



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Tierzucht und Haltung

Prof. Dr. Christian Looft

Prof. Dr. Sandra Rose

**Masterthesis**

**Alternative Fleischprodukte – Welche Alternativen gibt es  
und welche Marktchancen eröffnen sich?**

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2023-0226-8

von

*Alexander Path*

Kiel

20 August 2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	I
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	II
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	III
<b>Vorbemerkung</b> .....	1
<b>1 Einleitung</b> .....	2
1.1 Problemstellung .....	2
1.2 Zielsetzung .....	3
<b>2 Literatur und Stand der Forschung</b> .....	4
2.1 Ernährung früher und heute .....	4
2.2 Entwicklung des Trends zum veganen Leben im Vergleich zwischen Stadt- & Landbevölkerung .....	7
2.3 Konventionelle Fleischprodukte .....	13
2.4 Übersicht der Alternativen .....	19
2.4.1 Pflanzenbasiert .....	20
2.4.2 In vitro .....	27
2.4.3 Insekten .....	33
2.5 Gründe für und gegen eine Ernährung mit Fleisch bzw. Alternativen anhand von Marktanalysen .....	42
<b>3 Diskussion und Fazit</b> .....	46
<b>4 Zusammenfassung</b> .....	52
<b>5 Literaturverzeichnis</b> .....	54
<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	67

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Fleischkonsum entwickelter und sich entwickelnder Länder.....	4
Abbildung 2 Fleischverbrauch nach Ländern und Wirtschaftsleistung pro Kopf.....	5
Abbildung 3 Überblick möglicher Veganertypen .....	9
Abbildung 4 Treibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion im Vergleich zu anderen Bereichen .....	16
Abbildung 5 Entstehungsprozess des Burgers aus der Petrischale.....	28
Abbildung 6 Essbarer Anteil im Vergleich .....	34
Abbildung 7 Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Tierarten im Vergleich zu Insekten.....	36
Abbildung 8 Perspektive der alternativen Fleischprodukte bis 2040 .....	43
Abbildung 9 Entwicklung des Marktes für Fleischersatzprodukte .....	44

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 CO <sub>2</sub> -Äquivalent der einzelnen Fleischarten .....	14
Tabelle 2 Eutrophierungspotential der einzelnen Fleischsorten.....	15
Tabelle 3 Eutrophierungspotential pro 100 Gramm produzierte Fleischart.....	31
Tabelle 4 Wasser-Fußabdrücke verschiedener Fleischarten und von Mehlwürmern.....	38
Tabelle 5 Bewertungsmatrix der einzelnen Alternativen im Vergleich zum konventionellen Fleischprodukt .....	46

## **Abkürzungsverzeichnis**

BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
THG	Treibhausgasemissionen
M <sup>2</sup>	Quadratmeter
PDCAAS	Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score
PO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>
N <sub>2</sub> O	Lachgas
CH <sub>4</sub>	Methan
MJ	Megajoule
FE	Funktionelle Einheit
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
USA	United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika)
IVO	Internationale Vegetarian Union

### **Vorbemerkung**

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Masterarbeit die gewohnte männliche Sprachform bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verwendet. Dies impliziert jedoch keine Benachteiligung des weiblichen oder diversen Geschlechts, sondern soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

# **1 Einleitung**

## **1.1 Problemstellung**

Die heutige Zeit wird zunehmend durch Medien bestimmt. Sie übernehmen dabei eine tragende Rolle in unserem Leben und beeinflussen dabei sowohl unser Denken als auch unser Handeln. Soziale Netzwerke helfen den Menschen, sich miteinander auszutauschen und über Landesgrenzen hinaus in Kontakt zu treten. Im Zuge der steigenden Zahl der Weltbevölkerung und der ebenfalls zunehmenden Extreme in Umwelt und Klima ist auch das Thema der gesunden und nachhaltigen Ernährung und der damit einhergehende Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen sehr präsent.

Im Zentrum der Diskussionen stehen neben der Reduzierung von Reisen mit dem Flugzeug oder der Einsparung von Verpackungsmaterial bei Lebensmitteln dabei insbesondere Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung, der hohe Einsatz von Getreide für die Futtermittelproduktion oder auch der dafür benötigte Bedarf an Flächen. Die zunehmenden heißen Sommer der letzten Jahre, unterbrochen durch kurze, aber dennoch starke Regenperioden, verschärfen die Diskussionen. Zudem wird der in Deutschland hohe Fleischkonsum aus gesundheitlicher Sicht ebenfalls diskutiert.

Die vereinten Nationen prognostizieren in den nächsten 30 Jahren einen Zuwachs der Weltbevölkerung um 2 Milliarden Menschen auf dann 9,7 Milliarden im Jahre 2050. Dabei stellt sich die Frage, wie diese enorme Anzahl an Menschen auch in Zukunft noch mit ausreichend Fleisch und/ oder tierischen Produkten versorgt werden kann. Somit steht die Landwirtschaft (insbesondere die Tierhaltung), aber auch die Lebensmittelindustrie in der Pflicht sich Alternativen für den Konsum von herkömmlichem Fleisch zu überlegen. Die Möglichkeit durch selbst entwickelte Alternativen den Konsum der Menschen aktiv zu beeinflussen und dadurch zu verändern, kann als große Chance für die zukünftige Ernährung der Weltbevölkerung gesehen werden.

## **1.2 Zielsetzung**

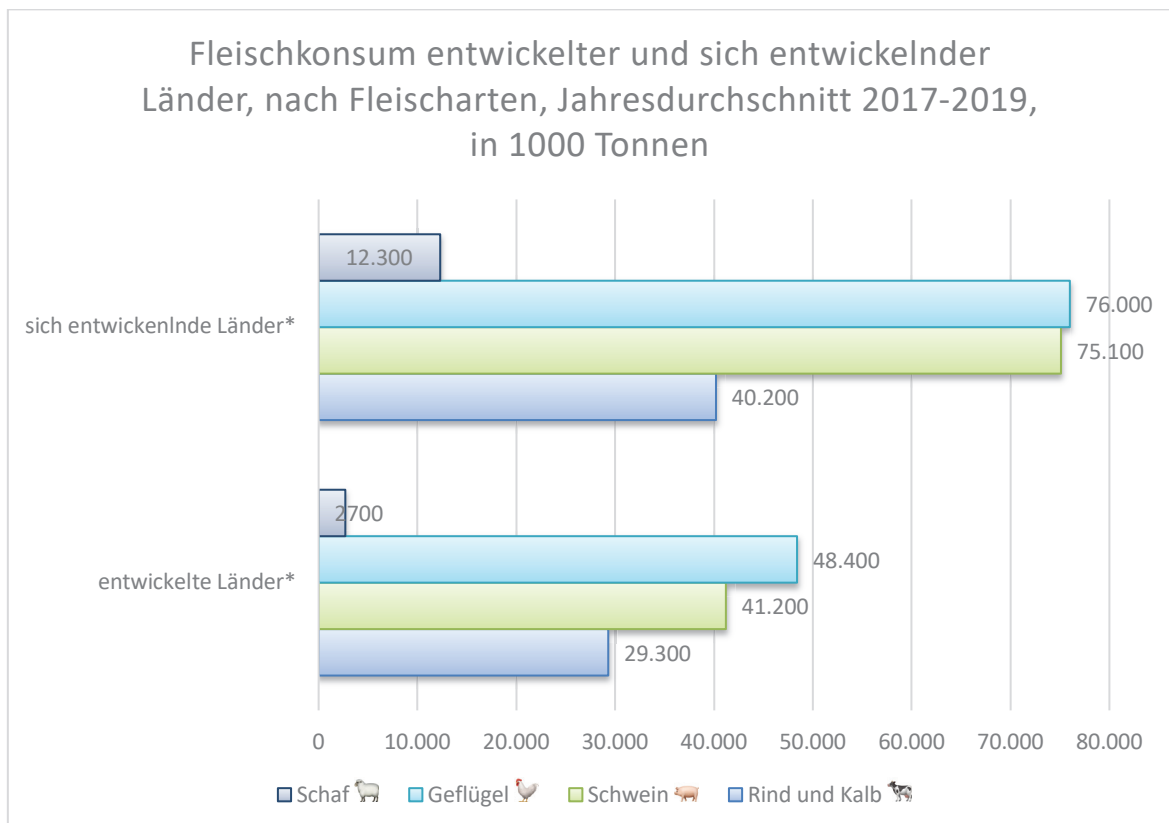
Ziel dieser Arbeit ist es, zum Thema ‚Alternative Fleischprodukte – Welche Alternativen gibt es und welche Marktchancen eröffnen sich?‘, die aktuellen Gesichtspunkte der Forschung, sowie alle nötigen Zahlen, Daten und Fakten näher zu erläutern. Anhand von Marktanalysen werden die einzelnen Alternativen zu konventionellen Fleischprodukten gegenübergestellt und deren Potential eingeschätzt. Dabei wird nicht nur der Trend zur zunehmend fleischlosen Ernährung beleuchtet, sondern auch die angebotenen Alternativen wie In-Vitro Fleisch, Insekten oder der pflanzliche Fleischersatz auf Parameter untersucht. In einer Bewertungsmatrix werden diese im Anschluss gegenübergestellt.

## 2 Literatur und Stand der Forschung

### 2.1 Ernährung früher und heute

Obwohl die internationale Nachfrage nach Fleisch aufgrund des Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums ungebrochen steigt, sind die Unterschiede im Pro-Kopf Konsum nach Land und Bevölkerungsgruppe nach wie vor deutlich. Dabei macht Geflügel einen immer größeren Anteil an der gesamten Menge aus (Tostado, 2021).

In den vergangenen 20 Jahren ist der weltweite Fleischkonsum um mehr als 100% gestiegen. Somit erreichte die gesamte Menge im Jahre 2018 320.000.000 Tonnen. Dies ist durch die wachsende Bevölkerung, aber auch durch die steigenden Einkommen gleichermaßen zu erklären. Unterschieden wird in der Regel nach den entwickelten Ländern und den sich entwickelnden Ländern. Nach der bis heute üblichen Einteilung der Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) zählt Europa neben Kanada, USA, GUS, Japan, Israel, Südafrika, Australien und Neuseeland zu den entwickelten Ländern (Tostado, 2021).

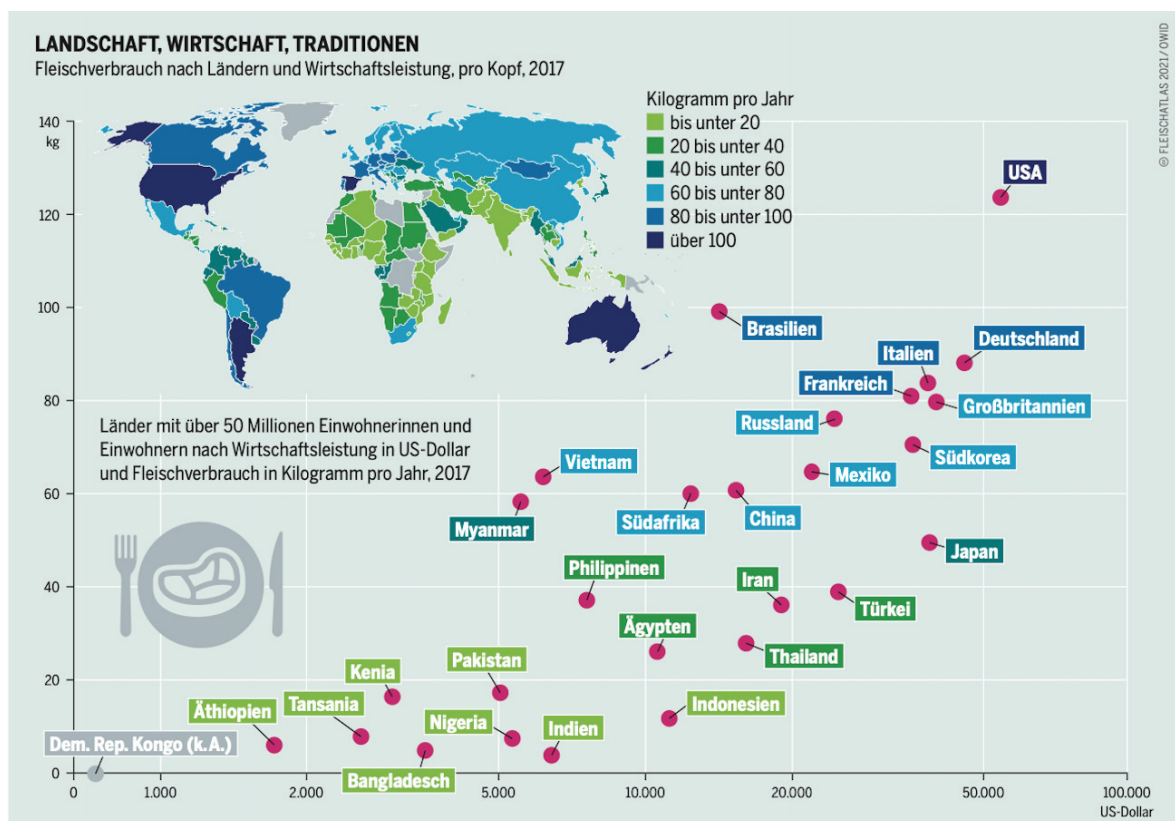


**Abbildung 1 Fleischkonsum entwickelter und sich entwickelnder Länder**

Quelle: Tostado (2021) (eigene Darstellung)



Im weltweiten Vergleich liegt Deutschland mit einer Menge von 60 Kilo Fleisch pro Kopf und Jahr auf einem konstant hohen Niveau. In den USA oder Australien hingegen sind es mehr als 100 Kilo, die ein einzelner Bürger pro Jahr zu sich nimmt. Aufgrund der Bedenken wegen Gesundheit, Umwelt und Tierwohl geht die Nachfrage in Industrienationen seit einigen Jahren sogar leicht zurück. Auf China, die die bevölkerungsreichste Nation ist, entfällt seit gut 20 Jahren ein Drittel des weltweiten Verbrauchs an Fleisch. Erwähnenswert hier ist, dass der Konsum pro Kopf nach wie vor bei weniger als 50% dessen der USA liegt. Daher ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren der Fleischkonsum in Asien und Afrika die dortige lokale Produktion übersteigen wird und der Fokus auf den Import von Fleisch liegen wird (Tostado, 2021).



**Abbildung 2 Fleischverbrauch nach Ländern und Wirtschaftsleistung pro Kopf**

Bildquelle: Tostado (2021)

Der weltweite Handel beziehungsweise die Trends treffen jedoch nicht im gleichen Maße auf alle Fleischsorten zu. Der Anteil von Rind und Schaf nimmt im Verhältnis zum Gesamtverbrauch eher ab, wohingegen Schweine- und Geflügelfleisch stärker nachgefragt werden. In den kommenden 10 Jahren wird Prognosen nach der Anteil von Geflügelprodukten stark ansteigen. So stieg der Prozentsatz von Geflügelfleisch in den USA in den vergangenen 30 Jahren um ungefähr 100% an, während die Nachfrage von Rindfleisch um etwa ein Drittel

zurückging. Ursachen für den Rückgang bzw. die gestiegene Nachfrage sind unter anderem der Preisvorteil des Geflügels als auch der niedrigere Fettanteil (Tostado, 2021).

Auch auf den menschlichen Organismus kann es zu Auswirkungen aufgrund erhöhten Fleischkonsums kommen. So wurden in Deutschland im Schnitt über 60 Kilogramm Fleisch pro Kopf verzehrt. Die Empfehlungen für den Konsum liegen hingegen bei 15 bis 30 Kilogramm (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 2017; Willett et al., 2019).

Eine Bewertung, ob übermäßiger Fleischkonsum negative gesundheitliche Auswirkungen hat, lässt sich pauschal nicht eindeutig sagen. Viel mehr kann man stattdessen sagen, dass in Industrieländern neben einem hohen Konsum an Fleisch auch andere Risikofaktoren wie zum Beispiel der Konsum von Alkohol, Übergewicht oder Rauchen Einfluss auf die Gesundheit der Bevölkerung hat (Dannemann et al., 2019).

Im Fokus der zahlreichen Studien über den Verzehr von Fleisch steht dabei rotes, aber auch unverarbeitetes Fleisch. In erster Linie stehen mit deren Konsum die Entstehung von Darmkrebs in Verbindung (Bouvard et al., 2015; Godfray et al., 2019; Stewart & Wild, 2014).

Dass die Lebensmittelsicherheit in manchen Fällen vernachlässigt worden ist, wurde durch die in der Vergangenheit aufgedeckten Lebensmittelskandale mehr oder weniger unter Beweis gestellt. Als klassische Lebensmittelinfektion steht dabei die Salmonellose im Mittelpunkt. Diese wird in der Regel unter idealen Bedingungen durch rohes oder nicht ausreichend gebratenes Fleisch übertragen (Robert Koch-Institut, 2019). Des Weiteren konnte in jüngerer Vergangenheit bei Fischen und speziell Geflügel, welche im Freiland gehalten wurden, eine erhöhte Belastung Dioxin festgestellt werden. Diese werden durch den Verzehr der jeweiligen Produkte (Eier) übertragen (Bundesamt für Strahlenschutz et al., 2011).

Durch die Ablagerungen der toxischen Schadstoffe aus dem Dioxin wird im menschlichen Körper das Fettgewebe nachhaltig geschädigt. Außerdem kann es die Leber erheblich belasten

(Bundesamt für Strahlenschutz et al., 2011).

Ein weiteres Risiko für den menschlichen Organismus, welche aus dem Konsum von Fleisch resultieren kann, ist der Einsatz von Antibiotika in der modernen Tierhaltung. So lag der Einsatz dieser Arzneimittel im Jahr 2019 bei rund 733 Tonnen (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2019)

## 2.2 Entwicklung des Trends zum veganen Leben im Vergleich zwischen Stadt- & Landbevölkerung

Aufgrund seiner Kultur weist das Land Indien heute mit einem Anteil von ungefähr 40% die größte Gruppe von Vegetariern und Veganern auf. Dort wurden in der klassischen Hochkultur ab 500 nach Christus die religiösen Tieropfer sehr kritisch hinterfragt und dadurch revolutionäre philosophische Grundüberzeugungen entwickelt. Dadurch entstand zur damaliger Zeit schon ein unabhängiges ethisches Denken (Kamlesh, 2010).

Das Konzept der Gewaltlosigkeit nach Ahimsa steht dabei im Kern des veganen Lebensstils. Getötete Tiere sollen dort in der Ernährung konsequent vermieden werden. In den großen Regionen Indiens (Hinduismus, Buddhismus und Jainismus) spielt dies bis in die heutige Zeit eine elementare Rolle (Pletcher, 2010).

Der Ursprung des Begriffs „vegan“ wird auf die Vegetarian Society of the United Kingdom zurückgeführt. Diese wurde im Jahre 1847 im vereinigten Königreich gegründet. Bei der konstituierenden Versammlung wurde dabei der Name vom Wort „vegetarian“ aus dem lateinischen „vegetus“, was so viel wie lebendig, frisch und kraftvoll bedeutet, abgeleitet und als Synonym für fleischlose Ernährung eingeführt (Spencer, 2000).

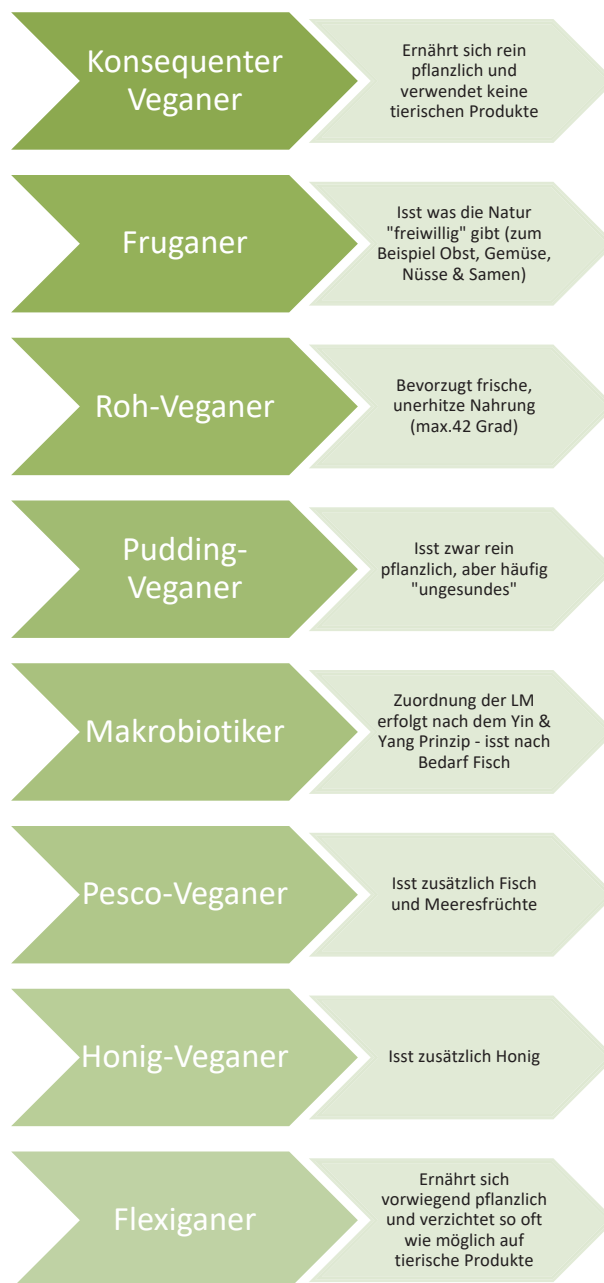
Im Jahre 1908 wurden mit der Gründung der Internationalen Vegetarian Union (IVO) erstmalig die ersten ethischen Konsequenzen des Milchkonsums innerhalb der vegetarischen Bewegung offen diskutiert. Aus dieser Bewegung bildete sich im Jahre 1944 die erste Vegan Society, welche die „milchfreien Vegetarier“ zusammenführte. Die Bezeichnung „vegan“, die einen strengen Vegetarier definiert, wurde bei weiteren Treffen als Wortschöpfung ins Leben gerufen, um sich stärker vom bis dahin lediglich existierenden Vegetarismus abzugrenzen (Stepaniak & Messina, 2000).

In der britischen Literatur, dem Oxford English Dictionary, erschien erstmals im Jahre 1962 der Begriff „vegan“. Definiert wurde er dort als „vegetarian who eats no butter, cheese or milk (= Vegetarier, der keine Butter, Käse oder Milch verzehrt) (Oxford University Press, 1995).

In ihrer Sitzung am 22. April 2016 stimmte die Verbraucherschutzministerkonferenz einer Definition der Begriffe ‚vegetarisch‘ und ‚vegan‘ zu. Von den für die Lebensmittelüberwachung zuständigen Behörden der Länder werden diese Begriffe für die Kennzeichnung als Grundlage genommen.

Es fällt dabei schwer, eine soziodemografische Beschreibung für Veganer zu definieren, die detailliert genug ist. In den bisher nur wenigen quantitativen Untersuchungen der Oxford Vegetarian Study oder der Gießener Vegetarier Studie wurde klar, dass Veganer, im Gegensatz zu den Vegetariern erst seit einiger Zeit als eigenständige Gruppe wahrgenommen werden (Appelby et al., 1999; Schönhofer & Leitzmann, 1988).

Die Beweggründe für eine vegane Ernährung und einen veganen Lebensstil sind dabei äußerst vielfältig. Das Spektrum des gelebten Veganismus ist dabei sehr breit. Abhängig von persönlichen Präferenzen, wie unter anderem der eigenen Motivation, sind unterschiedliche Varianten denkbar und auch möglich. Es gibt dabei Ernährungsweisen, die lediglich auf pflanzlicher Ernährung basieren, aber auch einzelne tierische Komponenten einschließen können.



### Abbildung 3 Überblick möglicher Veganertypen

Quelle: Englert & Tölke (2020) (eigene Darstellung)

Der konsequente Veganer bildet den Kern der veganen Bewegung. Sie ernähren sich dabei zu 100% von pflanzlichen Lebensmitteln. Zusätzlich werden nichttierische Lebensmittel (zum Beispiel Pilze) verzehrt. Nahrung vom toten Tier (Fleisch und Wurst) werden ebenso gemieden, wie auch Produkte vom lebenden Tier. Dazu zählen Milch und die daraus veredelten Milchprodukte plus Eier oder Honig. Sie sprechen sich entschieden gegen die Haltung von Nutztieren aus und verzichten dabei auf jegliche Produkte, die aus der Verwendung von Tieren hergestellt werden. Insbesondere Leder, Fell, Wolle, Seide oder Horn. Produkte mit tierischen Zusätzen wie zum Beispiel Bienenwachs oder Gelatine werden ebenso abgelehnt, wie Kosmetikprodukte oder Artikel von Herstellern, welche Tierversuche durchführen.

Konsequente Veganer sind stark ethisch motiviert und setzen sich neben dem Verzicht von tierischen Lebensmittel mit den Themen Umweltschutz, Gesundheit, Tierrechten und den globalen Problemen in der Gegenwart und der Zukunft auseinander (Ruby, 2012).

Ebenfalls zu den konsequenten Veganern gehören die Fruganer und die Roh-Veganer. Jedoch befolgen sie andere Kriterien bei der Lebensmittelauswahl. Beim Fruganer oder auch Frutarier oder Fruitarier wird die veganer Ernährung auf Basis von Obst oder Früchten umgesetzt. Es wird konsumiert, was die Natur „freiwillig“ dem Menschen zur Verfügung steht. Es handelt sich dabei um Produkte, die der Pflanze bei der Ernte ohne jegliche Beschädigung entnommen werden kann. In erster Linie zählen dazu Früchte oder Beeren, welche zuvor vom Baum oder Strauch gefallen sind oder Gemüsefrüchte, wie Tomaten, Gurken oder Paprika. Ebenso Hülsenfrüchte, Blüten oder Blätter sowie Samen oder Nüsse. Als Ausnahme zählen dabei Knollen oder Wurzeln, welche beim Ernteprozess zerstört werden. Im engeren Sinne handelt es sich dabei zum Beispiel um Möhren, Kartoffeln und Getreidesorten wie Hafer oder Getreide (Englert & Tölke, 2020).

Roh-Veganer hingegen bevorzugen frische Nahrung pflanzlichen Ursprungs, welche vor dem Verzehr nicht sonderlich erhitzt wurden. Definiert wird die Rohkosternährung nach der Gießener Rohkoststudie von 1997 als eine Ernährung, welche ausschließlich weitestgehend unerhitzte pflanzliche Lebensmittel beinhaltet. Speziell Obst, Früchte, Gemüse, Kräuter, Pilze und milchsauer vergorene Lebensmittel wie Gemüsemoste, Sauerkraut oder Bohnen. Trockenfrüchte sind ebenfalls erlaubt (Englert & Tölke, 2020).

Der Vorteil der unerhitzten Ernährung wird als der Erhalt temperaturempfindlicher Stoffe beschrieben. Dazu zählen zum Beispiel einige sekundäre Pflanzenstoffe wie Chlorophyll, Vitamin C, verschiedene Enzyme oder ungesättigte Fettsäuren. Die Nahrung behält so ihren Energiewert (Koebnick et al., 1997).

Im entfernteren Sinne zu der Gruppe der konsequenten Veganer zählen die sogenannten Pudding-Veganer. Dieser Begriff beschreibt die Gruppe von Personen, welche sich strikt vegan ernährt. So wird beim Verzehr von zum Beispiel Pudding auf Inhaltsstoffe wie Sojamilch oder beim Konsum von Pommes darauf geachtet, dass diese im pflanzlichen Fett frittiert wurden. Weniger geachtet wird bei den Pudding-Veganern auf eine ernährungsphysiologisch ausgewogene Ernährung. In erster Linie geht es dabei um die ethischen Gründe des Ernährungsstils (Rothgerber, 2014)

Zusätzlich gibt es noch einige andere kleine Gruppen, welche sich mit dem veganen Lebensstil aktiv auseinandersetzen. Dazu zählen zum Beispiel die Honig-Veganer oder die Pesco-Veganer. Sie definieren sich dadurch, dass sie sich zwar konsequent vegan ernähren, aber bei Produkten wie Bienenhonig eine Ausnahme machen und diese konsumieren beziehungsweise verwenden. Pesco-Veganer sind in erster Linie keine Vegetarier/ Veganer im engeren Sinne, da sie den Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten zustimmen, darüber hinaus jedoch keine tierischen Lebensmittel konsumieren (Englert & Tölke, 2020).

Makrobiotiker und deren Ernährungsweisen sind im Regelfall nicht vegan und sollten nicht in diese Art der Ernährung eingestuft werden. Im Zentrum dieser Ernährungsform stehen die taoistischen Lehren und das Prinzip der Gegensätze von Yin und Yang. Es gilt Harmonie zwischen den beiden Gegensätzen zu erreichen. Dabei spielt die makrobiotische Ernährung eine wichtige Rolle (Kushi, 2000).

Diese besteht aus unterschiedlichen Vollkorngetreiden, welche zwischen 50-60% der Energiezufuhr ausmachen, frischem Gemüse mit einem Anteil von ungefähr 25% und 5-10% Bohnen und Meeresgemüsen (zum Beispiel Algen) sowie Suppen. Tierische Lebensmittel wie Fisch sind in kleinen Mengen zu ergänzen (Kushi, 2000; Acuff, 1989).

Da nicht jeder, der sich als Veganer bezeichnet, dies in seiner Ernährung auch konsequent umsetzt, gibt es die sogenannten Flexitarier. Jedoch gibt es keine klare Abgrenzung, ab wann sich ein Konsument als Flexitarier bezeichnen kann. Fakt ist jedoch, dass diese weniger tierische Produkte konsumieren als der Durchschnittsbürger. Dies hängt jedoch von der individuellen Motivation und der Alltagsrealität ab. Dadurch werden Ausnahmen sowohl quantitativ als auch qualitativ sehr flexibel ausgelegt. Es können hierbei unterschiedliche Gruppierungen mit unterschiedlichen Leitgedanken auftreten, welche ihre persönlichen Lebensstile und/oder politische Orientierungen mit der Ernährungsphilosophie des Veganismus kombinieren (Englert & Tölke, 2020).

Resultierend daraus entsteht ein gesellschaftlicher Wunsch nach einer klima- und umweltfreundlichen Agrarpolitik. Dafür ist eine komplette Neuausrichtung nötig. Unter aktuellen Bedingungen wird es den Landwirten durch die niedrigen Preise der Lebensmittel sehr schwer gemacht, auf die steigenden Anforderungen nach mehr Umweltschutz und Tierwohl zu reagieren. Nichtregierungsorganisationen schlagen dabei eine Halbierung des Fleischkonsums vor. Dadurch könnten die Bestände an Schweinen und Geflügel um rund 40% reduziert werden. Ein kontinuierlicher Rückgang des Fleischkonsums ist seit Jahren zu verzeichnen, ist jedoch nicht mit den geforderten Zielen zu vergleichen. Diese müssten politisch gezielt gesteuert werden (Wenz & Rehmer, 2021)



### 2.3 Konventionelle Fleischprodukte

Um einen besseren Vergleich in dieser Arbeit zu ermöglichen, sollen im folgenden Abschnitt wichtige Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen der konventionellen Tierproduktion beschrieben werden.

Von den von Menschen verursachten Emissionen von Treibhausgasen (THG) trägt die Tierhaltung mit über 15% bei (Steinfeld, 2006).

Zusammengesetzt sind diese Emissionen vorrangig aus Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), das durch die Brandrodung von Wäldern für den Futtermittelanbau freigesetzt wird. Ebenfalls wird Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) durch den Einsatz von Düngemitteln zum Futtermittelanbau sowie Methan ( $\text{CH}_4$ ) als einer der großen Mitverursacher an den Emissionen betitelt (Steinfeld, 2006).

Eine besonders wichtige Rolle bei der Fleischproduktion auf konventionellem Wege spielen dabei die Methanemissionen, welche beim Verdauungsvorgang von Wiederkäuern entstehen. Zusätzlich werden sie noch bei der Lagerung und Ausbringung der Wirtschaftsdünger freigesetzt (Umweltbundesamt, 2019a).

Die Wirkung von Methan und Lachgas auf das Klima ist im Vergleich zu Kohlendioxid dabei um ein Vielfaches höher. Insgesamt 25-fach ist die Umweltwirkung dabei bei Methan und sogar bis zu 300-fach bei Lachgas. Zur einheitlichen Gegenüberstellung werden diese in die  $\text{CO}_2$ -Äquivalente umgerechnet (Umweltbundesamt, 2019a).

Die Landwirtschaft war im Jahr 2021 für insgesamt rund 54,8 Millionen Tonnen  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten verantwortlich. Umgerechnet entspricht das rund 7% der gesamten Treibhausgasemissionen von Deutschland. Rund 1,2 Millionen Tonnen fallen dabei auf Methan zurück. Dazu addieren sich aus dem Segment des Wirtschaftsdüngers 16.000 Tonnen Lachgasemissionen und Stickoxide. Im Zeitraum von 1990 bis 2021 sind die Lachgas-Emissionen, welche landwirtschaftlichen Acker- und Weideflächen entspringen, um 20% gesunken (Umweltbundesamt, 2022).

Grundsätzlich gilt, dass die Freisetzung von THG von der Tierart beziehungsweise von der Art der Fleischproduktion abhängig ist. So entstehen bei der Produktion von 100g Rindfleisch deutlich mehr CO<sub>2</sub>-Äquivalente als im Vergleich beim Schweine- oder Geflügelfleisch (Ooninx & Boer, 2012). So entstehen beispielsweise für jeweils 100g Fleischproduktion 3,05 kg Co<sub>2</sub> im Rinderbereich, aber nur 0,41 kg CO<sub>2</sub> Äquivalent für Schweinefleisch (Mattick C. S. et al., 2015). Für 100g Geflügelfleisch liegt der CO<sub>2</sub> Äquivalent zwischen 0,38 und 0,43 (Smetana et al., 2015).

**Tabelle 1 CO<sub>2</sub> -Äquivalent der einzelnen Fleischarten**

<b>Fleisch</b>	<b>CO<sub>2</sub> Äquivalent (kg pro 100g)</b>
<b>Rindfleisch</b>	3,05
<b>Schweinefleisch</b>	0,41
<b>Geflügelfleisch</b>	0,38 – 0,43

Quelle: Ooninx & Boer (2012); Mattick et al., (2015); Smetana et al., (2015) (eigene Darstellung)

Dabei fallen die Treibhausgasemissionen nicht nur auf dem Land an, sondern auch am Ort der dazugehörigen Produktion der Futtermittel (Umweltbundesamt, 2019a).

In Regionen mit einer erhöhten Konzentration an Viehbetrieben kann es dazu vermehrt zu Belastungen durch Stickstoffverbindungen in Gewässern kommen.

Aber auch in anderen landwirtschaftlichen Betrieben, die selbst keine eigene Tierhaltung betreiben und somit keine eigene Gülle produzieren können, wird zur Steigerung des Ertrags in der Getreideproduktion Mineraldünger eingesetzt (Umweltbundesamt, 2019a).

Zusätzlich kann dabei in der Luft eine erhöhte Freisetzung von Ammoniak festgestellt werden. Dies kann langfristig zu einer Versauerung und Eutrophierung des Bodens und von Ökosystemen beitragen. In letzter Instanz führt dies im schlimmsten Fall zu einem Verlust von biologischer Vielfalt (March et al., 2019).

In Bezug auf ein Eutrophierungspotential liegt konventionell hergestelltes Fleisch vom Rind mit 21,4 PO<sub>4</sub> – Äquivalente vor Schwein mit einem Wert von 2,62 und 0,64 vom Huhn. In vitro-Fleisch hingegen hat eine Äquivalente von 0,75 (Mattick, et al., 2015).

**Tabelle 2 Eutrophierungspotential der einzelnen Fleischsorten**

<b>Fleisch</b>	<b>Eutrophierungspotential</b>
<b>Rindfleisch</b>	21,4
<b>Schweinefleisch</b>	2,62
<b>Geflügelfleisch (Huhn)</b>	0,64
<b>In-vitro Fleisch</b>	0,75

Quelle: Mattick et al., (2015) (eigene Darstellung)

Die Tierproduktion in Deutschland wirkt sich dabei nicht nur auf die lokalen Nährstoffkreisläufe aus. Durch den Import von Futtermitteln wie zum Beispiel Soja werden auch die Nährstoffbilanzen in anderen Ländern beeinflusst (Umweltbundesamt, 2019a).

Neben der Freisetzung von Treibhausgasen resultiert in der Fleischproduktion auch ein erheblicher Verbrauch von Süßwasser. Dabei entfällt ungefähr ein Drittel auf die Produktion von Fleisch. Speziell für die Produktion von Futtermitteln. Der größte Anteil des genutzten Wassers stammt dabei aus Niederschlag und wird als grünes Wasser bezeichnet. Ein kleiner Anteil wird dabei aus Seen, Gewässern und dem Grundwasser entnommen und wird als blaues Wasser bezeichnet (Godfray, et al., 2019).

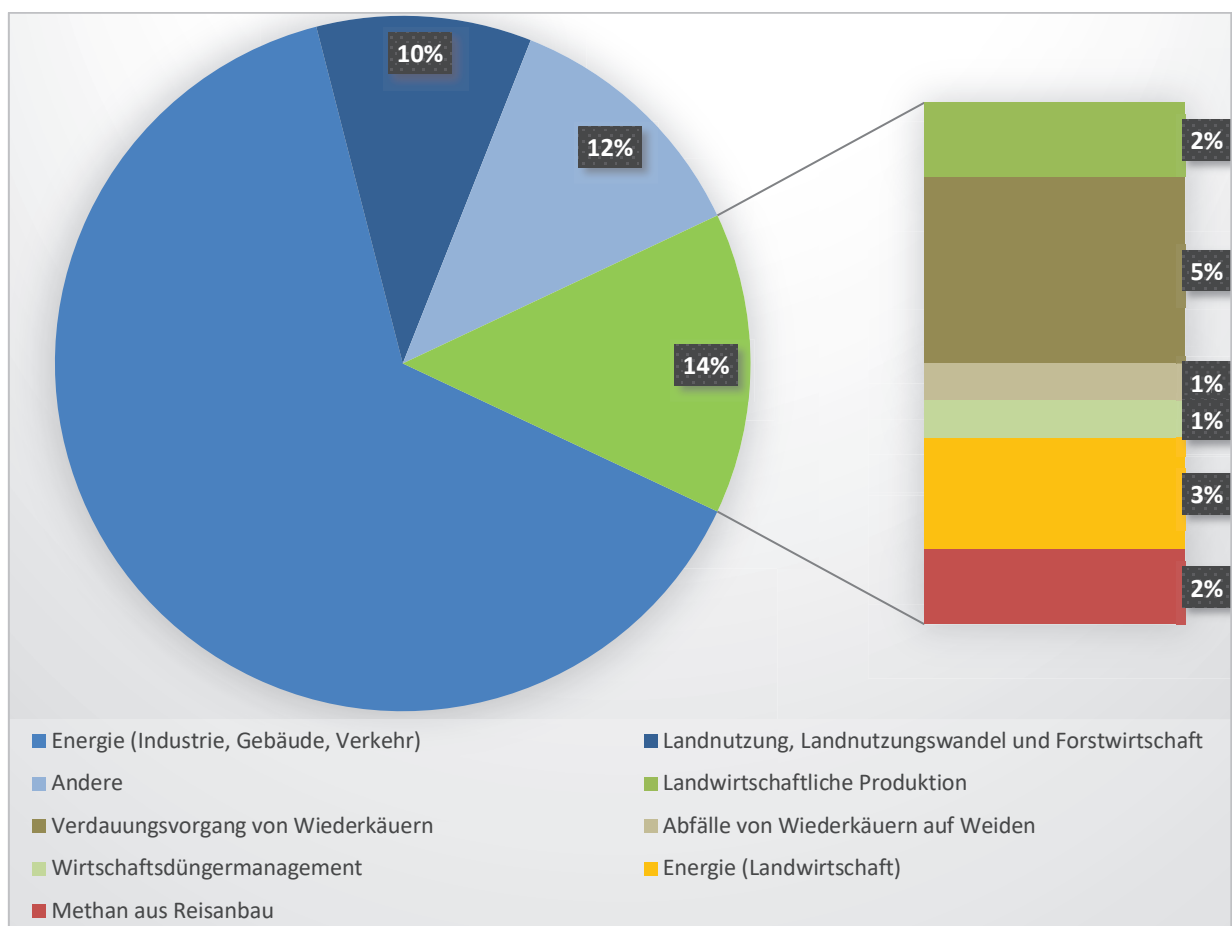
So beträgt der gesamte Wasserverbrauch oder auch der durchschnittliche Wasser-Fußabdruck während der ganzen Produktionskette von Schweinen und Geflügel zwischen 340 und 380 Litern pro 100g Tiermasse (Miglietta et al., 2015).

Im Vergleich zu der Produktion von konventionellem Rindfleisch fällt der Verbrauch der natürlichen Ressource jedoch deutlich größer aus. Unter Berücksichtigung des essbaren Anteils des Stück Fleisches (Gesamtmasse abzüglich Haut, Knochen und diverser Nebenprodukte (Tierartspezifisch)) werden für die Produktion von zum Beispiel 100g essebarem Rind ungefähr 1500 Liter Wasser benötigt. Bei Schweinefleisch werden circa 600 Liter pro 100g und für Geflügel 400 Liter pro 100g essebarem Anteil verbraucht (Miglietta et al., 2015).

Während die Umweltauswirkungen eines zu hohen Wasserverbrauchs von „grünem Wasser“ in Deutschland und Mitteleuropa tendenziell eher als unproblematisch einzustufen sind, ist

die Nutzung des sogenannten „blauen Wassers“ stark abhängig vom jeweiligen Zweck der Nutzung (zum Beispiel künstliche Bewässerung von Nutzpflanzen) sowie der Region und der dort vorherrschenden Wasserarmut. Ebenso muss das Ökosystem vor Ort individuell in den Kontext gesetzt werden. Weltweit zunehmende Wasserknappheit sind dabei jedoch verantwortlich für einen erhöhten Druck auf Ökosysteme und funktionierende stabile Wasserkreisläufe (Hoekstra, 2017).

Als virtuelles Wasser wird Wasser bezeichnet, welches für die Produktion von Futtermitteln oder Lebensmitteln im Ausland verbraucht wird. Deutschland gehört zu den größten Netto-Importeuren von virtuellem Wasser, da es große Mengen Futtermittel aus Brasilien oder Lebensmittel aus Argentinien importiert. So entstehen in den Herkunftsländern der importierten Umweltschäden und Auswirkungen auf das Ökosystem aufgrund des dort gestiegenen Verbrauchs an Wasser (Mekonnen & Hoekstra, 2011).



**Abbildung 4 Treibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion im Vergleich zu anderen Bereichen**

Quelle: Searchinger et al., (2019) (eigene Darstellung)

Auf die Biodiversität kann sich die Tierproduktion sowohl im positiven als auch im negativen Sinne auswirken (Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2016). Die wichtigsten Punkte, die für den Verlust von Biodiversitäten verantwortlich sind, sind der Wandel von Habitaten, der Klimawandel, Verschmutzung und Übernutzung von Flora und Fauna, aber auch invasive Arten (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Abhängig davon, ob die Tierproduktion intensiv oder extensiv erfolgt, sind auch die Effekte auf die Biodiversität (Leip, et al., 2015). Extensiv bewirtschaftete Wiesen gelten in Europa als die artenreichsten. Die intensive Tierhaltung ist dagegen, vor allem in Südamerika, verantwortlich für Verluste und eine zunehmende Fragmentierung (Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2016).

Der Flächenbedarf für die Produktion von verzehrfähigem Fleisch variiert stark nach der jeweiligen Tierart. So werden für die Produktion von Rindfleisch eine Fläche von 2,7 bis 4,9 m<sup>2</sup> pro 100 Gramm benötigt. Das ist im Schnitt ungefähr die 4-fache Fläche, die für die Produktion von Schweinefleisch und etwa die 8-fache Fläche, die für die Produktion von Geflügelfleisch benötigt wird (Vries & Imke, 2010). Der Hauptgrund dafür ist der höhere Bedarf an Grünfutter und die damit verbundene größere Anzahl an Flächen, als auch der geringere Anteil an Kraftfutter (Umweltbundesamt, 2019a).

Deutschland ist ein großer Importeur an „virtuellem Wasser“, da sich fast die Hälfte der Flächen für den heimischen Fleischkonsum nicht im Land selbst befindet (Fischer et al., 2017). Es handelt sich dabei um eine Fläche in der Größe von ungefähr Mecklenburg-Vorpommern und dient zum größten Teil dem Sojaanbau in den Südamerikanischen Ländern (Witzke et al., 2011).

Aber auch die ökologische Tierproduktion hat Auswirkungen auf die Umwelt. Diese sind jedoch stark abhängig von der Fütterung der Tiere, der individuellen Futterverwertung und der generellen Effizienz des Produktionssystems. Speziell die Produktion und die Zusammensetzung ist dabei zu beachten (Alig et al., 2012).

Aber auch die Umweltauswirkungen ökologisch produzierter Fleischprodukte sind bereits wissenschaftlich erfasst worden. Für den Erhalt offener Landschaften und den dazugehörigen Bodenschutz können die Haltung von Rind- und Lammfleisch damit deutlich positive Effekte haben, im Kern durch den Verzicht auf Dünger und Pflanzenschutzmittel (Alig et al., 2012; Castellini et al., 2006; Kumm, 2002). Die ökologische Geflügelproduktion kann im Vergleich zur konventionellen Variante Vorteile im Bereich Umwelt aufweisen.

So sind dabei die Werte für Emissionen in der Luft für Schwefel- und Stickoxid als deutlich geringer zu bewerten. Außerdem ist der Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen und die Stickstoff- und Treibhausgasemissionen sind deutlich niedriger. Grund dafür ist der Verzicht auf fossile Brennstoffe und die Nutzung von Düngemitteln bei der ökologischen Haltung. Auch gibt es keinen Import von nicht heimischen Futtermitteln (Hirschfeld et al., 2008).

Ein Vergleich in der Rinderhaltung in Bezug auf die Emissionen von Methan und Distickstoffoxid ist bisher schwierig aufzustellen, da die aktuelle Datenlage noch nicht ausreichend ist (Sanders & Heß, 2019). Für die Treibhausgasemissionen ist zwischen der ökologischen und der konventionellen Haltung kein signifikanter Unterschied festzustellen. Jedoch muss erwähnt werden, dass für die ökologische Produktion unterm Strich mehr Flächen benötigt werden (Korbun et al., 2004). Da die ökologische Haltung einen Beitrag zum Erhalt der Biodiversität leistet, ist sie höher einzustufen (Sanders & Heß, 2019).

Auch der Tierschutz muss sowohl bei der konventionellen als auch bei der ökologischen Haltung berücksichtigt werden. Es müssen dabei zentrale Fragen der Haltung, des Transports der Tiere und letztlich auch der Tötung geklärt werden. Das zentrale Ziel der Tierhaltung ist in Deutschland die Gewinnung von Nahrungsmitteln und Tierprodukten (Umweltbundesamt, 2019a).

Tiere sind in der Lage, die für sie angedachten Systeme im Zuge der Automatisierung und Standardisierung für sich zu nutzen und diese an ihre Bedürfnisse anzupassen. So können sie sich zum Beispiel an beengte Produktionsverhältnisse anpassen. Andere Beispiele dafür sind das Kupieren von Schwänzen bei Ferkeln, das Enthornen von Kälbern oder das Schnäbelkürzen von Geflügel. Dadurch soll auch erreicht werden, dass im Sinne des Tierschutzes, diese sich untereinander keinen Schaden zufügen oder sich gar selbst verletzen können. Unter diesen Aspekten kann eine standardisierte Haltungsform mit hohem Tierschutz gewährleistet werden (Dirscherl, 2013).

Ein sehr wichtiger Aspekt und eine zentrale Rolle bei der ökologischen Landwirtschaft spielen die Haltung der Tiere. So wird den Landwirten vorgegeben, welche Auslaufmöglichkeiten, welches Platzangebot und welche anderen Parameter wie zum Beispiel Frischluft den Tieren zur Verfügung stehen soll. Auch im Krankheitsfall sind spezielle Medikamente zur Behandlung freigegeben. Diese Maßnahmen haben meist einen deutlich positiveren Einfluss auf die Gesundheit im Bereich der Klauen und des Bewegungsapparates als bei konventionell gehaltenen Nutztieren (Sanders & Heß, 2019).

## 2.4 Übersicht der Alternativen

Als eine Fleischalternative ist in erster Linie ein Lebensmittel definiert, welches fleischlos ist, jedoch den ungefähr gleichen Geschmack, die gleiche Textur und das gleiche Aussehen aufweist. Dabei dient als Vorlage immer das am nächsten verwandte Lebensmittel aus Fleisch, Geflügel, Fisch oder zum Beispiel Schalentieren. Der Nährwert einer Fleischalternative ist im Allgemeinen gleich (Shurtleff & Aoyagi, 2014).

Zudem muss auf dem Etikett des Produktes eindeutig zu erkennen sein, dass es sich um ein alternatives Produkt handelt. Traditionell sind Tofu, Weizengluten, Tempeh oder Nüsse eine der Hauptzutaten von Fleischalternativprodukten. Zuletzt bekam eine Mischung aus Sojaproteinisolaten und Konzentraten oder modern texturierte Sojaproteinprodukte eine neue Bedeutung im Markt (Shurtleff & Aoyagi, 2014).

#### 2.4.1 Pflanzenbasiert

In den letzten Jahren haben Fleischersatzprodukte, welche auf pflanzlichen Proteinen basieren, sehr stark an Bedeutung und Interesse bei den Konsumenten zugenommen. Zu den am häufigsten nachgefragten Produkten zählen dabei Produkte wie Seitan, das ein Weizenprotein ist, Sojafleisch/ Tempeh, welches aus Sojabohnen produziert wird, oder Quorn (fermentiertes Myzel). Außerdem gehören Produkte aus Lupinen dazu (Umweltbundesamt, 2019a).

Die Umweltauswirkungen von pflanzenbasierten Fleischprodukten senken die Entstehung von Treibhausgasemissionen im großen Maße. Grund dafür ist, dass Weizen und Sojabohnen, welche als Fleischersatzprodukte verwendet werden, direkt für die menschliche Ernährung verwendet werden können. Dadurch entfallen zusätzliche Land- und Wasserverbräuche, die bei einer Umwandlung in tierische Nahrung als Zwischenschritt entstehen (Umweltbundesamt, 2019a).

Bei der Bewertung der Auswirkungen auf die Umwelt ist die Frage, ob die pflanzenbasierten Fleischersatzprodukte tatsächlich ein Ersatz von Fleischprodukten sind oder lediglich zusätzlich zum ohnehin konsumierten Fleisch gegessen wird, essenziell (Umweltbundesamt, 2019a).

Die größte Wirkung in Bezug auf Treibhausgasemissionen und eine Einsparung von Ressourcen haben Fleischersatzprodukte, wenn der Konsum von konventionellen Fleischprodukten dementsprechend substituiert wird. Im Jahre 2018 wurden jedoch noch ungefähr 93% des in Europa nachgefragten Soja für die Produktion und den späteren Einsatz als Tierfutter eingesetzt (European Commission, 2018). Sollte eine Substitution nicht erfolgen und ein zusätzlicher Konsum durch Fleischersatzprodukte erfolgen, wird eine steigende Nachfrage von Soja zu verzeichnen sein. Bei einer Umweltbewertung muss stets berücksichtigt werden, ob es sich um eine Ergänzung zum Konsum von konventionellen Fleischprodukten handelt oder wie ein Substitut behandelt wird (Umweltbundesamt, 2019a).

Bei der Herstellung von Fleischprodukten auf Basis von Soja werden Studien nach zufolge weniger Emissionen freigesetzt als bei konventionellen Produktionen (Fréсан et al., 2019). Die bei der Produktion von 100g essbare Masse Hühnerfleisch produzierte CO<sub>2</sub> Äquivalente von 0,38 bis 0,43 kg liegt bei der Produktion eines pflanzenbasierten Fleischersatzprodukt deutlich niedriger. So werden bei einem Produkt aus Soja eine CO<sub>2</sub>-Äquivalente von 0,111 bis 0,117 kg pro 100g freigesetzt (Fréсан et al., 2019; Smetana et al., 2015).



Die genannten Werte und die Größe des Emissionsanteils sind dabei stark von der Anbauregion abhängig, der vor Ort vorherrschende Anbau und der damit zusammenhängende Transport der Ware (Head et al., 2011). Für die Berechnung der oben genannten Werte für 100 Gramm Soja wurde in diesem Fall keine spezifische Anbauregion genannt und stattdessen ein Mittelwert zu Hilfe gezogen. Es diente dabei der Durchschnittswert der weltweiten Anbaufläche als Orientierung (Smetana et al., 2015). Jedoch beziehen die meisten Produzenten von pflanzlichen Fleischersatzprodukten ihr in dem Falle nicht gentechnisch verändertes Soja aktuell aus Ländern der europäischen Union (Albert Schweizer Stiftung für unsere Mitwelt, 2022). Dadurch fallen die Treibhausgase, die beim Transport der Ware entstehen, zumindest für deutsche Produkte nicht allzu stark ins Gewicht. Man kann sagen, dass diese Emissionen bei Sojaprodukten, welche aus biologischer Produktion stammen, um bis zu 50% geringer sind, als die von konventionell produzierten und gezüchteten Sojaprodukten (Sustainable Europe Research Institute, 2011).

Im Vergleich dazu wird bei Quorn auf eine Menge von 100 Gramm rund 0,41 bis 0,46 kg CO<sub>2</sub> -Äquivalente freigesetzt. Dies entspricht fast der Menge, die auch bei der Produktion von 100 Gramm konventionellem Schweinefleisch anfallen. Als Grund dafür wird der bei der Herstellung der Fleischalternative aus Schlauchpilzen hohe Energiebedarf genannt (Jungbluth et al., 2016).

Soja und Weizen haben unter der Gruppe der landwirtschaftlichen Erzeugnisse direkte Auswirkungen auf die Kreisläufe von Stickstoff und Phosphor. Ähnlich wie bei der Produktion von konventionellen Fleischprodukten aus der Tierproduktion gelangen beim Anbau Stickstoff- und Phosphorverbindungen ins Grundwasser und können seine Qualität negativ beeinflussen. Die Belastungen für die Umwelt durch den Anbau von Soja, Weizen oder Seitan sind dabei abhängig vom Standort, den Faktoren, die am Anbauort vorliegen und der dort praktizierten Landwirtschaft (Umweltbundesamt, 2019a).

Durch den direkten Nutzen von Sojabohnen und Weizen für die menschliche Ernährung werden somit insgesamt eine deutlich geringere Menge landwirtschaftlicher Erzeugnisse benötigt.

Grund dafür ist, dass bei der Herstellung konventioneller Fleischprodukte die Pflanzen (Soja, Weizen) in einer Vorstufe für die Fütterung von Nutztieren verwendet werden. Es liegt somit eine deutlich höhere Umwandlungsrate vor. Diese wird auch als Kalorienverlust bezeichnet. Die im Durchschnitt 250 kg Schweinefutter für eine Mastperiode von fünf bis sechs Monaten

fällt auf einen verzehrbaren Anteil des Tieres von 62% (Chemnitz & Benning, 2014) (Heinze, 2011).

Im Kern wird bei einer pflanzlichen Ernährung somit insgesamt eine geringere Menge landwirtschaftlicher Erzeugnisse benötigt, um eine gleiche Anzahl an Menschen zu ernähren. Die Belastung des Grundwassers und des Bodens durch eine Überfrachtung von Nährstoffen sinkt damit ebenfalls (Umweltbundesamt, 2019a). Das wird durch die Werte der Ersatzprodukte auf der Basis von Soja bestätigt. So sind die summierten Emissionen aus Schwefeldioxid, Ammoniak und Stickstoffoxiden um ein siebenfaches geringer als bei einer vergleichbaren Ernährung mit fleischlichem Protein. Das Gleiche gilt dabei auch für die Freisetzung von Phosphoremissionen. Auch hier beträgt der Anteil im Vergleich zu fleischlichen Eiweißen jeweils ein Siebtel (Reijnders & Soret, 2003).

Darüber hinaus ist die Sojabohne eine Leguminose. Dies bedeutet, dass sie in ihrer Eigenschaft als Eiweißpflanze zusätzlich in der Lage ist, Stickstoff im Boden zu fixieren. Der dort angereicherte Stickstoff trägt somit zur Bodenverbesserung bei und verringert den Einsatz mineralischer Düngerkomponenten (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2016).

Gegenüber der konventionellen Landwirtschaft und dem dazugehörigen Anbau weist der ökologische Anbau von sowohl Weizen als auch der Sojabohne einige Vorteile auf. Unter anderem hilft beim Anbau nach ökologischen Gesichtspunkten der Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel die Belastungen für Flora und Fauna durch Pflanzenschutz in großen Maße zu minimieren beziehungsweise gänzlich auszuschließen. Weizen weist hierbei einen ähnlich positiven Effekt für die Bilanz auf. Jedoch entfällt bei dieser Kultur die Stickstofffixierung und der dazugehörige Effekt (Heß & Sanders, 2019).

Man kann sagen, dass je mehr fleischliche Tierprodukte durch ihre pflanzlichen Alternativen ersetzt werden, desto eher würden die dazugehörigen Emissionen reduziert werden. Diese wären dann der Tierhaltung direkt zuzuordnen. Im Durchschnitt der Jahre von 2015 bis 2019 trug die Tierhaltung insgesamt 18% zum Überschuss von Stickstoff in der Landwirtschaft bei (Umweltbundesamt, 2021). Der Anteil an Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft, der auf die Tierhaltung zurückzuführen ist, beträgt dabei 60% (Richter, 2017). Das Risiko für eine zunehmende Kontamination von Grundwasser- und Oberflächenwasser würde sich

durch die Einsparung von Gülle ebenfalls verringern, da diese durch die verminderte Fleischproduktion nicht mehr im vollen Umfang anfallen würde (Umweltbundesamt, 2019a)

Der Verbrauch von Süßwasser ist ähnlich wie bei den unterschiedlichen Tierarten auch je nach Pflanzenart-/Gattung und Sorte unterschiedlich. Forschungsergebnisse zeigen, dass der Verbrauch von Wasser für die Herstellung von Quorn tendenziell am höchsten, von Seitan im Mittel und von Sojaprodukten am geringsten ist. Der Faktor für den Verbrauch von Wasser für eine Produktionsperiode liegt zwischen 4 und 15 (Umweltbundesamt, 2019a).

Die Forschung im Bereich Tofu kam zu dem Schluss, dass der vorherrschende Anteil des Wasser-Fußabdrucks bei der Produktion dem Anbau von Soja zuzuschreiben ist (Ercin et al., 2011). Hier wird somit die Menge an Wasser, beziehungsweise der Wasserfußabdruck berücksichtigt, der für die Herstellung von 100 Gramm Sojafleisch/ Tempeh benötigt wird. In diesem Fall sind es 63 Gramm Sojabohnen für 100 Gramm Sojafleisch (Shurtleff & Aoyagi, 1986).

So sind insgesamt für die Kultivierung von 350 Gramm Sojabohnen etwa 1.000 Liter Wasser nötig (Ercin et al., 2011). Mit einem Anteil von ungefähr 65% ist der Anteil an „grünem Wasser“ dabei am größten. Dieses stammt zum größten Teil aus Niederschlägen. Zusätzliches Bewässerungswasser (blaues Wasser) nimmt beim Anbau von Soja einen Anteil von 5% ein. Die Anteile an „grünem“ und „blauen“ Wasser variieren je nach Klimazone (gemäßigte – Trockenklimazonen) und Anbauintensität (Umweltbundesamt, 2019a).

Für 100 Gramm Seitan werden im Zuge der Produktion circa 0,16 Kilogramm Weizen benötigt (Smetana et al., 2015a). Ausgehend vom typischen Weizenanbau in Deutschland sind für diese Menge etwa 130 Liter Wasser notwendig. Diese Menge setzt sich dabei zusammen aus 70% „grünem“ Wasser, 19% „blauem Wasser“ und letztlich 11% „grauem Wasser“, welches sich dadurch auszeichnet, dass es bereits mit Dünger und Pflanzenschutzmittel in Kontakt gekommen ist und somit für andere Zwecke unbrauchbar wird (Berg, 2019).

In diesem Beispiel wurde die Menge an Wasser nicht berücksichtigt, die bei der Weiterverarbeitung der Rohstoffe Weizen und Soja zu den veredelten Endprodukten anfallen. Jedoch sind es in beiden Fällen signifikant weniger Rohstoffe als bei dem Anbau bereits verwendet werden (Ercin et al., 2011; Umweltbundesamt, 2019a).

Für Quorn werden je nach Art des Produktes etwa 1700 bis 1900 Liter Wasser unterm Strich verbraucht. Diese setzen sich zusammen aus etwa  $\frac{3}{4}$  „grünem“ Wasser, 20% „grauem“ Wasser und 4% „blauem Wasser“ (Carbon Trust, 2014).

So haben Fleischersatzprodukte pflanzlicher Herkunft in Bezug auf Wasserverbrauch niedrigere Werte als konventionelles Fleisch. Dort variieren die Verbräuche je nach Anbaugesbiet, Anbauart und ob es sich um einen konventionellen oder biologischen Anbau handelt (Umweltbundesamt, 2019a).

Bei der Herstellung pflanzlicher Ersatzprodukte wie zum Beispiel Sojafleisch, Tempeh, Tofu oder Seitan werden für den Weizen- und Sojaanbau landwirtschaftliche Nutzflächen benötigt. Aktuell ist der prozentuale Anteil dieser Flächen mit circa 6% sehr gering. Während diese 6% für die menschliche Ernährung verwendet werden, fallen auf die Produktion von Tierfutter rund 70 – 75% der weltweit angebauten Sojabohnen zurück (Herder et al., 2012).

Bei Getreide sieht man ein ähnliches Bild. So werden in Deutschland rund 40% des angebauten Getreides an die Tiere verfüttert (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2018). Als einer der größten Vorzüge von pflanzlichen Ersatzprodukten im Vergleich zu Fleischprodukten, welche auf konventionellem Weg produziert wurden, ist, dass diese auf einer niedrigeren Stufe der Nahrungskette angesiedelt sind. Es werden also für die gleichen Nährstoffe deutlich weniger Inputs an Ressourcen und Landfläche benötigt. Für die menschliche Ernährung kann Soja- und Weizen in verarbeiteter Form direkt verwendet werden, ohne es im Vorfeld an Tiere zu verfüttern.

In Bezug auf den Proteingehalt braucht man im Schnitt den sechs- bis siebzehnfachen Anteil an Land für die Produktion fleischlichen Proteins im Vergleich zu Sojaproteinen (Reijnders & Soret, 2003).

Beim genaueren Blick auf landwirtschaftliche Produkte und Erzeugnisse wird dies noch deutlicher. Die benötigte landwirtschaftliche Fläche für die Produktion von 100 Gramm konventionellem Hühnerfleisch beträgt dabei zwischen 0,385 und 0,389 m<sup>2</sup>/ kg. (Head et al., 2011; Smetana et al., 2015). Die Angaben variieren dabei nach Haltungsform und Tierart und verwendetem Futter. Verglichen mit Hühnerfleisch ist für den Konsum von 100 Gramm Sojafleisch rund ein Drittel weniger landwirtschaftliche Fläche nötig. Für die Produktion von Weizengluten wird eine Fläche zwischen 0,55 und 0,582 m<sup>2</sup> pro 100 Gramm verzehrbare Masse benötigt (Smetana et al., 2015). Die Umweltwirkung von Schweine- und Rindfleisch ist deutlich höher, da für diese Tierarten in Bezug auf Acker- und Weideland zwischen 2,7 und 4,9 m<sup>2</sup> pro 100 Gramm produziertes Fleisch benötigt werden (Vries & Imke, 2010).

Quorn ist aufgrund der industriellen Fertigung in Bezug auf die Landnutzung mit 0,079 bis 0,084 m<sup>2</sup> pro 100 Gramm produzierte Masse deutlich niedriger zu bewerten. Im Vergleich

zwischen der konventionellen Fleischproduktion, der Sojaproduktion und der zu Gluten basierten Ersatzprodukten schneidet Quorn dabei am besten ab (Smetana et al., 2015).

Die Biodiversität und deren lokale Auswirkungen kann man nicht pauschalisieren. So unterscheiden sich diese stark nach den lokalen Anbaubedingungen, die für Soja und Weizen vorzufinden sind. Durch den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sind die negativen Auswirkungen auf die Biodiversität deutlich höher einzustufen, speziell in Bezug auf die Bodenqualität. Positiven Einfluss auf die Biodiversität hat dabei der ökologische Anbau der Futtermittel (Sanders & Heß, 2019).

Bei der Bewertung der Biodiversität ebenfalls nicht unerheblich ist die Herkunft der Pflanzen. So müssen laut europäischer Verordnung 1829/2003/EG Pflanzen, die gentechnisch verändert wurden, mit einer Kennzeichnung versehen werden. Als Resultat stammt der in Deutschland verkaufte Seitan und Tofu aus Ländern, die den Anbau von gentechnisch veränderten Weizen und Soja nicht praktizieren. In diesem Fall aus Deutschland selbst oder aus Kanada (Stiftung Warentest, 2016). Die Herstellung von konventionellen Fleischprodukten verwendet dahingegen Soja aus nicht europäischen Ländern für die Fütterung (Stolton & Dudley, 2014).

In der menschlichen Ernährung können pflanzliche Fleischersatzprodukte, welche als Proteinquellen verwendet werden, positive Gesundheitseffekte hervorrufen. Um dabei die Proteinverwertung im menschlichen Körper zu bewerten, wird der Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (=PDCAAS) verwendet. Mit dem insgesamt höchsten Wert von 1,0 wird dabei das Milchweiß bewertet. Dazu kommen aber auch noch Soja- und Eiproteine (Biesalski et al., 2011). Das aus dem Quorn hergestellte Mykoprotein hat einen Wert von 0,996 auf, was ebenfalls einen sehr guten Wert in Bezug auf die Proteinverwertung im menschlichen Körper darstellt (Edwards & Cummings, 2010). Im Vergleich dazu schneidet von den verschiedenen Fleischarten das aus Rindfleisch gewonnene Protein mit 0,9 am besten ab. Dagegen hat Weizenprotein eine Qualität von lediglich 0,4. Es ist möglich, durch die Kombination von verschiedenen Hülsenfrüchten die Verwertung von Proteinen durch den Körper zu steigern und effizienter zu machen (Biesalski et al., 2011).

Jedoch ist der Vergleich der Proteinverwertung des Menschen zwischen konventionellem Fleisch und dessen pflanzlichen Ersatzprodukten in Bezug auf die Gesundheitseffekte sehr

komplex. Diese sind dabei teilweise sehr stark abhängig von der jeweiligen Tier- beziehungsweise Pflanzenart, der Zubereitung der Produkte und nicht zuletzt von dem Verarbeitungsgrad. So wird von der deutschen Gesellschaft für Ernährung geraten, fettarmes Fleisch oder mageres Muskelfleisch zu verwenden (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 2017). Pflanzliche Produkte, die kaum Cholesterin aufweisen, sind dabei Fleischprodukten vorzuziehen (Heseker & Heseker, 2015). Der Nährstoffgehalt nicht allzu stark veredelter Soja- und Glutenprodukte sind im Allgemeinen nicht sehr fetthaltig. Dafür bestechen diese durch einen erhöhten Nährstoffgehalt (Huber & Keller, 2017). Ein ähnliches Phänomen weist Quorn mit einem hohen Eiweißgehalt, wenig Fett und vielen Ballaststoffen auf (Wiebe, 2004).

Vom Standpunkt der Lebensmittelsicherheit kann man sagen, dass je höher das Lebensmittel verarbeitet ist und je stärker der Grad der Veredelung ist, desto genauer ist die Wirkung auf die Gesundheit zu beachten. So können unerwünschte Bestandteile eher in Schnitzeln oder Würstchen aus Seitan vorhanden sein, da diese durch den Produktionsprozess stärker verarbeitet sind. Auch kann es passieren, dass Bestandteile von Mineralöl oder Kohlenstoffen nachzuweisen sind (Hinsch, 2016).

Die gesundheitlichen Folgen bei der Verwendung von Farbstoffen, Stabilisatoren, Emulgatoren oder Säureregulatoren, die bei der Weiterverarbeitung von pflanzlichen Fleischersatzprodukten eingesetzt werden, müssen untersucht und beachtet werden. Auch der Einsatz von Antioxidationsmittel ist ein Thema, um eine vergleichbare Haptik wie bei konventionellen Fleischprodukten zu erzeugen (Huber & Keller, 2017). So weisen Fleischersatzprodukte unter dem Aspekt der konventionellen Produktionsweise im Regelfall einen höheren Anteil an Zusatzstoffen auf als jene, die biologischer Abstammung sind (Umweltbundesamt, 2019a).

## 2.4.2 In vitro

Da es sich bei In-Vitro-Fleisch um eine Produktion handelt, die aktuell noch nicht im großen Stil durchgeführt wird, sind die Umweltauswirkungen und die Folgen des In-Vitro-Fleisches aktuell noch nicht abzusehen. Um dies genauer abschätzen zu können, müssen erst die technischen Schritte im Prozess der Herstellung abschließend geklärt werden. Dabei geht es um die Herstellung eines alternativen tierfreien Nährmediums für die Zellen, welche eine effiziente Etablierung von Stammzelllinien und somit eine für die breite Masse ausreichende Menge an In-Vitro-Fleisch produzieren kann (Pandurangan & Kim, 2015; Tuomisto H. L., 2019; Mattick et al., 2015).

Dabei ist ebenfalls darauf zu achten, dass eine kontrollierte Umgebung bei der Produktion von In-Vitro-Fleisch gegeben sein muss. Diese muss in der Lage sein, die biologischen Funktionen von Tieren zu ersetzen (Mattick et al., 2015).

Der Ressourceninput und die damit auftretenden Emissionen sind damit letztlich für die Ökobilanz des In-Vitro-Fleisches verantwortlich. Darauf basiert auch die Innovationsbewertung der Fleischalternative (Mattick et al., 2015).

Für den Vergleich mit der traditionellen Tierproduktion ist die Auswahl der Parameter entscheidend, um In-Vitro-Fleisch damit vergleichen zu können. Das gewählte Nährmedium für die Produktion der Fleischalternative ist für die Erstellung der Ökobilanzierung ausschlaggebend. Als sehr effizientes Nährmedium für Muskelzellen dient dabei das Cyanobakterien-Hydrolysat. Dieses Hydrolysat wird aus blauen Algen hergestellt. Ein Verfahren zur größeren Produktion dieser Bakterien existiert aktuell jedoch nicht. Eines für die Masse besser taugliches Verfahren nutzt als Wachstumsfaktor verarbeiteten Weizen und Mais. In Verbindung mit Cyanobakterien-Hydrolysat wurde in einer Studie von Tuomisto und Teixeira de Mattos (2011) ermittelt, dass in etwa 200 Gramm Weizen oder Mais für die Herstellung von 100 Gramm In-Vitro-Fleisch nötig sind. Dabei zeigten Cyanobakterien die niedrigsten Treibhausgase und die geringste Landnutzung. Der geringste Energiebedarf wies in der Produktion dabei der Mais auf und Weizen bestach durch den niedrigsten Wasser-Fußabdruck. Die Studie berücksichtigte dabei ebenfalls die Sterilisierung und Hydrolisierung von Mais und Weizen bei der Berechnung des Ressourceninputs (Tuomisto et al.; 2014).



## Abbildung 5 Entstehungsprozess des Burgers aus der Petrischale

Quelle: Bartz & Stockmar (2018)

Die Studie von Mattick et al. (2015) beschrieb in ihrer Abschätzung über die Ökobilanzierung ein Nährmedium, welches aus Peptiden und Aminosäuren aus der Sojahydrolyse und aus Glucose aus Maisstärke bestand.

Um berücksichtigen zu können, welche Ökobilanz beginnend von der Extraktion der Rohstoffe, genannt Cradle, bis hin zur Nutzung und Zubereitung (Plate) des fertigen Lebensmittels durch den Verbraucher sich ergibt, wurde von Smetana eine Bilanz erstellt. Diese stellt die Bilanz detailliert da (Smetana et al., 2015). Dabei wurde der Anteil der Emissionen aus der Produktionskette herausgerechnet, um eine Vergleichbarkeit der Daten gewährleisten zu können. Als Basis werden die unterschiedlichen Produkte in drei funktionelle Einheiten unterteilt. Die funktionellen Einheiten (FE) sind zum einen das Produkt mit einem Gewicht eines Kilos, welches verbrauchsfertig zubereitet ist und die Versorgung des Konsumenten mit 3,75 MJ des Kalorieninhaltes beschreibt. Zum anderen die Versorgung des Konsumenten mit 0,3 Kilogramm verdaulichem Protein (Smetana et al., 2015).

Dabei wird das In-Vitro-Fleisch zusammen mit anderen alternativen Fleischersatzprodukten mit Hühnerfleisch in Relation gesetzt. Hühnerfleisch, da dieses als effizienteste Fleischsorte gilt (Roy et al., 2009).



Jedoch variieren die Einschätzungen über die Freisetzung von Treibhausgasen beim In-Vitro-Fleisch stark nach den einzelnen Studien. Grund wäre unter Anderem, dass Eiweiß als Ziel des Outputs gesehen würde und nicht wie in anderen Studien das Fleischersatzprodukt (Lynch & Pierrehumbert, 2019).

Die Entstehung von Treibhausgas-Emissionen ergibt sich sowohl bei der Herstellung von In-Vitro-Fleisch unter anderem durch den Betrieb der Bioreaktoren, als auch bei der Produktion von Nährmedien. In ersten erhobenen Studien stellt sich In-Vitro-Fleisch in Bezug auf die Treibhausgasemissionen als äußerst positiv heraus. In Abhängigkeit von Best-Case- oder Worst-Case-Szenarien sind bei In-Vitro-Fleisch Einsparungen von Treibhausgasen zwischen 78 und 96% im Vergleich zu konventionellen Fleischprodukten zu erzielen (Tuomisto & Teixeira de Mattos, 2011).

In neueren Studien wird dabei allerdings von einem deutlich höheren Anteil von Treibhausgasemissionen bei der Produktion von In-Vitro-Fleisch ausgegangen. Durch eine Modifizierung der Annahmen sowohl in Bezug auf das Nährmedium als auch auf eine Modellierung der Bioreaktoren wurde ein Fußabdruck von 0,75 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro 100 Gramm In-Vitro-Fleisch festgestellt (Mattick et al., 2015).

Im Vergleich zu den unterschiedlichen Tierarten ist der Wert damit höher als beim Schwein und beim Huhn, welches 0,41 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente beziehungsweise 0,23 kg pro 100 Gramm aufweist, jedoch deutlich geringer als beim Rindfleisch. Dieses weist pro 100 g 3,5 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente auf. Eine Sensitivanalyse zeigte zusätzlich noch, dass die Werte je nach den Ausgangsparametern stärker variieren und sich dabei auch erhöhen könnten (Mattick et al., 2015; Smetana et al., 2015).

Bei der Produktion von In-Vitro-Fleisch wird fast die komplette Energie für industrielle Prozesse benötigt, besonders für die Belüftung des Nährmediums, die Erstellung der Mischung und die Temperaturregulierung während der Kulturphase (Mattick et al., 2015). Die dabei zu Anfang des Verfahrens hoch prognostizierten Energieeinsparungen bei der Herstellung des Fleischersatzes im Vergleich zu konventionellen Produkten (Tuomisto & Teixeira de Mattos, 2011) konnten in der näheren Vergangenheit jedoch nicht bestätigt werden. In aktuellen Studien liegt der Verbrauch von nicht erneuerbaren Energien für die Herstellung von 100g In-Vitro-Fleisch (eine funktionelle Einheit (FE)) zwischen 29,07 und 37,3 MJ. Im Vergleich dazu benötigt man für die Produktion von 100 Gramm Hühnerfleisch zwischen 5,16 und 6,34 MJ benötigt (Smetana et al., 2015).

Zu dieser Kalkulation kommen auch andere Studien, welche besagen, dass der Energieverbrauch von In-Vitro-Fleisch bis zu 35% höher sein kann als die Herstellung konventionellen Rindfleisches. Bei Geflügelfleisch kann der Wert dabei bis ins vierfache steigen (Mattick et al., 2015).

Diese erhobenen Berechnungen basieren jedoch auf der Annahme, dass für die Produktion eine Kraftstoff- beziehungsweise Energiemischung aus Erdgas, Kohle und Strom eingesetzt werden (Galitsky et al., 2003).

Die Nährstoffeinträge und dazugehörigen Überschüsse unterscheiden sich in einigen Punkten von denen pflanzenbasierter Alternativprodukte.

Das Potential für die Einsparung beziehungsweise Freisetzung von Nährstoffen ist bei der Herstellung von In-vitro-Fleisch nur bedingt kalkulierbar. Als Grundlage dafür gilt die Wahl des verwendeten Nährmediums. Die dabei freigesetzten Anteile an Stickstoff und Phosphor sind entscheidend. Bei der Herstellung von konventionell erzeugten Fleischprodukten werden die Nährstoffeinträge und die dazugehörigen Überschüsse, insofern es diese gibt, anhand von Abfallströmen bilanziert (Pelletier, 2008; Pelletier et al., 2010; Pelletier et al., 2010).

Bestehende Studien gehen davon aus, dass diese beim In-Vitro-Fleisch deutlich geringer ausfallen. Die Einsparungen an Nährstoffen und Abfallströmen werden dementsprechend hoch eingeschätzt (Mattick et al., 2015).

Gemessen wird dieses durch das Eutrophierungspotential. Dieses beschreibt die Freisetzung von Stickstoff und Phosphor bei der Produktion des jeweiligen Fleischtyps. Für das In-Vitro-Fleisch ergibt sich somit ein Eutrophierungspotential von 0,75 PO<sub>4</sub> im Vergleich zu 21,4 PO<sub>4</sub> bei der Produktion von Rindfleisch oder 2,62 PO<sub>4</sub> beim Schweinefleisch. Lediglich Hühnerfleisch liegt mit 0,64 PO<sub>4</sub> im selben Bereich wie das In-Vitro-Fleisch (Mattick et al., 2015).

**Tabelle 3 Eutrophierungspotential pro 100 Gramm produzierte Fleischart**

<b>Rindfleisch</b>	21,4 PO4
<b>Schweinefleisch</b>	2,26 PO4
<b>Hühnerfleisch</b>	0,64 PO4
<b>In-vitro-Fleisch</b>	0,75 PO4

Quelle: Mattick et al., (2015) (eigene Darstellung)

Zu den weiteren wichtigen Punkten in der Bewertung dieser Fleischalternative zählt der Tierschutz. Leider jedoch beschäftigt sich aktuell sehr wenig Literatur mit diesem Thema und die dazugehörigen Auswirkungen. Die bisher erhobenen Studien gehen jedoch davon aus, dass es sich positiv für die Tiere auswirken wird, da sich die Anzahl der für die Produktion von Fleisch gehaltenen Tiere deutlich reduzieren wird. Als Ausnahme gelten dort lediglich die Tiere, die für die Entnahme von Stammzellen verwendet beziehungsweise als Lieferant für das Nährmedium benötigt werden (Bhat et al., 2015).

In den bisher existierenden Studien wird die Anzahl der benötigten Tiere als Nährmedium für eine flächendeckende Produktion jedoch nicht bewertet. Es kann unter aktuellen Umständen kaum vorausgesagt werden, wie oft und von wie vielen Tieren Muskelzellen für die Produktion von In-Vitro-Fleisch entnommen werden müssen. Der Grund für eine bisher nur ungenaue Voraussage ist, dass die bislang erhobenen Daten fast ausschließlich aus der Forschung mit Mäusen oder Menschen und bisher kaum mit landwirtschaftlich nutzbaren Tierarten entstanden sind. Dies zeigt den Ursprung dieser noch in der Forschung steckenden Technologie des Tissue Engineering. (Umweltbundesamt, 2019a).

Der Einsatz von Antibiotika wird bei der Produktion von In-Vitro-Fleisch deutlich geringer eingeschätzt als bei der Produktion konventioneller landwirtschaftlicher Fleischprodukte. Grund dafür ist in erster Linie die andere Haltungsform der Tiere, in der davon ausgegangen wird, dass die Tiere deutlich weniger Arzneimittel benötigen (Bhat & Bhat, 2011; Bhat & Fayaz, 2011; Mattick & Allenby, 2013).

Jedoch bleibt unklar, ob und inwieweit der Einsatz von Antibiotika für die Herstellung und die „Produktion“ von Zellkulturen notwendig sein wird. Die Literatur geht davon aus, dass

bei einer Produktion im großen Stil in dafür geschaffenen sterilen Systemen der Einsatz von Antibiotika entfallen wird (Zaraska, 2013).

Insgesamt wird In-Vitro-Fleisch als gesünderes Fleisch dargestellt, da die Herstellung unter kontrollierten Bedingungen im Labor erfolgt (Post, 2012).

Die Reduzierung von Zoonosen, also der Krankheitsübertragung auf den Menschen, ist ein positiver Aspekt des In-Vitro-Fleischs, da während der kompletten Produktionsperiode der Kontakt zwischen Mensch und Tier auf ein Minimum reduziert wird. Ein Risiko für die Übertragung von Krankheiten und Keimen kann in diesem Fall das fetale Kälberserum ein, welches aktuell das effizienteste Nährmedium für die Produktion ist (Brunner et al., 2010).

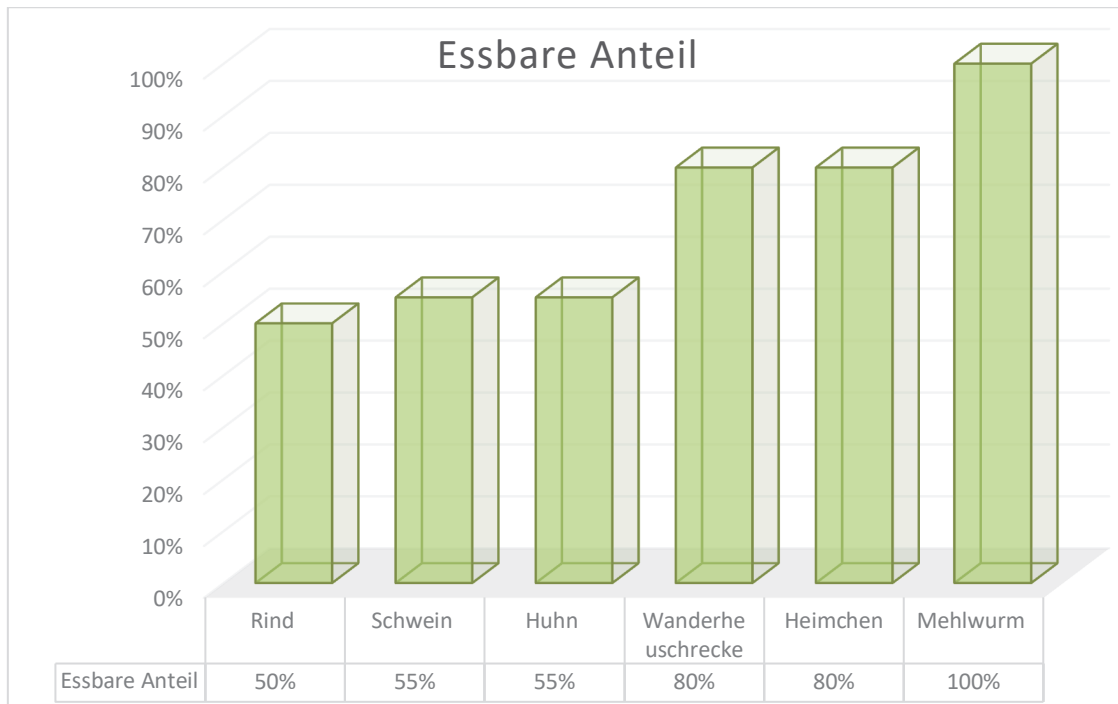
Studien ergaben jedoch, dass auch der Einsatz von Alternativen zu dem gewünschten Ergebnis führen kann. So wurde ein Kichererbsenproteinhydrolysat als Nährmedium für die Produktion von In-Vitro-Fleisch getestet. Ergänzend zu den Kälberseren würden die Kosten für die Produktion erheblich gesenkt werden und die Sicherheit der Hydrokultur deutlich gesteigert werden (Girón-Calle et al., 2008).

### 2.4.3 Insekten

Auch für die Produktion beziehungsweise den Konsum von Insekten gibt es unterschiedliche Parameter, die für die Umweltbewertung definiert und betrachtet werden müssen. Unter anderem gehört dazu der Produktionsort der Insekten, die damit zusammenhängende Insektenart und auch die Art des bei der Produktion eingesetzten Futters. Genauer definiert werden kann dabei noch der Ort, an dem die zu verwendenden Insekten heimisch sind oder wo diese produziert werden. Dabei sollten verschiedene Faktoren bewertet werden. In erster Linie muss unterschieden werden, ob die Insekten aus natürlichen Habitaten oder aus einem modifizierten Habitat (Labor etc.) stammen. Des Weiteren muss unterschieden werden, ob es sich bei der Produktion beziehungsweise Veredelung der Tiere um Insekten aus „Plagen“ handelt. Das bedeutet, ob die Tiere unerwünscht bei der Produktion von zum Beispiel Mais oder Hirse aufgefallen sind und dementsprechend abgesammelt wurden. Auch der Produktionsstandort spielt dabei eine Rolle. So muss definiert werden, ob die Insekten von Farmen außerhalb Deutschlands beziehungsweise der europäischen Union stammen oder hier gezüchtet worden sind. Aktuelle Ökobilanzierungen für die Produktion liegen nur für die Produktion außerhalb Deutschlands/ der europäischen Union vor (Halloran et al., 2016)

Ein weiterer Faktor, der bei der Umweltbewertung eine wichtige Rolle spielt, ist die dabei betrachtete Insektenart. Von Bedeutung ist außerdem das Futter, für die Insekten, das verwendet wurde. Dabei gibt es große Unterschiede zwischen Hühnerfutter aus Getreide, Fisch- und Sojamehl oder eine Fütterung mit Abfall oder auch Nebenprodukten (Fiebelkorn, 2017).

Im Vergleich zu anderen Nutztieren gilt dabei übergreifend, dass der essbare Anteil von Insekten mit 80% bis 100% um ein Vielfaches höher ist als bei konventionellen Nutztieren. Es wird deutlich weniger Futter für den gleichen Zuwachs an Masse benötigt. Ein weiterer signifikanter Unterschied ist, dass es sich bei Insekten um wechselwarme Tiere (poikilotherm) handelt, während die konventionellen Nutztiere gleichwarm (homoiotherm) sind. Daraus ergibt sich, dass Insekten in bestimmten Regionen, in denen eine gewisse Grundtemperatur herrscht, keine zusätzliche Wärme in Form von Energie für die Aufrechterhaltung ihrer Körpertemperatur benötigen. Die gesamte Energie wird dadurch in das Wachstum investiert (Fiebelkorn, 2017).



**Abbildung 6 Essbarer Anteil im Vergleich**

Quelle: (Fiebelkorn, 2017) (eigene Darstellung)

Auf den folgenden Seiten liegt der Fokus auf den Insektenarten, welche unter Berücksichtigung ihrer Umweltwirkungen bereits untersucht werden konnten. In erster Linie zählen dazu Mehlwürmer, Grillen und Heuschrecken. Um eine signifikante Großproduktion realisieren und damit konventionelles Fleisch ersetzen zu können, liegt der Schwerpunkt auf Insekten, die in Produktionsanlagen aufgezogen werden, und jenen, die in der freien Wildbahn leben.

Die Treibhausgasmenge, die bei der Produktion von 100g verzehrfertigem Insektenfleisch entstehen, unterscheidet sich deutlich von der konventioneller Fleischprodukte, da nur 0,14 bis 0,15 kg CO<sub>2</sub> entstehen (Smetana et al., 2015). Verglichen mit Hähnchenfleisch fallen so über die komplette Produktionskette nur circa ein Drittel der Treibhausgasemissionen an. Diese setzen sich bei den Tieren zusammen aus Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Ammoniak. Sie werden bei Insekten durch ihre Atmung, den Stoffwechsel und die Fäkalien freigesetzt (Van Huis & Oonincx, 2017).

Im Vergleich zu Schweinen und Rindern sind Insekten auf Grund des Fehlens vom klimawichtigen Methan bis zu 100-mal effizienter auf 1 Kilogramm Massezuwachs in Bezug auf die Produktion der sich negativ auswirkenden Treibhausgase. Die bessere Futterwertung ist hierbei der Schlüssel (Fiebelkorn, 2017; Oonincx, et al., 2010).

Methan, welches bei der Tierproduktion von Wiederkäuern eine entscheidende Rolle spielt, wird hingegen nur bei wenigen Insektenarten produziert. Dazu zählen Kakerlaken, Termiten oder Blatthornkäfer. Jedoch sind dort die Mengen vergleichsweise sehr gering (Fiebelkorn, 2017).

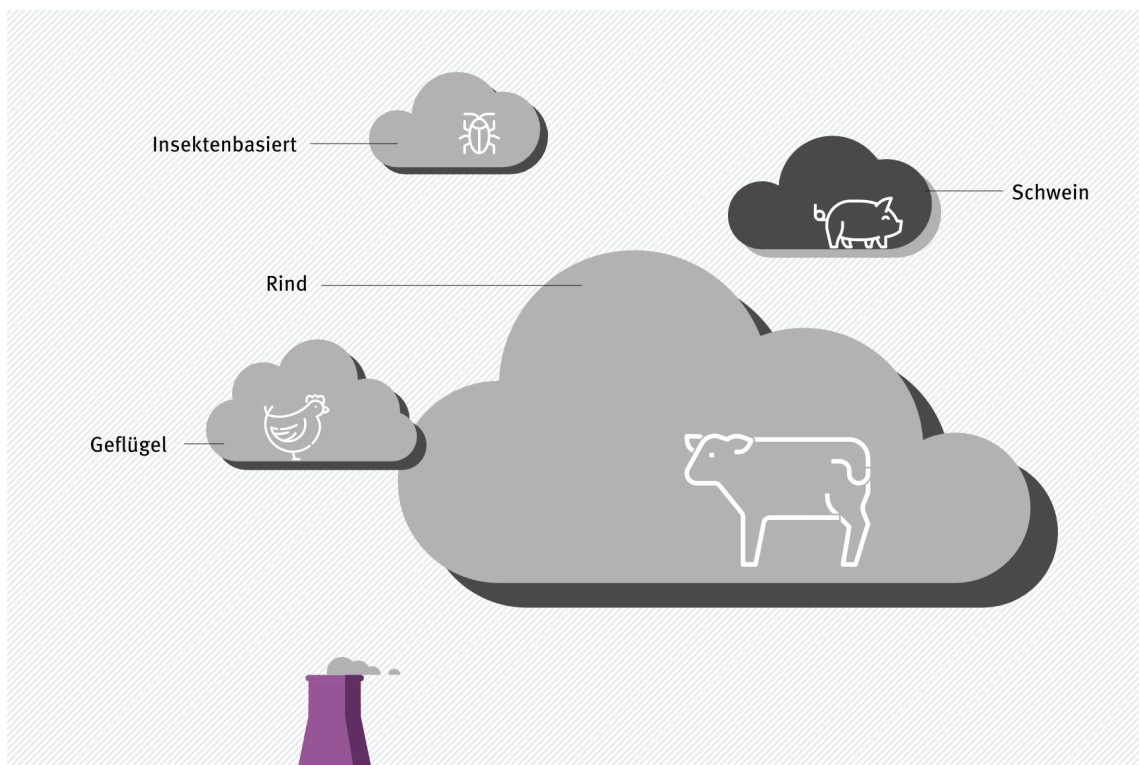
Ähnlich wie bei der Fleischproduktion setzen sich die Treibhausgasemissionen auch bei der Insektenproduktion durch andere Faktoren zusammen. Zusätzliche Emissionen entstehen dabei durch den Anbau von Futtermitteln oder wenn man die Insekten außerhalb tropischer Gebiete hält. Durch das Beheizen beziehungsweise klimatisieren der Aufzuchtanlagen entstehen so Emissionen, die im Produktionsprozess berücksichtigt werden müssen. Muss eine Aufzuchtanlage für beispielsweise eine Mehlwurmzucht beheizt werden, sorgt dies für etwa ein Viertel der entstehenden Treibhausgasemissionen (Ooninx & Boer, 2012).

So ist in kühleren Klimazonen wie Mitteleuropa eine Heizung für die Zucht notwendig, da ohne diese die Körpertemperaturen der wechselwarmen Insekten sich an die vorhandenen Temperaturen anpasst. Diese reicht jedoch oft nicht aus, um den Stoffwechsel der Insekten zu aktivieren. Ein großer Vorteil beim Beheizen von Zuchtanlagen ist, dass die für die Wärme aufgebrauchte Energie zusammen mit der im Futter direkt in das Wachstum umgesetzt wird. Eine Aufrechterhaltung der Körpertemperatur entfällt somit (Van Huis & Ooninx, 2017; Fiebelkorn, 2017) .

Treibhausgasemissionen werden bei der Produktion von Insekten maßgeblich von der Wahl des Futtermittels beeinflusst. Bei einer Mehlwurmzucht setzt sich der Anteil an Treibhausgasemissionen mit 42% aus dem Transport des Futtermittels und 58% für die kompletten restlichen Parameter zusammen (Ooninx & Boer, 2012). Um 1 Kilo Gewicht zuzulegen, benötigen Mehlwürmer dabei 2,2 Kilogramm Futter. Im Vergleich dazu benötigen Hühner etwa 4,5 Kilogramm, Schweine 9 Kilogramm und bei Rindern sind es sogar 25 Kilogramm an Futter (Fiebelkorn, 2017). Der Einsatz von Fischmehl oder Soja hat dabei negative Auswirkungen auf die Bilanz der Treibhausgasemissionen. Der Grund dafür ist unter anderem die Landumnutzung und die Abholzung des Regenwaldes, welche aus dem Sojaanbau resultiert. Ebenso muss für die Herstellung von Fischmehl überdurchschnittlich viel Energie verwendet werden. Lediglich Trockenschlempe, die bei der Herstellung von Bio-Ethanol anfällt und ein hochwertiges Bio-Protein-Futter darstellt, weist eine geringere Umweltwirkung auf (Van Huis & Ooninx, 2017).

Nach den aktuellen Forschungsergebnissen kann man davon ausgehen, dass bei der Produktion von Insekten weniger Treibhausgase entstehen als bei der Produktion von Rind- oder Schweinefleisch (Dobermann et al., 2017). Als größter Faktor wäre hierbei die Produktion des dafür benötigten Getreides im Vergleich zu anderen verwendbaren Bioabfällen zu nennen (Dobermann et al., 2017; Halloran et al., 2016).

Durch den Einsatz von Abfall und Nebenprodukten aus anderen Produktionszweigen ergibt sich somit ein großes Potential, die Treibhausgasemissionen bei der Produktion von Insekten weiter und nachhaltig zu senken (Alexander et al., 2017; Dobermann et al., 2017). So lassen sich bestimmte Arten wie der Mehlwurm effizient mit Abfällen aus der Lebensmittelproduktion füttern, was Umweltwirkungen damit vorbeugt. Jedoch wachsen die Insekten dabei etwas langsamer, was zu längeren und somit „ineffizienteren“ Produktionszyklen führt (Van Huis & Tomberlin, 2017). Weniger flexibel in Bezug auf ihre Nahrung sind dabei zum Beispiel Grillen. Denn nach der Aufzucht mit Gülle oder Hausmüll sind diese dann nicht mehr für die Verwertung in Nahrungsmitteln verwendbar (Van Huis & Tomberlin, 2017).



**Abbildung 7 Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Tierarten im Vergleich zu Insekten**

Quelle: Mattick et al., (2015); Smetana et al., (2015a)



Wie auch bei der konventionellen Produktion von Fleischprodukten fallen auch bei Insekten stickstoff- und phosphorhaltige Exkreme an. In einem Versuch wurde dabei das Eutrophierungspotential einer thailändischen Grillenfarm aufgenommen. Im Vergleich zu Masthähnchen kam man zu der Schlussfolgerung, dass auf 100 Gramm Fleisch rund ein Drittel weniger Eutrophierung in Wasser und Boden nachweisbar war.

(Halloran et al., 2017).

Um den Wasserverbrauch, der bei der Produktion von Insekten anfällt, genau berechnen zu können, müssen diverse Faktoren berücksichtigt werden. So muss man die gesamten Verbräuche und auch die Verunreinigungen berücksichtigen, welche im Prozess der Produktion entstehen. Dazu gehören auch die Verbräuche an Futtermitteln, die während der Produktion anfallen, aber auch während des Wachstums der Tiere und die anschließende Reinigung der Produktionsanlagen. In erster Linie relevant für die Höhe des Verbrauchs an Wasser ist wie bei anderen Tierarten und Produktionen jedoch der Anteil, der für die Herstellung der Futtermittel benötigt wird (Miglietta et al., 2015). Ebenfalls ist der Verbrauch an Wasser abhängig von den tatsächlich verzehrten Futtermengen, der Herkunft aber auch der individuellen Zusammensetzung des Futters (Halloran et al., 2017).

Je nach Futtermittel variieren dabei die Wasserverbräuche. Mischgetreide hat so zum Beispiel einen höheren Wasser-Fußabdruck als zum Beispiel Karotten (Miglietta et al., 2015).

Unter Berücksichtigung aller Parameter kommt die Wissenschaft in bestehenden Analysen auf einen Wasserverbrauch von ungefähr 434 Litern pro 100 Gramm essbarer Insekten (in diesem konkreten Beispiel Mehlwürmer). Im Vergleich zu den konventionellen Fleischprodukten wie Rind- oder Schweinefleisch ist das ein erhebliches Einsparpotential. So weist Rindfleisch für die Produktion von 100 Gramm einen Wasserverbrauch von rund 1.540 Litern und Schweinefleisch einen Verbrauch von grob 600 Litern Wasser auf. Die Produktion von 100 Gramm verzehrfertigem Hähnchenfleisch benötigt mit 433 Litern eine ähnliche Menge wie die Mehlwürmer (Miglietta et al., 2015).

Begründen lässt sich der geringere Gesamtwasserverbrauch in der Produktion unter anderem dadurch, dass die Insekten wechselwarm sind. Das bedeutet, dass sie bei gleicher zugeführter Futtermenge unterm Strich mehr essbare Masse produzieren als andere Tierarten. Es wird in der Konsequenz dadurch messbar weniger Futter benötigt, um eine gleiche Menge essbaren Fleischersatz zu produzieren wie bei der konventionellen Fleischproduktion. Das spiegelt

sich im niedrigeren Wasserverbrauch für den Futtermittelanbau und letztlich auch im besseren Wasser-Fußabdruck wieder (Ooninx D. G., 2017).

Insekten sind ebenfalls in der Lage, das für ihren Lebenszyklus benötigte Wasser komplett über die ihnen vorgesetzten Futtermittel zu decken. So konnte bereits 2015 in einem Versuch festgestellt werden, dass zusätzliches Trinkwasser bei der Produktion von Insekten nicht notwendig ist. Wichtig ist lediglich, dass die Luftfeuchtigkeit sich in einem idealen Bereich befindet und für die jeweilige Insektenart eine abgestimmte Zusammensetzung an Körnern, Möhren und Kleie ausgewählt wurden (Miglietta et al., 2015).

Im Vergleich zu den anderen Tierarten fallen beim Blick auf den Wasser-Fußabdruck noch andere Parameter ins Auge. So liegen die Insekten mit 434 Liter pro 100 Gramm essbarem „Fleisch“ zusammen mit Hühnerfleisch deutlich unter dem von Rind und Schwein. Betrachtet man jedoch den Wasserfußabdruck für jedes einzelne Tier am Ende seines Lebens, können die anderen Tierarten aufholen. So sinkt der Verbrauch für Schweine und Hühnerfleisch auf 380 bis 330 Liter pro 100 Gramm, während Rindfleisch seine Menge an Wasser mit 748 Liter fast halbiert. Das lässt sich dadurch erklären, dass bei Insekten der essbare Anteil meist zwischen 80 und 100% liegt. Bei allen anderen Tierprodukten liegt der essbare Anteil oft deutlich niedriger (Miglietta et al., 2015).

**Tabelle 4 Wasser-Fußabdrücke verschiedener Fleischarten und von Mehlwürmern**

<b>Produkt</b>	<b>Wasser-Fußabdruck eines lebenden Tieres am Ende seines Lebens (Liter/ 100g)</b>	<b>Wasser-Fußabdruck pro essbaren 100 g (Liter/100g)</b>
<b>Mehlwürmer</b>	434	434
<b>Schweine</b>	383	599
<b>Hühner</b>	336	433
<b>Rinder</b>	748	1.542

Quelle: Miglietta et al. (2015) (eigene Darstellung)

Auch bei der Landnutzung stehen bis zuletzt nur begrenzt Daten zur Erhebung zur Verfügung. (Dobermann et al., 2017). Es konnte jedoch ebenfalls festgestellt werden, dass auch hier ein großer Teil des Flächenbedarfs bei der Insektenproduktion für die Produktion des benötigten Futters benötigt wird. Die Produktionsstätte für Mehlwürmer macht somit nur 0,2 % der gesamten Landnutzung aus. Auf die restlichen 99% entfallen die Flächen für die Produktion des Futters (Oonincx & Boer, 2012; Van Huis & Oonincx, 2017).

Genauer betrachtet spielt dabei die effiziente Futtermittelverwertung der Insekten eine große Rolle. Da diese deutlich besser ist als bei der Rinder-, Schweine- oder Geflügelzucht werden unterm Strich deutlich weniger Flächen benötigt (Van Huis & Oonincx, 2017). In Zahlen lässt sich dieses wie folgt beziffern. Auf die Menge von 100 Gramm verzehrbarem Insektenfleisch kommt somit eine Fläche von 0,15 bis 0,152 m<sup>2</sup> Land. Bei der Hühnerfleischproduktion kommt man für die gleiche Menge jedoch auf 0,385 bis 0,380 m<sup>2</sup> (Smetana et al., 2015).

Eine auf Masse ausgerichtete Produktion von Insekten garantiert Insekten, welche sehr schnell an Wachstum zulegen, eine große Körpermasse aufweisen und eine hohe Reproduktionsrate haben. Die Populationen von Insekten könnte sich dadurch im Zuge der Züchtung stark verändern. Ein dabei auftretender Nachteil könnte eine geringere Toleranz für Hunger oder auch eine schlechtere Futtermittelverwertung sein. Die Tiere könnten so in der freien Wildbahn nicht überleben (Jensen et al., 2017).

Wenn es um den Tierschutz geht, steht die Gesellschaft bei Insekten vor neuen Herausforderungen. So werden Insekten aktuell nicht in den gängigen Tierschutzgesetzen berücksichtigt. In der EU-Richtlinie zur Tierforschung werden sie zum Beispiel nicht erwähnt. Grund dafür ist die bis zuletzt ungeklärte Frage, ob Insekten Schmerz empfinden können. In Versuchen konnte man feststellen, dass Insekten auf Impulse, welche die Tiere auf eine Gefahr aufmerksam machen, reagieren. Ob es sich dabei um tatsächliche Schmerzen handelt oder nur um einen Reflex, ist dabei noch nicht geklärt worden (Erens et al., 2012).

Insgesamt ist diese Frage schwer zu beantworten, da man die Physiologie von Insekten mit der von Menschen nicht vergleichen kann. Zudem ist auch die Forschung in diesem Bereich noch nicht fortgeschritten (Pali-Schöll et al., 2019). Da es zudem noch über eine Millionen Arten von Insekten gibt, ist es de facto nicht möglich, eine pauschale Aussage über das Schmerzempfinden zu treffen (Gjerris et al., 2016). Das Fehlen der Daten sollte Autoren zu Folge jedoch nicht zum Anlass genommen werden, dieses zu vernachlässigen. Es gilt auch

hier auf eine artgerechte Tierhaltung zu achten und den Tieren das Schmerzempfinden nicht abzusprechen (Erens et al., 2012; Gjerris et al., 2016; Pali-Schöll et al., 2019).

Wichtig ist dabei, dass sich bei der Haltung der Tiere alles an den natürlichen Lebensbedingungen der Tiere orientiert. So sollten die Umweltbedingungen auch in geschlossenen Anlagen erfüllt sein. Speziell die Feuchtigkeit und Temperatur spielen dabei eine zentrale Rolle. Zusätzlicher Forschungsbedarf besteht in Bezug auf die artenspezifischen Bedürfnisse, da diese über das Wohlbefinden und das Wachstum entscheiden. Letztlich die art- und fachgerechte Tötung der Insekten sollte schnell, zuverlässig und so schmerzfrei erfolge, um die Insekten nicht unnötig zu quälen (Erens et al., 2012).

Zu einer Option zählt dabei das Tiefkühlen. Jedoch ist auch dort die Art und Umsetzung der verwendeten Methode je nach Spezies und Entwicklungsstadium unterschiedlich und bedarf weiterer Forschungsarbeit (Pali-Schöll et al., 2019).

Aus ethischer Sicht ist die Haltung von Insekten derer von konventionellen Tieren vorzuziehen, da unabhängig von der noch ungeklärten Frage nach dem Schmerz diese ein deutlich geringeres Schmerzempfinden haben als Säugetiere so Experten (Pali-Schöll et al., 2019).

Aus der Sicht eines Ernährungsphysiologen sind Insekten eine nicht zu verachtende Alternative zu konventionellem Fleisch. Gerade in Bezug auf die Inhaltstoffe weisen diese mit einem Proteingehalt von 25 – 75% auf die Trockenmasse hohe Werte auf. Die Fettgehalte variieren mit 10 bis 70% sehr stark (Finke & Oonincx, 2017). Die Proteininhalte fleischlicher Lebensmittel schwanken zwischen 20 und 30%. Der Fettgehalt variiert stark nach der Art der Zubereitung (Max Rubner-Institut, 2019).

Ganz unterschiedlich und abhängig von den Haltungsbedingungen und den verwendeten Futtermitteln können Insekten neben einem hohen Proteingehalt noch zusätzlich für den Menschen wichtige Inhaltstoffe aufweisen. Dazu zählen in erster Linie Ballaststoffe, Mineralien und Vitamine (Payne et al., 2016). Lediglich beim Gehalt von Calcium sind die Wirbeltiere den Insekten überlegen (Finke & Oonincx, 2017).

Durch den hohen Anteil an einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren, den Insekten aufweisen, könnten diese auch bei Krankheiten eine große Rolle spielen (Fiebelkorn, 2017). So könnten Darmkrebs, Übergewicht oder auch Erkrankungen im Herz-Kreislauf-System verhindert werden (World Cancer Research Fund; American Institute for Cancer Research, 2018).

Ebenfalls kann es durch den Konsum von Insekten zu anderen Gesundheitsauswirkungen kommen. So können durch den Verzehr der Tiere bei manchen Menschen Allergien ausgelöst werden. Insbesondere Krustentier- und Hausstauballergien können durch Heuschrecken, Grillen oder Mehlwürmern auftreten (Ribeiro et al., 2018). Für Menschen, die beruflich mit Insekten in Zuchtanlagen und bei der Veredlung zu tun haben, empfiehlt es sich, Arbeitssicherheitsmaßnahmen zu treffen (Dobermann et al., 2017).

Weitere gesundheitliche Risiken, wie zum Beispiel krankheitserregende Mikroorganismen aus der Darmflora der Insekten, stellen kein Problem dar, da diese durch einfache Maßnahmen in der Verarbeitung reduziert werden können. Dies erfolgt durch gründliches Waschen oder Erhitzen, sodass das Insektenprotein mit dem konventioneller Tiere vergleichbar ist. Schwermetalle, Dioxine oder andere Kontaminanten, welche durch die Aufzucht, Insektenfutter und die Logistik entstehen, stellen bei der Veredlung kein Risiko da (Dobermann et al., 2017).

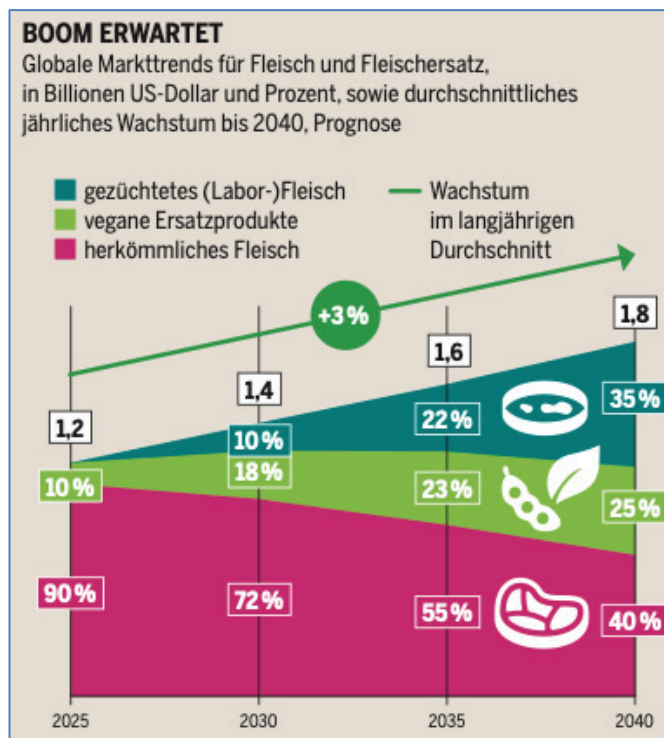
Letztlich besteht in Bezug auf den Insektenverzehr noch ein großer Forschungsbedarf. So wurde noch nicht ausreichend erforscht, ob Insekten als Überträger von Krankheiten fungieren oder nicht (Van Huis et al., 2013).

## **2.5 Gründe für und gegen eine Ernährung mit Fleisch bzw. Alternativen anhand von Marktanalysen**

Die meisten Menschen, die sich für eine Fleischalternative entscheiden, tun dies aus Gründen der Gesundheit oder des Tierschutzes. Man begründet dies mit Sorgen um die Umwelt oder den Verzicht darauf, Tiere zu töten oder auszubeuten. Bei einer Ernährungsumstellung ist es so einfacher, eine neue Lebensweise zu etablieren. Des Weiteren wird durch Alternativprodukte konventionellen Fleischessern ermöglicht, den Fleischkonsum zu reduzieren oder ganz wegzulassen. Je stärker der Konsum von Fleisch desto weniger können sich die Verbraucher vorstellen, auf dieses zu verzichten (Shurtleff & Aoyagi, 2014).

Weitere Umfragen zum Thema Fleischkonsum in der Altersgruppe von 15-29 zeigen, dass der Fleischkonsum rückläufig ist. Sie zeigen, dass in dieser Altersklasse rund 10% der Bevölkerung vegetarisch und rund 2% sogar vegan leben. Mit 13% verzichten somit in diesem Alter doppelt so viele Menschen auf Fleisch wie in der Gesamtbevölkerung. Noch vor 10 Jahren lag dieser Wert bei rund 4%. Als einer der größten Treiber für den Anstieg der Zahlen ist dabei die Bewegung „Fridays for Future“. Diese fokussiert in ihrem Leitbild die Ernährung mit pflanzlichen Alternativen. Dadurch sind in den vergangenen Jahren rund ein Drittel der jüngeren Generation zur fleischfreien Ernährung übergegangen (Spiller et al., 2021).

Ein weiterer Grund, der für die Bevölkerung für beziehungsweise gegen die Ernährung mit und ohne Fleisch des Öfteren in Zusammenhang gebracht wird, ist der Einsatz von Antibiotika in der Tierhaltung. Diese sind zwar sehr hilfreich bei vielen Erkrankungen, können durch deren Übertragbarkeit zwischen Mensch und Tier aber auch Resistenzen hervorrufen. Die zunehmende Beliebtheit von veganem und vegetarischem Fleischersatz macht es für Großkonzerne attraktiv, in diese Branche zu investieren (Wunder, 2021). Daraus resultiert eine sehr dynamische Marktentwicklung. So prognostizieren Experten in den nächsten Jahren eine jährliche Wachstumsrate von 20 bis 30 Prozent für pflanzliche Fleischalternativen. Gründe dafür sind unter anderem die in der Fleischindustrie vorzufindenden Arbeitsbedingungen. Außerdem können sich immer mehr Menschen mit Alternativen anfreunden, die geschmacklich und technisch (auch aufgrund ihrer Textur) mit den konventionellen Fleischprodukten auf Augenhöhe sind. Das stetig steigende Angebot an Alternativen und neuen Produkten unterstreicht diesen Trend (Wunder, 2021).

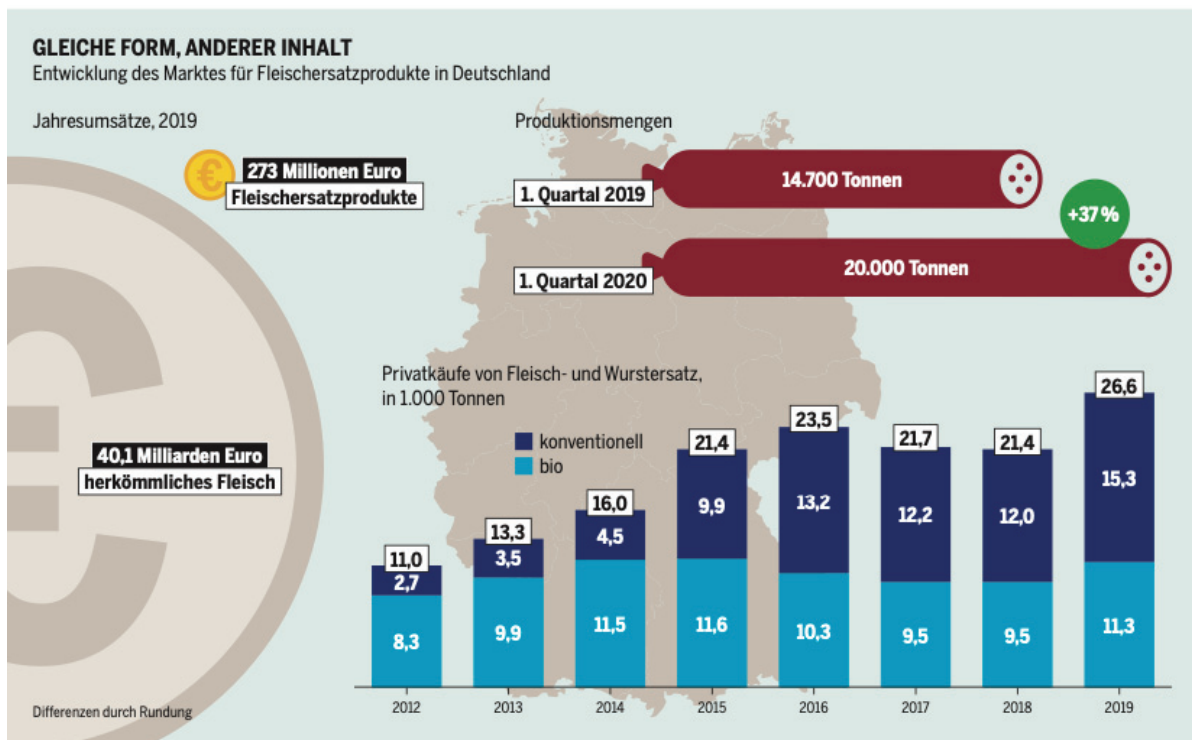


**Abbildung 8 Perspektive der alternativen Fleischprodukte bis 2040**

Quelle: Bartz & Stockmar (2021)

Ob Fleischersatzprodukte pflanzlicher Art, aus In-Vitro Kulturen oder aus Insektenproduktion marktstabil werden, hängt von vielerlei Faktoren ab. So ist die Etablierung im Markt unter anderem davon abhängig, welche Akteure sich entscheiden, in diese Art des Fleischersatzes zu investieren. Je höher die Finanzkraft und je höher die Marktpräsenz, desto höher ist auch der Einfluss, die Produkte im Markt einzuführen und den Absatz zu steigern (Wunder, 2021).

So wirken sich eine größere Zahl an Unternehmen positiv auf den Einfluss der Produkte am Markt aus. Aber auch die Diversität oder die Monopolisierung mit allen ihren Folgewirkungen können dadurch beeinflusst werden. So ist zurzeit die Anzahl der Start-Ups, welche auf den Markt drängen, stark gestiegen im Verhältnis zu den Vorjahren. Ebenso investieren Großunternehmen wie Google oder Nestlé in Bereichen wie Tech- und Fleischindustrie, um den Trend aufzunehmen. Nährmedien für die Produktion von In-Vitro Fleisch werden durch führende Pharmaunternehmen entwickelt (Wunder, 2021).



**Abbildung 9 Entwicklung des Marktes für Fleischersatzprodukte**

Quelle: Bartz & Ellen (2021)

Die Umsätze für alternative Fleischersatzprodukte sind im Vergleich zu den konventionellen Produkten mit nur 273 Millionen Euro klein. Jedoch konnte die Produktionsmenge von 2019 auf 2020 in nur einem Jahr von 14.700 Tonnen auf 20.000 Tonnen erhöht werden. Das ergibt trotz Umweltfaktoren wie zum Beispiel der Coronapandemie eine Steigerung von 37%. Ebenfalls stieg die Menge an Fleisch- und Wurstersatzprodukten im Zeitraum von 2012 bis 2019 stetig an. So stiegen die Verkäufe von 11.000 Tonnen im Jahr 2012 auf rund 26.600 Tonnen im Jahr 2019 (Wunder, 2021).

Im Jahr 2021 wurden sogar 98.000 Tonnen Fleischersatzprodukte in Deutschland produziert und verkauft. Im gleichen Zeitraum reduzierte sich dabei die Produktion von konventionellem Fleisch um ungefähr 8 Prozent (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2022).

Der Produzent „Rügenwalder Mühle“ machte aufgrund der neuen Vielfalt an fleischlichen Ersatzprodukten im Jahr 2020 erstmals einen höheren Umsatz mit diesen als mit der klassischen Teewurst oder Aufschnitt aus konventionellem Fleisch. Eingestiegen in die vegan/vegetarische Produktion war das Unternehmen erst im Jahr 2014 (Wunder, 2021).

Die Bereitschaft der Verbraucher, sich mit den Alternativen zu befassen, sei steigend. Untersuchungen zur öffentlichen Einstellung zu kultiviertem Fleisch, die im Januar 2017 in der Peer-Review-Zeitschrift Plos One veröffentlicht wurden, ergaben, dass politisch liberale



Verbraucher empfänglicher für die Idee waren als Konservative. Während die meisten Befragten in der Online-Umfrage bereit waren, sie auszuprobieren, war nur ein Drittel bereit, es regelmäßig anstelle von konventionell hergestelltem Fleisch zu essen. Die wichtigsten Verbraucheranliegen waren in dem Fall Kosten, Geschmack und das Wissen, etwas Unnatürliches zu sich zu nehmen (Wilks & Phillips, 2017).

Auch die Politik befasst sich mit diesen Themen. So wurde sich als Ziel gesetzt, die Standards der Deutschen Gesellschaft für Ernährung zu aktualisieren. Speziell geht es dabei darum, die regionalen und ökologischen Erzeugnisse zu erhöhen und auszubauen. Auch die Verschwendung von Lebensmitteln soll reduziert werden. Explizit erwähnt wurde auch, dass der Anteil an pflanzlichen Alternativen und Innovationen im Bereich der alternativen Proteinquellen von Fleischersatzprodukten in der EU gestärkt und leichter zugelassen werden sollen (Sozialdemokratische Partei Deutschlands et al., 2021).

Daraus resultieren erhebliche Änderungen im Handel. So wollen Discounter Fleisch ebenfalls durch pflanzliche Produkte ersetzen. Auch auf eine bessere Tierhaltung bei der Produktion von Salami und Würstchen soll Wert gelegt werden. Damit ist man dem Koalitionsvertrag von 2021 bereits einen Schritt voraus (Köck, 2023).

### 3 Diskussion und Fazit

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Alternativen zum konventionellen Fleisch miteinander verglichen und bewertet. Die Darstellung erfolgt in einer Bewertungsmatrix.

+++ sehr positiv	++ positiv	+ bedingt positiv
------------------	------------	-------------------

**Tabelle 5 Bewertungsmatrix der einzelnen Alternativen im Vergleich zum konventionellen Fleischprodukt**

Kriterien Verfahren	Treibhausgas- emissionen	Land- nutzung	Wasserverbrauch in der Produktion	Markt- chancen
Konventionelle Fleischproduktion	+	+	+	+(+)
Pflanzen- basiert	++	++	+++	+++
In-Vitro	+	+++	++	(++)
Insekten	+++	+++	+++	+

In der Tabelle 4 (Bewertungsmatrix der einzelnen Alternativen im Vergleich zum konventionellen Fleischprodukt) werden die konventionellen Fleischprodukte und ihre drei in dieser Arbeit beschriebenen Alternativen nach vier unterschiedlichen Kriterien bewertet. Unter dem Aspekt der Treibhausgasemissionen werden Faktoren wie die freigesetzten Treibhausgase pro 100 Gramm produzierten Fleisch, sowie auch die durch die Tiere ausgeschiedenen THG bewertet. Da auch die Nutzung und die Kosten der Ländereien stetig steigen, wurde

der Platzbedarf für die einzelnen Verfahren dementsprechend bewertet. Der Wasserverbrauch in der Produktion beschreibt die benötigte Menge Wasser für das jeweilige Produkt. Der Punkt Akzeptanz umfasst die Bewertung die komplette Wertschöpfungskette vom Produzenten bis hin zum Verbraucher.

Die konventionelle Tierhaltung, bestehend aus der Zucht von Rindern, Schweinen und Geflügel trägt mit rund 15% zu den von den Menschen verursachten Treibhausgasen bei. Diese setzen sich dabei vorrangig zusammen aus Kohlendioxid, das durch den Anbau von Futter entsteht, beziehungsweise bei der Brandrodung für diese Flächen freigesetzt wird. Außerdem entsteht Lachgas durch den Einsatz von Düngemitteln in der Futtermittelproduktion. Einen weiteren großen Anteil nimmt Methan bei der konventionellen Fleischproduktion ein (Steinfeld, 2006).

Die Methanemissionen, welche beim Verdauungsvorgang von Wiederkäuern entstehen, nehmen dabei eine wichtige Rolle ein (Umweltbundesamt, 2019a).

Die Freisetzung von Treibhausgasen ist dabei jedoch grundsätzlich abhängig von der Tierart und der dazugehörigen Art der Fleischproduktion. So entstehen bei der Produktion von 100 Gramm Rindfleisch im Verhältnis zu Schweine- und Geflügelfleisch eine deutlich höhere Menge an CO<sub>2</sub>. Beziffert wird dies in der CO<sub>2</sub> – Äquivalente pro 100 Gramm, welche beim Rindfleisch 3,05, beim Schweinefleisch 0,41 und beim Geflügelfleisch 0,38 bis 0,43 beträgt (Oonincx & Boer, 2012; Mattick et al., 2015; Smetana et al., 2015).

Bei der Herstellung von pflanzenbasierten Fleischersatzprodukten auf der Basis von Soja wird im Verhältnis weniger Emissionen freigesetzt. So entstehen bei der Produktion von 100 Gramm pflanzenbasierten Sojaprodukten eine CO<sub>2</sub> -Äquivalente von 0,111 bis 0,117 kg (Fréсан et al., 2019; Smetana et al., 2015). Die Größe des Emissionsanteils und die dazugehörigen Werte sind dabei stark abhängig von der Anbauregion und dem Transport der Ware. Das gleiche gilt auch für die konventionellen Fleischprodukte (Head et al., 2011).

So werden bei der Produktion von 100 Gramm Quorn je nach Anbauregion und Infrastruktur bis zu 0,46 kg CO<sub>2</sub> - Äquivalente freigesetzt, was der von Schweinefleisch entspricht (Jungbluth et al., 2016).

Abhängig vom jeweiligen Nährmedium werden für die Herstellung von In-Vitro Fleisch variierende Werte für die CO<sub>2</sub>-Äquivalente angegeben. Als Mittelwert wurde dabei der Wert von 0,75 kg pro 100 Gramm In-Vitro Fleisch definiert (Mattick et al., 2015). Verantwortlich für diese Werte ist der hohe Anteil an industrieller Energie in der Produktion. Speziell die Belüftung des Nährmediums und die Regelung der Temperatur während der Kulturphase beeinflussen die Energie und die CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Mattick et al., 2015).

Bei der Herstellung von Insekten als Fleischersatz ist auch dort die Wahl des Futters entscheidend für die CO<sub>2</sub>-Äquivalente. So nimmt die Auswahl und der Transport des Futtermittels bei der Mehlwürmer-Herstellung rund 42% des gesamten CO<sub>2</sub>-Wertes an (Oonincx & Boer, 2012). Ebenfalls kann durch den Einsatz von Neben- und Abfallprodukten aus anderen Produktionszweigen die Freisetzung von Treibhausgasemissionen entscheidend gesenkt werden (Alexander et al., 2017; Dobermann et al., 2017).

So ergeben sich für 100 Gramm verzehrfertiges Insektenfleisch lediglich zwischen 0,14 und 0,15 kg CO<sub>2</sub> (Smetana et al., 2015). Also fallen verglichen mit der Hähnchenfleischproduktion nur ein Drittel der Treibhausgasemissionen über die komplette Produktionskette an. Bei Insekten setzen sich diese Werte aus Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Ammoniak zusammen, welche bei den Tieren durch Atmung, Stoffwechsel und Fäkalien freigesetzt werden (Van Huis & Oonincx, 2017).

Abhängig von der jeweiligen Tierart ist bei der konventionellen Fleischproduktion der Flächenbedarf. Rindfleisch benötigt mit einer Fläche von 2,7 bis 4,9 m<sup>2</sup> pro 100 Gramm verzehrfertiges Fleisch die rund 4-fache Fläche, die ein Schwein benötigt. Im Vergleich zu Geflügelfleisch ist die 8-fache Fläche notwendig (Vries & Imke, 2010). Verantwortlich dafür ist der hohe Bedarf an Grünfütter und die damit verbundene Flächenanzahl (Umweltbundesamt, 2019a).

Pflanzliche Fleischersatzprodukte haben einen direkten Nutzen für den Verbraucher. Bei der Herstellung konventioneller Tierprodukte werden Weizen und Soja für die Fütterung verwendet. Die Umwandlungsrate ist dementsprechend höher und es werden mehr Flächen für die Produktion benötigt (Chemnitz & Benning, 2014; Heinze, 2011). Die landwirtschaftliche Fläche, die für die Produktion von 100 Gramm verzehrbaren Weizengluten benötigt wird, liegt zwischen 0,55 und 0,582 m<sup>2</sup> (Smetana et al., 2015). Verglichen mit Hühnerfleisch wird beim Konsum von Soja als Alternative rund ein Drittel weniger landwirtschaftliche Nutzfläche benötigt (Smetana et al., 2015). Aufgrund der industriellen Fertigung ist Quorn in Bezug auf die Landnutzung am besten zu bewerten. Die benötigte Fläche beträgt da zwischen 0,0079 und 0,084 m<sup>2</sup> pro 100 Gramm (Smetana et al., 2015).

Für das In-Vitro Fleisch ist es bis dato schwierig, Auswirkungen auf Umwelt und Flächennutzung aufzustellen. Dabei gilt es zu definieren, welches Nährmedium für die Produktion verwendet wird (Pandurangan & Kim, 2015). Insgesamt wird dabei das In-Vitro Fleisch als eine „gesündere“ Art von Fleisch dargestellt, da dieses unter kontrollierten Bedingungen im Labor entsteht und produziert wird (Post, 2012).

Auch bei der Produktion von Insekten ist die Nutzung des Landes beziehungsweise der Flächen für die Produktion bisher als schwierig einzustufen. Grund dafür sind die für die Erhebung notwendigen begrenzten Daten (Dobermann et al., 2017).

Die dafür benötigte geschätzte Fläche setzt sich dabei größtenteils aus der benötigten Anbaufläche für das Futter zusammen. Die Produktionsstätte für Mehlwürmer macht somit nur 0,2% der gesamten Fläche aus. Der Rest entfällt auf die Anbaufläche von Futter (Oonincx & Boer, 2012; Van Huis & Oonincx, 2017). Speziell durch die bessere und effizientere Futtermittelverwertung der Insekten im Vergleich zur Rinder-, Schweine- oder Geflügelzucht kann eine Einsparung von Flächen erzielt werden (Van Huis & Oonincx, 2017). Auf die Menge von 100 Gramm verzehrfertigem Insektenfleisch kommt so eine Fläche von 0,15 bis 0,152 m<sup>2</sup> Land. Dieses variiert jedoch auch nach Insektenart und Haltungsbedingungen (Smetana et al., 2015).

Laut Miglietta, Leo, Ruberti, & Massari (2015) liegt der gesamte Wasserfußabdruck während der Produktionskette für konventionelles Schweine- und Geflügelfleisch zwischen 340 und 380 Liter pro 100 Gramm Tiermasse. Berechnet man den Wasserbedarf nach der tatsächlich essbaren Masse, heißt Gesamtmasse minus Knochen, Haut und diverser Nebenprodukte, müssen für die Produktion von Rindfleisch 1500 Liter, für Schweinefleisch 600 Liter und für Geflügelfleisch 400 Liter pro 100 Gramm berücksichtigt werden (Miglietta et al., 2015).

Wie bei den Nutztieren verhält es sich auch mit dem Wasserverbrauch bei den pflanzlichen Fleischalternativprodukten. Nach Ergebnissen des (Umweltbundesamt, 2019a) variiert der Verbrauch von Süßwasser je nach Region, Sorte und Pflanzengattung. Man kann sagen, dass der Verbrauch an Wasser für die Herstellung von Quorn tendenziell am höchsten ist. Gefolgt von Seitan und Soja. So werden für die Produktion von Seitan rund 130 Liter Wasser pro 100 Gramm und für die Produktion von Quorn im Schnitt 170 bis 190 Liter verbraucht (Smetana et al., 2015) (Carbon Trust, 2014).

Beim In-Vitro Fleisch kam Tuomisto, Ellis, & Palle (2014) zu dem Ergebnis, dass unterm Strich der Wasserverbrauch mit dem der konventionellen Fleischproduktion übereinstimmt. Somit wird pro 100 Gramm verzehrbare Menge Fleisch bzw. Fleischersatz die gleiche Menge Wasser benötigt.

Auch im Bereich der Insektenproduktion kommt die Wissenschaft zu Ergebnissen. So kommen Miglietta, Leo, Ruberti, & Massari (2015) unter der Berücksichtigung aller Parameter auf einen Wasserverbrauch von 434 Liter pro 100 Gramm essbarer Insekten, in diesem Fall Mehlwürmer. Im Vergleich zu den Wasserverbräuchen bei den konventionellen Fleischprodukten ergibt sich somit ein erhebliches Einsparpotential. Dies liegt daran, dass es sich bei Insekten um wechselwarme Tiere handelt. Der niedrigere Wasserverbrauch bei der Produktion resultiert aus dem geringeren Futtermittelanbau. Die Insekten benötigen für ihre Gewichtszunahme unter Addition von Wärme deutlich weniger Futtermittel (Oonincx D. G., 2017). Ebenso sind diese dazu in der Lage, das benötigte Wasser zur Lebenserhaltung über ihre Nahrung aufzunehmen. Somit muss dieses nicht explizit zugefüttert werden (Miglietta et al., 2015).

Die Marktchancen der alternativen veganen und vegetarischen Fleischersatzprodukte kann man aufgrund der persönlichen Referenzen jedes einzelnen bei der Ernährung nicht pauschalisieren. Die Gründe für oder gegen eine Ernährung mit Fleisch sind dabei vielfältig. Im Kern steht bei vielen Konsumenten der Gedanke, durch den Verzicht etwas für den Tierschutz zu tun und sich letztlich gesünder zu ernähren (Shurtleff & Aoyagi, 2014). Durch Umweltbewegungen wie zum Beispiel „Fridays for future“ wurden und werden nach wie vor die jüngeren Generationen in Bezug auf den Fleischkonsum sensibilisiert. So sind die Mengen im Konsum von konventionellem Fleisch in der Altersklasse der 15–29-Jährigen tendenziell rückläufig. Jedoch wurde festgestellt, dass je höher der Fleischkonsum der einzelnen Personen ist, die Bereitschaft auf diesen zu verzichten prinzipiell geringer ist (Shurtleff & Aoyagi, 2014; Spiller et al., 2021).

Der durch die Vergangenheit in den Fokus geratene Einsatz von Antibiotika in der Tierhaltung führt ebenfalls dazu, dass sich viele Verbraucher für den Konsum von veganen und vegetarischen Produkten entscheiden (Umweltbundesamt, 2019a).

Aus eben diesen Gründen ist es für große Unternehmen und Industriefirmen attraktiv, in diese Branche zu investieren und neue Produkte auf den Markt zu bringen. Durch das damit zusammenhängende Engagement entwickelt sich der Markt dabei sehr dynamisch (Wunder, 2021).

So wird in Zukunft eine jährliche Wachstumsrate von 20-30% in der Branche der Fleischalternativprodukte prognostiziert. Irrelevant ist dabei die Art des verwendeten Fleischersatzes. Durch die fortschreitende Technologie ändert sich die Optik und Haptik des Produktes. Im Zuge dessen können sich immer mehr Verbraucher mit diesen anfreunden und sind bereit, dieses auszuprobieren. Verstärkt wird dies durch die sich beinahe täglich ändernde Auswahl. Auch neue Produkte kommen regelmäßig und verstärkt auf den Markt (Wunder, 2021).

Umsätze für vegetarische und vegane Fleischersatzprodukte sind in den letzten Jahren stark gestiegen. So wurden im Jahr 2021 98.000 Tonnen produziert (Statistisches Bundesamt, 2022).

Im Vergleich dazu ging erstens die Menge an konventionellem Fleisch zurück und zweitens betrug die produzierte Menge noch vor 10 Jahren lediglich 11.000 Tonnen. Dies spiegelt den enormen Trend wider (Wunder, 2021).

Auch politisch sollen die Weichen in Richtung Fleischersatzprodukte und pflanzliche Alternativen gestellt werden. Im Koalitionsvertrag von SPD, den Grünen und FDP wurde dies neben anderen Punkten, wie zum Beispiel die Förderung regionaler und ökologischer Erzeugnisse, verankert (Sozialdemokratische Partei Deutschlands et al., 2021).

Die Auswirkungen auf den Lebensmitteleinzelhandel sind bis schon spürbar. So verzichten die Discounter ebenfalls auf den Verkauf konventioneller Tierprodukte und versuchen diese durch pflanzliche Äquivalenzprodukte zu substituieren. Ebenfalls wird in der Branche zunehmend Wert auf die Haltungsform gelegt (Köck, 2023).

Trotz all dessen sind für den Verbraucher neben der Herkunft auch Kosten und der Geschmack ein wichtiges Kaufargument. Die Angst, ein pflanzliches Produkt zu konsumieren, dessen Herkunft unbekannt ist, ist zwar vorhanden (Fleming, 2017), nimmt jedoch in der jüngeren Generation ab (Spiller et al., 2021).

#### 4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die Alternativen zur konventionellen Fleischproduktion vorgestellt und miteinander verglichen. Aufgrund des stetig steigenden Bedarfs an Nahrungsmitteln durch die steigende Anzahl der Bevölkerung gilt es, die bestehenden Möglichkeiten zu optimieren beziehungsweise alternative Fleischprodukte zu etablieren. Die gängigsten Produkte sind dabei Ersatzprodukte pflanzlicher Herkunft. Alternativen wie Insekten oder In-Vitro Fleisch als zusätzliche Proteinquellen sind dabei auf dem Vormarsch.

Der weltweite Fleischkonsum und dessen Nachfrage ist in den letzten 20 Jahren um gut 100% gestiegen. Zu erklären ist die neben der wachsenden Bevölkerung auch anhand von steigenden Einkommen in sämtlichen Bevölkerungsgruppen. Unterschieden wird dabei in entwickelte und sich entwickelnde Länder, um den Fleischkonsum zu erklären. So bleibt Deutschland mit 60 Kilo pro Kopf und Jahr auf einem konstant hohen Niveau. In Australien und den USA sind es rund 100 Kilo. Ein Drittel des kompletten Bedarfs an Fleisch entfällt seit gut 20 Jahren auf die Volksrepublik China. Der Konsum einzelner Fleischarten variiert dabei. So sinkt die Nachfrage im Verhältnis zum Gesamtkonsum für Rind und Schaf zwar, jedoch ist für Geflügel eine hohe Nachfrage zu verzeichnen.

Neben dem weltweit erhöhten Konsum an Fleisch wird auch der Trend zu veganen und vegetarischen Produkten immer stärker. Das ethische Denken in Bezug auf den Verzehr von tierischen Lebensmitteln hat in Indien eine lange Tradition. Daraus entwickelten sich über Jahrhunderte erst der Begriff des Vegetarismus und zuletzt verstärkt die Lebensform des Veganismus. Schwierig ist es dabei, eine genaue soziodemografische Beschreibung für Veganer zu definieren. Es gibt bei dieser Form diverse persönliche Präferenzen und Motivationen, die dieses Spektrum sehr breit fächern. Beispiele dafür wären der konsequente Veganer, der Pudding-Veganer oder der Honig-Veganer.

Bei den konventionellen Fleischprodukten ist die Freisetzung von Treibhausgasemissionen ein allgegenwärtiges Thema. Sie entstehen unter anderem bei der Haltung der Tiere, dem Anbau des Futters, auch durch den Einsatz von Dünger und der Lagerung der Ausscheidungen. Daher war die Landwirtschaft in den letzten Jahren für einen Großteil der freigesetzten Emissionen verantwortlich. Diese entstehen dabei nicht nur auf dem Land, sondern auch an den Orten der Produktion. Beim Verbrauch von Wasser- und Landressourcen spiegelt sich dabei wider, dass für die Produktion von Rindfleisch tendenziell mehr Komponenten benötigt werden als bei Schweine- oder Geflügelfleisch.



Als Alternative dazu wird ein Lebensmittel definiert, welches fleischlos ist, in Optik und Haptik und auch Geschmack Parallelen aufweist. Bei den pflanzenbasierten Fleischalternativen sind Tofu und Seitan die am stärksten nachgefragten Produkte. Der Verbrauch von Wasser- und Landressourcen ist dabei im Verhältnis deutlich geringer als bei konventionellem Fleisch. Ein Grund dafür ist, dass für den menschlichen Konsum die Weizen- und Sojaprodukte direkt für die Lebensmittelveredlung verfügbar sind. Die Belastungen für die Umwelt und das Grundwasser sind beim Anbau von Soja- und Weizenprodukten abhängig vom Anbauort und der dort praktizierten Landwirtschaft. Prinzipiell gilt je näher dieses am Ort des Konsums angebaut wird, desto geringer ist dabei die Umweltbelastung. Fleisch im Labor auf einem Nährmedium herzustellen, wird als In-Vitro Fleisch bezeichnet. Abhängig vom verwendeten Medium richtet sich dabei auch die Nutzung von Land und die Freisetzung von Treibhausgasen. Cynobakterien-Hydrolysat, ein Nährmedium, das aus blauen Algen hergestellt wird, erwies sich dabei bisher am effizientesten. Der nutzbare Anteil des Endproduktes ist bei Insekten im Vergleich zu konventionellen Produkten aber auch bei Alternativen mit am höchsten. So können im Regelfall je nach verwendeter Insektenart zwischen 80% und 100% genutzt werden. Durch die wechselwarme Eigenschaft ist es den Insekten möglich, abhängig von der Region und den externen Einflüssen, sehr effizient zu wachsen. Einen weiteren Vorteil bei der Insektenprodukten ist die geringe Landnutzung. So entfallen auf die Produktionsstätten lediglich 0,2% des benötigten Flächenbedarfs. Der restliche Anteil wird für den Anbau von Futtermitteln verwendet.

Die Gründe für oder gegen eine fleischfreie Ernährung sind vielfältig. Tierschutz und Tiergesundheit sind ein oft genanntes Kriterium. Dabei kann man festhalten, dass die jüngere Generation offener ist für einen fleischfreien Lebensstil und diesen eher vertritt. Aufgrund der zunehmenden Beliebtheit dieser Produkte werden Großkonzerne vermehrt aktiver und investieren in diesem Lebensmittelsegment. Wie marktstabil diese Produkte werden, hängt unter anderem von der Kaufkraft der Konsumenten, dem Angebot aber auch von der Politik ab.

## 5 Literaturverzeichnis

- Acuff, S. (1989). *Das Makrobiotische Gesundheitsbuch*. Wilhelm Goldmann Verlag, München, 1.Auflage (S. 256).
- Albert Schweizer Stiftung für unsere Mitwelt.(2022). *Warum Sojawurst nicht dem Regenwald schadet*. Von Albert Schweizer Stiftung  
<https://albert-schweitzer-stiftung.de/aktuell/warum-sojawurst-nicht-dem-regenwald-schadet>  
(Zugriff am 6.Februar 2022)
- Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Dias, C., Finnigan, J., & Moran, D. e. (2017). *Could consumption of insects cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use?* Edinburgh: Global Food Security, (S.22 – 32).  
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.04.001>  
(Zugriff am 10.Oktober 2022)
- Alig, M., Grandl, F., Mieleitner, J., Nemecek, T., & Gaillard, G. (2012). *Ökobilanz von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch aus konventionellen, tierfreundlichen und biologischen Produktionssystemen*. Bonn: Dr. Köster . Executive Summary (S.12-16).
- Appelby, P., Thoregood, M., Mann, J. I., & Key, T. (1999). The Oxford Vegetarian Study: an overview. In *The American Journal of Clinical Nutrition*. Oxford, (S. 525-531).
- Bartz, D., & Ellen, S. (2021). *Fleischaltas Infografik: Als Fleischersatz konzipierte Produkte haben ihr Nischendasein aufgegeben. Die Verfügbarkeit im Supermarkt wird über ihre Zukunft entscheiden.*, (S.45).
- Bartz, D., & Stockmar, E. (2018). *Fleischatlas Infografik: Burger aus der Petrischale. Fleischatlas 2018*. Deutschland: Verbraucherzentrale., (S. 47).
- Bartz, D., & Stockmar, E. (2021). *Fleischaltas Infografik: Perspektive 2040: Auf nur noch 40% des Marktes könnte der Anteil konventionellen Fleisches schrumpfen.*, (S.44).
- Berg, R. (2019 ). *Getreide* . Vereinigung Deutscher Gewässerschutz., (S.54-60).
- Bhat, Z. F., & Fayaz, H. (2011). *Prospectus of cultured meat-advancing meat alternatives*. Jammu : Journal of Science and Technology (S.35-36).
- Bhat, Z., & Bhat, H. (2011). *Animal-free Meat Biofabrication*. American Journal of Food Technology., 6(6), (S.441 – 459).  
<https://doi.org/10.3923/ajft.2011.441.459>  
(Zugriff am 6.Februar 2022)
- Bhat, Z., Kumar, S., & Fayaz, H. (2015). *In vitro meat production. Challenges and benefits over conventional meat production*. Jammu : Journal of Integrative Agriculture., 14(2), (S.241 – 248).  
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60887-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60887-X)  
(Zugriff am 6.Februar 2022)

- Biesalski, H.-K., Grimm, P., & Nowitzki-Grimm, S. (2011). *Taschenatlas der Ernährung*. Stuttgart : Thieme ., <https://doi.org/10.1055/b-005-143652> (Zugriff am 6. Februar 2022)
- Bouvard V., Loomis D., Guyton K.Z., Grosse Y., Ghissassi F.E., Benbrahim-Tallaa L., Guha N., Mattock H., Straif K.; International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *Lancet Oncol.* 2015 Dec;16(16):1599-600. doi: 10.1016/S1470-2045(15)00444-1. Epub 2015 Oct 29. PMID: 26514947.
- Brunner D., Frank J., Appl H., Schöffl H., Pfaller W., Gstraunthaler G.. *Serum-free cell culture: the serum-free media interactive online database*. *ALTEX.* 2010;27(1):53-62. doi: 10.14573/altex.2010.1.53. PMID: 20390239.
- Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesinstitut für Risikobewertung, Umweltbundesamt, Robert Koch-Institut. (2011). *UMID. Umwelt und Mensch - Informationsdienst: Schwerpunktthema Dioxine*. Umweltbundesamt, Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesinstitut für Risikobewertung, Robert Koch-Institut. Dessau-Roßlau, (S.5-18).
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. (2019). *Erneut weniger Antibiotika in der Tiermedizin abgegeben. Abgabemengen für Fluorchinolone und Cephalosporine der 3. und 4. Generation erstmals unter dem Niveau von 2011*. Braunschweig : Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. [https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/05\\_tierarzneimittel/2019/2019\\_07\\_25\\_PI\\_Antibiotikaabgabe.html](https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/05_tierarzneimittel/2019/2019_07_25_PI_Antibiotikaabgabe.html) (Zugriff am 19. August 2023)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft . (2016). *Ackerbohne, Erbse & Co. Die Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung des Leguminosenanbaus in Deutschland*. Berlin. (S.8-10). [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/EiweisspflanzenstrategieBMEL.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/EiweisspflanzenstrategieBMEL.pdf?__blob=publicationFile&v=5) (Zugriff am 3.März 2022)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2018). *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2017*. Ostbevern : Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/EiweisspflanzenstrategieBMEL.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/EiweisspflanzenstrategieBMEL.pdf?__blob=publicationFile&v=5) (Zugriff am 19.August 2023)
- Carbon Trust . (2014 ). *Quorn, beef and chicken footprints: Internal Report* . (S.25-33) <https://www.quorn.co.uk/assets/files/content/Carbon-Trust-Comparison-Report-2022.pdf> (Zugriff am 16. Oktober 2022)

- Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., & Bosco, A. D. (2006). *Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems*. Agriculture, Ecosystems & Environment. Perugia (S.343 – 350).  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.014>  
 (Zugriff am 1. Juli 2023)
- Chemnitz, C., & Benning, R. (2014). *Fleischatlas 2013. Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel*. Berlin : Heinrich Böll Stiftung . (S.12-17)
- Dannemann Purnat, T., Fietje, N., Kuchenmüller, T., Ghinith, N., Umachandran, S., & Stein, C. (2019). *European Health Report 2018*. Copenhagen : World Health Organisation .
- Destatis - Statistisches Bundesamt *Presse* . Von Fleischersatz weiter im Trend: Produktion stieg um 17% gegenüber dem Vorjahr:  
[https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/05/PD22\\_N025\\_42.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/05/PD22_N025_42.html)  
 (Zugriff am 3.Juni 2023)
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung. (2017). *Vollwertig essen und trinken nach den 10 Regeln der DGE*. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.  
<https://www.dge.de/fileadmin/public/doc/fm/10-Regeln-der-DGE.pdf>  
 (Zugriff am 22.April 2022)
- Dirscherl, C. (2013). *Fleischkonsum und Tierhaltung in der aktuellen gesellschaftsethischen Debatte*. Waldenburg-Hohebuch: Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft .  
<https://doi.org/10.12767/buel.v91i3.32.g84>  
 (Zugriff am 5. Mai 2022)
- Dobermann, D., Swift, J. A., & Field, L. M. (2017). *Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed*. Nutrition Bulletin. (S.293-308).  
<https://doi.org/10.1111/nbu.12291>  
 (Zugriff am 19. August 2023)
- Edwards, D. G., & Cummings, J. H. (2010). *The protein quality of mycoprotein*. Cambridge : Proceedings of the Nutrition Society.(S.537)  
<https://doi.org/10.1017/S0029665110001400>  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Englert, H., & Tölke, A. (2020). *Vegane Ernährung*. Stuttgart : UTB GmbH.(S.12-25)
- Ercin, E., Aldaya, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). *The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products*. Ecological indicators. Twente. (S.392-402)  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.009>  
 (Zugriff am 4.Juli 2023)

- Erens, J., Es van, S., Haverkort, F., Kapsomenou, E., & Luijben, A. (2012). *A Bug's life. Large-scale insect rearing in relation to animal welfare*. . Vereniging Nederlandse Insecten Kwekers. (S.29-39)  
<https://www.venik.nl/onewebmedia/Rapport-Large-scale-insect-rearing-in-relation-to-animal-welfare.pdf>  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- European Commission. (2018). *Report from the Commission to the Council and the European Parliament. On the development of plant proteins in the European Union*. Brüssel: European Commission.  
<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-12764-2021-INIT/en/pdf>  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Fiebelkorn, F. (2017). *Entomophagie. Insekten als Nahrungsmittel der Zukunft*. . Biologie in unserer Zeit. (S. 104-110)
- Finke, M. D., & Oonincx, D. G. (2017). *Nutrient Content of Insects. Insects as food and feed. From production to consumption*. . Wageningen : Wageningen Academic Publishers. (S.291-316)
- Fischer, G., Tramberend, S., Bruckner, M., & Lieber, M. (2017). *Quantifying the land footprint of Germany and the EU using a hybrid accounting model*. Umweltbundesamt.  
[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)  
 (Zugriff am 23. November 2022)
- Food and Agriculture Organisation of the United Nations. (2016). *Climate change, agriculture and food security*. Rome : Food and Agriculture Organisation of the United Nations. (S.86-100)  
<https://www.fao.org/3/i6030e/I6030E.pdf>  
 (Zugriff am 5. Mai 2023)
- Fréсан, U., Mejia, M. A., Craig, W. J., Siegl, K. J., & Sabaté, J. (2019). *Meat Analogs from Different Protein Sources: A Comparison of Their Sustainability and Nutritional Content*. Loma Linda : Center for Nutrition, Healthy Lifestyles and Disease Prevention.  
<https://doi.org/10.3390/su11123231>  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Galitsky, C., Martin, N., Worrell, E., & Lehmann, B. (2003). *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries*. ENERGY STAR.  
<https://doi.org/10.2172/927882>  
 (Zugriff am 10. Mai 2023)
- Girón-Calle, J., Vioque, J., Pedroche, J., Alaiz, M., Yust, M. M., Megías, C., & Franciso, M. (2008). *Chickpea protein hydrolysate as a substitute for serum in cell culture*. Sevilla : Cytotechnology. (S.263-272)  
<https://doi.org/10.1007/s10616-008-9170-z>  
 (Zugriff am 26. November 2022)

- Gjerris, M., Gamborg, C., & Röcklinsberg, H. (2016). *Ethical aspects of insect production for food and feed*. Wageningen : Journal of Insects as Food and Feed.(S.101-110)  
<https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0097>  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Godfray, H. C., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., . . . Springmann, M. J. (2019). *Meat consumption, health, and the environment* . Oxford : American Association for the Advancement of Science.  
<https://doi.org/10.1126/science>  
 (Zugriff am 19. Oktober 2022)
- Halloran, A., Hanboonsong, Y., Roos, N., & Bruun, S. (2017). *Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand*. Copenhagen: Journal of Cleaner Production. (S.83-94)  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.017>  
 (Zugriff am 21. November 2022)
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., & Bruun, S. (2016). *Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review*. Copenhagen: Agronomy for Sustainable Development. (S. 57)  
<https://doi.org/10.1007/s13593-016-0392-8>  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Heß, J., & Sanders, J. (2019). *Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft* . Braunschweig : Johann Heinrich von Thünen-Institut.  
<https://www.thuenen.de/de/themenfelder/oekologischer-landbau/die-leistungen-des-oekolandbaus-fuer-umwelt-und-gesellschaft>  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- Head, M., Sevenster, M., & Croezen, H. (2011). *Life Cycle Impacts of Protein-rich Foods for Superwijzer* . Delft: CE Delft. (S25-30)  
[https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/2329\\_finalreportMHSD.pdf](https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/2329_finalreportMHSD.pdf)  
 (Zugriff am 17. Oktober 2022)
- Heinze, D. A. (2011). *Empfehlungen und Richtwerte zur Schweinefütterung*. Jena.  
<http://www.tll.de/www/daten/nutztierhaltung/schweine/fuetterung/swfu0211.pdf>  
 (Zugriff am 2. Juni 2023)
- Herder, A., Helmer, M., Mohr, T., Mulder, S., Hooijer, H., & Hermans, B. (2012). *Dutch Soy Coalition* . Amsterdam : The Dutch Soy Coalition. (S.6-9)  
[https://www.bothends.org/uploaded\\_files/document/SojaBarometer2012\\_engels\\_.pdf](https://www.bothends.org/uploaded_files/document/SojaBarometer2012_engels_.pdf)  
 (Zugriff am 10. Mai 2023)
- Heseker, H., & Heseker, B. (2015). *Die Nährwerttabelle 2016/2017* . Neustadt an der Weinstraße : Neuer Umschau Buchverlag. (S.27-48)
- Hinsch, B. (2016). *20 Vegetarische und vegane Fleischersatzprodukte im Test* . Frankfurt/Main : Ökotest. (S.28-34)

- Hirschfeld, J., Weiß, J., Preidl, M., & Korbun, T. (2008). *Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland*. Berlin : Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. (S.30-58)  
[https://www.ioew.de/fileadmin/\\_migrated/tx\\_ukioewdb/IOEW-SR\\_186\\_Klimawirkungen\\_Landwirtschaft\\_02.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/_migrated/tx_ukioewdb/IOEW-SR_186_Klimawirkungen_Landwirtschaft_02.pdf)  
 (Zugriff am 19. November 2022)
- Hoekstra, A. Y. (2017). *The water footprint of animal products: The meat crisis: Developing more sustainable and ethical production and consumption*. London: Routledge.(S.21-30)
- Huber, J., & Keller, D. M. (2017). *Ernährungsphysiologische Bewertung von konventionell und ökologisch erzeugten vegetarischen und veganen Fleisch- und Wurсталternativen. Studie im Auftrag der Albert Schweizer Stiftung für unsere Mitwelt*. Berlin : Albert Schweizer Stiftung für unsere Mitwelt.  
[https://files.albert-schweitzer-stiftung.de/1/fleischalternativenstudie\\_170320.pdf](https://files.albert-schweitzer-stiftung.de/1/fleischalternativenstudie_170320.pdf)  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Jensen, K., Kristensen, T. N., Heckmann, L.-H. L., & Sørensen, J. G. (2017). *Breeding and maintaining high-quality insects*. Wageningen : Insects as food und feed. From production to consumption.  
<https://doi.org/10.3920/978-90-8686-849-0>  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Jungbluth, N., Nowack, K., Eggenberger, S., König, A., & Keller, R. (2016). *Untersuchungen zur umweltfreundlichen Eiweissversorgung*. Zürich: Bundesamt für Umwelt.  
[https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/externe-studien-berichte/untersuchungen\\_zurumweltfreundlicheiweissversorgung-pilotstudi.pdf.download.pdf/untersuchungen\\_zurumweltfreundliche](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/externe-studien-berichte/untersuchungen_zurumweltfreundlicheiweissversorgung-pilotstudi.pdf.download.pdf/untersuchungen_zurumweltfreundliche)  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- Köck, H. (2023). *Veggie-Boom auch beim Discounter*. Hamburg : Norddeutscher Rundfunk.  
<https://www.tagesschau.de/wirtschaft/lidl-sortimentumstellung-101.html>  
 (Zugriff am 15. Februar 2022)
- Kamlesh, K. (2010). *Portraits of a Nation: History of Ancient India*. New Delhi: Sterling Publishers.  
<https://archive.org/details/portraitsofnatio0000kapu/page/n9/mode/2up>  
 (Zugriff am 15. Februar 2022)
- Koebnick, C., Strassner, C., & Leitzmann, C. (1997). Bewertung der Rohkost-Ernährung in der Ernährungsberatung. *Ernährungsumschau*, (S.444-448).
- Korbun, T., Steinfeld, M., Kohlschütter, N., Naumann, S., Nischwitz, G., Hirschfeld, J., & Walter, S. (2004). *Was kostet ein Schnitzel wirklich? Ökologisch-ökonomischer Vergleich der konventionellen und der ökologischen Produktion von Schweinefleisch in Deutschland*. Berlin : Institut für ökologische Wirtschaftsforschung.(Band 171)

- Kumm, K.-I. (2002). *Sustainability of organic meat production under Swedish conditions*. Uppsala: Agriculture, Ecosystems & Environment. (S.95-101)  
[https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(01\)00156-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(01)00156-6)  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Kushi, M. (2000). *Das große Buch der Makrobiotik. Ein universeller Weg zu Gesundheit, Glück und Frieden*. München : Knauer Verlag.
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., . . . Westhoek, H. (2015). *Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity*. . Environmental Research Letters.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/11/115004>  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Lynch, J., & Pierrehumbert, R. (2019). *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*. Oxford: Frontiers in Sustainable Food Systems.(S.41)  
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00005>  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- March, S., Brinkmann, J., & Haager, D. (2019). *Gesellschaftliche Leistungen der ökologischen Tierhaltung in Bezug auf das Tierwohl im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft*. Kassel : Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau . Von Bayerisches Landesamt für Umwelt :  
[https://orgprints.org/id/eprint/36229/1/Beitrag\\_305\\_final\\_a.pdf](https://orgprints.org/id/eprint/36229/1/Beitrag_305_final_a.pdf)  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Mattick, C. S., & Allenby, B. R. (2013). *The future of meat*. . Issues in Science and Technology.(S.64-70)
- Mattick, C. S., Landis, A. E., & Allenby, B. R. (2015). *A case for systemic environmental analysis of cultured meat*. Houston: Journal of Integrative Agriculture.(S.249-254)
- Mattick, C. S., Landis, A. E., Allenby, B. R., & Genovese, N. J. (2015). *Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultivation for Cultured Meat Production in the United States*. Houston : American Chemical Society.  
 (S.19)  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01614>  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Mattick, C., Wetmore, J. M., & Allenby, B. R. (2015). *An Anticipatory Social Assessment of Factory-Grown Meat*. Pensacola : IEEE Technology and Society Magazine.(S.56-64)  
<https://doi.org/10.1109/MTS.2015.2395967>  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Max Rubner-Institut . (2019). *Bundeslebensmittelschlüssel*. Karlsruhe.  
 (Version 3.01)



- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2011). *National Water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Enschede : Unesco-IHE Institute for Water Education.  
<https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/5146067/Report-48-WaterFoot-print-AnimalProducts-Voll.pdf>  
 (Zugriff am 2. Juni 2022)
- Miglietta, P. P., Leo, F. D., Ruberti, M., & Massari, S. (2015). *Mealworms for Food: A water Footprint Perspective*. Salento : University of Salento. (S.11)  
<https://doi.org/10.3390/w7116190>  
 (Zugriff am 5. Mai 2023)
- Millenium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being (The Millenium Ecosystem Assessment series, vol. 1-5)*. Washington D.C.: The Island Press.  
[https://orgprints.org/36229/1/Beitrag\\_305\\_final\\_a.pdf](https://orgprints.org/36229/1/Beitrag_305_final_a.pdf)  
 (Zugriff am 5. Mai 2023)
- Oonincx, D. G. (2017). *Environmental Impacts of Insect Production*. Wageningen: The Nederlands: Wageningen Academic Publishers.(S.78-95)
- Oonincx, D. G., & Boer, I. J. (2012). *Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment*. Wageningen: Animal Department of Animal Sciences.  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0051145>  
 (Zugriff am 19. August 2023)
- Oonincx, D. G., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J., van den Brand, H., van Loon, J. J., & van Huis, A. (2010). *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. Wageningen: PLoS ONE. (S.1-7)  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>  
 (Zugriff am 19. August 2023)
- Oxford University Press . (1995). *Concise Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press.
- Pali-Schöll, I., Binder, R., Moens, Y., Polesny, F., & Monsó, S. (2019). *Edible insects - defining knowledge gaps in biological and ethical considerations of entomophagy*. Vienna : Critical Reviews in Food Science and Nutrition. (S.2760-2771)  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1468731>  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- Pandurangan, M., & Kim, D. H. (2015). *Ein neuartiger Ansatz für die In-Vitro Fleischproduktion*. Seoul.  
 doi: 10.1007/s00253-015-6671-5. Epub 2015 May 14. PMID: 25971200.  
 (Zugriff am 24. November 2022)

- Payne, C. L., Scarborough, P., Rayner, M., & Nonaka, K. (2016). *Are edible insects more or less "healthy" than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and under nutrition*. Tokyo: European Journal of Clinical Nutrition. (S.285-291)  
<https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.149>  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Pelletier, N. (2008). *Environmental performance in the US broiler poultry sector. Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions*. Halifax: Agricultural Systems. (S.67-73)  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.03.007>  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- Pelletier, N., Lammers, P., Stender, D., & Pirog, R. (2010). *Life cycle assessment of high- and low-profitability commodity and deep-bedded niche swine production systems in the Upper Mid-western united States*. Halifax: Agricultural Systems. (S.599-608)  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.001>  
 (Zugriff am 2. Juni 2022)
- Pelletier, N., Pirog, R., & Rasmussen, R. (2010). *Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States*. Halifax: Agricultural Systems. (S.380-389)  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.009>  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Pletcher, K. (2010). *History of India*. New York : Rosen Education Service. (S.120-121)
- Post, M. J. (2012). *Cultured meat from stem cells. Challenges and prospects*. Maastricht: Meat Science. (S.297-301)  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Reijnders, L., & Soret, S. (2003). *Quantification of the environment impact of different dietary protein choices*. American Journal of Clinical Nutrition. (S.664-668)
- Ribeiro, J. C., Cunha, L. M., Sousa-Pinto, B., & Fonseca, J. (2018). *Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review*. Porto: Molecular Nutrition & Food Research. (S.62)  
<https://doi.org/10.1002/mnfr.201700030>  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- Richter, S. (2017). *Ammoniak aus der Landwirtschaft*. Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2021\\_fb\\_ammoniakemissionen\\_in\\_landwirtschaft\\_mindern\\_final\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2021_fb_ammoniakemissionen_in_landwirtschaft_mindern_final_bf.pdf)  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)

- Robert Koch-Institut . (2019). *RKI-Ratgeber - Salmonellose* . Berlin : Robert Koch-Institut.  
[https:// www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber\\_Salmonellose.html](https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_Salmonellose.html)  
 (Zugriff am 3. März 2023)
- Rothgerber, H. (2014). *A comparison of attitudes toward meat an animals among strict and semi-vegetarians*. Louisville: Bellarmine University.  
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.10.002>  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., & Nakamura, N. e. (2009). *A review of life cycle assessment (LCA) on some food products*. Journal of Food Engineering. (S.1-10)  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>  
 (Zugriff am 5. Mai 2023)
- Ruby, M. (2012). *Vegetarianism. A blossoming field of study*. Vancouver : Elsevier.  
 doi: 10.1016/j.appet.2011.09.019. Epub 2011 Oct 4. PMID: 22001025.
- Sanders, J., & Heß, J. (2019). *Leistungen des ökoökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft* . Braunschweig : Johann Heinrich von Thünen-Institut.  
 (Band 65)
- Schönhofer, R., & Leitzmann, C. (1988). Ernährung und Gesundheit von Vegetariern . *Spiegel der Forschung* , (S.16-18).
- Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C., Ranganathan, J., & Matthews, E. (2019). *Creating a sustainable food future: A menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050* . Washington: World Resources Institute.  
[https://doi.org/10.1163/2210-7975\\_hrd-9927-20180005](https://doi.org/10.1163/2210-7975_hrd-9927-20180005)  
 (Zugriff am 5. Mai 2023)
- Shurtleff, W., & Aoyagi, A. (1986). *Tempeh Production: A craft and technical manual* . Lafayette: The Soyfoods Center.  
 (2. Auflage)
- Shurtleff, W., & Aoyagi, A. (2014). *History of meat alternatives (965 CE to 2014)*. Lafayette, CA 94549-0234 USA: Soyinfo Center. (S.5-9)
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A., & Heinz, V. (2015). *Meat alternatives. Life cycle assesment of most known meat substitutes*. The International Journal of Life Assessment. (S.1254-1267)  
<https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>  
 (Zugriff am 24. November 2022)

- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A., & Heinz, V. (2015a). *Sustainability of Meat Substitutes: a Path to Future Foods*. Quakenbrück.  
[https://www.researchgate.net/profile/Sergiy-Smetana/publication/291346313\\_Sustainability\\_of\\_Meat\\_Substitutes\\_a\\_Path\\_to\\_Future\\_Foods/links/582b194f08ae138f1bf48f56/Sustainability-of-Meat-Substitutes-a-Path-to-Future-Foods.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sergiy-Smetana/publication/291346313_Sustainability_of_Meat_Substitutes_a_Path_to_Future_Foods/links/582b194f08ae138f1bf48f56/Sustainability-of-Meat-Substitutes-a-Path-to-Future-Foods.pdf)  
 (Zugriff am 10. Oktober 2022)
- Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD); Bündnis 90 / Die Grünen; Freie Demokraten (FDP). (2021). *Koalitionsvertrag 2021-2025*. Berlin.
- Spencer, C. (2000). *Vegetarianism - a history*. London: Grub Street. (S.296-300)
- Spiller, A., Zühlsdorf, A., Jürkenbeck, K., & Schulze, M. (2021). *Fleischatlas 2021 - Weniger Fleisch, mehr Future*. Berlin : Heinrich-Böll-Stiftung. (S.34-36)
- Steinfeld, H. (2006). *Livestock's long shadow. Environmental issues and options*. Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations. (S.267-280)  
<https://www.fao.org/3/a0701e/a0701e.pdf>  
 (Zugriff am 4. Juni 2022)
- Stepaniak, S., & Messina, V. (2000). *Whats in a name? The vegan Sourcebook*. Lincolnwood, Illinois : MCGraw-Hill Education. (S. 213-214)
- Stewart, B. W., & Wild, C. P. (2014). *World Cancer Report*. Lyon : International Agency for Research on Cancer/ World Health Organization.
- Stiftung Warentest . (2016). *Vegetarische Schnitzel & Co*. Berlin: Stiftung Warentest.  
<https://www.test.de/Veggie-Die-besten-vegetarischen-Schnitzel-Bratwuerste-Frikadellen-5074600-0/>  
 (Zugriff am 19. August 2023)
- Stolton, S., & Dudley, N. (2014). *The Growth Of Soy: Impacts and Solutions*. Gland : WWF International.  
[https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/wwf\\_soy\\_report\\_final\\_feb\\_4\\_2014.pdf](https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/wwf_soy_report_final_feb_4_2014.pdf)  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Sustainable Europe Research Institute. (12. Dezember 2011). *Sojagranulat - wie nachhaltig ist es wirklich?*  
[https://www.vegan.at/sites/default/files/seri\\_sojagranulat.pdf](https://www.vegan.at/sites/default/files/seri_sojagranulat.pdf)  
 (Zugriff am 2. Februar 2023)
- Tostado, L. (2021). Alltagsessen und Luxusgut. In *Fleischatlas 2021*. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung. (S.10-12)
- Tuomisto, H. L. (2019). *The eco-friendly burger: Could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products?* Helsinki.  
<https://doi.org/10.15252/embr.201847395>  
 (Zugriff am 3. Juni 2023)

- Tuomisto, H. L., & Teixeira de Mattos, M. J. (2011). *Environmental Impacts of Cultured Meat Production*. Oxford : Environmental Science & Technology.(S.1-8)  
<https://doi.org/10.1021/es200130u>  
 (Zugriff am 20. August 2022)
- Tuomisto, H. L., Ellis, M. J., & Palle, H. (2014). *Environmental impacts of cultured meat: alternative production scenarios*. Vashon: ACLCA.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/38629607.pdf>  
 (Zugriff am 2. März 2022)
- Umweltbundesamt . (2022). *Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgasemissionen*. Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt.  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#textpart-1>  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Umweltbundesamt. (2019a). *Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-zukunft-im-blick-fleisch-der-zukunft>  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Umweltbundesamt. (2021). *Stickstoff*. Von Umweltbelastungen in der Landwirtschaft:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/stickstoff#einfuehrung>  
 (Zugriff am 3. März 2022)
- Van Huis, A., & Oonincx, D. G. (2017). *The environmental sustainability of insects as food and feed. A review*. Agronomy for Sustainable Development.(S.37)  
<https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>  
 (Zugriff am 3. Juni 2023)
- Van Huis, A., & Tomberlin, J. K. (2017). *Insects as food and feed. From production to consumption*. . Wageningen: The Netherlands: Wageningen Academic Publishers. (S. 431-445)
- Van Huis, A., van Itterbeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., & Muir, G. e. (2013). *Edible insects. Future prospects for food and feed security*. Rome : Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO).  
<http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>  
 (Zugriff am 3. Juni 2023)
- Vries, M. d., & Imke, J. M. (2010). *Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments*. Wageningen : Livestock Science. (S.1-11)  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007>  
 (Zugriff am 20. August 2022)

- Wenz, K., & Rehmer, C. (2021). *Fleischatlas 2021 - Politik - nächste Schritte*. Berlin : Heinrich-Böll-Stiftung.  
[https://www.boell.de/sites/default/files/2022-01/Boell\\_Fleischatlas2021\\_V01\\_kommentierbar.pdf](https://www.boell.de/sites/default/files/2022-01/Boell_Fleischatlas2021_V01_kommentierbar.pdf)  
 (Zugriff am 16. Oktober 2022)
- Wiebe, M. (2004). *Quorn™ Myco-protein - Overview of a successful fungal product*. Helsinki : Mycologist. (S.17-20)  
[http://www.davidmoore.org.uk/Assets/fungi4schools/Reprints/Mycologist\\_articles/Post-16/Foods/V18pp017-020\\_Quorn.pdf](http://www.davidmoore.org.uk/Assets/fungi4schools/Reprints/Mycologist_articles/Post-16/Foods/V18pp017-020_Quorn.pdf)  
 (Zugriff am 24. November 2022)
- Wilks, M., & Phillips, C. C. (2017). *Attitudes to in vitro meat: A survey of potential consumers in the United States*. Yale : PloS One.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171904>  
 (Zugriff am 20. August 2022)
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., & et.al. (2019). *Food in the Anthropocene. The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems*. Boston : Elsevier.  
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)  
 (Zugriff am 5. Mai 2023)
- Witzke, H. v., Noleppa, S., & Zhirkova, I. (2011). *Fleisch frisst Land*. Berlin: WWF Deutschland.  
[https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF\\_Fleischkonsum\\_web.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Fleischkonsum_web.pdf)  
 (Zugriff am 4. April 2023)
- World Cancer Research Fund; American Institute for Cancer Research. (2018). *Continuous Update Project Expert Report 2018: Recommendations and public health and policy implications*. World Cancer Research Fund (WCRF) & American Institute for Cancer Research.  
<https://doi.org/10.3390/nu11071572>  
 (Zugriff am 2. Februar 2023)
- Wunder, S. (2021). *Überall wird experimentiert*. Fleischatlas 2021, Bonn : Agrarmarkt Informations-Gesellschaft.(S.44-46)
- Zaraska, M. (2013). *is Lab-Grown Meat Good for us? No saturated fat, no heme iron, no growth hormone - cultured meat seems to have many potential benefits*. The Atlantic.  
<https://www.theatlantic.com/health/archive/2013/08/is-lab-grown-meat-good-for-us/278778/>  
 (Zugriff am 19. August 2023)

### **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich bin nicht damit einverstanden, dass meine Masterarbeit in der Hochschulbibliothek eingestellt wird.

Alexander Path, Kiel, 20.08.2023