupinen, Weizen oder Pilzproteinen (Jetzke et al., 2020, S. 28).

Wie bereits im Kapitel 4 angedeutet, wird im nachfolgenden Abschnitt die Herstellung von Fleischersatzprodukten auf Sojabasis näher beschrieben. Der gesamte Herstellungsprozess ist ebenso in Abbildung 12 dargestellt.

Für die Herstellung von Sojaalternativen werden die geernteten und ggf. nach Deutschland importierten Sojabohnen zerkleinert und entfettet. Unter dem Zusatz von Lösungsmitteln wird daraufhin ein Proteinkonzentrat, bzw. -isolat gewonnen (Jetzke et al., 2020, S. 29). Dabei unterscheiden sich die beiden Arten nur in ihrer Verteilung der Makronährstoffe (Tellmann, 2019).

Die Herstellung von fleischähnlichen Texturen wird meist durch sogenannte Extrusionsverfahren erreicht (Jetzke et al., 2020, S. 29). Beim Extrusionsverfahren wird das Produkt in eine unter hohem Druck und hoher Temperatur formgebende Öffnung gepresst, wobei zwischen Trocken- und Nassextrusion unterschieden wird (Schorch, o.D.).

Bei der Trockenextrusion wird der Rohstoff (Protein, -konzentrat oder -isolat) durch Zugabe von Zusatzstoffen mit niedrigem Wassergehalt sowie thermischer und mechanischer Energie verarbeitet (ebd.). Je nach Auslegung der Maschine, wie z.B. Form und Anzahl der Innenschnecken oder der Geometrie der Düse, lassen sich unterschiedliche Produkteigenschaften wie Konsistenz oder Form erzielen (Heiss, 2004, S. 303 - 304). Typischerweise muss bei trocken extrudierten Zwischenprodukten später wieder Flüssigkeit hinzugefügt werden, um die schwammartige Konsistenz des Endprodukts zu erreichen (Jetzke et al., 2020, S. 29).

Die Nassextrusion ist ein neues Verfahren, welches sich durch einen hohen Feuchtigkeitsgehalt während der Verarbeitung auszeichnet (ebd.). Mit zusätzlichen Prozessparametern, wie Druck und Temperatur, werden die gewünschten Zutaten gemischt und geknetet. Sobald das schwammige Endprodukt den Extruder verlässt, wird die entstehende Masse gekühlt (ebd.).

Ebenso ist eine Kombination der beiden Extrusionsverfahren sowie zwischen den verschiedenen Zutaten, wie z.B. Erbse mit Soja- oder Lupinenprotein, möglich. Dies erhöht die Möglichkeit der besseren Imitation verschiedener Fleischprodukte (Jetzke et al., 2020, S. 29). Geschmackliche und optische Eigenschaften werden durch die Weiterverarbeitung

des durch Extrusion hergestellten Vorprodukts hinzugefügt. Je nach verwendetem Verfahren können auch während der Extrusion entsprechende Inhaltsstoffe zugesetzt werden (Jetzke et al., 2020, S. 30). Dazu gehören Gewürze, Salz oder Hefe für den gewünschten Geschmack und Lebensmittel wie Rote Bete oder Stachelbeersaft für die Farbgebung (Pabel und Schiller, 2017, S. 5).

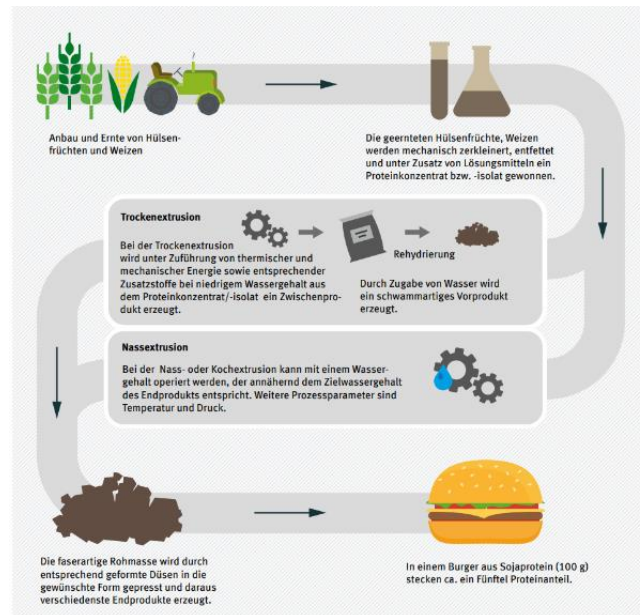


Abbildung 12: Typischer Herstellungsprozess pflanzenbasierter Fleischalternativen, IN: Jetzke et al., 2020, S. 30

## 4.2 Wasserfußabdruck der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie

Der britische Wissenschaftler John Anthony Allan hat das Konzept des virtuellen Wassers entwickelt, um den Zusammenhang zwischen Wasserhaushalt und Wasserverbrauch aufzuzeigen zu können (Sonnenberg et al., 2009, S. 7). Virtuelles Wasser ist die Gesamtmenge an Wasser, die während der Herstellung eines Produkts, Lebensmittels oder einer Dienstleistung verbraucht, verunreinigt oder verdunstet wird. Jeder Schritt im Herstellungsprozess wird in die Berechnung des virtuellen Wassergehalts eines Produkts einbezogen (ebd.).

Der Wasserfußabdruck ist eine Weiterentwicklung des virtuellen Wasserkonzepts des niederländischen Wissenschaftlers Arjen Y. Hoekstra. Hierbei wird nicht nur die verbrauchte Wassermenge bestimmt, sondern auch das Land, in dem dieses Wasser zur Herstellung von Produkten verbraucht wird (Sonnenberg et al., 2009, S. 8).

Experten unterscheiden hierbei zwischen grünem, blauem und grauem Wasser. Grünes Wasser bezieht sich auf den Verbrauch von Regenwasser, während blaues Wasser als das Oberflächen- und Grundwasser bezeichnet wird, welches zur Herstellung von Produkten notwendig ist. Das graue Wasser wird als das Volumen bezeichnet, das erforderlich

ist, um vorhandene Schadstoffe im Wasser auf ein gefahrloses Niveau zu verdünnen, so dass die Wasserqualitätsstandards wieder erreicht werden (Holdinghausen, 2021, S. 26). Aus ökologischer Sicht ist es vorzuziehen, wenn das Produkt einen höheren Grün- als Blau- oder Grauwasseranteil hat (Sonnenberg et al., 2009, S. 7). Die Nutzung dieser Wasserressourcen stellt immer einen Eingriff in die natürlichen Ökosysteme dar (Jetzke et al., 2020, S. 63).

## Konventionelle Tierproduktion

Laut Weltagrarbericht (2020) ist die Landwirtschaft der größte Süßwasserverbraucher weltweit. Etwa 70 % des verfügbaren Süßwassers wird weltweit für die Landwirtschaft verwendet (FAO, 2017, S. 36). Deutschlands Wasser-Fußabdruck beträgt 117 Mrd. m<sup>3</sup> pro Jahr (van Heek und Hoekstra, 2020). Damit entspricht der Wasserfußabdruck dem doppelten Volumen des Bodensees, was einem Wasserverbrauch von mehr als 3.900 Litern pro Einwohner und Tag entspricht (Umweltbundesamt, 2022b). Dabei fällt der größte Teil des Wasserverbrauchs in Deutschland mit knapp 74 % in der Landwirtschaft an (Sonnenberg et al., 2009, S. 11). Davon werden allerdings nur 29 % für die Fleischproduktion, insbesondere für die Futtermittelproduktion, genutzt (ebd.). Dies lässt sich damit erklären, dass Futtermittel wie Weizen, Raps oder Gerste für die Tierhaltung nahezu unabhängig von künstlicher Bewässerung angebaut werden (ebd.). Die Gesamtwassermenge, die zur Herstellung von Fleisch und anderen tierischen Lebensmitteln, wie beispielsweise Milch, Käse oder Eiern, verwendet wird, beträgt ca. 422 Mio. m<sup>3</sup> (Dräger de Teran, 2021, S. 32). Den mit Abstand größten Wasserverbrauch im Futtermittelanbau hat dagegen die Maisproduktion mit über 304 Mio. m<sup>3</sup>, gefolgt von Sojabohnen mit 44 Mio. m<sup>3</sup> (ebd.). Im Gegensatz dazu hängt der genaue Wasserfußabdruck vom Produktionssystem ab, aus dem das Fleisch stammt. So wirken sich Aspekte wie Weide- oder Stallhaltung sowie die Zusammensetzung und die Herkunft des Futters massiv auf den Wasserfußabdruck aus (Holdinghausen, 2021, S. 26).

Der durchschnittliche Wasserfußabdruck, der bei der Produktion von 1 kg konventionell in Deutschland hergestelltem, essbarem Schweinefleisch entsteht, liegt im Schnitt bei 6000 l Wasser (Jetzke et al., 2020, S. 63). Als essbar definiert man das Fleisch, das abzüglich von Haut, Knochen und anderen Nebenprodukten für den menschlichen Verzehr geeignet ist. Vom Schwein sind 52 % essbar, der Rest wird anderweitig verarbeitet (Land schafft Leben, 2022). Für Rindfleisch werden bei gleicher Menge und Haltungsform 15.000 l und für Geflügel 4.000 l Wasser verbraucht (Jetzke et al., 2020, S. 63).

Konventionell aufgezogene Nutztiere können ihr Futter effizienter verwerten, wodurch der Wasserfußabdruck in der Regel geringer ist, als bei Nutztieren, die viel Zeit auf der Weide verbringen. Ihr Futter stammt hingegen in der Regel von Feldfrüchten, wie Soja, die bewässert, gedüngt und mit Ackergiften behandelt wurden (Holdinghausen, 2021, S. 26). Mehr als 60 % des landwirtschaftlichen Wasser-Fußabdrucks sind importiert (Sonnenberg et al., 2009, S. 11). Diese sparen zwar die heimischen Wasserressourcen, fallen dadurch

jedoch in den Erzeugerländer an (Jetzke et al., 2020, S. 64). Die größte Menge an virtuellem Wasser, mit einem Anteil von 9,25 %, wurde in Form von Sojabohnen aus Brasilien importiert (Sonnenberg et al., 2009, S. 13-14).

Das bedeutet, dass der Wasserfußabdruck der industriellen Viehfutterproduktion zu einem erheblichen Teil aus blauem und grauem Wasser besteht. Im Vergleich zum Raufutter (Heu, Heulage, Stroh) ist für die Herstellung von Krafffutter ein 43-Mal höherer Verbrauch an blauem Wasser und ein 61-Mal höherer Verbrauch an grauem Wasser notwendig (Holdinghausen, 2021, S. 26).

Abbildung 13 stellt den durchschnittlichen Wasser-Fußabdruck für die Herstellung von 1 t Schweinefleisch pro m<sup>3</sup> in Prozent dar. Den größten Anteil hat das grüne Wasser (aus Niederschlägen) mit 82 %. Mit einem weitaus kleineren Anteil folgen graues Wasser (um eingetragene Schadstoffe zu verdünnen) mit 10 % und blaues Wasser (entnommenes Grundwasser) mit 8 % (Mekonnen und Hoekstra, 2010, S. 29).

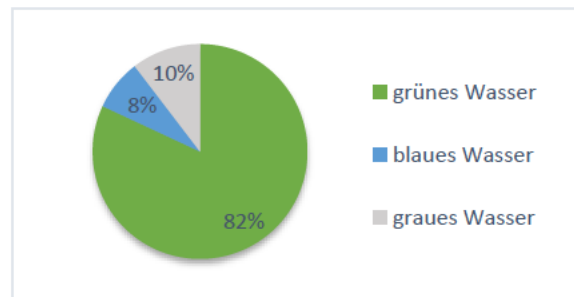


Abbildung 13: Durchschnittlicher Wasserfußabdruck konventionelles Schweinefleisch ( m<sup>3</sup>/t, Angabe der Anteile in Prozent, IN: eigene Darstellung nach Mekonnen und Hoekstra, 2010, S. 29

## Pflanzliche Fleischersatzprodukte

Mehr als zwei Drittel (71 %) des deutschen Wasserverbrauchs aus der Landwirtschaft werden für die Erzeugung pflanzlicher Lebensmittel genutzt (Sonnenberg et al., 2009, S. 11). Der hohe Wasserverbrauch pflanzlicher Lebensmittel liegt zum einen an dem geringen Selbstversorgungsgrad von Obst und Gemüse in Deutschland, zum anderen daran, dass manches importierte Obst und Gemüse aus von Wasserknappheit bedrohten Gebieten stammen. Im Gegensatz dazu profitiert die Tierhaltung von Gebieten mit reichlich Niederschlag und ohne Wasserknappheit. 2019/20 lag der Selbstversorgungsgrad bei Gemüse bei etwa 37 % und bei Obst bei knapp 20 % (Dräger de Teran, 2021, S. 26).

Diese Aufschlüsselung berücksichtigt allerdings nicht die Tatsache, dass die meisten Ackerkulturen wie Getreide und Sojabohnen als Viehfutter verwendet werden. Nur 19 % der in Deutschland angebauten Sojabohnen werden als Nahrungsmittel verwendet (von Witzke et al., 2011, S. 24). Dabei werden für den Anbau von 1 kg Sojabohnen in Frankreich etwa 2.800 l Wasser benötigt (Jetzke et al., 2020, S. 69).

Da Sojabohnen in gemäßigten und trockenen Klimazonen angebaut werden, gibt es große regionale Unterschiede im virtuellen Wasserverhältnis. Beispielsweise setzt sich der

durchschnittliche Wasserfußabdruck von Sojabohnen in Deutschland aus grünem Wasser mit 98 % und aus blauem und grünem Wasser mit je 1 % zusammen (Mekonnen und Hoekstra, 2010, S. 22) (Abbildung 14). Im direkten Vergleich zum konventionellen Schweinefleisch (vgl. Abbildung 13) wird deutlich, dass der Wasserfußabdruck von Sojabohnen wesentlich umweltfreundlicher ist.

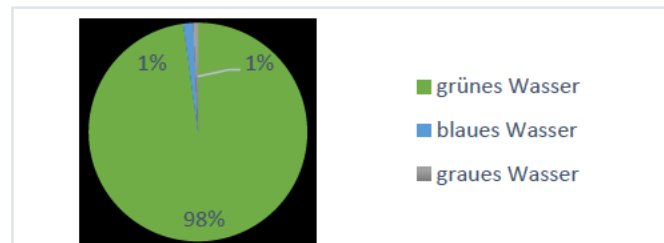


Abbildung 14: Durchschnittlicher Wasserfußabdruck Sojabohnen ( $m^3/t$ ), Angabe der Anteile in Prozent, IN: eigene Darstellung nach Mekonnen und Hoekstra, 2010, S. 22

Insbesondere die Diskrepanz in Bezug auf den Anteil von blauem und grauem Wasser stützt diese Aussage.

Die Daten beziehen sich auf den Sojaanbau in Europa (Frankreich), da die meisten deutschen Marken von Sojaprodukten wie Alnatura, Tukan, Alpro, uvm., Sojabohnen aus EU-Staaten beziehen (Flatley, 2021). Das wiederum bedeutet auch, dass unter dieser Annahme keine virtuellen Wasserimporte außerhalb der EU stattfinden. Dadurch sind pflanzliche Fleischersatzprodukte je nach Anbaufläche, Anbauart (ökologisch oder konventionell) und Art des Ersatzproduktes konventionellem Fleisch im Wasserverbrauch überlegen (Jetzke et al., 2020, S. 70).

### 4.3 Flächenfußabdruck der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie

Neben den Auswirkungen des Wasserverbrauchs betrachtet man im Rahmen der Umweltauswirkungen ebenso den Flächenverbrauch der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie. Dieser wird mit Hilfe des Flächenfußabdrucks dargestellt, welcher die Menge an Land- und Agrarnutzung abbildet, die benötigt wird, um ein bestimmtes Produkt herzustellen (von Witzke et al., 2011, S. 28).

#### Konventionelle Tierproduktion

Deutschlands Flächenfußabdruck des Lebensmittelkonsums beträgt 16,4 Mio. ha (Fischer et al., 2017, S. 39). Etwa zwei Drittel (10,8 Mio. ha) werden für den Verzehr tierischer Lebensmittel verwendet (ebd.). Wie in Abbildung 15 dargestellt, zählen dazu Molkereiprodukte mit 4,6 Mio. ha (27 %), Schweine- und Geflügelfleisch mit 3,5 Mio. ha (22 %), Fleisch von Wiederkäuern mit 2,0 Mio. ha (12 %) sowie Eier und Fette mit 640.000 ha (4 %) (ebd.).

Die restlichen 35 % setzen sich aus verschiedenen Pflanzenprodukten zusammen, auf die im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird (ebd.).

Den relativ niedrigen Flächenfußabdruck von Wiederkäuern begründen die Autoren damit, dass neben Kraft- auch Grünfütterung erfolgt und diese Komponente nicht in der Abbildung enthalten ist (Fischer et al., 2017, S. 39). Beispielsweise bekommen Schweine mit 3.393 g/kg Körpergewicht mehr als doppelt so viel Kraftfutter wie Rinder mit 1.669 g /kg (vgl. Kapitel 4.1).

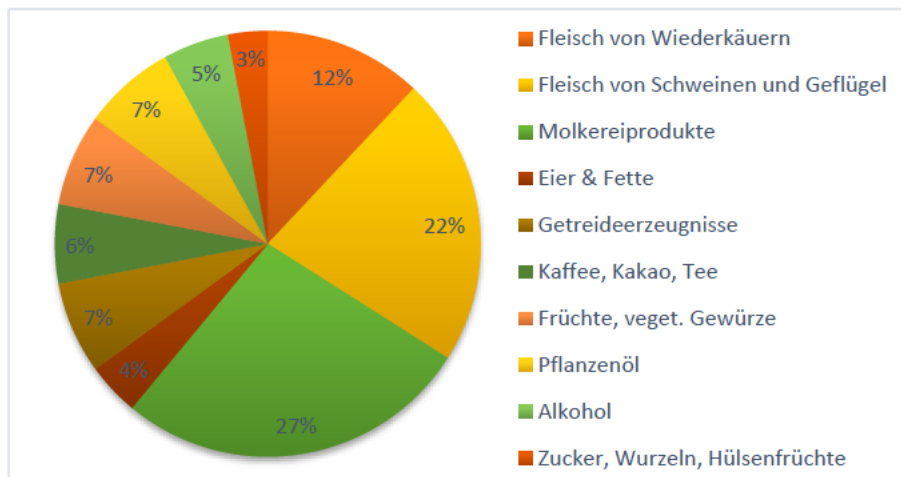


Abbildung 15: Flächenfußabdruck für Ackerland verschiedener Nahrungsmittel in Deutschland 2010 IN: eigene Darstellung nach Fischer et al., 2017, S. 39

In einer Fallstudie im Bundesstaat New York, USA wurden spezifische regionale Anforderungen an Lebensmitteln mit ihrem Energiegehalt (jeweils bezogen auf 1.000 Kilokalorien (kcal) in Beziehung gesetzt (von Koerber et al., 2009b, S. 179) (Abbildung 16).

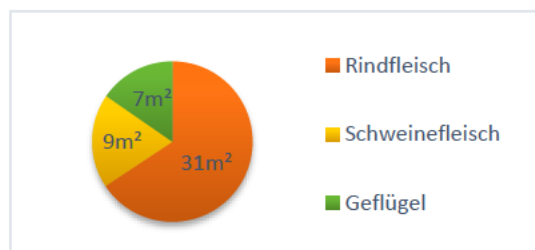


Abbildung 16: Flächenbedarf von Fleisch pro verzehrsfähiger Energie des Produkts (m²/1000 kcal), Angabe der Anteile in Prozent, IN: eigene Darstellung nach von Koerber et al., 2009b, S. 179

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass es die unterschiedlichen Energiedichten von Lebensmitteln berücksichtigt. Unter diesen möglichen Produktionsbedingungen steigt der Flächenbedarf für Rindfleisch auf 31 m² durch den hohen Weideanteil deutlich an. Schweine benötigen demnach nur 9 m², da sie ihr ganzes Leben im Stall gehalten werden (von Koerber et al., 2009b, S. 179).

## Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte

Mehr als ein Drittel (5,6 Mio. ha) des deutschen Flächenfußabdrucks für den Lebensmittelkonsum, ist mit der Verwendung von pflanzlichen Erzeugnissen verbunden (Fischer et al., 2017, S. 39) (vgl. Abbildung 15).

Die Herstellung pflanzlicher Fleischalternativen, wie Sojafleisch, erfordert Ackerland, welches für den Anbau von Sojabohnen genutzt wird. Wie in Abbildung 17 dargestellt, wird ein Fünftel der weltweiten Sojabohnenproduktion für den direkten menschlichen Verzehr verwendet (Ritchie und Roser, 2021). Der größte Teil davon wird zunächst zu Sojaöl verarbeitet. Typische Sojaprodukte wie Tofu, Sojamilch, Tempeh und Edamame machen nur 7 % der weltweiten Nachfrage aus. Demgegenüber werden fast 77 % für die Herstellung von Futtermittel für die Viehzucht verwendet (ebd.).

In verarbeiteter Form könnte es wiederum direkt für den menschlichen Verzehr genutzt werden (vgl. Kapitel 4.1). Die Fläche, die benötigt wird, um 1000 kcal Hülsenfrüchte (beispielweise Sojabohnen) zu erzeugen, beträgt 2,2 m<sup>2</sup> (von Koerber et al., 2009b, S. 179). Ebenso spielt die Herkunft der Pflanzen bei der Beurteilung der Auswirkungen auf die Landnutzung eine wichtige Rolle (vgl. Kapitel 3.3.2). Gemäß der EU-Verordnung 1829/2003/EG müssen gentechnisch veränderte Pflanzen gekennzeichnet werden (Jetzke et al., 2020, S. 71). Somit stammen in Deutschland verkaufte, gentechnikfreie Sojaprodukte hauptsächlich aus Europa oder Kanada (ebd.). Bei der Produktion von konventionellem Fleisch werden hingegen 97 % gentechnisch veränderte Sojabohnen aus Brasilien verwendet (Lang, 2021, S. 16)

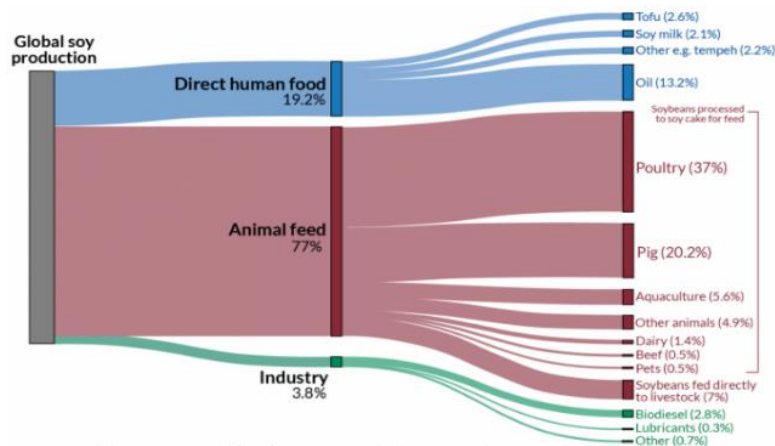


Abbildung 17: Verwendung von Sojabohnen, Angabe in Prozent, IN: Ritchie und Roser, 2021

## 4.4 Treibhausgasausstoß der konventionellen und pflanzenbasierten Fleischindustrie

Bereits im Kapitel 3.1.3 wurden die Emissionen der Ernährung ausführlich beschrieben. In den folgenden beiden Unterkapiteln werden die THG Emissionen speziell für konventionell hergestelltes Fleisch und pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte dargelegt. Als Messparameter des Vergleichs der Ernährungsweisen wird das CO<sub>2</sub> eq herangezogen (Definition siehe Kapitel 2).

### Konventionelle Tierproduktion

Wie bereits im Kapitel 3.1.1 beschrieben, hat die Produktion verschiedener Fleischsorten erheblichen Einfluss auf die Höhe der THG Emissionen. Für ein Kilogramm in Deutschland produziertes Rindfleisch ergibt sich eine CO<sub>2</sub> eq von 20,65 kg (Noleppa, 2012, S. 27). Für die gleiche Menge entstehen 4,22 kg für Geflügel- und 7,99 kg für Schweinefleisch (ebd.). Das Fleisch von Wiederkäuern hat eine höhere CO<sub>2</sub> eq, weil bei dem Verdauungsprozess (Fermentation) das klimawirksame Spurengas Methan entsteht und ausgestoßen wird (Umweltbundesamt, 2022a). Treibhausgase entstehen nicht nur in den Ländern, in denen die Tiere aufgezogen werden, sondern auch dort, wo das Futter angebaut wird (Jetzke et al., 2020, S. 63).

Abbildung 18 stellt die globalen THG-Emissionen bei der Herstellung von Schweinefleisch in Prozent dar (Rojas-Downing et al., 2017, S. 155), der Transport wurde dabei nicht mit einbezogen.

Aufgrund der Vielzahl der zu berücksichtigenden Aspekte, werden im Folgenden nur die für die THG Emissionen relevantesten Punkte erläutert.

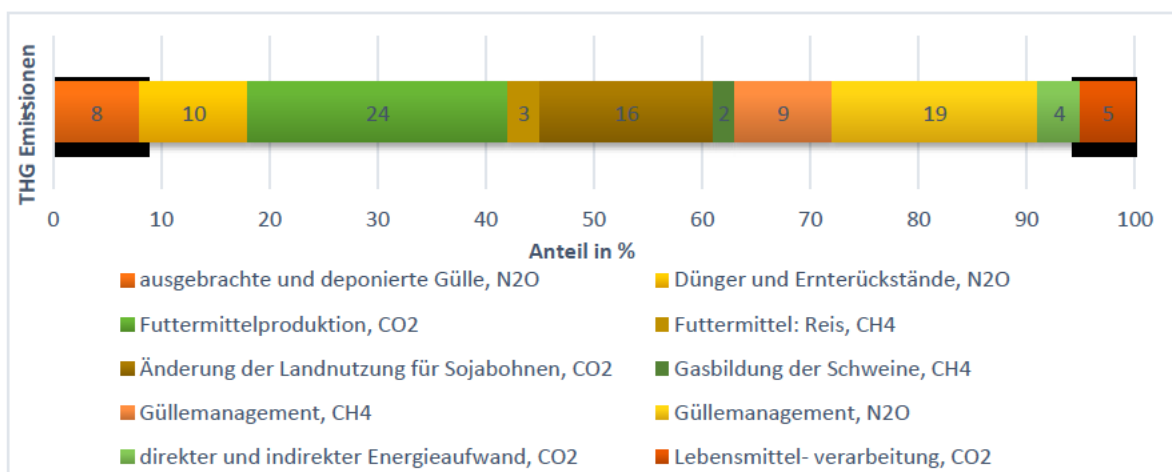


Abbildung 18: globale THG-Emissionen bei der Schweinefleischherstellung (cradle-to-gate), Angabe in Prozent, IN: eigene Darstellung nach Rojas-Downing et al., 2017, S. 155



Das gesamte Gülle-Management hat mit 28 % den größten Anteil am globalen THG Ausstoß (Rojas-Downing et al., 2017, S. 155). Davon entfallen 19 % auf Lachgas (N<sub>2</sub>O) und 9 % auf Methan (CH<sub>4</sub>) (ebd.). Dabei berücksichtigt das Gülle-Management die gesamte Erfassung, Lagerung und anaerobe Behandlung von tierischem Dung (ebd., S. 157). Die Futtermittelproduktion, welche die Düngemittelherstellung, den Maschineneinsatz und den Futtertransport umfasst, ist für 24 % der anfallenden THG-Emissionen in Form von CO<sub>2</sub> verantwortlich (Rojas-Downing et al., 2017, S. 154-155). Schweinefutter besteht zu 19 % aus Sojamehl (von Witzke et al., 2011, S. 26), weswegen auch die Landnutzung für den Sojabohnenanbau berücksichtigt werden sollte. Diese ist mit einem Anteil i.H.v. 16 % ein ausschlaggebender Faktor hinsichtlich des CO<sub>2</sub> Ausstoßes (Rojas-Downing et al., 2017, S. 155). Demgegenüber hat das von lebenden Schweinen produzierte Methan nur einen geringen Anteil von 2 %, da hier, im Gegensatz zu den Wiederkäuern, kaum Fermentation entsteht (ebd.).

Die Umweltauswirkungen des Transports von Lebensmitteln hängen von der Entfernung und der Energieeffizienz der verwendeten Transportmittel ab (von Koerber et al., 2009b, S. 184). Die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Fleischtransport werden dabei auf 800-850.000 t CO<sub>2</sub> geschätzt (Steinfeld et al., 2006, S. 101). Somit kann allerdings keine generelle Aussage zur Umweltrelevanz regionaler Produkte getroffen werden (von Koerber et al., 2009b, S. 184).

### Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte

Insgesamt setzt die Produktion von pflanzlichen Fleischersatzprodukten auf Sojabasis weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen frei als die Fleischproduktion (Smetana et al., 2015, S. 1263). Bei der Herstellung von 1 kg Fleischersatz auf Sojabasis werden etwa 2,1 kg CO<sub>2</sub> eq freigesetzt (Fresán et al., 2019). Abbildung 19 stellt die Auswirkungen der verschiedenen Herstellungsstufen der Sojaproduktion in der Schweiz, einschließlich des Anbaus und der Verarbeitung anhand von Umweltbelastungspunkten (UBP) dar (Jungbluth et al., 2016, S. 24).

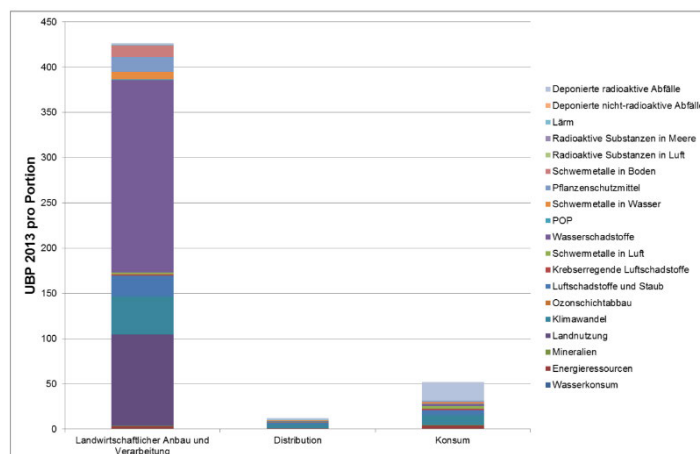


Abbildung 19: Anteil von wichtigen Prozessschritten für die Gesamtumweltbelastung einer Portion Sojabohnen, eingeweicht und gekocht (60 g), Angabe in UBP IN: Jungbluth et al., 2016, S. 24

Es wird deutlich, dass die höchsten Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Anbau und die Verarbeitung der Sojabohnen zurückzuführen sind. Dagegen sind die Umweltauswirkungen von Distribution und Konsum im Vergleich zur Gesamtauswirkung von Sojabohnen minimal. Die Wasserschadstoffe und die Landnutzung sind mit insgesamt ca. 300 UBP und einem prozentualen Anteil von etwa 76 % am gesamten landwirtschaftlichen Anbau die größten Verursacher der Umweltbelastung (Jungbluth et al., 2016, S. 12). Die Umweltauswirkungen dieser beiden Wirkungskategorien sind auf den Flächenbedarf des Anbaus und den Einsatz von Düngemitteln oder Pestiziden zurückzuführen (ebd.).

Überdies zeigt dieselbe Abbildung den äußerst geringen Anteil vom Klimawandel in allen drei Herstellungsstufen. Explizit fällt dieser dahingehend in der Distribution auf (Jungbluth et al., 2016, S. 24), was daran liegt, dass die meisten deutschen Hersteller von Sojaprodukten gentechnikfreie Sojabohnen hauptsächlich aus EU-Ländern beziehen (vgl. Kapitel 4.2), wodurch THG-Emissionen aus der Distribution und dem damit einhergehenden Transport einen relativ geringen Einfluss auf die deutsche Produktion haben (Flatley, 2021).

## **4.5 Auswertung und Zwischenfazit**

Angesichts der Komplexität und Vielschichtigkeit des aufgeworfenen Themas, werden im folgenden Abschnitt die Ergebnisse miteinander verglichen, um die unterschiedlichen Auswirkungen auf die Umwelt und das Klima grafisch darstellen zu können.

Um auf bestehende Unterschiede zwischen Fleisch- und Sojaprodukten adäquat eingehen zu können, wurde als Vergleichsgröße 1 kg rohe, zusatzstofffreie Masse gewählt. Die verfügbaren Daten ermöglichen einen einheitlichen und konsistenten Vergleich aller betrachteten Fleischarten mit einer Sojaalternative.

Abbildung 20 stellt die gewonnenen Daten hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks zwischen unterschiedlichen Fleischarten und eines Fleischersatzprodukts auf Sojabasis dar.

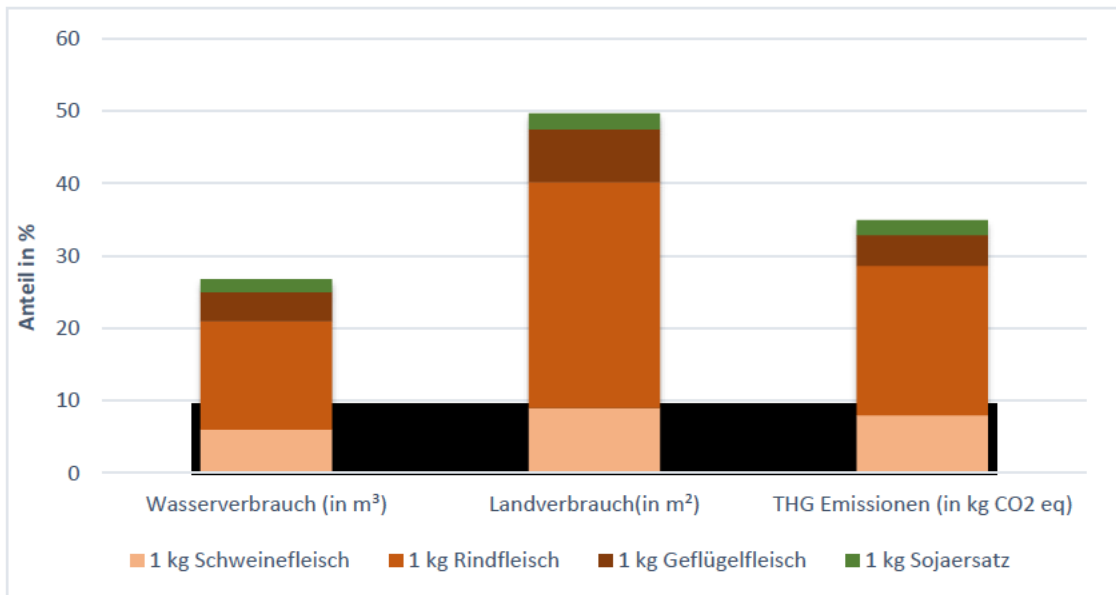


Abbildung 20: ökologischer Vergleich unterschiedlicher Fleischarten mit einer Sojaalternative auf Grundlage von drei Umweltkategorien, Angaben in Prozent, IN: eigene Darstellung nach Jetzke et al., 2020, S. 63 und S. 69; von Koerber et al., 2009b, S. 179; Noleppa, 2012, S. 27; Fresán et al., 2019

Im Ergebnis der Literaturrecherche und unter Berücksichtigung der ökologischen Parameter wird unmissverständlich deutlich, dass pflanzliche Fleischersatzprodukte gegenüber den konventionellen Fleischprodukten wesentlich geringere Umweltauswirkungen zur Folge haben. Hintergrund ist die Tatsache, dass das Herstellungsverfahren von Fleischersatzprodukten unverkennbar weniger Produktionsschritte umfasst. Damit entfällt die in der Tierproduktion notwendige und mit hohen Kalorienverlusten verbundene Umwandlung von Pflanzenfutter in Tierfleisch (Steinfeld et al., 2006, S. 362-366).

Dem gegenüber führt der direkte Verbrauch von Pflanzen zu einem stark reduzierten Flächen- und Wasserbedarf. Der Wasserverbrauch von Schweinefleisch ist doppelt so hoch wie der von Sojafleischersatzprodukten (Jetzke et al., 2020, S. 63 und S. 69). Rindfleisch hat sogar den achtfachen Anteil (ebd.). Der Flächenbedarf für die Produktion von 1000 kcal Schweinefleisch benötigt viermal mehr Fläche als die Produktion der gleichen Kalorienmenge einer Sojaalternative (von Koerber et al., 2009b, S. 179). Der Landverbrauch ist im Vergleich zu Rindfleisch sogar 14-mal höher (ebd.). Des Weiteren stößt die Herstellung von Fleischersatzprodukten auf Sojabasis 4-mal weniger THG Emissionen aus als Schweinefleisch (Noleppa, 2012, S. 27; Fresán et al., 2019). Sojafleischersatzprodukte stoßen sogar nur halb so viel THG Emissionen aus wie Geflügel, das Fleisch mit dem niedrigsten THG Ausstoß (ebd.).

Obwohl der Bedarf an Fleisch durch die wachsende Weltbevölkerung und steigenden Wohlstand immer weiter wächst, wird das Produkt gleichzeitig zunehmend kritisiert (United Nations, 2019, S. 1; BMEL, 2018, S. 5; Jetzke et al., 2020, S. 21). Die Produktion und der Verzehr von Fleischprodukten bringen verheerenden Folgen für die Umwelt und das globale Klima mit sich (Sharma, 2021, S. 22). Gleichzeitig wurden u.a. aus diesen Gründen Fleischersatzprodukte entwickelt, welche aufgrund der wenigen Verarbeitungsschritte und Inhaltsstoffe die Umwelt und das Klima schonen (Jetzke et al., 2020, S. 10, 15).

Anhand der aufgeführten literaturbasierten Ergebnisse beim Vergleich zwischen Fleischprodukten und Fleischersatzprodukten wird deutlich, dass Fleischersatzprodukte sowohl beim Wasser-, als auch bei der Landnutzung weniger Ressourcen benötigen. Gleichzeitig ist der THG Ausstoß um einiges geringer (Jetzke et al., 2020, S. 63 und S. 69; von Koerber et al., 2009b, S. 179; Noleppa, 2012, S. 27; Fresán et al., 2019). Es wird ersichtlich, dass die Produktion von Fleischprodukten im Hinblick auf die fortschreitende Klimaerwärmung und den ineffizienten Herstellungsprozess reduziert werden muss. Denn schon heute gibt es, wie beschrieben, zahlreiche Varianten, den Fleischverbrauch entgegenzuwirken und gleichzeitig für weniger Klimaschäden zu sorgen. Allerdings werden Fleischersatzprodukte gegenwärtig noch als Nischenprodukte bezeichnet (Jetzke et al., 2020, S. 24). So wird es in Zukunft an den Herstellern von Fleischersatzprodukten liegen, eine Marktdurchdringungsstrategie für ihre Produkte zu entwickeln, um die Marktanteile sukzessiv zu erhöhen und eine langfristige Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten. Dies ist insbesondere notwendig, um die Marktdynamik im Bereich der pflanzlichen Alternativen stabil zu halten und die breite Masse mit den Produkten anzusprechen. Denn dann kann das volle Potenzial der geringeren Umweltbelastung von Fleischersatzprodukten vollends ausgeschöpft werden.

## 5 Methodik und allgemeines Vorgehen

In dem folgenden Kapitel 6 werden die Umweltauswirkungen von einem Schweine- und Sojaschnitzel hinsichtlich des Wasser- und Landfußabdrucks sowie der THG-Emissionen anhand einer Ökobilanz selbst berechnet. Dazu wird im folgenden Kapitel ein kurzer Überblick über die methodischen Grundlagen der Ökobilanz beschrieben.

### Aufbau einer Ökobilanz

Die Lebenszyklusanalyse (LCA) ist eine Methode zur Bewertung der Umweltauswirkungen eines Produkts. Die Ökobilanz basiert auf dem Lebenszyklusansatz. Das bedeutet, die Umweltauswirkungen der Produkte von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung der Produkte zu dokumentieren und zu bewerten (Frischknecht, 2019, S. 11).

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) hat die Verfahren in der LCA-Methodik unter Verwendung von ISO 14040 für wesentliche Merkmale und ISO 14044 für Details standardisiert. Wie in Abbildung 21 dargestellt, wird eine Ökobilanz gemäß ISO 14040:2021-02 in vier Phasen unterteilt:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung (DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 7)

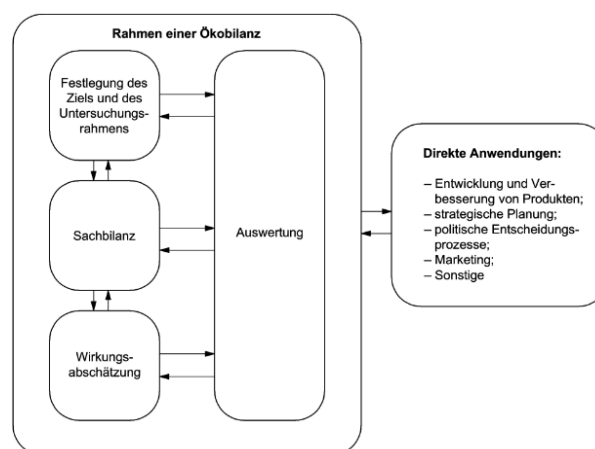


Abbildung 21: Phasen einer Ökobilanz, IN: DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 17

Diese 4 Phasen werden im Folgenden näher beschrieben.

### **Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens**

Die Zieldefinition beinhaltet die Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes und die Definition der sogenannten funktionellen Einheit. Diese beschreibt den quantifizierbaren Nutzen eines Untersuchungsobjekts oder Produktsystems. Weiterhin werden die bei der Auslegung zu berücksichtigenden Umweltfaktoren definiert. Die Systemgrenzen werden durch die Identifizierung der für das Produkt entscheidenden Modellierungsmethoden und -prozesse festgelegt (Frischknecht, 2019, S. 11). Dazu muss zunächst der komplette Lebenszyklus des Produkts dokumentiert werden. Je nach Umfang der Untersuchung oder Tiefe der Fragestellung kann es ausreichen, nur einen bestimmten Ausschnitt abzudecken. Die Abgrenzung von Untersuchungen ist in der DIN EN ISO 14040 wie folgt eingeteilt:

- "Von der Wiege bis zum Werktor" (cradle-to-gate) (vgl. Kapitel 4.1)
- "Von Werktor zu Werktor" (gate-to-gate)
- und spezifische Teile des Lebenszyklus (z.B. Abfallmanagement, Produktkomponenten)

Darüber hinaus müssen Anforderungen an die Datenqualität aufgestellt werden. Kriterien hierfür sind unter anderem zeitliche oder räumliche Grenzen sowie Angaben zur Genauigkeit, Repräsentativität und Unsicherheit der Daten (DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 30).

### **Die Sachbilanz**

Die zweite Komponente der LCA ist die Sachbilanz. Hier werden alle Stoff- und Energieflüsse aus dem Produktsystem ermittelt, welche aus der natürlichen Umgebung in das durch den Untersuchungsrahmen definierte technische System hinein fließen. Nachfolgend werden diese wieder in die natürliche Umgebung abgegeben.

Zuvor müssen jedoch alle Prozesse innerhalb der Bestandsanalyse und dessen Lebenszyklusinventar über Zwischenprodukte oder Abfälle identifiziert und erläutert werden. Anschließend werden die notwendigen Daten und Informationen zum Prozess- und Stofffluss ermittelt. Auf Basis dieser Daten werden dann die notwendigen Berechnungen durchgeführt (Kaltschmitt und Schebek, 2015, S. 215 -216).

Eine wichtige Berechnungsmethode in der Sachbilanz ist die Allokation. Die Allokation ist notwendig, wenn bei einem Prozess mehr als ein Produkt produziert wird. Solche Produkte werden Kuppelprodukte genannt. Eine ordnungsgemäße Modellierung erfordert Zuweisungen, die so nah wie möglich an den zugrundeliegenden Input- und Output-Beziehungen liegen (DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 23). Die Zuordnung kann auf Grundlage der physikalischen oder ökonomischen Eigenschaften des Produkts erfolgen. Bei der physi-

kalischen Zuordnung werden Merkmale wie Masse, Stoffmenge und Energiegehalt herangezogen, um die entsprechenden Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung dem Produkt zuzuordnen. Wenn z.B. ein Blockheizkraftwerk Wärme und Strom liefert, kann die Zuordnung der Umweltauswirkungen auf einer Energieanalyse basieren.

Die ökonomische Verteilung nutzt den wirtschaftlichen Wert des resultierenden Produkts, was die Produktion großer Mengen relativ wertloser Materialien, die nicht quantifiziert werden können, verhindert (Kaltschmitt und Schebek, 2015, S. 221).

Die Durchführung einer Sachbilanz erfordert viele Informationen und Daten. Für eine Vielzahl von Prozessen können die erforderlichen Informationen aus bestehenden Datenbanken gewonnen werden. Die Berechnung der Sachbilanz kann mit einer speziellen Ökobilanz-Software erfolgen (ebd., S. 223).

## Wirkungsabschätzung

Zweck einer Wirkungsabschätzung ist die Bewertung der Bedeutung möglicher Umweltauswirkungen auf Grundlage der Ergebnisse der Sachbilanz. Ziel der Wirkungsabschätzung ist es, eine umfassende Bewertung aller Umweltauswirkungen zu ermöglichen und diese über Wirkungskategorien hinweg vergleichbar zu machen (DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 23 -24). Die Wirkungskategorie wird in der ISO 14040 als einzelner Schritt dargestellt, wird jedoch in sieben Teilschritte unterteilt (Frischknecht, 2019, S. 11). Abbildung 22 stellt die Bestandteile der Wirkungsabschätzung dar.

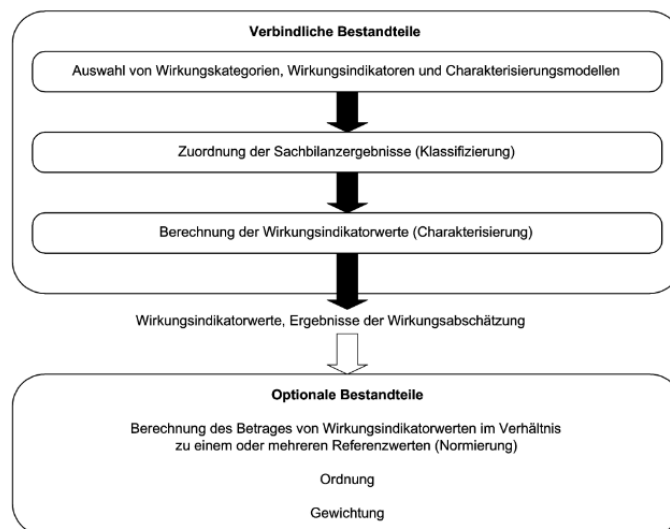


Abbildung 22: Bestandteile der Wirkungsabschätzungsphase, IN: DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 25

1. Auswahl der Wirkungskategorien, Charakterisierungsmodelle und Wirkungsindikatoren, die jeweils ein bestimmtes Umweltproblem darstellen, beispielsweise den Klimawandel. Charakterisierungsmodelle und Wirkungsindikatoren müssen daraufhin für jede Wirkungskategorie bestimmt werden. Das Charakterisierungsmodell beschreibt die Ursache-Wirkungskette der in der Sachbilanz identifizierten Stoffströme. Wirkungsindikatoren (z. B. beim Klimawandel Infrarotstrahlung) werden im Modell definiert (Kaltschmitt und Schebek, 2015, S. 224 -225).
2. Ergebnisse der Sachbilanzergebnisse den Umweltwirkungen zuordnen (Klassifizierung). Dieser Schritt beinhaltet die Gruppierung nach Umwelteinwirkungen aufgrund von Schadstoffemissionen und Ressourcenverbrauch (Frischknecht, 2019, S. 12). Dabei ist es auch möglich, mehrere Stoffströme einer Wirkungskategorie zuzuordnen. Als Beispiel sind FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) für Kältemittel zu nennen, sie tragen sowohl zum Ozonabbau als auch zum Klimawandel bei (ebd., S. 226 -227).
3. Berechnung der Ergebnisse des Wirkungsindikators (Charakterisierung). Sie wird verwendet, um den Wert des ausgewählten Wirkungsindikators für jede Wirkungskategorie des Materialflusses zu berechnen. Die Ergebnisse der Sachbilanz werden mit dem Charakterisierungsfaktor für die Wirkungskategorie jedes Stoffstroms multipliziert (ebd., S. 227).

Die drei festgelegten Schritte können den folgenden optionalen Schritten nachgehen. Aufgrund der Nicht-Verwendung in dieser Arbeit, werden diese nur kurz benannt:

1. Normierung: Die Berechnung der Höhe des Wirkungsindikators bezieht sich auf einen oder mehrere Referenzwert/e.
2. Ordnung: Die normierten Wirkungswerte können für jede Wirkungskategorie sortiert und ggf. klassifiziert werden.
3. Gewichtung: Das Wirkungsabschätzungsprofil wird weiter zusammengefasst, um es besser zu bewerten.
4. Datenqualitätsanalyse: Untersuchung der identifizierten Unsicherheiten, die sich auf Höhe der Wirkungsindikatorwerte auf jede Wirkungskategorie auswirken und dadurch die Signifikanz der Ergebnisse beeinflussen können (Frischknecht, 2019, S. 13 -14).



## **Auswertung**

In der Auswertung werden entsprechend der definierten Ziele und des Umfangs der Ökobilanz die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung analysiert, zusammengefasst und bewertet. Es werden Rückschlüsse gezogen und Empfehlungen formuliert (Frischknecht, 2019, S. 14).

## 6 Erstellung einer Ökobilanz

Dieses Kapitel beschreibt, wie die LCA-Studie, gemäß den vier Phasen der LCA nach ISO 14040 und ISO 14044, durchgeführt wird. Die Ziel- und Umfangsphase werden in Kapitel 6.1 veranschaulicht. In den folgenden Unterkapiteln werden die Funktionseinheit, die Systemgrenzen und die Datengrundlage dargestellt. Anschließend wird die Sachbilanz in Kapitel 6.2 anhand der Bestandsanalyse, des Produktsystems und der Allokationen erläutert. Daraufhin werden die zugeordneten und ausgewählten Wirkungskategorien im Abschnitt 6.3 beschrieben. Zum Schluss werden im Abschnitt 6.4 die Ergebnisse präsentiert und interpretiert.

### 6.1 Definition von Ziel und Umfang

Der Zweck dieser Studie ist es, die potenziellen Umweltauswirkungen von Schweine- und Sojaschnitzel zu vergleichen. Für die Studie wird die Produktion von 1 kg Fleisch, bzw. Fleischersatzprodukt angenommen. Die Studie stützt sich auf verfügbare Daten aus experimentellen Aktivitäten sowie veröffentlichten Quellen und verwendet ähnliche Daten für die Modellierung. Zur Untersuchung der beiden Produkte wird mit der Software Umberto LCA+ und der integrierten Datenbank gearbeitet.

#### **Festlegung funktionelle Einheit**

Wie bereits unter Kapitel 5 erläutert, erfordert eine LCA die Definition einer funktionellen Einheit (Frischknecht, 2019, S. 11). Für diese Arbeit wurde die Produktion von 1 kg verzehrfertigem Schnitzel angenommen. Diese Einheit ist darauf ausgelegt, die funktionell gleichwertigen Produkte miteinander zu vergleichen.

#### **Die Systemgrenzen**

Die in dieser Studie betrachteten Systemgrenzen beinhalten den cradle-to-gate Ansatz (DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 30). Dieser beginnt bei der Rohstoffgewinnung und endet mit der Auslieferung des fertigen Produkts am Werkstor des Herstellers. Für das Schweineschnitzel wurden die Produktionsschritte Aufzucht, Schlachtung, Zerlegung und Verarbeitung des Fleisches analysiert (Abbildung 23).

Bei der Sojaschnitzelherstellung besteht die Hauptanalyse aus den Verarbeitungsschritten des Rohmaterials bis zum Endprodukt (Abbildung 24).

Die Sojaschnitzel werden vor dem Verpacken frittiert, um den gewünschten Geschmack und die gewünschte Farbe zu erhalten. Die Schweineschnitzel werden roh verkauft.

Verpackung, Verkauf, Zubereitung zu Hause sowie der Verzehr werden nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass diese Schritte für beide Produkte gleich sind (van Mierlo et al., 2021, S. 2). Ebenso werden weder der Protein- noch der Energiegehalt mit einbezogen, sondern lediglich die Umweltauswirkungen analysiert.

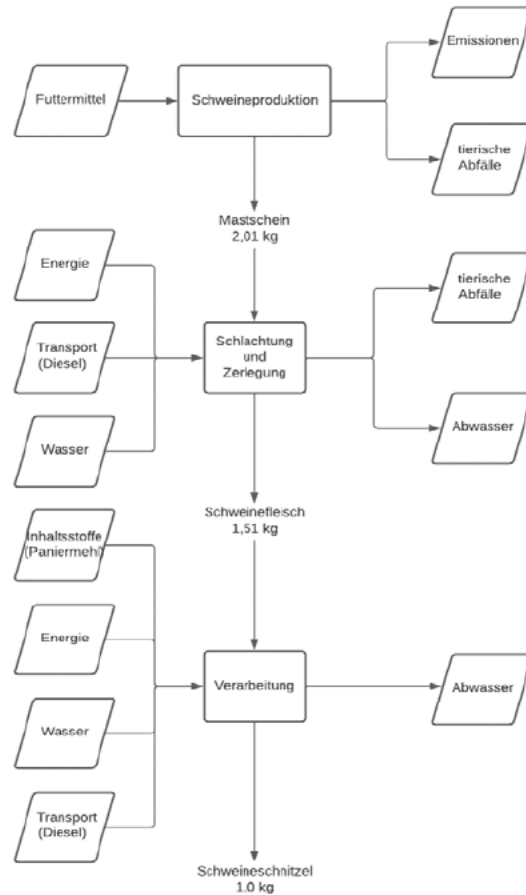


Abbildung 23: Systemgrenzen Herstellung Schweineschnitzel IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., 2022, S. 5

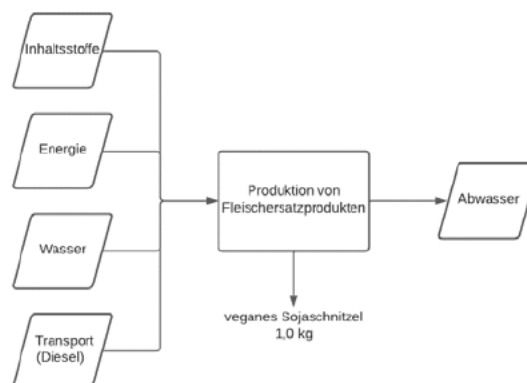


Abbildung 24: Systemgrenzen Herstellung Sojaschnitzel IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., 2022, S. 5

## Die Datengrundlage

Als Datengrundlage stehen zwei Studien von van Mierlo et al. zur Verfügung. Zum einen wird die Studie „*The Influence of Farm Characteristics and Feed Compositions on the Environmental Impact of Pig Production in Flanders: Productivity, Energy Use and Protein Choices are Key*“ (van Mierlo et al., 2021) verwendet und zum anderen die Studie „*Moving from pork to soy-based meat substitutes: Evaluating environmental impacts in relation to nutritional values.*“ (van Mierlo et al., 2022).

Als Datenbanken werden die Ecoinvent 2.2 und 3.8 verwendet, welche in der Umberto LCA+ Software vorzufinden sind.

## 6.2 Beschreibung der Sachbilanz

### Bestandsanalyse und Lebenszyklusinventar

*Herstellungsprozess Schweinefleisch (Beispiel Schweineschnitzel (1 kg), hergestellt in Belgien)*

Die Autoren van Mierlo et al. (2021) beschreiben detailliert das Schweinehaltungssystem, einschließlich der Datenquellen, die zur Berechnung der Umweltauswirkungen verwendet werden.

Für die Schweineaufzucht wurden die Daten eines vorgefertigten Prozesses aus der Datenbank verwendet. Schlacht- und Zerlegungsdaten stammen von ERM und UGent (2011), basierend auf zwei großen Schlachthöfen in Belgien. Die Bestandsdaten für die Verarbeitung sind in der Tabelle 3 enthalten. Dabei handelt es sich zwar um einen Schweinebetrieb in Kanada, jedoch wurden die Daten zur besseren Vergleichbarkeit auf Europa bezogen. Schlachtung und Fleischzerlegung sind in Tabelle 4 und die Fleischverarbeitungsdaten in Tabelle 5 auf Basis von Daten nach van Mierlo et al. (2022) im Anhang aufgenommen. Diese Daten sind pro kg Endprodukt angegeben und beziehen sich auf verschiedene Produktarten. Dabei wurde bei den Verarbeitungsfaktoren darauf geachtet, dass die Menge von Paniermehl und Schweinefleisch 1 kg ergibt. Es wird angenommen, dass Schweineschnitzel genauso viel Wasser und Energie pro kg benötigen, wie andere verarbeitete Fleischprodukte (van Mierlo et al., 2022, S. 4). Zwar zeigen sich in den Produktdeklarationen für handelsübliche Schweineschnitzel unterschiedliche Zutaten, allerdings bestehen die meisten Produkte zu 70 % aus rohem Schweinefleisch und zu 30 % aus Paniermehl, welches hauptsächlich aus Weizenmehl gewonnen wird (ebd.).

Der LKW-Transport der lebenden Schweine vom landwirtschaftlichen Betrieb zur Schlachtung/ Fleischzerlegung sowie der Transport des Fleisches zur Fleischverarbeitung ist, basierend auf einem von van Mierlo et al. (2022, S. 4) angepassten Transportprozess auf Datengrundlage von Ecoinvent, enthalten.

### *Herstellungsprozess Fleischersatz auf Sojabasis (Beispiel veganes Schnitzel aus Soja-protein (1 kg), hergestellt in der Niederlande)*

Ein niederländischer Fleischersatzhersteller liefert die Daten zum Herstellungsprozess der Zusammensetzung und Nährwerten von veganen Sojaschnitzeln. Die Hauptzutaten von Sojaschnitzel sind Sojaproteinkonzentrat (Herkunft: USA und Kanada), Sonnenblumenöl (Herkunft: Europa), Weizengluten und Weizenmehl (van Mierlo et al., 2022, S. 4). Da es in der verwendeten Datenbank keine Einträge zu Sojaproteinkonzentrat, Sonnenblumenöl oder Weizengluten gibt, wurden stattdessen Erbsenprotein, pflanzliches Speiseöl und Weizenmehl als Datengrundlage verwendet. Vitamin B12 und Eisen wurden durch fehlende Daten und zu geringe Mengen im Produkt weggelassen.

Die verschiedenen Produktionsschritte zur Herstellung der Sojaschnitzel umfassen das Mischen der Zutaten, Formen der Schnitzel, Panieren, Braten, Kochen und Einfrieren (van Mierlo et al., 2022, S. 4). Das Schnitzel wird in einer Fritteuse mit 1000 l Volumen frittiert. Die Menge an Frittieröl in der Fritteuse, die nicht von den Schnitzeln aufgenommen wird, wird auf der Grundlage von Untersuchungen von Mouron et al. (2016) geschätzt. Der Strom-, Gas- und Wasserverbrauch wird ebenfalls geschätzt, wobei der gesamte Energie- und Wasserverbrauch des Produktionsprozesses sowie allgemeine Prozesse, die nicht mit der Produktion zusammenhängen, wie Beleuchtung, Kühler usw., ebenfalls berücksichtigt werden.

In Ermangelung genauerer Angaben beziehen sich diese Mengen auf die Gesamtmenge der in einem Jahr hergestellten Produkte (van Mierlo et al., 2022, S. 5).

Der Transport der Zutaten zum Fleischersatzproduzenten wird ebenso berücksichtigt wie der Transport aus den Herkunftsländern. Für das Speiseöl wird als Ursprungsland die Ukraine angenommen, da diese der Hauptproduzent von (Sonnenblumen)Öl in Europa ist. Aus diesem Grund wird der LKW-Transport von der Ukraine in die Niederlande berücksichtigt. Der Energie- und Wasserverbrauch der Verpackung wurde nicht mit einbezogen, da die Verpackung die Systemgrenzen dieser Studie überschreitet (ebd.). Das Inventar der Sojaschnitzel befindet sich in Tabelle 2 im Anhang 1.

### **Das Produktsystem und die Sachbilanzdaten**

Die Tabellen 2, 3, 4 und 5 im Anhang 1 enthalten die notwendigen Input- sowie Outputmengen von jedem Prozessschritt, die für die zu vergleichenden Produkte wichtig sind. Dabei bilden beim Sojaschnitzel insbesondere die Inhaltsstoffe, Energie, Wasser und der Transport die notwendige Inputmenge, während das Abwasser zum Output zählt (Tabelle 2). Beim Schweineschnitzel sind weit mehr Prozessschritte notwendig. Für die Schweineaufzucht (Tabelle 3) werden größtenteils Futtermittel verwendet, während für die Schlachtung und Zerlegung (Tabelle 4) Energie, Wasser und Transportmittel notwendig sind. Im dritten und letzten Schritt, der Fleischverarbeitung, sind Inhaltsstoffe, Energie, Wasser und Transport nötig (Tabelle 5). Den Output bilden Abwässer, tierische Abfälle und Emissionen.

## Die Allokationen

Der Begriff Allokation wurde bereits im Methodenteil unter „Sachbilanz“ definiert. An die dort gelieferte Darstellung wird hier angeknüpft.

Für die Schweinefutterproduktion wird die ökonomische Allokation angewendet, da sie die beste Möglichkeit bietet, die Umweltbelastungen konsistent und auf Grundlage sinnvoller Zusammenhänge zuzuordnen (FAO, 2016, S. 41). Ein Teil der bei der Schweineaufzucht anfallenden Gülle wird in der Kläranlage verarbeitet. Der andere Teil gilt als Reststoff, dessen Emissionen bis zur Gülleausbringung der Schweinehaltung zugeordnet werden können (van Mierlo et al., 2021).

Für das Schlachten und Zerlegen von Schweinen wurde ebenfalls die ökonomische Allokation auf Grundlage der Qualität und des wirtschaftlichen Werts von Schlachtkörpern, Teilstücken und Nebenprodukten angenommen (van Mierlo et al., 2022, S. 2). Werte und Allokationsfaktoren sind in den Tabellen 6 und 7 im Anhang 1 aufgeführt.

Ebenso wird für die Zusammensetzung des Sojaschnitzels eine ökonomische Allokation gewählt, die dem gleichen Ansatz wie einer Futterzusammensetzung folgt (van Mierlo et al., 2022, S. 4). Bei der Verarbeitung des Rohmaterials zu Sojaschnitzeln werden alle Inhaltsstoffe der gesamten Produktionsanlage berücksichtigt (ebd.).

## 6.3 Festlegung der Wirkungskategorien und –indikatoren

In diesem Abschnitt wird die Sachbilanz anhand folgender drei Umweltwirkungen über die Charakterisierungsfaktoren des Wirkungsindikators erläutert:

*Klimawandel:* Die Wirkungskategorie Klimawandel repräsentiert die direkten und indirekten Umweltauswirkungen der anthropogenen Erwärmung der Erdatmosphäre. Die physikalische Grundlage dafür ist der bereits definierte Treibhauseffekt (Stocker et al., 2013, S. 53). Als Wirkungskategorieindikator wurde das vom IPCC entwickelte GWP über einen 100-jährigen Zeithorizont, ausgedrückt in kg CO<sub>2</sub>-eq/kg, verwendet (ebd., S. 193).

*Wasserverbrauch:* Der Wasserverbrauch stellt den Anteil des Wassers dar, der während seiner Nutzung verdunstet, in das Produkt gelangt oder von seinem ursprünglichen Einzugsgebiet in ein anderes übertragen wird (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2021, S. 162). Der Wirkungsindikator stellt die Wassernutzung in m<sup>3</sup> dar.

*Landnutzung:* Die Landnutzung repräsentiert die Inanspruchnahme von Teilen der festen Erdoberfläche durch den Menschen (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, 2017). Die Landnutzung wird durch die sogenannten Umweltbelastungspunkte (UBP) dargestellt. Die Umweltbelastung wird ermittelt, indem die Menge der emittierten Schadstoffe oder die benötigten Ressourcen für jeden ökologischen Faktor multipliziert werden. Je höher der Ökofaktor, desto größer die entsprechende Schadstoffbelastung (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2008, S. 1).

$$UBP = \sum_{k=1}^n \text{Menge der Umwelteinwirkungen}_k \cdot \text{Ökofaktor}_k \text{ (ebd.)}$$

Die Wirkungskategorien und -indikatoren wurden aufgrund der zuvor im Theorieteil beschriebenen Umwelt- und Klimaauswirkungen von Fleisch und Fleischersatzprodukten ausgewählt, um einen qualitativen Vergleich zwischen Literatur und Praxis herzustellen.

## 6.4 Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die allgemeine Ökobilanz zwischen Schweine- und Sojaschnitzel im Hinblick auf die zuvor festgelegten Wirkungsindikatoren verglichen. Daraufhin werden die Umwelt- und Klimaauswirkungen sowohl vom Schweine- als auch vom Sojaschnitzel jeweils auf Grundlage der Bestandteile im Produktionsprozess dargestellt und erläutert. Abschließend werden die Produktionszyklen von Soja- und Schweineschnitzel im Hinblick auf die Auswirkungen der einzelnen Bestandteile anhand des Klimawandels gegenübergestellt.

### 6.4.1 Vergleich zwischen Schweine- und Sojaschnitzel

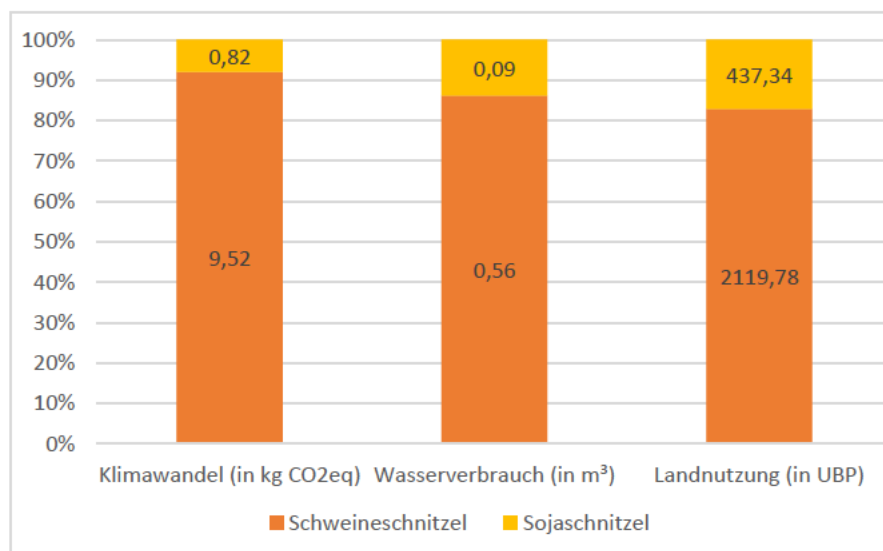


Abbildung 25: Vergleich der Umweltkategorien zwischen Schweine- und Sojaschnitzel, Angabe in Prozent, Absolutwerte in jeweiliger Einheit, IN: eigene Darstellung

Die Abbildung 25 stellt den Vergleich der Umweltwirkung anhand eines additiven Diagramms zwischen Schweine- und Sojaschnitzel dar. Die Angaben beziehen sich auf die ausgewählten Wirkungskategorien Klimawandel, Wasserverbrauch und Landnutzung. Sie werden durch die angegebenen Prozentzahlen miteinander verglichen. Die absoluten Zahlen in den Säulen stellen den Wert der jeweiligen Kategorie dar. Bei einer funktionellen Einheit von 1 kg Produkt wird ersichtlich, dass das Schweineschnitzel in allen drei Kategorien tendenziell die höchsten Auswirkungen verursacht.

Besonders in der Kategorie Klimawandel, welche thematisch zum THG Ausstoß aus Kapitel 4.4 zuzuordnen ist, wird der Unterschied mit 92 % des Anteils vom Schweineschnitzel gegenüber des Sojaschnitzels offensichtlich. Im selbst errechneten Beispiel hat das Schweineschnitzel einen CO<sub>2</sub> Fußabdruck von 9,52 kg, während Noleppa (2012, S. 27) einen Anteil von 7,99 kg errechnete. Das Sojaschnitzel hat nach eigenen Berechnungen einen CO<sub>2</sub> Fußabdruck von 0,82 kg, während Fresán et al. (2019) 2,1 kg berechneten. Der Wasserverbrauch beläuft sich für die Herstellung von einem Kilogramm Schweineschnitzel auf 0,56 m<sup>3</sup> wodurch das Schweineschnitzel nach eigenen Berechnungen einen 6-mal höheren Wasserverbrauch als das Sojaschnitzel mit einem Anteil von 0,09 m<sup>3</sup> hat. Nach Jetzke et al. (2020, S. 63 und S. 69) ist der Unterschied doppelt so hoch. Bei der Landnutzung hat das Schweineschnitzel mit etwa 82 % einen vergleichsweise geringen Anteil gegenüber dem Sojaschnitzel. Jedoch erklärt sich dies durch den flächendeckenden Anteil des Sojabohnenanbaus und den damit einhergehenden Ergebnissen aus der Studie von Koerber et al. (2009b). Wie in Tabelle 1 dargestellt, entstehen die meisten Umweltauswirkungen vom Schweineschnitzel durch die Schweineaufzucht. Bei allen drei Wirkungskategorien hat der Produktionsschritt einen Anteil von mindestens 82 % und beim Klimawandel sogar 95 %. Dies lässt durch den hohen Verbrauch von Futtermitteln erläutern. Beim Sojaschnitzel besteht die Produktion nur aus dem Verarbeitungsschritt. Eine genaue Aufschlüsselung der einzelnen Rohstoffe an den Umweltauswirkungen wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

<b>Prozessschritte Schweineschnitzel</b>	<b>in kg CO<sub>2</sub>eq</b>	<b>Prozessschritt Sojaschnitzel</b>	<b>in kg CO<sub>2</sub>eq</b>
<b>Klima</b>			
Schweineaufzucht	9,07	Verarbeitung	0,82
Schlachtung und Zerlegung	0,09		
Verarbeitung	0,36		
Gesamt:	<b>9,52</b>		<b>0,82</b>
<b>Wasser</b>			
Schweineaufzucht	0,47	Verarbeitung	0,09
Schlachtung und Zerlegung	0,000624		
Verarbeitung	0,09		
Gesamt:	<b>0,560624</b>		<b>0,09</b>
<b>Land</b>			
Schweineaufzucht	1755,59	Verarbeitung	437,34
Schlachtung und Zerlegung	0,05		
Verarbeitung	364,14		
Gesamt:	<b>2119,78</b>		<b>437,34</b>

*Tabelle 1: Auswirkung der Prozessschritte von Schweine- und Sojaschnitzel auf die Wirkungskategorien; IN: eigene Darstellung*

Die genauen Daten der dargestellten Diagramme sowie die erstellten Grafiken der beiden Ökobilanzen befinden sich im Anhang 2 und 3.



## 6.4.2 Beitragsanalyse Schweineschnitzel

Wie bereits jetzt ersichtlich wurde, beeinflusst die Produktion von einem Kilogramm Schweineschnitzel die Umwelt und das Klima. Maßgeblich für diesen Einfluss sind die einzelnen Komponenten des Produktionszyklus verantwortlich. Im Folgenden werden die Auswirkungen dieser Komponenten in den drei genannten Wirkungskategorien anteilig mit Hilfe des dargestellten additiven Diagramms (Abbildung 26) durch Prozentangaben dargestellt.

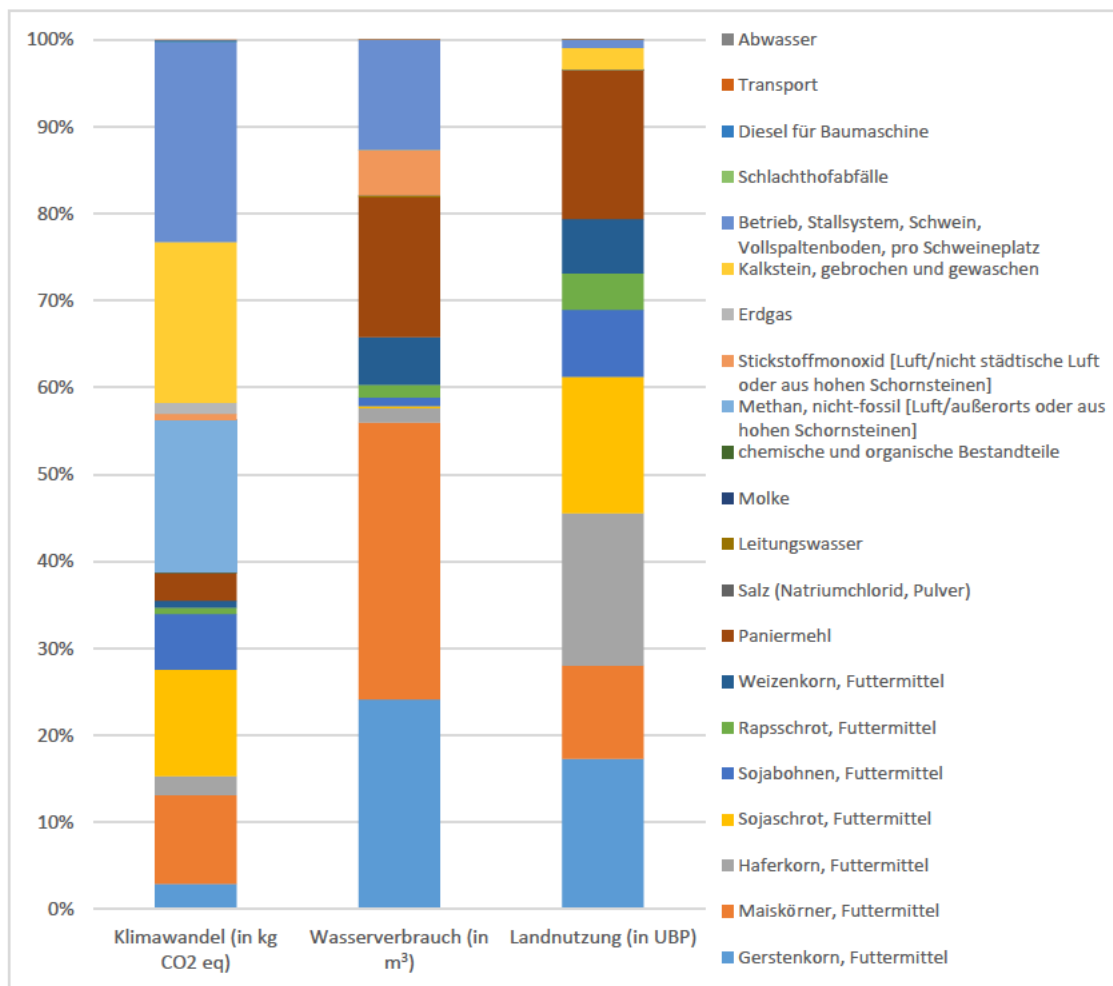


Abbildung 26: Anteil der jeweiligen Bestandteile an den Wirkungskategorien vom Schweineschnitzel, Angabe in Prozent, IN: eigene Darstellung

In diesem Zusammenhang wird der Lebenszyklus des Schweins von der Aufzucht bis zur Schlachtung betrachtet. Dafür sind die Futtermittel in Form von Gersten- und Maiskörnern, Haferkorn, Sojaschrot, Sojabohnen, Rapsschrot und Weizenkorn ein primärer Bestandteil in diesem Prozess. Doch auch die während der Weiterverarbeitung genutzten Bestandteile wie z.B. Paniermehl, Salz, etc., sind für die Betrachtung der Auswirkungen auf Umwelt und Klima substantiell. Die allgemeine Aufrechterhaltung der landwirtschaftlich verarbeitenden Betriebe sowie der Transport und die entstehenden Nebenstoffe wie Erdgas,

Diesel, Abwasser und Schweineabfälle, bilden die Basis für den genannten Produktionsprozess.

Aus dem Diagramm geht zudem hervor, dass das Futtermittel im Bereich der Landnutzung und des Wasserverbrauchs mit mehr als 60 % den größten Anteil an den Auswirkungen in diesen Bereichen hat. In der Wirkungskategorie Klimawandel sind es knapp 40 %. Ursachen dafür finden sich in dem großflächigen Anbau und der Umwandlung der Pflanzen in Tierfutter.

Nennenswert ist an dieser Stelle außerdem der Anteil von Paniermehl mit knapp 20 % im Bereich des Wasserverbrauchs und der Landnutzung. Grund dafür ist die Verarbeitung zu einem typischen verkaufsfertigen Konsumprodukt, welches Wasser und Energie verbraucht (Jungbluth et al., 2016, S. 6).

In der Wirkungskategorie des Klimawandels werden insgesamt etwa 60 % der Auswirkungen für die Verwendung von Kalkstein und die Bewirtschaftung des Stalls verbraucht. Dies lässt sich durch den hohen Anteil der fossilen Rohstoffe und Energieträger begründen, die für die Aufrechterhaltung der Betriebe notwendig sind.

Der Methanausstoß im Bereich des Klimawandels hat einen Anteil von ungefähr 10 %, der größtenteils auf das Wirtschaftsdüngemanagement zurückzuführen ist (von Witzke und Noleppa, 2007, S. 20)

Die für den Weiterverarbeitungsprozess relevanten Stoffe Salz, Molke und Leitungswasser nehmen durch die gering verarbeitete Menge eine untergeordnete Rolle ein.

Im Hinblick auf die Verteilung der Anteile wird eine klare Abgrenzung zwischen den einzelnen Phasen des Produktionszyklus deutlich.

### 6.4.3 Beitragsanalyse Sojaschnitzel

Im nächsten Schritt wird der Produktionsprozess für 1 kg Sojaschnitzel anhand der für die Umwelt- und Klimaauswirkungen relevanten Stoffe genauer betrachtet. Diese werden wie bei dem Schweineschnitzel mit Hilfe eines additiven Diagramms dargestellt (Abbildung 27).

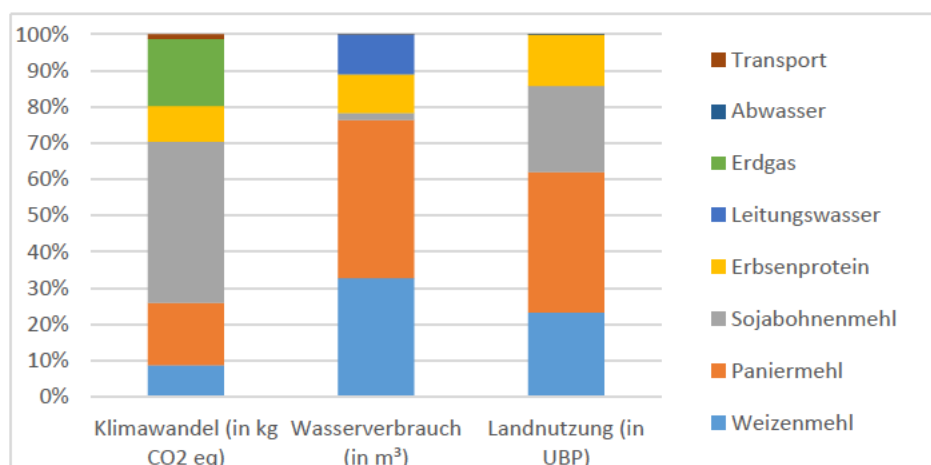


Abbildung 27: Anteil der jeweiligen Inhaltsstoffe an den Wirkungskategorien vom Sojaschnitzel, Angabe in Prozent, IN: eigene Darstellung

Auffällig ist zunächst, dass viel weniger Bestandteile für die Sojaschnitzelherstellung notwendig als beim Schweineschnitzel. Diese Tatsache resultiert aus den wenigen Produktionsschritten, denn im Gegensatz zum Schweineschnitzel kann die Pflanze direkt verwendet werden und wird dementsprechend nicht erst in ein neues Produkt umgewandelt.

Die während des Produktionsprozesses entscheidenden Bestandteile sind Anbauprodukte wie Weizen-, Panier- und Sojabohnenmehl sowie Erbsenprotein. Auch der Gas- und Leitungswasserverbrauch sowie das Abwasser und der Transport werden mit einbezogen. Dadurch wird der partielle Produktionszyklus von Rohstoffabbau bis zur Bereitstellung des fertigen Produkts am Werkstor des Herstellers (cradle-to-gate) abgebildet (DIN ISO 14040:2021-02, 2021, S. 30). Es wird deutlich, dass das Paniermehl einen maßgeblichen Anteil an den Auswirkungen in allen Wirkungskategorien hat. Beim Wasserverbrauch liegt der Anteil sogar bei 44 %, was, ähnlich wie beim Schweineschnitzel, an der Verarbeitung zu einem typischen verkaufsfertigen Konsumprodukt liegt, welches Wasser und Energie verbraucht (Jungbluth et al., 2016, S. 6).

Ebenso auffallend ist der immense Unterschied der Auswirkung von Sojabohnenmehl im Bereich des Klimawandels und des Wasserverbrauchs. Während der Anteil von Sojabohnenmehl bei der Auswirkung des Klimawandels bei 44 % liegt, sind es beim Wasserbrauch nur 1,9 %. Dies lässt sich durch den geringen Wasserbedarf und gleichzeitig hohen Flächenbedarf und den dadurch entstehenden CO<sub>2</sub> Emissionen der Pflanze erklären (Jetzke et al., 2020, S. 69; Ritchie und Roser, 202).

Kaum Relevanz in allen drei Kategorien haben Abwasser und Transport, was einerseits durch den geringen Output des Abwassers und andererseits durch den vergleichsweise geringen Transportweg der LKWs zu erklären ist.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass ein Sojaschnitzel im Vergleich zu einem Schweineschnitzel einen geringen Verarbeitungsgrad aufweist, wodurch massive Umweltbelastungen vermieden werden können.

#### **6.4.4 Vergleich der Phasen in der Wirkungskategorie des Klimawandels**

Das zuvor ausführlich präsentierte Datenmaterial wird in der folgenden Grafik, auf Grundlage der Auswirkungen auf den Klimawandel, verglichen und bewertet (Abbildung 28).

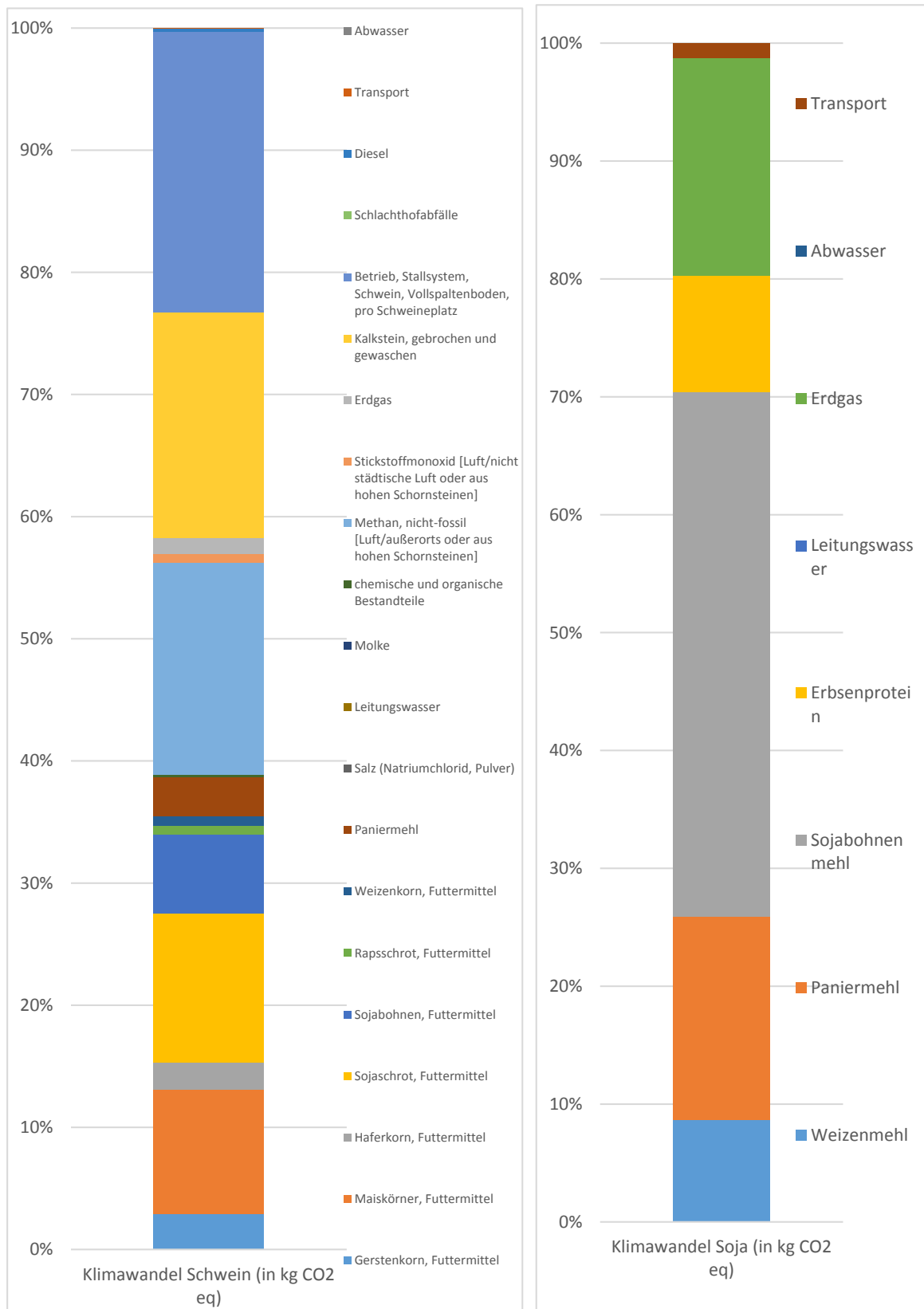


Abbildung 28: Vergleich der Bestandteile von Schweine- und Sojaschnitzel anhand der Wirkungskategorie des Klimawandels, Angaben in Prozent IN: eigene Darstellung

Auch für die Darstellung wird die Form des additiven Diagramms gewählt, um die Anteile besser zu verdeutlichen. Die einzelnen Komponenten, die für den jeweiligen Produktionsprozess relevant sind, wurden aus den vorher ausgewerteten Diagrammen übernommen. Im Hinblick auf die zwei zu vergleichenden Produkte wird zunächst wenig überraschend deutlich, dass der Anteil der pflanzlichen Produkte am Klimawandel bei der Produktion von Sojaschnitzeln einen weitaus kleineren Einfluss hat als bei dem Schweineschnitzel. Bei diesem Vergleich ist es essenziell zu erwähnen, dass die pflanzlichen Produkte am Ende auch Hauptbestandteil des fertigen Produkts sind. Bei der Produktion des Schweineschnitzels wird nach dem cradle-to-gate Ansatz auch die Aufzucht der Schweine betrachtet. Pflanzliche Produkte sind in dieser Phase der Grundstein für die weiteren Prozesse in der Nutztierhaltung. Die Herstellung des Sojaschnitzels verfolgt den gleichen Ansatz, wohingegen hier nur der Verarbeitungsschritt relevant ist.

Somit lässt sich abschließend festhalten, dass pflanzliche Fleischersatzprodukte um ein vielfaches nachhaltiger herzustellen sind als beispielsweise ein Schweineschnitzel. Das liegt zum einen an den wenigen Phasen, die die Herstellung durchlaufen muss und zum anderen an den wenigen Inhaltsstoffen die im Vergleich zum Schweineschnitzel benötigt werden.

## 7 Schlussbetrachtung

Wenngleich die Zahl der Vegetarier und Veganer in Deutschland stetig zunimmt, ist der Fleischkonsum in der heutigen Gesellschaft nicht wegzudenken (BMEL, 2021b; Tostado, 2021, S. 10). Abgesehen davon bringt die Art und Weise, wie Fleisch produziert wird, negative Auswirkungen für den Planeten mit sich (Sharma, 2021, S. 22). Die ineffiziente Herstellung und die damit im Zusammenhang stehenden Klima- und Umweltauswirkungen lassen Produkte mit gleichem Geschmack und Inhaltsstoffen, aber gleichzeitig wesentlich geringeren Umweltbelastungen, immer mehr in den Vordergrund rücken. Um das Problem des voranschreitenden Klimawandels zu beheben, weisen die sogenannten pflanzlichen Fleischersatzprodukte neben einem hohem Imitationsgrad gegenüber Fleischprodukten weit weniger Umwelt- und Klimaschäden auf (Jetzke et al., 2020, S. 16). Um dies genauer zu untersuchen, wurden im Literaturteil der vorliegenden Arbeit klassische Fleischprodukte von Schwein, Rind und Geflügel mit einem pflanzlichen Fleischersatzprodukt auf Sojabasis verglichen. Die Umwelt und Klimawirkungen wurden insbesondere in den Bereichen Wasserverbrauch, Landnutzung und THG Ausstoß miteinander verglichen.

In Deutschland ist der Wasser-Fußabdruck von tierischen Produkten im ersten Augenblick niedriger als der von pflanzlichen Lebensmitteln (Sonnenberg et al., 2009, S. 11). Betrachtet man jedoch die Gegebenheiten von Anbaufläche und -ort, wird deutlich, dass pflanzliche Fleischersatzprodukte weniger Wasser benötigen als Fleisch (Jetzke et al., 2020, S. 65). Gleichwohl bringt die Produktion von Fleischersatzprodukten weniger Umweltschäden in Form von grauem und blauem Wasser mit sich als die von Fleisch (Mekonnen und Hoekstra, 2010, S. 22, 29).

Ebenso wird beim Landfußabdruck deutlich, dass die Herstellung von tierischen Lebensmitteln mehr Land benötigen als die von pflanzlichen Fleischersatzprodukten (von Koerber et al., 2009b, S. 179). Denn Fleisch und tierische Produkte benötigen Pflanzen, um in höherwertige tierische Nährstoffe umgewandelt zu werden. Bei der Herstellung von pflanzlichen Ersatzprodukten wird die Pflanze direkt in das fertige Produkt umgewandelt. Unter den gleichen Umständen wird für die Herstellung von Fleisch insgesamt mehr Wasser und Land benötigt als bei der Produktion pflanzlicher Fleischersatzprodukte (Chemnitz, 2018, S. 10).

Um die THG-Belastung von Lebensmitteln zu beurteilen, müssen neben der Herstellung auch Herkunft, Anbau, Ernte, Transport, Lagerung und Verarbeitung betrachtet werden (Noleppa, 2012, S. 4). Einige Überlegungen hingegen beschränken sich in der Regel auf die Produktion. Wenn die beiden Produkte jedoch unter den gleichen Bedingungen verglichen werden, wird deutlich, dass Fleischprodukte einen deutlich höheren THG Ausstoß verursachen, als Fleischersatzprodukte.

Resümierend zeigen die Ergebnisse, dass pflanzliche Fleischersatzprodukte, die in Europa hergestellt wurden, sowohl bei den THG Emissionen, dem Wasserverbrauch als auch

bei der Landnutzung zu weniger Klima- und Umweltbelastungen führen, als Fleischprodukte (Jetzke et al., 2020, S. 63 und S. 69; von Koerber et al., 2009b, S. 179; Noleppa, 2012, S. 27; Fresán et al., 2019). Der im Praxisteil vorgenommene Vergleich der Ökobilanzen zwischen einem Schweine- und einem Sojaschnitzel bestätigen diese Aussage. In Bezug auf die Wirkungskategorien Klimawandel, Wasserverbrauch und Landnutzung wird unmissverständlich deutlich, dass das Sojaschnitzel gegenüber dem Schweineschnitzel die besseren Ergebnisse liefert (vgl. Kapitel 6.4). Es wird ersichtlich, dass die literaturbasierte Theorie mit der Praxis der selbstgestellten Ökobilanz konsistent ist. Wenngleich die eigenen Berechnungen repräsentativer für das Sojaschnitzel sprechen, als es die bisherige Literatur darstellt. Aufgrund fehlender Produkte und Schätzungen können in den Ergebnissen jedoch Abweichungen auftreten. Ebenso können große Schwankungen entstehen, wenn die Sojaprodukte nicht lokal produziert oder durch viele Pestizide überdüngt wurden. Diese Befürchtungen sind in Deutschland allerdings nicht von Bedeutung (Flatley, 2021). Dennoch ist die eigene Ökobilanz nicht als absolute Größe anzusehen, sondern nur als Vollendung des Gesamten zu betrachten.

Zu Beginn dieser Arbeit wurde die Frage gestellt, welche Auswirkungen pflanzliche Fleischersatzprodukte auf Sojabasis im Vergleich zu konventionell hergestellten Fleischprodukten auf die Umwelt in Deutschland und das globale Klima haben. Um diese Frage abschließend beantworten zu können, wird deutlich, dass pflanzliche Fleischersatzprodukte in Deutschland eine viel geringere Umweltauswirkung in den Bereichen des Wasser- und Landverbrauchs sowie des THG Ausstoßes haben, als konventionell hergestellte Fleischprodukte. Diese Aussage beruht auf regional hergestellten Produkten. Somit kann auch der Mythos widerlegt werden, dass für Fleischersatzprodukte der Regenwald abgeholzt wird. Hier ist vielmehr das Gegenteil der Fall, da 77 % des angebauten Sojas als Futtermittel verwendet werden (Ritchie und Roser, 2021).

Über die Energiedichte kann keine entsprechende Aussage getroffen werden, da die Nährstoffe der beiden Produkte nicht verglichen wurden. Allerdings wurde bereits erwähnt, dass Fleischersatzprodukte darauf abzielen, einen ähnlichen Nährstoffgehalt abzubilden. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, in einer zukünftigen Studie zu untersuchen, inwiefern dieser Aussage zuzustimmen oder zu widersprechen ist.

Abschließend lässt sich sagen, dass der sukzessive Wandel von konventionell hergestelltem Fleisch hin zum vermehrten Konsum von Sojaersatzprodukten einen positiven Einfluss auf die Umwelt und das Klima mit sich bringen würde. Die Branche der Fleischersatzprodukte ist schnelllebig und bringt ständig neue Trends hervor, welche diesen gesellschaftlichen Wandel beschleunigen könnten. Eine spannende Frage für die Zukunft wird sein, wie sich die Fleischersatzprodukte in der Gesellschaft etablieren werden.





# Literatur

- Birkmann, J., Böhm, H., Buchholz, F., Büscher, D., Daschkeit, A., Ebert, S., Fleischhauer, M., Frommer, B., Köhler, S., Kufeld, W., Lenz, S., Overbeck, G., Schanze, J., Schlipf, S., Sommerfeldt, P., Stock, M., Vollmer, M. und Walkenhorst, O.(2013): Glossar Klimawandel und Raumentwicklung, ARL, [online] [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/e-paper\\_der\\_arl\\_nr10.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/e-paper_der_arl_nr10.pdf) [abgerufen am 08.07.2022].
- BLE (2021): Pressemitteilungen - 57,3 Kilogramm Fleisch pro Person: Verzehr sinkt weiter, Die BLE, [online] [https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/210322\\_Fleisch.html](https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/210322_Fleisch.html) [abgerufen am 24.05.2022].
- BMEL (2018): Welternährung verstehen Fakten und Hintergründe, BMEL, [online] [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Welternaehrung-verstehen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Welternaehrung-verstehen.pdf?__blob=publicationFile&v=5) [abgerufen am 11.07.2022].
- BMEL (2020): Landwirtschaft verstehen, BMEL, [online] [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=20](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?__blob=publicationFile&v=20) [abgerufen am 05.08.2022].
- BMEL (2021a): Bekanntmachung über die Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Erschließung und zum Einsatz alternativer Proteinquellen für die menschliche Ernährung, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, [online] [https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Innovationen/BMEL/211126\\_Bek\\_alternative\\_Proteinquellen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2#:~:text=Die%20Bandbreite%20alternativer%20Proteinquellen%20ist,oder%20fermentative%20Verfahren%20gewonnen%20wurden.](https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Innovationen/BMEL/211126_Bek_alternative_Proteinquellen.pdf?__blob=publicationFile&v=2#:~:text=Die%20Bandbreite%20alternativer%20Proteinquellen%20ist,oder%20fermentative%20Verfahren%20gewonnen%20wurden.) [abgerufen am 08.07.2022].

- BMEL (2021b): Deutschland, wie es isst - der BMEL-Ernährungsreport 2021, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, [online] [https://www.bmel.de/er-ror\\_path/400.html?al\\_req\\_id=Yo3NV276-UAlsUlcKpPYtwAAAuA](https://www.bmel.de/er-ror_path/400.html?al_req_id=Yo3NV276-UAlsUlcKpPYtwAAAuA) [abgerufen am 25.05.2022].
- BMEL (2022): Landwirtschaft, Klimaschutz und Klimaresilienz, BMEL, [online] [https://www.bmel.de/er-ror\\_path/400.html?al\\_req\\_id=YrWAflncUqXp1sy0ligCVQAABZw](https://www.bmel.de/er-ror_path/400.html?al_req_id=YrWAflncUqXp1sy0ligCVQAABZw) [abgerufen am 24.06.2022].
- BMEL und Max Rubner-Institut (2008): Nationale Verzehrs Studie II, [online] [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Ernaehrung/NVS\\_ErgebnisberichtTeil2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/NVS_ErgebnisberichtTeil2.pdf?__blob=publicationFile&v=2) [abgerufen am 24.06.2022].
- BMU (2021): Klimaschutz in Zahlen Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), [online] [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz\\_zahlen\\_2021\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_zahlen_2021_bf.pdf) [abgerufen am 17.05.2022].
- Bodirsky (2015): Global Food Demand Scenarios for the 21st Century, Plos one, [online] <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0139201&type=printable> [abgerufen am 22.06.2022].
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2008): Die Methode der Umweltbelastungspunkte (UBP), Bundesamt für Umwelt (BAFU), [online] [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/fachinfo-daten/methode\\_der\\_umweltbelastungspunkteubp.pdf.download.pdf/methode\\_der\\_umweltbelastungspunkteubp.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/fachinfo-daten/methode_der_umweltbelastungspunkteubp.pdf.download.pdf/methode_der_umweltbelastungspunkteubp.pdf) [abgerufen am 18.07.2022].
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2021): Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit, Bundesamt für Umwelt (BAFU), [online] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/publikationen-studien/publikationen/oekofaktoren-schweiz.html> [abgerufen am 18.07.2022].

- BZL (2019): Schweinefleisch: Verarbeitung : Transport und Schlachtung, Bundesinformati-  
onszentrum Landwirtschaft, [online] <https://www.bzfe.de/lebensmittel/vom-acker-bis-zum-teller/schweinefleisch/schweinefleisch-verarbeitung/> [abgerufen am 28.06.2022].
- BZL (2021): Schweinefleisch: Erzeugung : Schweinehaltung - konventionell und ökologisch, Bundesinformati-  
onszentrum Landwirtschaft, [online] <https://www.bzfe.de/lebensmittel/vom-acker-bis-zum-teller/schweinefleisch/schweinefleisch-erzeugung/> [abgerufen am 28.06.2022].
- Chemnitz, C. (2018): FLEISCHATLAS Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel, Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland und Le Monde Diplomatie, [online] [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/massentierhaltung/massentierhaltung\\_fleischatlas\\_2018.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/massentierhaltung/massentierhaltung_fleischatlas_2018.pdf) [abgerufen am 27.07.2022].
- Claupein (2011): MANUSKRIFT Durch nachhaltige Ernährung das Klima retten?, Arbeitstagung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V., [online] <https://www.dge.de/uploads/media/DGE-Arbeitstagung-2011-Manuskripte.pdf> [abgerufen am 17.05.2022].
- de Vries, M. und de Boer, J.M. (2010): Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments, Livestock Science, [online], [https://www.internationalegg.com/app/uploads/2011/03/Vries-de-2010\\_1.pdf](https://www.internationalegg.com/app/uploads/2011/03/Vries-de-2010_1.pdf) [abgerufen am 25.05.2022].
- Diller, A. (2020): Auerbach, Berthold, Springer-Verlag GmbH, [online] [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-476-05728-0\\_5853-1.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-476-05728-0_5853-1.pdf) [abgerufen am 05.08.2022].
- DIN ISO 14040:2021-02, 2021: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020, Beuth-Verlag, Berlin, 2021

- DKK und KDM (2019): Zukunft der Meeresspiegel, DKK und KDM, [online] [https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user\\_upload/pdfs/Publikationen\\_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbroschuere-web.pdf](https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbroschuere-web.pdf) [abgerufen am 21.06.2022].
- Dräger De Teran, T. (2021): Wasserverbrauch und Wasserknappheit, WWF Deutschland, [online] <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Landwirtschaft/WWF-Studie-Kulinarischer-Kompass-Wasser.pdf> [abgerufen am 06.07.2022].
- Dudenredaktion (o. D.): Umwelt, in: *Duden*, [Wörterbucheintrag] <https://languages.oup.com/google-dictionary-de/> [abgerufen am 08.07.2022].
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Minx, J., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C. und Zwickel, T. (2014): KLIMAÄNDERUNG 2014 - Minderung des Klimawandels, IPCC, [online] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/IPCC\\_AR5\\_WGIII\\_FAQ\\_deutsch-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/IPCC_AR5_WGIII_FAQ_deutsch-1.pdf) [abgerufen am 21.06.2022].
- ERM und UGent (2011): Toepassen van de Carbon Footprint methodologie op Vlaamse veehouderijproducten, [www.vlaanderen.be](http://www.vlaanderen.be), [online] <https://www.vlaanderen.be/publicaties/toepassen-van-de-carbon-footprint-methodologie-op-vlaamse-veehouderijproducten> [abgerufen am 13.06.2022].
- Eurostat (2017): Glossary: Carbon dioxide equivalent - Statistics Explained, Eurostat, [online] [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon\\_dioxide\\_equivalent](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent) [abgerufen am 21.06.2022].
- FAO (2016): Environmental performance of animal feeds supply chains: Guidelines for assessments, FAO, [online] <https://www.fao.org/3/i6433e/i6433e.pdf> [abgerufen am 16.06.2022].
- FAO (2017): The future of food and agriculture Trends and challenges, Food and Agriculture Organization of the United Nations, [online] <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> [abgerufen am 30.06.2022].

- Fiedler, D. (2014): Ernährung : Wo Fleischesser „Nicht-Vegetarier“ genannt werden, DIE WELT, [online] <https://www.welt.de/gesundheit/article132774043/Wo-Fleischesser-Nicht-Vegetarier-genannt-werden.html> [abgerufen am 24.05.2022].
- Fischer, G., Tramberend, S., Bruckner, M. und Lieber, M., (2017): Quantifying the land footprint of Germany and the EU using a hybrid accounting model, Umweltbundesamt, [online] [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-06\\_texte\\_78-2017\\_quantifying-land-footprint.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-06_texte_78-2017_quantifying-land-footprint.pdf) [abgerufen am 01.07.2022].
- Flatley, A. (2021): Soja aus dem Regenwald? Hierher kommen die Sojabohnen für Tofu & Sojadrinks wirklich, Utopia.de, [online] <https://utopia.de/ratgeber/soja-herkunft-tofu-drinks-marken/> [abgerufen am 04.07.2022].
- FNR (2022): ANBAU UND VERWENDUNG NACHWACHSENDER ROHSTOFFE IN DEUTSCHLAND, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V, [online] <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf> [abgerufen am 13.05.2022].
- Fresán, U., Mejia, M. A., Craig, W. J., Jaceldo-Siegl, K. und Sabaté, J (2019): Meat Analogs from Different Protein Sources: A Comparison of Their Sustainability and Nutritional Content, MDPI, [online] <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/12/3231/htm> [abgerufen am 04.07.2022].
- Frischknecht (2019): *Lehrbuch der Ökobilanzierung*, Heidelberg, Deutschland: Springer Spektrum.
- Fritsche, U. und Eberle, U. (2007): Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln, Öko-Institut, [online] <https://www.oeko.de/oeko-doc/328/2007-011-de.pdf> [abgerufen am 24.06.2022].
- Gerhardt, C., Ziemßen, F., Warschun, M., Suhlmann, G., Donnan, D. und Kühnle, H. (2019): How will cultured meat and meat alternatives disrupt the agricultural and food industry, Kearney, [online] [https://gastronomiaycia.republica.com/wp-content/uploads/2019/06/estudio\\_futuro\\_alimentos.pdf](https://gastronomiaycia.republica.com/wp-content/uploads/2019/06/estudio_futuro_alimentos.pdf) [abgerufen am 23.06.2022].

- Grey und Jackson (2020): EARTH DAY 2020, Ipsos, [online] <https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2020-04/earth-day-2020-ipsos.pdf> [abgerufen am 28.06.2022].
- Heiss, R. (2004): *Lebensmitteltechnologie: Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung*, 6. Aufl. 2004, [online] <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-55577-0.pdf>.
- IPCC (2022): Vereinbarungen für die Übersetzung englischer Fachbegriffe aus den Klimawissenschaften ins Deutsche, IPCC, [online] [https://www.de-ipcc.de/media/content/Begriffe\\_IPCC\\_online.pdf](https://www.de-ipcc.de/media/content/Begriffe_IPCC_online.pdf) [abgerufen am 27.07.2022].
- IPCC Synthesebericht (2014): KLIMAÄNDERUNG 2014 Synthesebericht, IPCC, [online] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/IPCC-AR5\\_SYR\\_barrierefrei.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf) [abgerufen am 08.07.2022].
- Jering, A., Klatt, A., Seven, J., Ehlers, K., Günther, J., Ostermeier, A. und Mönch, L.(2013): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen, Umweltbundesamt, [online] [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/globale\\_landflaechen\\_biomasse\\_bf\\_klein.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/globale_landflaechen_biomasse_bf_klein.pdf) [abgerufen am 11.05.2022].
- Jetzke/ Richter/ Keppner/ Domröse/ Wunder und Ferrari (2020): Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft- Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen von pflanzlichen Fleischersatzprodukten, essbaren Insekten und In-vitro-Fleisch, Umweltbundesamt, [online] [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-25\\_trendanalyse\\_fleisch-der-zukunft\\_web\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-25_trendanalyse_fleisch-der-zukunft_web_bf.pdf) [abgerufen am 21.06.2022].
- Jungbluth, N., Nowack, K., Eggenberger, S., König, A. und Keller, R. (2016): Untersuchungen zur umweltfreundlichen Eiweissversorgung, Bundesamt für Umwelt (BAFU), [online] [https://www.vegan-athletes.com/veganfre\\_2016/wp-content/uploads/2021/12/Eiweissversorgung.pdf](https://www.vegan-athletes.com/veganfre_2016/wp-content/uploads/2021/12/Eiweissversorgung.pdf) [abgerufen am 04.07.2022].

- Kaltschmitt, M. und Schebek, L. (2015): *Umweltbewertung für Ingenieure: Methoden und Verfahren*, Heidelberg, Deutschland: Springer Vieweg.
- Kleba, J. (2000): *Risiken, Bedarf und Regulierung gentechnisch veränderter Pflanzen in Brasilien – Eine Studie aus der Sicht der Cultural Theory*, Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde, Soziologie, [online] <http://webdoc.sub.gwdg.de/e-book/le/2003/uni-bielefeld/disshabi/2001/0003/diss.pdf>. [abgerufen am 29.06.2022].
- Land schafft Leben (2022): Transport, Schlachtung und Zerlegung, Land schafft Leben, [online] <https://www.landschaftleben.at/lebensmittel/schwein/herstellung/transport-schlachtung-und-zerlegung> [abgerufen am 29.06.2022].
- Lang, S./ Wunder, S./ Tostado, L./ Sharma, S. und Holdinghausen, H. (2021): *Fleischatlas – Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel*, Heinrich-Böll-Stiftung, [online] [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/massentierhaltung/massentierhaltung\\_fleischatlas\\_2021.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/massentierhaltung/massentierhaltung_fleischatlas_2021.pdf) [abgerufen am 24.05.2022].
- Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2017): *Flächennutzung - IÖR-Monitor*, ioer-monitor, [online] <https://web.archive.org/web/20171018134109/http://www.ioer-monitor.de/glossar/f/flaechennutzung/> [abgerufen am 18.07.2022].
- Masson-Delmotte, V., Pörtner, H., Skea, J., Moufouma-Okia, W., Zhai, P., Roberts, D., Shukla, R., Pirani, A., Connors, S., Péan, C., Pidcock, R., Zhou, X., Matthews, R., Chen, Y., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., Waterfield, T. und Gomis, M. (2018): *1,5 °C GLOBALE ERWÄRMUNG*, [online] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/07/SR1.5-FAQs\\_de\\_barrierefrei.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/07/SR1.5-FAQs_de_barrierefrei.pdf) [abgerufen am 17.05.2022].
- Mekonnen und Hoekstra (2010): *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products*, UNESCO-IHE Institute for Water Education, [online] <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/5146067/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf> [abgerufen am 30.06.2022].

- Mouron, P., Willersinn, C., Möbius, S. und Lansche, J. (2016): Environmental Profile of the Swiss Supply Chain for French Fries: Effects of Food Loss Reduction, Loss Treatments and Process Modifications, MDPI, [online] <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/12/1214/htm> [abgerufen am 13.06.2022].
- Noleppa (2012): Klimawandel auf dem Teller, WWF Deutschland, Berlin, [online] [https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klimawandel\\_auf\\_dem\\_Teller.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klimawandel_auf_dem_Teller.pdf) [abgerufen am 23.06.2022].
- OECD und FAO (2018), OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. [https://doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2018-en](https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2018-en) [abgerufen am 17.05.2022].
- OroVerde (2022): Sojafelder statt Regenwald und Fleischkonsum verändern das Klima, OroVerde - Die Tropenwaldstiftung, [online] <https://www.regenwald-schuetzen.org/verbrauchertipps/soja-und-fleischkonsum/soja-fuer-tierfutter> [abgerufen am 02.07.2022].
- Our World in Data (o. D.): Global meat consumption, Our World in Data, [online] <https://ourworldindata.org/grapher/global-meat-projections-to-2050> [abgerufen am 08.07.2022].
- Pabel und Schiller (2017): Basiswissen zu veganen Lebensmitteln in Theorie und Praxis, DLG e. V. Fachzentrum Lebensmittel, Hrsg., DLG-Expertenwissen 5, [online] [https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen/lebensmitteltechnologie/2017\\_5\\_Expertenwissen\\_Vegane\\_Lebensmittel.pdf](https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen/lebensmitteltechnologie/2017_5_Expertenwissen_Vegane_Lebensmittel.pdf) [abgerufen am 27.06.2022].
- Reese, M., Möckel, S., Bovet, J. und Köck, W. (2016): Rechtlicher Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels -Analyse, Weiter- und Neuentwicklung rechtlicher Instrumente-, Umweltbundesamt, [online] [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_07\\_2016\\_rechtlicher\\_handlungsbedarf\\_fuer\\_die\\_anpassung\\_an\\_die\\_folgen\\_des\\_klimawandels.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_07_2016_rechtlicher_handlungsbedarf_fuer_die_anpassung_an_die_folgen_des_klimawandels.pdf) [abgerufen am 17.05.2022].



- Ritchie, H. (2019): Which countries eat the most meat?, BBC News, [online] <https://www.bbc.com/news/health-47057341> [abgerufen am 24.05.2022].
- Ritchie, H. und Roser, M. (2021): Soy, Our World in Data, [online] <https://ourworldindata.org/soy#:~:text=One%2Dfifth%20of%20the%20world's,be%20used%20for%20industrial%20purposes.> [abgerufen am 11.07.2022].
- Rojas-Downing M. , Nejadhashemi, P., Harrigan, T. und Woznicki, S. (2017): Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation, elsevier, [online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221209631730027X#f0025> [abgerufen am 05.07.2022].
- Schnauss, M. (2009): Der ökologische Fußabdruck – Ein Beitrag zum Thema Nachhaltigkeit, Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., [online] [http://ernaehrungsdenkwerkstatt.de/fileadmin/user\\_upload/EDWText/TextElemente/Verbraucher/Oekologischer\\_Fussabdruck\\_schnauss\\_\\_10\\_2009\\_VZ.pdf](http://ernaehrungsdenkwerkstatt.de/fileadmin/user_upload/EDWText/TextElemente/Verbraucher/Oekologischer_Fussabdruck_schnauss__10_2009_VZ.pdf) [abgerufen am 06.07.2022].
- Schorch (o. D.): Extrusion, [online] <http://schorch.ch/theme/getreide/lmt02.htm> [abgerufen am 28.06.2022].
- Shurtleff, W. und Aoyagi, A. (2014). History of meat alternatives (965 CE to 2014). Extensively annotated bibliography and sourcebook. Lafayette, CA: Soyinfo Center. [online] <https://www.soyinfocenter.com/pdf/179/MAL.pdf> [abgerufen am 08.07.2022].
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A. und Heinz, V (2015): Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, [online] <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11367-015-0931-6.pdf> [abgerufen am 04.07.2022].
- Sonnenberg, A., Chapagain, A., Geiger, M. und August, D. (2009): Der Wasser-Fußabdruck Deutschlands, wwf, [online] [https://www.wwf.de/fileadmin/user\\_upload/wwf\\_studie\\_wasserfussabdruck.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/user_upload/wwf_studie_wasserfussabdruck.pdf) [abgerufen am 29.06.2022].

- Statistisches Bundesamt (2021): Sojaanbauflächen in Deutschland binnen fünf Jahren mehr als verdoppelt, Statistisches Bundesamt, [online] [https://www.destatis.de/er-ror\\_path/400.html?al\\_req\\_id=YrrJnBf8OKi800SPDUW5PgAAAi8](https://www.destatis.de/er-ror_path/400.html?al_req_id=YrrJnBf8OKi800SPDUW5PgAAAi8) [abgerufen am 28.06.2022].
- Statistisches Bundesamt (2022): Globale Tierhaltung, Fleischproduktion und Fleischkonsum, Statistisches Bundesamt, [online] [https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Thema/landwirtschaft-fischerei/tierhaltung-fleisch-konsum/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Thema/landwirtschaft-fischerei/tierhaltung-fleisch-konsum/_inhalt.html) [abgerufen am 24.05.2022].
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. (2006): Livestock's long shadow: Environmental issues and options, Food and Agriculture Organization of the United Nations, [online] <https://www.fao.org/3/a0701e/a0701e.pdf> [abgerufen am 11.07.2022].
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. (2006): *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, [online] <https://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e.pdf>. [abgerufen am 18.07.2022].
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex V. und Midgley, P.M. (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis, IPCC, [online] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf) [abgerufen am 18.07.2022].
- Tellmann, M. (2019). Was ist der Unterschied zwischen Whey Konzentrat und Isolat? [online] <https://www.body-attack.at/whey-protein-isolat-unterschied-konzentrat.html> [abgerufen am 04.07.2022].
- Toepfer, G.(2011): *Historisches Wörterbuch der Biologie: Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe*, 308 Tabellen; 3 Bände, gebunden, [online] <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-476-00461-1.pdf>. [abgerufen am 21.06.2022].

- Umweltbundesamt (2021): Was ist eigentlich Klima?, Umweltbundesamt, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-eigentlich-klima> [abgerufen am 21.06.2022].
- Umweltbundesamt (2022a): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft> [abgerufen am 16.05.2022].
- Umweltbundesamt (2022b): Wasserfußabdruck, Umweltbundesamt, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/wasserfussabdruck#der-wasserfussabdruck-von-deutschland> [abgerufen am 06.07.2022].
- UNFCCC (o. D.): Rahmenübereinkommen der vereinten Nationen über Klimaänderungen, Artikel 1, [online] <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf> [abgerufen am 21.06.2022].
- United Nations (2019): World Population Prospects 2019, United Nations, [online] [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf) [abgerufen am 11.07.2022].
- van Heek, M. und Hoekstra, A. (2020): National Water Footprint Explorer, Water Footprint Network & Arjen Hoekstra, [online] <https://www.waterfootprintassessmenttool.org/national-explorer/> [abgerufen am 06.07.2022].
- van Mierlo, K., Beart, L., Bracquene, E., de Tavernier, J. und Geeraerd, A. (2021): The Influence of Farm Characteristics and Feed Compositions on the Environmental Impact of Pig Production in Flanders: Productivity, Energy Use and Protein Choices Are Key, MDPI, [online] <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11623/html> [abgerufen am 13.06.2022].
- van Mierlo, K., Beart, L., Bracquene, E., de Tavernier, J. und Geeraerd, A. (2022): Moving from pork to soy-based meat substitutes: Evaluating environmental impacts in rela-

tion to nutritional values, sciencedirect.com, [online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666833522000235?to-ken=B4B27C50D69BB86390549FB3C1855D0387050764806F9CFC7A54E8029C2153B1949D707FA0E1ABBB149B65D112E67CC1&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220613064829> [abgerufen am 10.06.2022].

Verbraucherschutzministerkonferenz (2016): Definitionen vegan-vegetarisch, Verbraucherschutzministerkonferenz, [online] [https://www.verbraucherschutzministerkonferenz.de/documents/top20\\_definition\\_vegan\\_und\\_vegetarisch\\_1510317864.pdf](https://www.verbraucherschutzministerkonferenz.de/documents/top20_definition_vegan_und_vegetarisch_1510317864.pdf) [abgerufen am 08.07.2022].

VERORDNUNG (EG) Nr. 1829/2003 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. September 2003 über genetisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel, ABI 2003 B 35/8

von Koerber, K. und Kretschmer, J. (2009a): Ernährung und Klima Nachhaltiger Konsum ist ein Beitrag zum Klimaschutz, Der kritische Agrarbericht 2009, [online] [https://www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2009/vonKoerber\\_Kretschmer.pdf](https://www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2009/vonKoerber_Kretschmer.pdf) [abgerufen am 20.05.2022].

von Koerber K., Kretschmer, J., Prinz, S. und Dasch, E. (2009b): Globale Nahrungssicherung für eine wachsende Weltbevölkerung – Flächenbedarf und Klimarelevanz sich wandelnder Ernährungsgewohnheiten, Beratungsbüro für Ernährungsökologie (BfEÖ), München, [online] [https://www.nachhaltigeernaehrung.de/fileadmin/Publikationen/Globale\\_Nahrungssicherung-JVL.pdf](https://www.nachhaltigeernaehrung.de/fileadmin/Publikationen/Globale_Nahrungssicherung-JVL.pdf) [abgerufen am 06.07.2022].

von Witzke, H. und Noleppa, S. (2007): Methan und Lachgas - Die vergessenen Klimagase, WWF, [online] [https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Methan\\_und\\_Lachgas\\_-\\_Langfassung.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Methan_und_Lachgas_-_Langfassung.pdf) [abgerufen am 26.07.2022].

von Witzke, H., Noleppa, S. und Zhirkova, I. (2014): Fleisch frisst Land, WWF, [online] [https://www.wwf.de/fileadmin/user\\_upload/WWF\\_Fleischkonsum\\_web.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/user_upload/WWF_Fleischkonsum_web.pdf) [abgerufen am 28.06.2022].

Weltagrарbericht (2020): Wasser, Weltagrарbericht, [online] <https://www.weltagrарbericht.de/themen-des-weltagrарberichts/wasser.html> [abgerufen am 30.06.2022].

Weltbevölkerung (2022): Weltbevölkerung 2022 - Weltbevölkerungsuhr, countrymeters.info, [online] <https://countrymeters.info/de/World> [abgerufen am 11.07.2022].

WWF (2020): Soja als Futtermittel, [online] <https://www.wwf.de/themen-projekte/landwirtschaft/produkte-aus-der-landwirtschaft/soja/soja-als-futtermittel#:~:text=So%20gehen%20einzigartige%20Lebensr%C3%A4ume%20f%C3%BCr,etwa%20703%20Millionen%20St%C3%BCck%20Gefl%C3%BCgel.> [abgerufen am 08.07.2022].

# Anhang

<b>Anhang 1: Tabellen zur Sachbilanz.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>Anhang 2: Tabellen für Ökobilanzergebnisse .....</b>	<b>xxx</b>
<b>Anhang 3: Grafiken der beiden Ökobilanzen aus Umberto LCA+ .....</b>	<b>xxxiii</b>

## Anhang 1: Tabellen zur Sachbilanz

### Input

Material	Datenquelle	Faktor	Einheit	Bezeichnung	Quelle
<b>Energie</b>					
Strom	ecoinvent 2.2	1,68	kWh	Elektrizität, Mittelspannung am Netz [BE]	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
Erdgas	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	1,93	MJ	Wärme, zentral oder in kleinem Umfang, Erdgas	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
<b>Wasser</b>					
Leitungswasser	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	5,86	kg		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
<b>Transport</b>					
Transport zum Fleischer-satzstoffhersteller	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	0,03	t*km	Transport, Fracht, Lastkraftwa-gen 16-32 Tonnen, EURO3	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
<b>Inhaltsstoffe</b>					
Paniermehl	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	0,14	kg		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
Maisstärke	ecoinvent 2.2	0,01	kg	im Werk [DE], zum würzen	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte

Kartoffelstärke	ecoinvent 2.2	0,04	kg	BIO [DE]	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
Erbsenprotein	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	0,12	kg	organisch (Ersatz für Sojaweißkonzentrat)	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
Salz	ecoinvent 2.2	0,0025	kg	Natriumchlorid, Pulver, im Werk [RER]	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
Sojabohnenmehl	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	0,12	kg	Ersatz für Sojaweißkonzentrat	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
Leitungswasser	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	0,57	kg	0,471 kg für Rehydratation; 0,1 kg zum binden	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
pflanzliches Speiseöl	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	0,06	kg	0,0152 kg im Teig; 0,03 kg durch fritieren aufgenommen; 0,01 kg in der Fritteuse	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
Weizenmehl	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	0,08	kg		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte
<b>Output</b>					
<b>Material</b>	<b>Datenquelle</b>	<b>Faktor</b>	<b>Einheit</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Quelle</b>
Abwasser	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	0,01	m3	Durchschnittswert	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.6; minimale Werte

Tabelle 2: In- und Outputs der Sojaschnitzelherstellung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.6, 2022



**Input**

<b>Material</b>	<b>Masse (in kg)</b>	<b>Datenbank</b>
Futtermittel		
Gerstenkorn	0,48	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Maiskörner als Futtermittel	1,62	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Haferkorn	0,29	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Rapsschrot	0,17	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Sojaschrot	0,38	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Sojabohnen	0,16	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Weizenkorn	0,12	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Restliche Bestandteile		
chemische und organische Bestandteile	0,01	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Kalkstein, gebrochen und gewaschen	0,03	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Anlage zur Lagerung und Verarbeitung von Gülle	0,01	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Natrium Chlorid	0,01	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Molke	0,01	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
<b>Output</b>		
<b>Material</b>	<b>Masse (in kg)</b>	<b>Datenbank</b>

Ammoniak [Luft/Nicht-Stadtluft oder aus hohen Schornsteinen]	0,03	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Kohlendioxid, nicht fossil [Luft/stadtfremde Luft oder aus hohen Schornsteinen]	0,00302	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Stickstoffmonoxid [Luft/stadtfremde Luft oder aus hohen Schornsteinen]	0,00027	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Schwefelwasserstoff [Luft/außerorts oder aus hohen Schornsteinen]	0,06	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Methan, nicht-fossil [Luft/außerorts oder aus hohen Schornsteinen]	0,06	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Partikel, < 2,5 um [Luft/stadtfremde Luft oder aus hohen Schornsteinen]	0,00201	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Partikel, > 10 um [Luft/außerorts oder aus hohen Schornsteinen]	0,02	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Partikel, > 2,5 um und < 10um [Luft/außerorts oder aus hohen Schornsteinen]	0,00207	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)
Schlachthofabfälle	0,06	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)

*Tabelle 3: In- und Outputs der Schweineaufzucht, IN: eigene Darstellung*

**Input**

Material	Faktor	Einheit	Datenbank	Bezeichnung	Quelle
Schweine zum Schlachten, Lebendgewicht	1,58	kg	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)		Angepasst durch van Mierlo et al., 2021, Anlage, Tabelle 2.3
Energie					
Strom	0,24	kWh	ecoinvent 2.2 - Trial	Elektrizität, Mittelspannung am Netz [BE]	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.3

Erdgas	1,15	MJ	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	Wärme, zentral oder in kleinem Umfang, Erdgas	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.3
Wasser					
Leitungswasser	0,45	kg	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.3
Transport					
Vom Landwirt zum Schlachthof (Diesel)	0,33	MJ	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.3
<b>Output</b>					
<b>Material</b>	<b>Faktor</b>	<b>Einheit</b>	<b>Datenbank</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Quelle</b>
Bioabfall zur kommunalen Verbrennung	0,12	kg	ecoinvent 2.2		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.3
Abwasser	0,00035	m3	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	Durchschnittswert	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.3

Tabelle 4: In- und Outputs der Schweineschlachtung und Zerlegung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.3, 2022

Input

Material	Faktor	Einheit	Datenbank	Bezeichnung	Quelle
<b>Inhaltsstoffe</b>					
Paniermehl	0,3	kg	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.4
Schweinefleisch	0,7	kg	User Defined		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.4
<b>Energie</b>					
Strom	0,65	kWh	ecoinvent 2.2 - Trial	Elektrizität, Mittelspannung, am Netz [BE]	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.4
Erdgas	0,72	MJ	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	Wärme, zentral oder in kleinem Umfang, Erdgas	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.4
<b>Wasser</b>					
Leitungswasser	0,29	kg	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)		Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.4
<b>Transport</b>					
vom Schlachthof zum Fleischverarbeitungsbetrieb	0,02	t*km	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	Transport, Fracht, Lastkraftwagen 16-32 Tonnen, EURO3	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.4
<b>Output</b>					
<b>Material</b>	<b>Faktor</b>	<b>Einheit</b>	<b>Datenbank</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Quelle</b>
Abwasser	0,0003	m3	ecoinvent 3 (v3.8 with aggregated impacts)	Durchschnittswert	Angepasst durch van Mierlo et al., 2022, Anlage, Tabelle 2.4

Tabelle 5: In- und Outputs der Schweineverarbeitung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.4, 2022

Produkt	Masse (kg)	Allokationsfaktor
Schlachtkörper	86,27	94,73%
Kopf	4,70	2,33%
Blut	4,63	0,14%
Magen-Darm-Trakt	7,00	1,76%
Leber, Herz, Zunge	2,00	1,04%
Abfall und Verluste	7,01	0,00%
<b>Gesamt</b>	<b>111,61</b>	

Tabelle 6: Allokationsfaktoren der Schweineschlachtung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.1, 2022

Produkt	Masse (kg)	Allokationsfaktor
Fleisch	73,91	97,43%
Knochen, Gelatine	7,48	1,36%
Fett	1,60	0,30%
Schwarte	2,92	0,91%
Abfall und Verluste	0,36	0,00%
<b>Gesamt</b>	<b>86,27</b>	

Tabelle 7: Allokationsfaktoren der Fleischzerlegung, IN: eigene Darstellung nach van Mierlo et al., Ergänzendes Material Tabelle 2.2, 2022

## Anhang 2: Tabellen für Ökobilanzergebnisse

Group	Factor	Schweineschnitzel	Sojaschnitzel
IPCC 2013	climate change, GWP 100a	9,52 kg CO2 eq	0,82 kg CO2eq
ecological scarcity 2013	land use, total	2119,78 UBP	437,34 UBP
selected LCI results, additional	ressource, water	0,56 m3	0,09 m3

*Tabelle 8: absolute Anteile der Wirkungskategorien von Schweine und Sojaschnitzel, mit Gruppe und Faktor, IN: eigene Darstellung*

Produkt	Klimawandel (in kg CO2 eq)	Wasserverbrauch (in m <sup>3</sup> )	Landnutzung (in UBP)
Weizenmehl	0,07	0,03	101,39
Paniermehl	0,14	0,04	169,89
Sojabohnenmehl	0,36	0,00	103,72
Erbsenprotein	0,08	0,01	62,12
Leitungswasser		0,01	0,02
Erdgas	0,15		0,06
Abwasser		0,00	0,06
Transport	0,01	0,00	0,08

*Tabelle 9: Anteil der Inhaltsstoffe an den jeweiligen Wirkungskategorien der Sojaschnitzelherstellung, IN: eigene Darstellung*

Produkt	Klimawandel (in kg CO2 eq)	Wasserverbrauch (in m³)	Landnutzung (in UBP)
Gerstenkorn, Futtermittel	0,28	0,14	367,10
Maiskörner, Futtermittel	0,97	0,18	226,30
Haferkorn, Futtermittel	0,21	0,01	371,90
Sojaschrot, Futtermittel	1,17	0,00	332,94
Sojabohnen, Futtermittel	0,61	0,01	163,85
Rapsschrot, Futtermittel	0,07	0,01	88,16
Weizenkorn, Futtermittel	0,08	0,03	132,40
Paniermehl	0,30	0,09	364,06
Salz (Natriumchlorid, Pulver)	0,00	0,00	0,03
Leitungswasser	0,00	0,00	0,00
Molke	0,00	0,00	0,88
chemische und organische Bestandteile	0,01	0,00	0,04
Methan, nicht-fossil [Luft/außerorts oder aus hohen Schornsteinen]	1,65		
Stickstoffmonoxid [Luft/nicht städtische Luft oder aus hohen Schornsteinen]	0,07	0,03	
Erdgas	0,12	0,00	0,05
Kalkstein, gebrochen und gewaschen	1,76	0,00	52,05
Betrieb, Stallsystem, Schwein, Vollspaltenboden, pro Schweineplatz	2,18	0,07	19,95
Schlachthofabfälle	0,00	0,00	0,01
Diesel für Baumaschine	0,02	0,00	0,02
Transport	0,00	0,00	0,06
Abwasser	0,00	0,00	0,01

Tabelle 10: Anteil der Bestandteile an den jeweiligen Wirkungskategorien der Schweineschnitzelherstellung, IN: eigene Darstellung

Rohstoff	Klimawandel Schwein (in kg CO2 eq)	Rohstoff	Klimawandel Soja (in kg CO2 eq)
Gerstenkorn, Futtermittel	0,28	Weizenmehl	0,07
Maiskörner, Futtermittel	0,97	Paniermehl	0,14
Haferkorn, Futtermittel	0,21	Sojabohnenmehl	0,36
Sojaschrot, Futtermittel	1,17	Erbsenprotein	0,08
Sojabohnen, Futtermittel	0,61	Leitungswasser	
Rapsschrot, Futtermittel	0,07	Erdgas	0,15
Weizenkorn, Futtermittel	0,08	Abwasser	
Paniermehl	0,30	Transport	0,01
Salz (Natriumchlorid, Pulver)	0,00		
Leitungswasser	0,00		
Molke	0,00		
chemische und organische Bestandteile	0,01		
Methan, nicht-fossil [Luft/außerorts oder aus hohen Schornsteinen]	1,65		
Stickstoffmonoxid [Luft/nicht städtische Luft oder aus hohen Schornsteinen]	0,07		
Erdgas	0,12		
Kalkstein, gebrochen und gewaschen	1,76		
Betrieb, Stallsystem, Schwein, Vollspaltenboden, pro Schweineplatz	2,18		
Schlachthofabfälle	0,00		
Diesel	0,02		
Transport	0,00		
Abwasser	0,00		

Tabelle 11: Vergleich der Bestandteile von Schweine- und Sojaschnitzel anhand der Wirkungskategorie Klimawandel, IN: eigene Darstellung



## Anhang 3: Grafiken der beiden Ökobilanzen aus Umberto LCA+

### Umberto LCA+

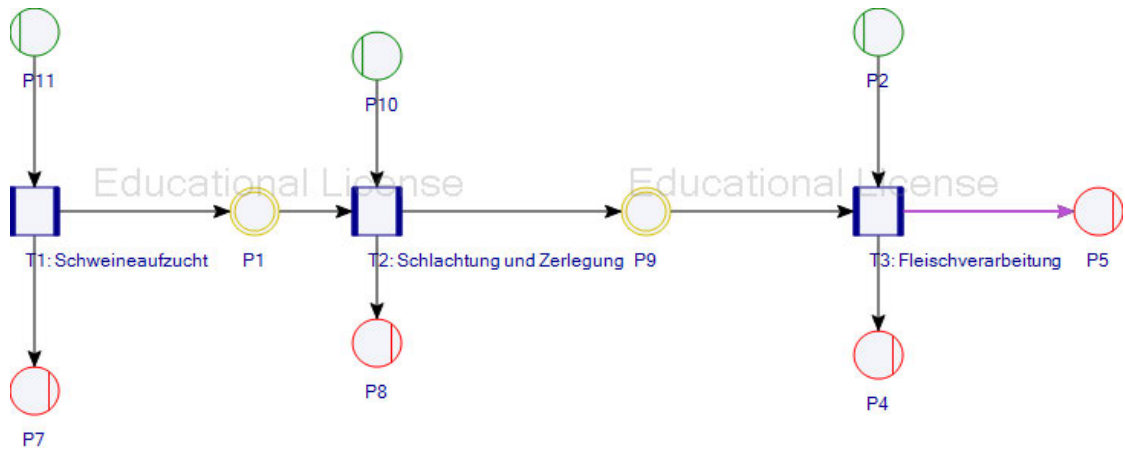


Abbildung 29: Grafik zur Schweineschnitzelherstellung aus Umberto LCA+, IN: eigene Darstellung

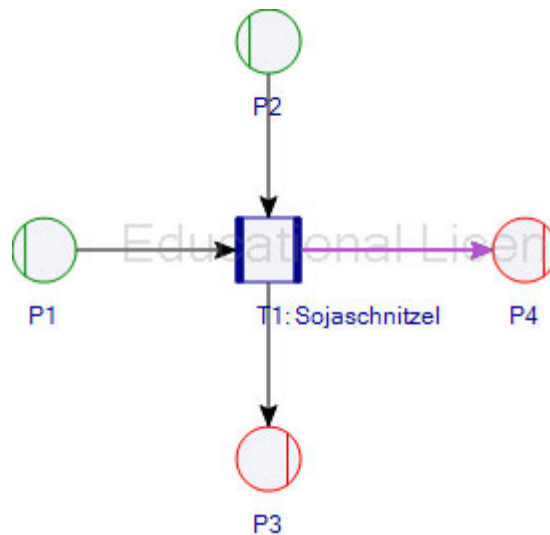


Abbildung 30: Grafik zur Sojaschnitzelherstellung aus Umberto LCA+, IN: eigene Darstellung

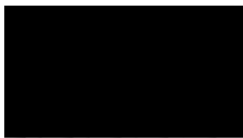
# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Chemnitz, den 12.08.2022



Alida Kreißig