

A close-up photograph of a woman's face as she takes a bite out of a sandwich. She has dark hair and is wearing light-colored eyeshadow. Her hands, with purple-painted fingernails, are holding the sandwich. The sandwich appears to be a wrap or a flatbread filled with various vegetables like carrots and cucumbers, along with some meat. The background is blurred.

# Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft

Trendbericht zur Abschätzung der  
Umweltwirkungen von pflanzlichen  
Fleischersatzprodukten, essbaren  
Insekten und In-vitro-Fleisch

# Impressum

## Herausgeber:

Umweltbundesamt  
Fachgebiet I 1.1  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: +49 340-2103-0  
[buergerservice@umweltbundesamt.de](mailto:buergerservice@umweltbundesamt.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

-  /umweltbundesamt.de
-  /umweltbundesamt
-  /umweltbundesamt
-  /umweltbundesamt

## Autoren:

Tobias Jetzke, Stephan Richter  
(Institut für Innovation und Technik [iit] in der  
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin)  
Benno Keppner, Lena Domröse  
(adelphi research gGmbH, Berlin)  
Stephanie Wunder  
(Ecologic Institut gGmbH, Berlin)  
Arianna Ferrari  
(Futurium gGmbH, Berlin)

## Redaktion:

Sylvia Veenhoff, Fachgebiet I 1.1:  
Grundsatzfragen, Nachhaltigkeitsstrategien und  
-szenarien, Ressourcenschonung

## Satz und Layout:

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

## Publikationen als pdf:

[www.umweltbundesamt.de/publikationen](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen)

## Bildquellen:

Titel: fotostorm/iStock; S. 11: pixelfit/iStock; S. 25:  
Mikhaylovskiy/AdobeStock; S. 28: Pixel-Shot/AdobeStock;  
S. 30, 41, 48: katrink03/iStock; S. 32: Jevtic/iStock;  
S. 37: nicemyphoto/AdobeStock; S. 38, 80: Sutthiwat/  
AdobeStock; S. 41: Sudowoodo/iStock, aleksey-marty-  
nyuk/iStock, Roi and Roi/iStock; S. 44: MarkFGD/iStock;  
S.47: Noel Hendrickson/iStock; S. 48: Sudowoodo/  
iStock; S. 51: Alex\_Traksel//AdobeStock; S. 56: Karanov  
images/AdobeStock; S. 57: vaaseenaa/AdobeStock; S. 58:  
barmalini/AdobeStock; S. 60: bevisphoto/AdobeStock;  
S. 66: kwanchaiachaiudom/AdobeStock; S.87: peangdao/  
AdobeStock; S. 88: ARISA THEPBANCHORNCHAI/iStock;  
S. 90: sergeyryzhov/iStock; S. 92: Firn/iStock; S. 94:  
littlewolf1989/AdobeStock; S. 97: skyneshers/iStock;  
S. 105: Syda Productions/AdobeStock

Stand: August 2019

ISSN 2363-832X



# **Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft**

**Trendbericht zur Abschätzung der  
Umweltwirkungen von pflanzlichen  
Fleischersatzprodukten, essbaren  
Insekten und In-vitro-Fleisch**



# Inhalt

<b>1 Ernährung im Wandel .....</b>	<b>10</b>
<b>2 Ziel und Vorgehensweise .....</b>	<b>12</b>
<b>3 Fleisch der Zukunft: Begriffsverständnis und Rahmenbedingungen .....</b>	<b>15</b>
3.1 „Fleisch der Zukunft“ – was ist das eigentlich? .....	15
3.2 „Fleisch der Zukunft“ – ein Thema von besonderer Relevanz .....	17
3.3 Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen .....	20
<b>4 Trendbeschreibung: Aktuelle Entwicklungen der Fleischalternativen .....</b>	<b>25</b>
4.1 Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte: Etablierte Alternativen mit Entwicklungspotenzialen .....	25
4.2 Insekten: Eine neue alternative Proteinquelle am Markt .....	36
4.3 In-vitro-Fleisch: Ein weiter Weg vom Labor in den Markt .....	47
<b>5 Zukünftige Trendentwicklung: Fleisch der Zukunft .....</b>	<b>54</b>
5.1 Treiber und Barrieren .....	55
5.2 Unschärfen .....	57
5.3 Gesamtbild Fleisch der Zukunft: Ausgangspunkt für Analyse der Umwelteffekte .....	58
<b>6 Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und Tierwohl .....</b>	<b>60</b>
6.1 Konventionelle Tierproduktion .....	61
6.2 Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte .....	67
6.3 Insekten .....	72
6.4 In-vitro-Fleisch .....	81
6.5 Fazit .....	87
<b>7 Politische Ansatzpunkte und Forschungsfragen .....</b>	<b>89</b>
7.1 Politische Ansatzpunkte für Fleischersatzprodukte .....	89
7.2 Querschnittsansätze für Fleischersatzprodukte .....	95
7.3 Indirekte Auswirkungen: Querschnittsthemen der Forschung .....	100
7.4 Die Rolle von Fleischersatzprodukten in der Ernährungswende und übergeordnete politische Handlungsoptionen .....	101
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>105</b>
<b>9 Quellenverzeichnis .....</b>	<b>107</b>



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fragestellungen Trendbeschreibung und Umweltbewertung.....	13
Abbildung 2: Anzahl der Suchtreffer zu den drei Fleischalternativen auf Google .....	16
Abbildung 3: Anzahl jährlicher Publikationen zu den drei Fleischalternativen auf internationaler Ebene in der Datenbank Scopus.....	17
Abbildung 4: Produkteinführungen in der Kategorie Fleischalternativen in Europa und Deutschland .....	19
Abbildung 5: Entwicklungen, die einen zukünftigen Wandel des Ernährungssystems beeinflussen.....	20
Abbildung 6: Einstellung gegenüber Fleischalternativen.....	21
Abbildung 7: Gründe für den Konsum von Fleischersatzprodukten .....	22
Abbildung 8: Entwicklung des weltweiten Marktvolumens für Fleischprodukte .....	23
Abbildung 9: Globale Marktentwicklung für essbare Insekten und Fleischersatzprodukte .....	24
Abbildung 10: Umsatzentwicklung mit Fleisch- und Fleischersatzprodukten in Deutschland .....	26
Abbildung 11: Anbau von Hülsenfrüchten zur Körnergewinnung in Deutschland .....	28
Abbildung 12: Typischer Herstellungsprozess pflanzenbasierter Fleischalternativen .....	30
Abbildung 13: Anteile an der Gesamtzahl essbarer Insektspezies .....	36
Abbildung 14: Herstellungsverfahren essbarer Insekten .....	41
Abbildung 15: Ergebnisse einer repräsentativen Befragung nach dem Hauptgrund, der für den Verzehr von Insekten spricht .....	45
Abbildung 16: Ergebnisse einer repräsentativen Befragung nach dem Hauptgrund, der gegen den Verzehr von Insekten spricht.....	46
Abbildung 17: Herstellungsverfahren In-vitro-Fleisch .....	48
Abbildung 18: Abfrage des Kenntnisstandes zu In-vitro-Fleisch in Deutschland .....	52
Abbildung 19: Treiber, Barrieren und Unschärfen einer zukünftigen Trendentwicklung.....	54
Abbildung 20: Treibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion im Vergleich zu anderen Bereichen .....	61
Abbildung 21: Treibhausgasemissionen im Vergleich .....	62
Abbildung 22: Wasserverbrauch konventioneller Tierproduktion im Vergleich .....	63
Abbildung 23: Landnutzung im Vergleich .....	64
Abbildung 24: Treibhausgasemissionen im Vergleich .....	67
Abbildung 25: Wasserverbrauch im Vergleich .....	69
Abbildung 26: Verwendung von Soja.....	70
Abbildung 27: Landnutzung im Vergleich .....	71
Abbildung 28: Essbarer Anteil im Vergleich .....	73
Abbildung 29: Treibhausgasemissionen im Vergleich .....	75
Abbildung 30: Wasserverbrauch im Vergleich .....	77
Abbildung 31: Landnutzung im Vergleich .....	78
Abbildung 32: THG-Emissionen im Vergleich .....	83
Abbildung 33: Landnutzung im Vergleich .....	84
Abbildung 34: Möglicher Speiseplan der „planetary health diet“ pro Person und Tag gemäß der EAT-Lancet-Komission .....	102

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kriterienbewertung von Fleischalternativen.....	15
Tabelle 2:	Wasser-Fußabdrücke verschiedener Fleischarten und von Mehlwürmern .....	77
Tabelle 3:	Landnutzung pro essbares Gramm Protein im Vergleich .....	78

# Abkürzungsverzeichnis

BauGB	Baugesetzbuch	iPS-Zellen	induced pluripotent stem cells, engl. für „induzierte pluripotente Stammzellen“
bez.	bezüglich		
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz	JKI	Julius Kühn-Institut
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	kg	Kilogramm
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft	KI	Künstliche Intelligenz
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit	m <sup>2</sup>	Quadratmeter
CAGR	Compound Annual Growth Rate	Mio.	Millionen
CH <sub>4</sub>	Methan	MJ	Megajoule
CO <sub>2</sub> e	Kohlendioxid-Äquivalente, CO <sub>2</sub> -Äquivalente	Mrd.	Milliarden
d. h.	das heißt	N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid
DDGS	Trockenschlempe	NH <sub>3</sub>	Ammoniak
DIL	Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik	NOx	Stickstoffoxide
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft	o. Ä.	oder Ähnliche[s]
DLMBK	Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission	PDCAAS	Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score
EAAP	European Association for Animal Production, European Association for Animal Production	PR	Public Relations
EFSA	European Food Safety Authority	s. o.	siehe oben
etc.	et cetera	SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
EU	Europäische Union	THG	Treibhausgase
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	TRUE	TRAnsition paths to sUstainable legume based systems in Europe
FE	Funktionelle Einheit	TVP	Texturized Vegetable Protein
FKS	Fetales Kälberserum	u. a.	unter anderem
FLI	Friedrich-Loeffler-Institut	UVPG	United Nations
g	Gramm	VeBu	Umweltverträglichkeitsprüfung
ggf.	gegebenenfalls	vgl.	Vegetarierbund
ha	Hektar	VSMK	vergleiche
IPIFF	International Platform of Insects for Food and Feed	WWF	Verbraucherschutzministerkonferenz
		z. B.	World Wide Fund For Nature
			zum Beispiel

# 1 Ernährung im Wandel

Als das US-amerikanische Unternehmen Beyond Meat Anfang Mai 2019 in den Vereinigten Staaten an die Börse ging, hatte kaum jemand mit dem Hype gerechnet, der rund um den Anbieter pflanzenbasierter Fleischersatzprodukte entstand. Der Börsenkurs wuchs zwischenzeitlich um mehrere hundert Prozent (Stand Juli 2019) und übertraf damit zumindest zeitweise die Börsengänge von Amazon, Facebook oder Google (Deutsch, 2019). Auch in Deutschland war der „Beyond Meat-Burger“ zumindest im Rahmen einer zeitlich begrenzten Aktion beim Discounter Lidl im Angebot. Die Nachfrage überstieg jedoch die gelieferte Menge deutlich, und so gingen viele Interessenten mit leeren Händen heim (FOCUS Online, 2019). Ein ähnlich hohes Medienecho hatte 2013 die Vorstellung des im Rahmen eines Forschungsprojektes erstellten ersten verzehrfähigen In-vitro-Fleisch<sup>1</sup>-Burgers durch Marc Post. Mit der grundsätzlichen Zulassung von Insekten als Lebensmittel im Rahmen der europäischen Novel-Food-Verordnung sind verstärkt auch Insekten als alternative Proteinquelle der Zukunft in der Diskussion. Über diese Beispiele und darüber hinaus findet derzeit eine gesellschaftliche und mediale Diskussion um Fleischkonsum, dessen Folgen und mögliche Alternativen statt. Aus Motiven des Umweltschutzes wird der weltweite Fleischkonsum zunehmend kritisch gesehen und die Auseinandersetzung mit alternativen Proteinquellen gefordert (vgl. z. B. Bioökonomierat, 2017). Spätestens seit der Veröffentlichung des Berichtes „Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options“ der UN-Landwirtschaftsorganisation FAO im Jahr 2006 (Steinfeld, 2006) gibt es unter Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen Konsens, dass Haltung und Nutzung von Tieren in der Landwirtschaft in ihrer derzeitigen Form nicht nachhaltig sind, aber nachhaltig gestaltet werden können. Dazu müssen sowohl die Produktion als auch der Konsum tierischer Produkte reduziert und Haltungsformen nachhaltiger gestaltet werden (siehe auch Bindra & Scanlon, 2010; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2014; Westhoek et al., 2015).

Die gestiegene Nachfrage nach Fleischalternativen insbesondere von Vegetariern, Veganern, aber allen voran von sogenannten Flexitarieren geht am Markt nicht

vorbei: Fleischalternativen verzeichnen seit 2008 ein stetiges Umsatzplus von jährlich rund 30 % (Schmitt, 2017). Speziell Flexitarier, die weitgehend vegetarisch leben, aber gelegentlich auch Fleisch essen, gelten als besonders wirtschaftlich relevant, weil sie die größte der genannten Zielgruppen sind. Neben Start-ups, die ausschließlich pflanzenbasierte Alternativen entwickeln, entdecken zunehmend auch Fleischhersteller den Markt der Fleischalternativen für sich: So beteiligt sich etwa die PHW-Gruppe, zu der auch die Marke „Wiesenhof“ gehört, als größter deutscher Geflügelzüchter und -verarbeiter an Beyond Meat sowie an dem an der Herstellung von In-vitro-Geflügelfleisch arbeitenden Unternehmen Super Meats. Nordamerikas größter Fleischproduzent Tyson investiert Millionen Dollar in Beyond Meat und der Agrarkonzern Cargill in das In-vitro-Fleisch-Unternehmen Memphis Meats. Nestlé hat mit der Marke „Garden Gourmet“ ein veganes Angebot auf den Markt gebracht; diese wiederum beliefert McDonald's mit veganen Burgern. Das Unternehmen Rügenwalder Mühle plant, seinen Anteil an fleischfreien Produkten am Sortiment bis 2020 auf 40 % zu erhöhen (Baier & Krafft, 2019). Die wirtschaftlichen Potenziale der wachsenden Nachfrage nach gesunden, umweltverträglichen Alternativen zu Fleischprodukten werden dementsprechend als sehr groß eingeschätzt (Gerhardt et al., 2019).

Doch es sind nicht nur einzelne Produktbeispiele und die eigenen Gesetzen folgende mediale Berichterstattung sowie wirtschaftliche Überlegungen, die auf einen Wandel der Ernährung hinweisen: Neben den regelmäßigen Veröffentlichungen der Heinrich-Böll-Stiftung unter dem Titel „Fleischatlas“ (Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland [BUND] & Le Monde diplomatique, 2014a, 2014b, 2018) zeigen auch repräsentative Umfragen in Deutschland, wie die „Umweltbewusstseinsstudie“, dass ein gesellschaftliches Interesse an alternativen Fleischprodukten besteht und mit Veränderungen im Ernährungsverhalten einhergehen kann (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit [BMU] & Umweltbundesamt [UBA], 2019; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [BMUB] & UBA, 2017).

1 Auch diskutiert als „Clean Meat“, „Laborfleisch“, „kultiviertes Fleisch“ etc. (vgl. Kapitel 4.3).



Im Zentrum des eingangs erwähnten Diskurses stehen dabei aus Umweltsicht insbesondere die Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung, der hohe Flächenverbrauch der Futtermittelproduktion und die Ineffizienz des Einsatzes von Wasser, Energie und Boden zur Produktion tierischer Proteine im Vergleich zur Nutzung alternativer Proteinquellen. Ein weiterer diskutierter Aspekt ist die internationale Verantwortung Deutschlands für Umweltschäden im außereuropäischen Ausland – Regenwaldzerstörung, Bodendegradation –, die auf Importe von Futtermitteln und Fleisch zurückzuführen sind (vgl. Kapitel 6.1).

Auch aus Gesundheitssicht wird der in Deutschland zu hohe Konsum tierischer Produkte, insbesondere von Fleisch, diskutiert, der für eine Vielzahl ernährungsbedingter Krankheiten mitverantwortlich gemacht wird (aktuell ca. 60 kg, vgl. Kapitel 3.3.1). Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung sieht ein Maximum von 30 kg Fleisch pro Jahr als noch gesund an. Der aktuelle EAT-Lancet-Bericht, in dem 37 Experten und Expertinnen Empfehlungen zu einer „Planetary Health Diet“ abgeben, die eine gesunde Ernährung innerhalb planetarer Grenzen weltweit ermöglicht, geht sogar von einem Maximum von 15 kg Fleisch aus (Willett et al., 2019).

Weitere Aspekte der gesellschaftlichen Diskussion gehen um Forderungen nach einer Verbesserung des Tierwohls bei Haltung, Transport und Schlachtung von Nutztieren, den hohen Antibiotikaeinsatz in der Tierhaltung sowie die potenzielle Belastung von Fleisch mit multiresistenten und anderen Keimen, z. B. Listerien.

Es wird ersichtlich, dass die Notwendigkeit besteht, den Konsum tierischer Lebensmittel insgesamt, aber insbesondere den Fleischkonsum zu reduzieren. Eine Möglichkeit dafür ist, entweder auf jegliche Produkte dieser Art zu verzichten oder Alternativen nachzufragen. In Deutschland und der EU gibt es eine Überversorgung mit pflanzlichen und tierischen Proteinen, anders als im globalen Süden. Damit stellt eine drohende mangelhafte Proteinversorgung keine Herausforderung dar, wenn auf Fleischprodukte verzichtet wird und Alternativen zu sich genommen werden. Vielmehr erschweren eine seit langer Zeit bestehende Verankerung des Fleischkonsums in den Ernährungsgewohnheiten Veränderungen selbiger. Weil der Konsum von Fleisch kulturell gewachsen ist und lange Symbol für Wohlstand und Status war (und weiter ist), ist eine Reduktion des Konsums und die Etablierung von Alternativen eine große und langfristige Herausforderung.

## 2 Ziel und Vorgehensweise

Vorrangiges Ziel von Trendanalysen ist es, dem Umweltressort einen Überblick und damit eine Informationsbasis über die neuesten Entwicklungen zu geben, mit der zukünftige, möglichst proaktive politische Gestaltungsansätze und Maßnahmen entwickelt werden können. Neben der detaillierten Beschreibung des Zukunftsthemas sollen vor allem Umweltwirkungen analysiert, Chancen und Risiken identifiziert und erste politische Gestaltungsoptionen formuliert werden.

Die Studie richtet sich jedoch nicht ausschließlich an das Umweltressort. Vielmehr sollen die hier präsentierten Erkenntnisse auch zur öffentlichen Meinungsbildung beitragen. Mit der Analyse eines gesellschaftlich, wirtschaftlich und politisch höchst relevanten Zukunftsthemas leistet das Umweltressort also auch einen Beitrag, der in verschiedenen (fach-)öffentlichen Diskursen aufgegriffen und fortgeführt werden kann. Gegenstand dieser Trendanalyse sind proteinreiche Alternativen zu Fleisch, auf die in Kapitel 3 näher eingegangen wird.

Die primäre Motivation zur umweltpolitischen Auseinandersetzung mit alternativen Proteinquellen resultiert aus der folgenden vielfach verbreiteten Annahme: Fleischalternativen führen gegenüber Fleisch und Fleischprodukten zu geringeren Umweltbelastungen und könnten so einen Beitrag zum Wandel des Ernährungssystems in Richtung Nachhaltigkeit leisten, insbesondere im Kontext der Vermeidung von Treibhausemissionen. Diese Annahme gilt es, kritisch zu überprüfen, insbesondere da mit dem Thema Fleisch der Zukunft verschiedene, miteinander in Beziehung stehende Entwicklungen und Produkte in den Fokus der Analyse rücken.

Gegenüber konventioneller Tierproduktion, die in ihrer gegenwärtigen Ausprägung als nicht nachhaltig angesehen wird, wird untersucht, ob alternative Fleischprodukte nachhaltiger hergestellt werden (können), d. h., insbesondere weniger Land und Wasser beanspruchen, weniger Energie erfordern und emissionsärmer herzustellen sind.

Speziell für das Umweltressort soll dieser Trendbericht eine Übersicht geben über mögliche direkte und indirekte Umwelteffekte verschiedener Fleischalter-

nativen, erste umweltpolitische Maßnahmen formulieren, unterschiedliche Positionen bzw. Sichtweisen auf zukünftige Entwicklungen des Themenkomplexes aufdecken und zueinander in Beziehung setzen sowie Forschungslücken identifizieren.

### **Politikfelder Landwirtschaft, Ernährung und Umwelt werden adressiert**

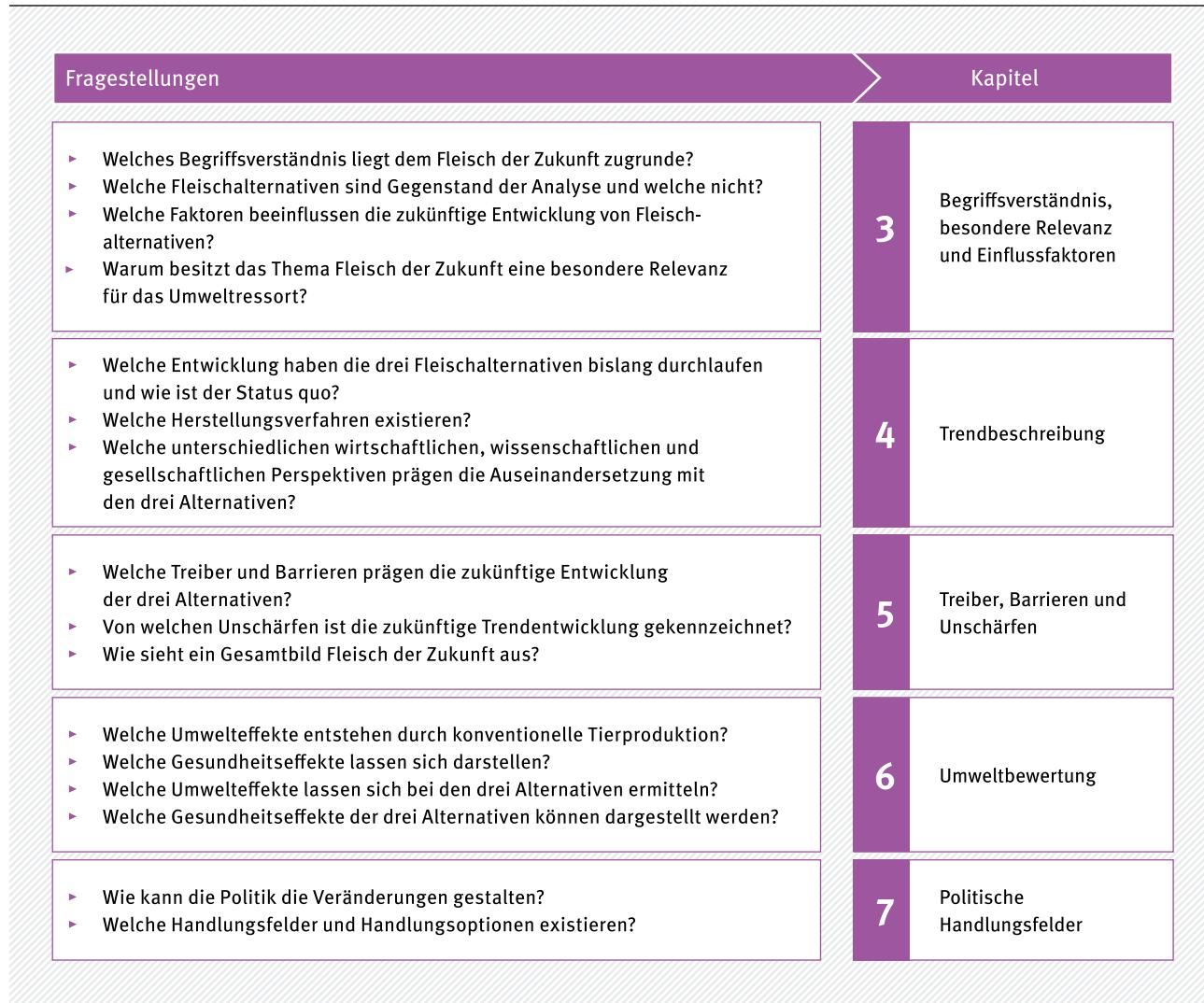
Mit dem Themenkomplex „Fleisch der Zukunft“ werden vor allem folgende drei große Politikfelder angesprochen: Landwirtschaft, Ernährung sowie Gesundheits- und Umweltschutz. Fragen der Tierethik und des Tierschutzes werden einbezogen, können aber nur gestreift werden. Es ist zu erwarten, dass hier unterschiedliche Interessen aufeinandertreffen. Insofern soll die Untersuchung auch einen Beitrag zur ressortübergreifenden Abstimmung von Maßnahmen, Empfehlungen und Folgeaktivitäten leisten.

Dieses bereits komplexe Thema kann nicht in jeden denkbaren Zusammenhang gestellt werden. Deshalb ist die vorliegende Trendanalyse hinsichtlich ihrer Breite und ihrer Tiefe begrenzt. Dies betrifft die dargestellten Erkenntnisse zu Stakeholdern, Marktentwicklungen und insbesondere zu den bewerteten Umwelteffekten. Hier wird der Fokus größtenteils auf Deutschland gelegt, wenngleich die betrachteten Produkte vielfach im Ausland entweder hergestellt und nach Deutschland importiert oder aber bislang exklusiv vertrieben werden. Es wird jedoch keine Analyse der weltweiten Trendentwicklung und globaler Umweltwirkungen vorgenommen. Internationale Verflechtungen und Effekte dienen vielmehr an geeigneten Stellen dazu, die Argumentation zu stützen.

### **Prognosen werden nicht formuliert**

Auch werden im Rahmen der Trendanalyse keine Prognosen abgegeben. Dies leitet sich einerseits aus den methodischen Limitierungen ab: Trendanalysen dienen eher der Erarbeitung von Entwicklungs- und Gestaltungsmöglichkeiten auf Basis vorhandener Expertise als der reinen Extrapolation von Trends aus der Vergangenheit in die Zukunft. Auch werden keine Szenarien entwickelt, die unterschiedliche Entwicklungsmöglichkeiten in die Zukunft aufzeigen. Darüber hinaus sprechen auch inhaltliche Faktoren gegen die Formulierung von Prognosen: Während pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte zwar auf dem

Abbildung 01

**Fragestellungen Trendbeschreibung und Umweltbewertung**

Quelle: Eigene Darstellung

deutschen Markt als etabliert gelten, gelingt bislang nur selten eine vollständige Imitation vergleichbarer Fleischprodukte. Essbare Insekten bilden hingegen noch keinen Massenmarkt in Deutschland, Produkte aus In-vitro-Fleisch haben ihre Marktreife noch gar nicht erlangt. Eine Prognose vor dem Hintergrund sehr unterschiedlicher und komplexer Ausgangslagen wird daher immer von Unsicherheiten gekennzeichnet sein.

Dennoch müssen für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen zukünftige Entwicklungspotenziale für alle drei Fleischalternativen wenigstens abgeschätzt werden. Die sich ergebenden Wechselwirkungen und die Formulierung von Gestaltungsansätzen, mit denen der Wandel des Ernährungssystems beeinflusst werden kann, gehören ebenfalls zur Abschätzung künftiger Potenziale.

**Trendanalyse soll Gestaltungsansätze identifizieren**

Die Untersuchung bedient sich deshalb einer modifizierten Form der im Umweltbundesamt etablierten Methode der Trendanalyse (Methodenpapier „Trendanalysen für Umweltforschung und -politik“; Veröffentlichung für 2020 geplant; FKZ 3714 17 102 0), deren Ziel es gerade nicht ist, die Zukunft vorherzusehen, sondern Trends zu beschreiben, auszuwerten und Gestaltungsansätze zu identifizieren. In einem ersten Schritt – der Trendbeschreibung – werden Akteure, Treiber, Ursachen des Trends sowie die vergangenen Entwicklungen, der aktuelle Trendstatus und möglichst quantitative Annahmen seiner zukünftigen Entwicklung fundiert dargelegt. Aufgegriffen werden die Elemente des Trends, die umweltrelevant sind, also auf den Umweltzustand direkt oder mittelbar

einwirken können. Im zweiten Schritt – der Analyse von Umweltbe- und Entlastungseffekten – werden die möglichen direkten und, soweit erfassbar, indirekten Effekte des Trends identifiziert, bewertet und durch sich daraus ergebende umweltpolitische Handlungsoptionen ergänzt. Die in den einzelnen Kapiteln fokussierten Aspekte sind nachfolgend aufgeführt:

- ▶ **Kapitel 3** formuliert die für die künftigen Entwicklungen im Themenkomplex „Fleisch der Zukunft“ angenommenen Rahmenbedingungen und Begriffsverständnisse. Der Kontext ist besonders gekennzeichnet vom voranschreitenden Klimawandel, demografischen, wirtschaftlichen und politischen Entwicklungen, aber auch durch technologische Innovationen.
- ▶ Nähere Charakterisierungen der ausgewählten Alternativen sind Gegenstand von **Kapitel 4**: Dargestellt werden der jeweilige Hintergrund, die spezifischen Herstellungsverfahren und deren technologische Reife sowie Informationen zu relevanten Stakeholder-Gruppen.
- ▶ Zukünftig mögliche Entwicklungen des Trends werden in **Kapitel 5** anhand der erkennbaren Treiber und Barrieren sowie zu berücksichtigender Unschärfen dargestellt, um eine analytische Basis für die Bewertung der Umweltwirkungen zu schaffen.

▶ **Kapitel 6** bewertet die Umweltbe- und -entlastungseffekte der drei Entwicklungen vor dem Referenzrahmen der aktuell etablierten Tierproduktion. Das Kapitel schließt mit einer Gesamteinschätzung über die Chancen und Herausforderungen des Themenkomplexes „Fleisch der Zukunft“.

- ▶ **In Kapitel 7** werden entsprechende Gestaltungspotenziale und Handlungsoptionen für das Umweltressort formuliert sowie eventuelle Forschungslücken benannt.
- ▶ **Kapitel 8** schließt mit einer Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse aus Trendanalyse und Umweltbewertung sowie den Handlungsempfehlungen und wagt einen kurzen Ausblick.

Die Trendanalyse greift zurück auf aktuell verfügbare Literatur, Marktdaten, Befragungsergebnisse (u. a. aus der im Jahr 2018 durchgeführten Umweltbewusstseinsstudie und den zugänglichen Ergebnisdaten, vgl. BMU & UBA, 2019) sowie auf Erkenntnisse aus Experteninterviews, Veranstaltungsbesuchen und Resultate zweier durchgeführter Workshops. Die verwendeten Quellen werden im Anhang aufgeführt.

### 3 Fleisch der Zukunft: Begriffsverständnis und Rahmenbedingungen

#### 3.1 „Fleisch der Zukunft“ – was ist das eigentlich?

Um einen Wandel beim Fleischkonsum herbeizuführen, stehen derzeit schon viele denkbare Alternativen und Substitute zur Verfügung, die als Themenkomplex „Fleisch der Zukunft“ zusammengefasst werden können. Dabei handelt es sich vereinfacht ausgedrückt um Lebensmittel, mit denen der Bedarf an tierischen Proteinen gedeckt werden kann, ohne dass dafür auf konventionelle Fleischprodukte zurückgegriffen werden muss.

Vor dem Hintergrund einer zunehmend kritischen Auseinandersetzung mit etablierten Formen der Fleischproduktion stellen sich die Fragen, (1) welche Alternativen zur konventionellen, aber auch ökologischen Fleischproduktion denkbar sind und (2) welche alternativen Proteinquellen zu tierischen Eiweißen verfügbar sind. Kern der Abgrenzung von berücksichtigten und nicht berücksichtigten Alternativen ist daher die Antwort auf die Frage, ob die Fleischalternative versucht, das sensorische Spektrum von Fleisch zu imitieren, sodass Verbraucherinnen und Verbrau-

cher ein vergleichbares Geschmackserlebnis erfahren können? Die Auswahl und Eingrenzung der drei in diesem Trendbericht analysierten Alternativen erfolgte folgendermaßen:

Die Zuordnung fand dabei nicht auf Basis der Prüfung konkreter Produkteigenschaften statt, sondern ist das Ergebnis eines intensiven Diskussionsprozesses zu Beginn der Trendanalyse. Da vor allem die Produktvielfalt pflanzenbasierter Ersatzprodukte im Detail zu einer abweichenden Zuordnung führen könnte, steht an dieser Stelle eine vereinfachte tabellarische Darstellung der Zuordnung, ohne jedoch die Bewertungsschritte im Einzelnen aufzuführen.

Ausgeklammert aus der Analyse werden Produkte auf Algenbasis, unverarbeitete eiweißhaltige Samen wie Hülsenfrüchte und Nüsse und Baumfrüchte wie die Jackfruit sowie soja- oder getreidebasierte Produkte wie Tofu, da hier keine bzw. nur eine eingeschränkte Imitation des vollständigen sensorischen Spektrums von Fleisch durch Verarbeitung angestrebt wird.

Tabelle 01

## Kriterienbewertung von Fleischalternativen

Imitation von ...	In-vitro-Fleisch	Essbare Insekten*	Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte	Weitere, teils unverarbeitete Alternativen (z. B. Tofu, Jackfruit etc.)
Geruch	Ja	Ja; in verarbeiteter Form	Ja; in verarbeiteter Form	Zum Teil; in verarbeiteter Form
Geschmack	Ja	Ja; in verarbeiteter Form	Ja; in verarbeiteter Form	Zum Teil; in verarbeiteter Form
Textur	Ja	Ja; in verarbeiteter Form	Ja; in verarbeiteter Form	Zum Teil; in verarbeiteter Form
Aussehen	Ja	Ja; in verarbeiteter Form	Ja; in verarbeiteter Form	Zum Teil; in verarbeiteter Form
Konsistenz	Ja	Zum Teil	Zum Teil	Zum Teil

\* Essbare Insekten können einerseits unverarbeitet verzehrt werden, können aber auch in weiterverarbeiteter Form Eingang in Fleisch imitierende Endprodukte finden.

Daraus ergibt sich eine Eingrenzung des Analysegegenstands auf pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte, essbare Insekten und In-vitro-Fleisch:

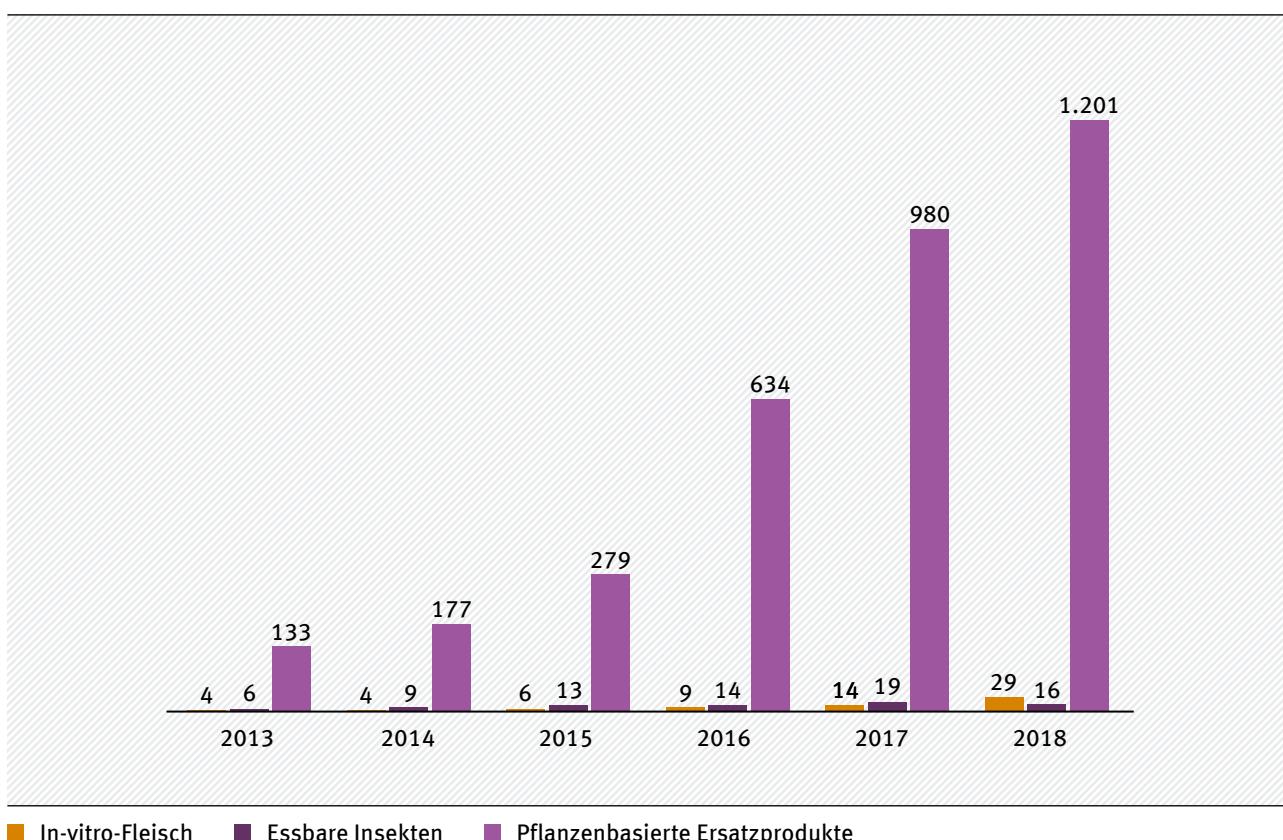
- ▶ Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte sind bereits länger etabliert, werden durch verbesserte Herstellungsverfahren zunehmend zu Imitaten von Fleischprodukten (Buck, 2014; FAZ, 2016). Sie sind in vielfältiger Form erhältlich und bestehen aus unterschiedlichsten Inhaltsstoffen. Denkbar sind Gemüseburger, Seitan- und Sojaschnitzel sowie soja-, getreide- und erbsenbasierte Wurst, Geflügelimitate, Hackfleischimitate etc. (vgl. Kapitel 4.1).
- ▶ Essbare Insekten als Alternative zum Verzehr tierischer Proteine sind in unterschiedlicher Weise denkbar: Einerseits finden sie in verarbeiteter Form Eingang in Endprodukte wie Riegel o. Ä., können aber auch gebraten etc. verzehrt werden (Rempe, 2014; Thompson, 2016). In anderen Kulturreihen sind essbare Insekten längst Teil des etablierten Speiseplans (vgl. Kapitel 4.2).

- ▶ In-vitro-Fleisch wird als Alternative zur etablierten Tierproduktion diskutiert (Hocquette, 2016; Kurrer/Lawrie, 2018; Maastricht University 2013; Post, 2014; Schadwinkel, 2013; Schuler, 2018). Es handelt sich um ein aus tierischen Stammzellen gezüchtetes, synthetisch erzeugtes Fleischprodukt. Alternative Begriffe sind auch kultiviertes Fleisch, Laborfleisch, „clean meat“ und weitere (vgl. Kapitel 4.3).

Aufgrund der Vielfalt verfügbarer und zum Teil noch in Entwicklung befindlicher Produkte ist eine detaillierte Darstellung aller Varianten im Rahmen dieser Trendanalyse nicht möglich. Vielmehr werden besonders einschlägige Produkte oder Produktgruppen näher charakterisiert. Bei der Bewertung von Umweltwirkungen wird aufgrund der großen Produktvielfalt daher auf einer Basis verglichen, die einem Referenzrahmen zur konventionellen Tierproduktion gegenübergestellt wird (vgl. Kapitel 6).

Abbildung 02

Anzahl der Suchtreffer zu den drei Fleischalternativen auf Google



### 3.2 „Fleisch der Zukunft“ – ein Thema von besonderer Relevanz

„Fleisch der Zukunft“ ist als Thema für den Wandel des gegenwärtigen Ernährungssystems in Richtung Nachhaltigkeit von besonderer Bedeutung. Dies lässt sich an der gestiegenen öffentlichen Aufmerksamkeit, wachsenden wirtschaftlichen Aktivitäten, aber auch am intensiveren gesellschaftlich-politischen Diskurs festmachen.

#### Wachsendes öffentliches Interesse am Thema Fleisch der Zukunft

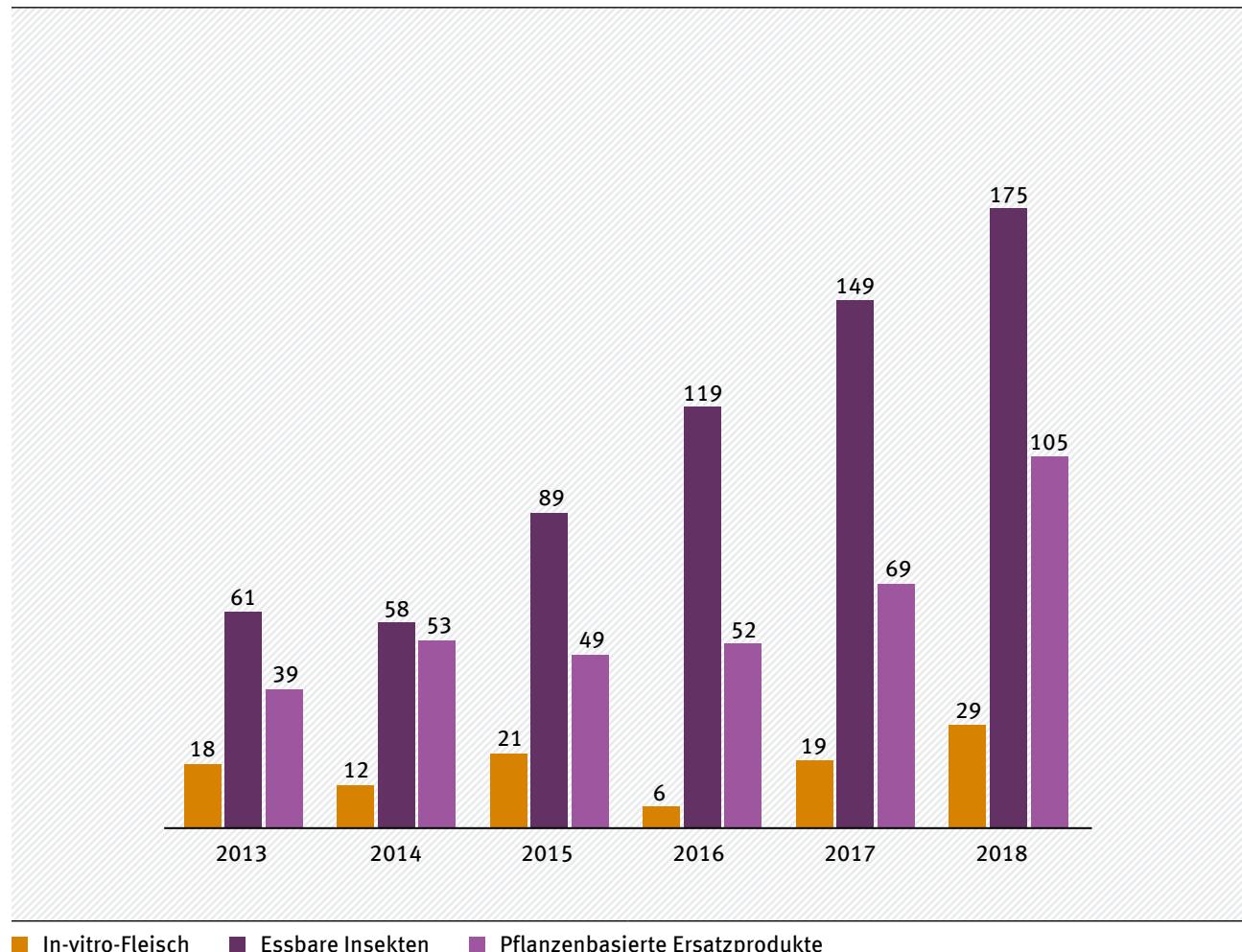
Ein Indikator für die gestiegene Relevanz ist die Anzahl der Suchanfragen bei Google zwischen 2013 und 2018 (vgl. Abbildung 2). Für die zeitliche Ein-grenzung wurde die öffentlichkeitswirksame Vorstellung des ersten im Labor entstandenen Fleisches

2013 herangezogen, die das Thema In-vitro-Fleisch jenseits von Fachpublikationen in den öffentlichen Diskurs gerückt hat. Die Suchbegriffe sind im Anhang aufgeführt (vgl. Kapitel A.1.1).

Die Anzahl der Suchergebnisse in den letzten sechs Jahren hat für alle drei Entwicklungen kontinuierlich zugenommen. Für pflanzenbasierte Ersatzprodukte zeigt sich, dass bereits 2015 ca. 280.000 Suchergebnisse erzielt wurden; 2018 lieferte die Suche sogar 1,2 Mio. Ergebnisse. Demgegenüber sind die Ergebnisse für In-vitro-Fleisch und essbare Insekten zwar ebenfalls von Wachstum gekennzeichnet, jedoch in deutlich geringerem Umfang. Für essbare Insekten hat die Summe der Ergebnisse zuletzt leicht abgenommen.

Abbildung 03

Anzahl jährlicher Publikationen zu den drei Fleischalternativen auf internationaler Ebene in der Datenbank Scopus



Quelle: Eigene Erhebung

### **Vollständige Fleischimitate sind auch ein wissenschaftlich relevantes Thema**

Um einen Überblick über die internationale wissenschaftliche Publikationslandschaft zum Thema Fleisch der Zukunft zu erlangen, wurden internationale, wissenschaftliche Publikationen analysiert – hierzu zählen u. a. Fachartikel, Konferenzbeiträge und Review-Artikel –, die in der Literaturdatenbank Scopus zwischen 2013 und 2018 veröffentlicht wurden. Die Anzahl der Peer-Review-Artikel ist ein gängiger Indikator, um wissenschaftliche Tätigkeiten an Hochschulen und Forschungseinrichtungen abzubilden. Der thematische Schwerpunkt lag auf (i) In-vitro-Fleisch, (ii) essbaren Insekten und (iii) pflanzenbasierten Ersatzprodukten. Die für die Recherche genutzten Suchbegriffe können dem Anhang entnommen werden (vgl. Kapitel A.1.2).

In Abbildung 3 ist der Verlauf der jährlich publizierten Fachartikel für die oben genannten Schwerpunkte dargestellt. Die Anzahl der jährlich publizierten Fachartikel ist auf internationaler Ebene seit dem Jahr 2013 insgesamt deutlich angestiegen und hat sich bis 2018 mehr als verdreifacht. Obwohl die Publikationsraten in allen wissenschaftlichen Disziplinen aufgrund einer steigenden Anzahl von Fachjournals in den letzten Jahren zugenommen haben, deutet diese Vervielfachung der wissenschaftlichen Artikel auf eine sehr dynamische Entwicklung im Bereich der Fleischalternativen hin. Insbesondere zu essbaren Insekten publiziert die wissenschaftliche Fachwelt überdurchschnittlich.

### **Die wirtschaftlichen Potenziale des Fleisches der Zukunft nehmen zu**

Auch die wachsende Zahl an Unternehmensneugründungen und die damit verbundenen Investitionsaktivitäten sind Indikatoren dafür, dass große Potenziale für Herstellung und Vertrieb essbarer Insekten sowie verstärkt auch bei In-vitro-Fleisch vermutet werden. Der bereits etablierte Markt für pflanzenbasierte Ersatzprodukte wächst kontinuierlich (vgl. Abbildung 4). Die steigende Anzahl der Produkteinführungen oder die zunehmende Zahl an Herstellern und Marken kennzeichnen ein dynamisches Segment.

Zwar ist dieses Segment, verglichen mit der weltweit wachsenden Fleischindustrie, bislang nur eine Nische, doch zukünftig können sich Marktanteile zugunsten alternativer Fleischprodukte verschieben.

### **Fleischalternativen werden Gegenstand gesellschaftlicher und politischer Diskurse**

In den vergangenen Jahren hat die öffentliche Auseinandersetzung mit Fleischalternativen Einzug auf verschiedenen Ebenen gehalten. Nicht zuletzt öffentlichkeitswirksame Publikationen wie der seit 2013 jährlich erscheinende „Fleischatlas“ der Heinrich-Böll-Stiftung<sup>2</sup>, die Studie „Fleisch frisst Land“ des World Wide Fund For Nature (WWF) (Witzke, Noleppa & Zhirkova, 2011) oder die Arbeiten der Albert Schweitzer Stiftung für unsere Mitwelt<sup>3</sup> analysieren die Zusammenhänge zwischen hohem Fleischkonsum und negativen Folgen für die Umwelt und tragen zur Bildung gesellschaftlicher Diskurspositionen bei. So wird beispielsweise die Entwicklung künstlicher Fleischalternativen vor allem in Bezug auf einen ressourcenschonenden Einsatz von Produktionsmitteln diskutiert (Heinrich-Böll-Stiftung et al., 2018, S. 46 – 47). Allerdings sind landwirtschaftliche Produktionsweisen und die Herstellung von Fleischprodukten wichtiger Bestandteil inländischer Wertschöpfung. Dementsprechend gilt es, bei einer umwelt- und landwirtschaftspolitisch getriebenen Transformation des Ernährungssystems für eine angemessene Berücksichtigung unterschiedlicher Stakeholder-Gruppen zu sorgen.

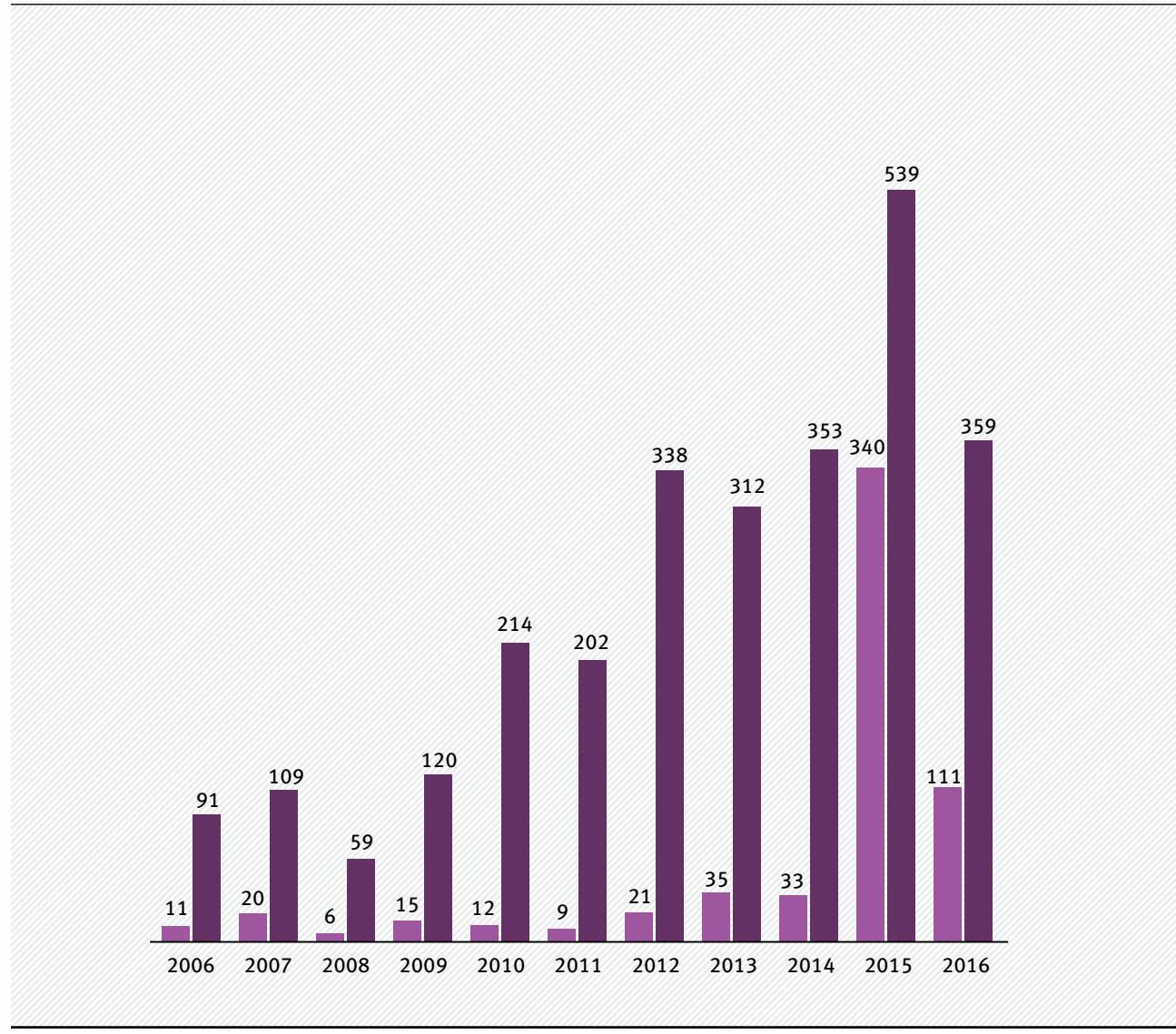
### **Fleischalternativen – ein umweltrelevantes Zukunftsthema?**

Es gibt also zahlreiche Indikatoren, die darauf hindeuten, dass „Fleisch der Zukunft“ ein komplexes, dynamisches Thema ist, dessen zukünftige Entwicklung aber mit Unsicherheiten behaftet bleibt. Mit dem vorliegenden Trendbericht wird ein Überblick über dieses für die Umwelt relevante Themenfeld gegeben. Die Analyse aktueller Tendenzen, die Darstellung zukünftig möglicher Entwicklungsverläufe, die Bewertung denkbarer Umweltwirkungen und die Formulierung erster

2 Verschiedene Veröffentlichungen verfügbar unter: <https://www.boell.de/de/fleischatlas>

3 Verschiedene Veröffentlichungen verfügbar unter: <https://albert-schweitzer-stiftung.de/aktuelles/veroeffentlichungen>

Abbildung 04

**Produkteinführungen in der Kategorie Fleischalternativen in Europa und Deutschland**

Quelle: Statista GmbH (2018d)

Handlungsoptionen sind im Zuge der im Umweltbundesamt regelmäßig betriebenen strategischen Vorausschau erstellt worden. Das Umweltressort und weitere Akteure, die in diesem Themenfeld bereits arbeiten, forschen oder interessiert sind, sollen mit dieser Studie möglichst frühzeitig für

die ökologische Relevanz des Themas sensibilisiert und dabei unterstützt werden, die sich ergebenden Chancen so früh wie möglich zu nutzen sowie potenzielle negative Umwelt- und Gesundheitseffekte zu minimieren bzw. von vornherein zu vermeiden.

Abbildung 05

### Entwicklungen, die einen zukünftigen Wandel des Ernährungssystems beeinflussen



Quelle: Eigene Darstellung

### 3.3 Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen

Ein Wandel des Ernährungssystems in Richtung Nachhaltigkeit wird von demografischen, wirtschaftlichen sowie gesellschaftlichen und ökologischen Faktoren beeinflusst. Diese Faktoren bedingen nicht nur die zukünftige Entwicklung des Fleischkonsums, sondern auch die Entwicklung möglicher Alternativen (Abbildung 5).

Zwischen diesen Entwicklungen bestehen vielfältige Wechselwirkungen, sodass einzelne Entwicklungen andere bisweilen verstärken oder abschwächen können. Auch entstehen Rückkopplungseffekte, wenn einzelne Trends ihre Entwicklungsrichtung verändern. Die Darstellung der ökologischen Entwicklungen erfolgt in Kapitel 6.

#### 3.3.1 Bevölkerungsentwicklung und Überalterung

Gegenwärtigen Projektionen zufolge wächst die Weltbevölkerung in den kommenden Jahrzehnten weiter: 2030 sollen 8,6 Mrd. Menschen die Erde bewohnen, 2050 werden es 9,8 Mrd. Menschen sein. Dies ist eine Steigerung um 1 Mrd. Menschen in zwölf Jahren (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017, S. 1 ff.). Es herrscht Konsens darüber, dass, einhergehend mit

der wachsenden Bevölkerung, die gesamten Bedarfe an Kalorien, Proteinen und speziell der Bedarf an tierischen Eiweißen steigen werden (Bodirsky et al., 2015; FAO, 2017; Henchion, Hayes, Mullen, Fenelon & Tiwari, 2017). In Deutschland lässt sich langfristig ein Bevölkerungsrückgang erwarten: bis 2030 auf 79,2 Mio. Menschen und bis 2060 auf 67,6 Mio. Menschen (Statistisches Bundesamt [Destatis], 2017). Bei einem Rückgang der Bevölkerungszahl kann ein abnehmender Gesamtproteinbedarf angenommen werden.

Mit steigender Lebenserwartung nimmt außerdem die Zahl älterer Menschen zu. Gesellschaften, in denen größere Bevölkerungsteile älter als 65 Jahre sind, stehen u. a. vor der Herausforderung, Belastungen für Gesundheits- und Sozialsysteme zu kompensieren. Ernährungsbedingte Gesundheitsauswirkungen sind dabei nur eine von vielen Belastungen. Der Fleischkonsum spielt hier eine große Rolle. In den letzten Jahren stellen immer mehr Studien einen Zusammenhang zwischen dem übermäßigen Fleischkonsum und Übergewicht, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Hypertonie oder Diabetes Typ 2 her (Crowe, Appleby, Travis & Key, 2013; Huang et al., 2012; Sinha, Cross, Graubard, Leitzmann & Schatzkin, 2009) oder führen das Auftreten der sogenannten Zivilisationskrank-

heiten generell auf ungesunde Ernährung zurück (Godfray et al., 2018; O'Connor, Kim & Campbell, 2017; Sinha et al., 2009; Slot et al., 2017; Smet & Vossen, 2016). Dies betrifft jedoch längst nicht nur Menschen über 65 Jahre, sondern bereits Kinder und Jugendliche.

Eine Reduzierung des Fleischkonsums könnte für weite Teile der Bevölkerung positive Gesundheitseffekte bewirken und die durch den demografischen Wandel versursachte Belastung des Gesundheitssystems abmildern.

### 3.3.2 Konsumverhalten und bewusste Ernährung

Konsum- und Ernährungsverhalten sind nicht statisch, vielmehr unterliegen sie vielfältigen Einflussfaktoren und verändern sich konstant. Insofern ist auch für die Beschreibung des zukünftigen Konsums von Fleisch und Fleischalternativen relevant, inwieweit bereits heute erkennbare Muster auf Veränderungen hinweisen.

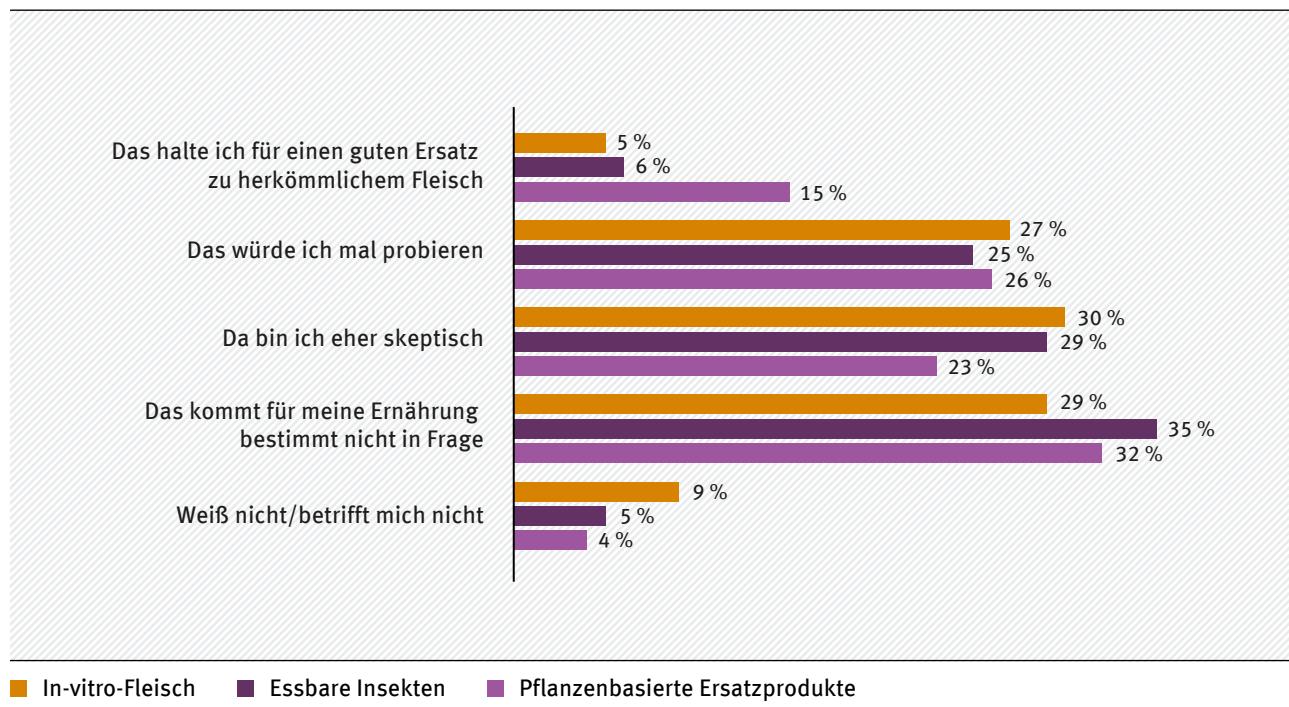
Konsumentinnen und Konsumenten in Deutschland ändern ihr individuelles Verhalten beim Fleischverzehr nur sehr zögerlich. Noch immer ist Fleisch für einen Großteil der deutschen Bevölkerung ein wichtiger Bestandteil der Ernährung. Im Jahr 2013 gaben 85 % der Deutschen an, täglich Fleisch zu essen (Heinrich-Böll-Stiftung et al., 2014a). In den vorangegangenen fünf Jahren – 2008 bis 2012 – ist dieser Anteil annähernd gleich geblieben (Gose, Heuer, Hoffmann & Krems, 2018, S. 16).

Es ist also nicht verwunderlich, dass aktuelle repräsentative Befragungen eher zurückhaltende Einstellungen gegenüber Fleischalternativen ermitteln (vgl. Abbildung 6).

Dennoch zeigen sich in der Gesellschaft auch erste Anzeichen für einen Wertewandel hin zu einer bewussteren Ernährung. Dazu gehört nicht nur die vertiefte Auseinandersetzung mit Ernährung, beispielsweise durch die umfassende Informationsrecherche bei Konsumententscheidungen, sondern auch die kritische Auseinandersetzung mit etablierten Ernährungsweisen und – als Konsequenz daraus – die Abkehr davon. Illustrieren lässt sich dies am Beispiel vegetarischer bzw. veganer Ernährung. Eine Ernährung, die tierische Produkte reduziert oder ganz darauf verzichtet, wird von den Befürwortern vor allem aus gesundheitlichen, ökologischen und ethischen Gründen bevorzugt.

Abbildung 06

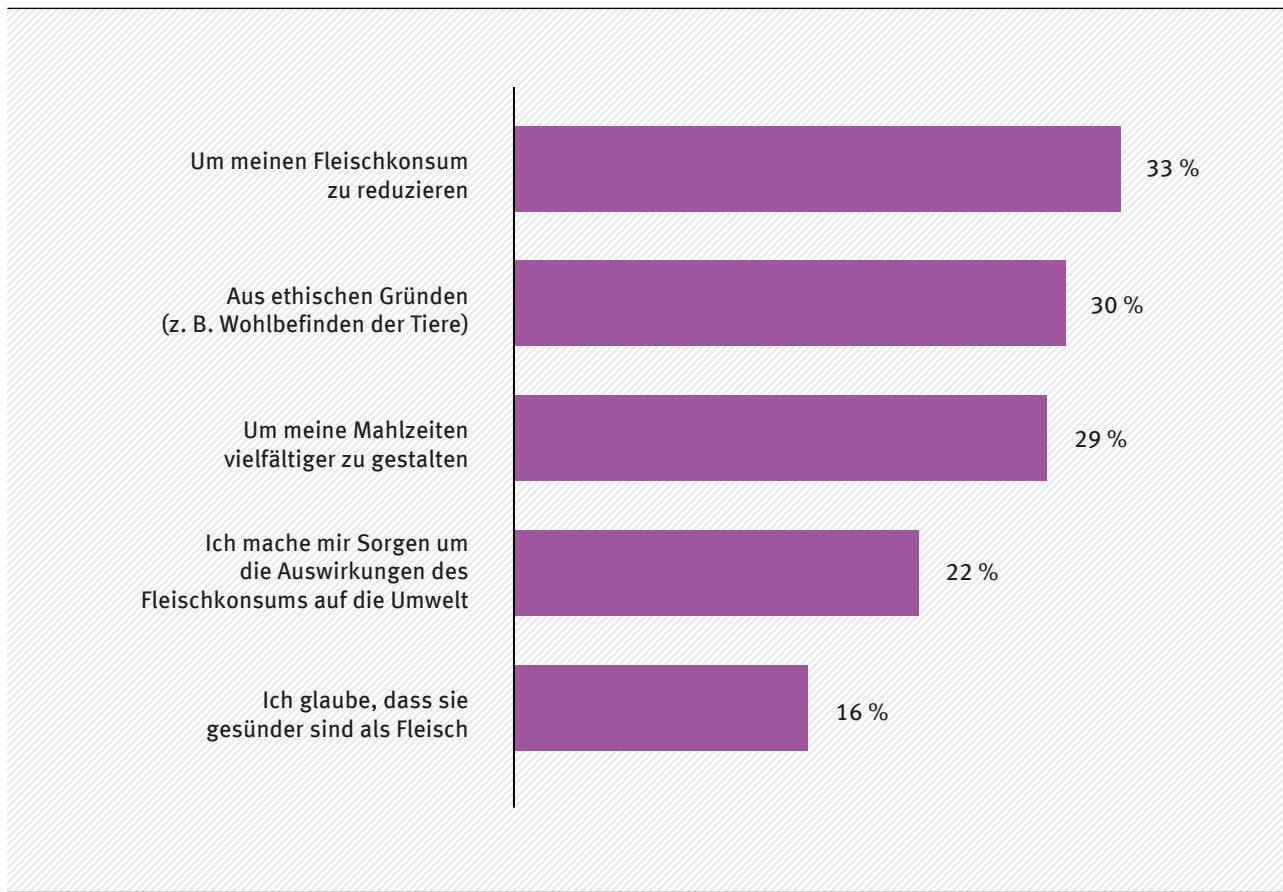
### Einstellung gegenüber Fleischalternativen



Quelle: BMU und UBA (2019); n = 2.021

Abbildung 07

### Gründe für den Konsum von Fleischersatzprodukten



Quelle: Nier (2016); n = 351

Wenngleich die Marktentwicklungen (vgl. Kapitel 3.3.3 und 4.1.1) bei vegetarischen und veganen Produkten auf unterschiedlich stark wachsende Marktsegmente hinweisen, gibt es nach wie vor nur eine unzureichende empirische Datenbasis über die Größe des sich vegan bzw. vegetarisch ernährenden Bevölkerungsteils (ProVeg Deutschland e. V., 2018; Statista GmbH, 2017d). Die Bandbreite reicht von 6 bis 12 % der deutschen Bevölkerung, die sich vegetarisch oder vegan ernähren. Die untere Grenze entspricht rund 4,1 Mio. Menschen (Statista GmbH, 2017e). Davon abweichende Aussagen, die von einer wesentlich höheren Zahl ausgehen, legt der Vegetarierbund vor. Er geht von rund 10 Mio. Menschen (ca. 12 %) in Deutschland aus, die sich vegetarisch oder vegan ernähren (ProVeg Deutschland e. V., 2018).

Hier zeigen sich also widersprüchliche Entwicklungen: Einerseits gibt es beobachtbare Verhaltensänderungen bei einer Minderheit. Andererseits gibt es nur wenig Evidenz dafür, dass diese Verhaltensänderungen einen größeren Teil der Gesellschaft erreichen. Vielmehr ist – obwohl der Umsatz mit Fleischalternativen zunimmt – der Fleischkonsum in Deutschland seit Anfang der 1990er-Jahre annähernd gleich geblieben. Für die Zukunft bedeutet dies: Änderungen des Konsumverhaltens und eine bewusstere Ernährung können zwar einen Wandel im Fleischkonsum beeinflussen; dieser Einfluss wird aber ohne verstärkende Maßnahmen, beispielsweise regulatorische Hebel wie Anpassung der Mehrwertsteuersätze oder Kennzeichnungspflichten etc., gering bleiben.

### 3.3.3 Wachstumsmarkt Fleischindustrie,

#### Nischenmärkte für Fleischersatzprodukte

Wichtige Faktoren, die den Fleischkonsum beeinflussen, sind das verfügbare Einkommen (vor allem für die Länder des globalen Südens), Alter, Geschlecht, Nahrungsmittelpreise und die Nahrungsmittelindustrie (Bodirsky et al., 2015, S. 1). Die Kaufkraft größerer Bevölkerungsgruppen nimmt insbesondere in asiatischen, aber auch in afrikanischen Ländern zu (Heinrich-Böll-Stiftung et al., 2014b, S. 10 f.), während ebenfalls die Preise für Fleisch in den letzten Jahren gestiegen sind und wohl weiter steigen werden (OECD & FAO, 2018, S. 150 ff.). Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Weltbevölkerung (vgl. Kapitel 3.3.1) weist der weltweite Fleischmarkt sowohl hinsichtlich produzierter Mengen als auch bezüglich der erwirtschafteten Umsätze starke Wachstumsraten auf.

#### Globaler Wachstumsmarkt Fleisch

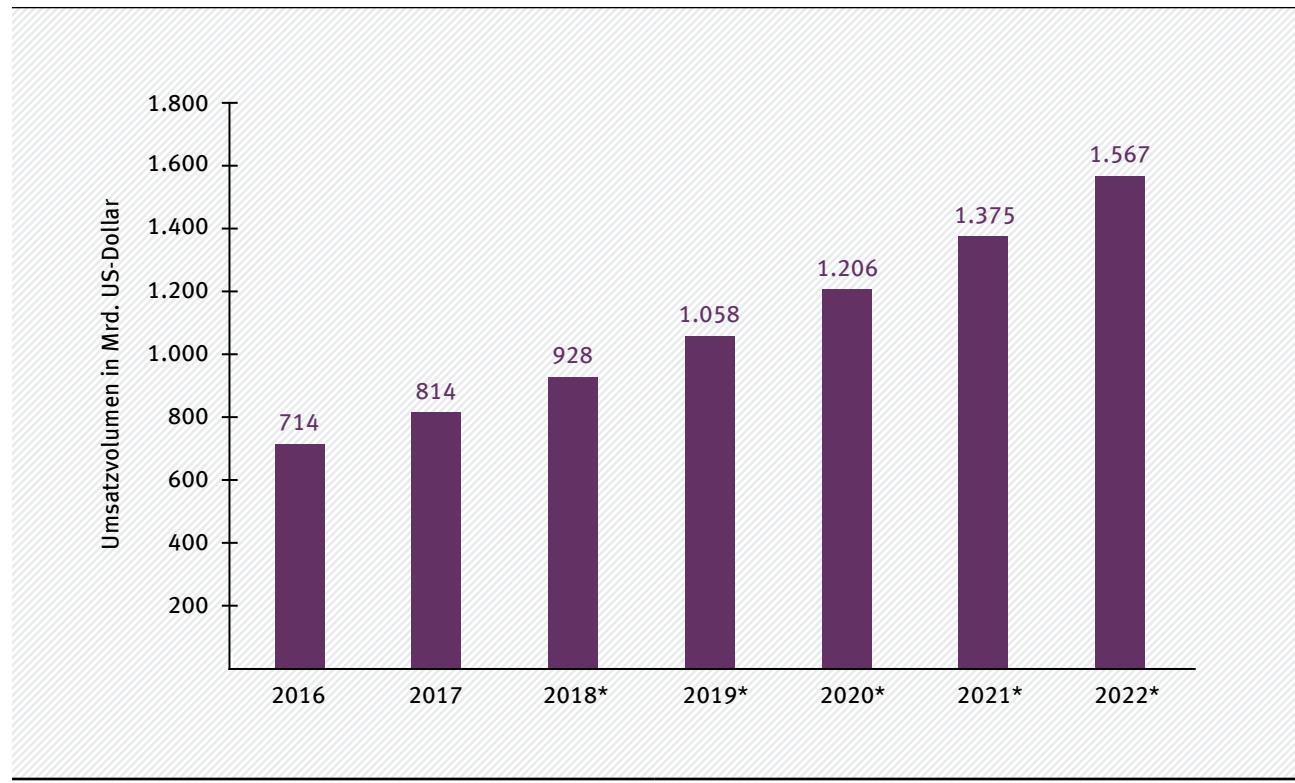
Der Marktwert der globalen Fleischindustrie betrug im Jahr 2016 rund 714 Mrd. US-Dollar. Schätzungen zufolge wird sich der Wert bis 2022 verdoppeln (Statista GmbH, 2018b, S. 7). Es wird weiterhin

prognostiziert, dass die Nachfrage der Weltbevölkerung nach tierischem Protein bis 2050 – überwiegend in den sogenannten Schwellen- und Entwicklungsländern – um ca. 80 bis 100 % steigen und sich parallel auch die globale Fleischproduktion verdoppeln wird, wenn die landwirtschaftliche Lebensmittelproduktion sich weiter entwickelt wie bisher (Boland et al., 2013).

Allein 2017 stieg die Fleischproduktion gegenüber dem Vorjahr weltweit um 1,2 %, wobei die Hauptzuwächse in den USA, Argentinien und China verortet waren (OECD & FAO, 2018, S. 19). Ein ähnliches jährliches Wachstum wird auch für die kommenden zehn Jahre prognostiziert (OECD & FAO, 2018, S. 22). Übertragen auf die globale Produktionsmenge für Fleisch, bedeutet dies ein Wachstum um rund 13 Mio. metrische Tonnen von 2016 (317 Mio. metrische Tonnen) bis 2018 (330 Mio.). Bis 2027 wird erwartet, dass diese Menge auf 367 Mio. metrische Tonnen wachsen wird, bei einem Anstieg des durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauchs weltweit von 34,7 kg (2018) auf 35,4 kg im Jahr 2027 (OECD & FAO, 2018, S. 238).

Abbildung 08

#### Entwicklung des weltweiten Marktumfangs für Fleischprodukte



\*Prognose ab 2018

Quelle: Statista GmbH (2018b)

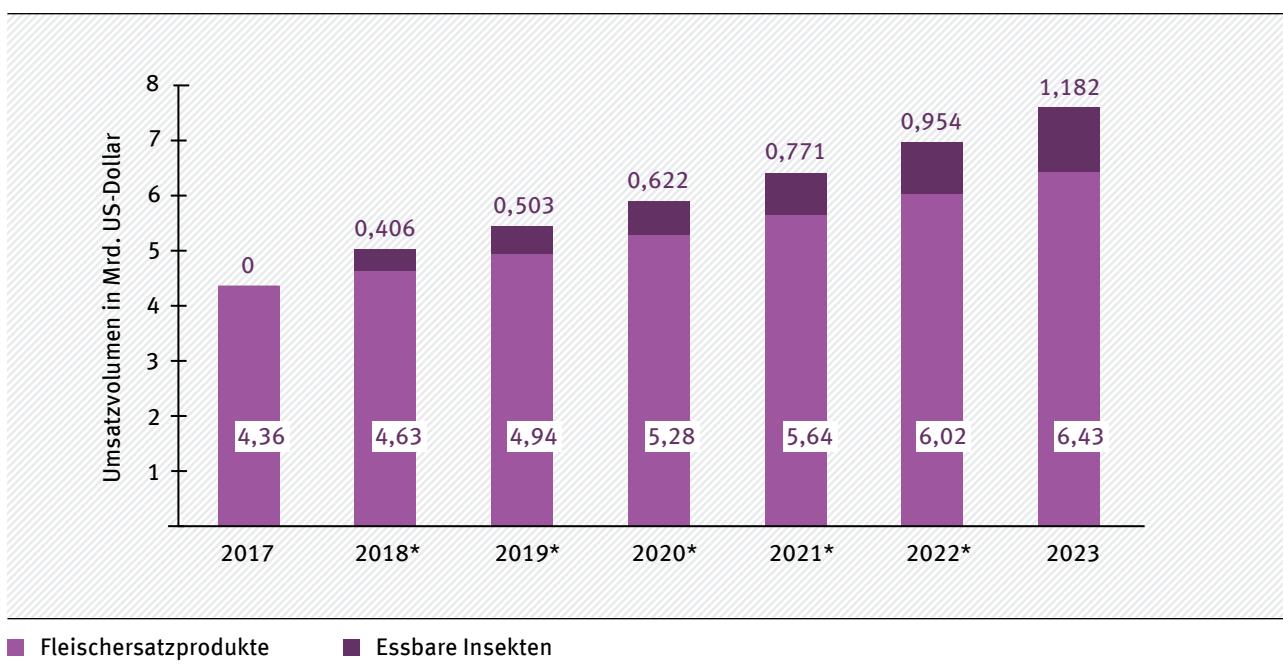
### Globaler Nischenmarkt Fleischersatzprodukte

Verglichen mit den Zahlen zum weltweiten Fleischmarkt ist der Markt für Fleischersatzprodukte aktuell eine Nische. Schätzungen zu folge betrug der Umsatz 2017 zwischen 4 und 4,6 Mrd. US-Dollar (Statista GmbH, 2018c, S. 6), also zwischen 0,5 und 0,6 % des weltweiten Fleischmarktes. Jedoch werden, je nach Marktanalyse, für den Umsatz mit Fleischersatzprodukten stärkere Wachstumsraten bis 2025 angenommen.

Diese liegen zwischen 5 und 8 % pro Jahr. Es gibt auch Schätzungen, die von einem deutlicheren Marktwachstum ausgehen und bereits für 2022 ein weltweites Marktvolumen von etwa 10,9 Mrd. US-Dollar vorhersagen: Umsatzentwicklung von ca. 4 Mrd. auf 7,5 Mrd. US-Dollar (Allied Market Research, 2018); von 4,6 Mrd. auf 6,4 Mrd. US-Dollar (Research and Markets, 2018); bis zu 10,9 Mrd. US-Dollar 2022 (Research and Markets, 2017).

Abbildung 09

#### Globale Marktentwicklung für essbare Insekten und Fleischersatzprodukte



\*Prognose ab 2018

Quellen: Statista GmbH (2018a) und Statista GmbH (2018c)

## 4 Trendbeschreibung: Aktuelle Entwicklungen der Fleischalternativen

Das Thema Fleisch der Zukunft setzt sich für diese Trendbeschreibung aus drei Entwicklungen zusammen:

- ▶ pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte als bereits verfügbare Alternative zu tierischen Proteinen,
- ▶ essbare Insekten als Bestandteil verschiedener Produkte sowie
- ▶ In-vitro-Fleisch, das sich großteils noch in der Erforschung befindet.

Die unterschiedlichen Reifegrade der drei Entwicklungen erfordern zunächst getrennte Beschreibungen, um die jeweiligen spezifischen Merkmale herausstellen zu können. Dazu gehören der jeweils aktuelle Entwicklungsstand und ein kurzer historischer Abriss, die jeweiligen Herstellungsverfahren und deren technologische Reifegrade sowie die relevanten Stakeholder Produzenten, Kunden, Wissenschaft, deren unterschiedliche Interessen, Bedürfnisse und Fähigkeiten künftige Entwicklungen der Fleischalternativen prägen können.

### 4.1 Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte: Etablierte Alternativen mit Entwicklungspotenzialen

#### 4.1.1 Hintergrund und Status quo

Verglichen mit modernen Phänomenen wie In-vitro-Fleisch, existieren pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte in vielfältigen Formen schon seit Jahrhunderten (Shurtleff & Aoyagi, 2014, S. 5 f.). Im Zuge veränderter Ernährungsgewohnheiten, die ohne tierische Produkte auskommen, hat sich mittlerweile eine kaum darstellbare Menge an Produkten etabliert, die als pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte aufgefasst werden können und aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt werden.

Im Folgenden werden nur diejenigen Alternativen beschrieben, die versuchen, Fleisch zu imitieren und dabei das gesamte sensorische Spektrum abbilden,



das bei der Zubereitung und dem Verzehr von Fleisch adressiert wird: Produkte, die aussehen, riechen und schmecken wie Fleisch und sich auch so anfühlen sowie einen vergleichbaren oder höheren Proteingehalt besitzen, werden in der nachfolgende Analyse berücksichtigt<sup>4</sup>.

In den Fokus rücken deshalb diejenigen Produkte, die auf industriell verarbeiteten pflanzlichen Proteinen basieren. Dazu gehören Seitan (Weizenprotein), Quorn (fermentiertes Pilzmyzel) und Sojafleisch (texturiertes Sojaprotein) sowie Produkte auf Basis anderer eiweißhaltiger Pflanzen bzw. Samen, wie etwa Lupinen oder Erbsen. Auch Produkte einzelner Firmen wie der „Impossible Foods Burger“, dessen Bestandteile unter anderem Weizenprotein, Kokosöl und eine Hämoprotein-Flüssigkeit sind, gehören in den analytischen Rahmen.

Bereits im Jahr 1301 wurden Fleischalternativen in China benannt. Erst Mitte des 19. Jahrhunderts wurden Fleischalternativen auch in der westlichen Welt erwähnt; 1896 war das erste kommerzielle Produkt Nuttose in den USA erhältlich. 1899 wurde dort auch der Ausdruck „vegetarischer Fleischersatz“ (vegetable Substitute for Meat) patentiert. Seit den 60er- und 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts lässt sich ein Anstieg der Vegetarierzahl in den USA und Europa beobachten. Zeitgleich stiegen die Nachfrage

<sup>4</sup> Dies bedeutet, dass in den folgenden Ausführungen zwar auf Soja basierende Produkte wie Sojafleisch Erwähnung finden, Tofu hingegen nicht. Tofu wird in der Regel ohne zusätzliche Verarbeitungsschritte nicht als Fleischimitat verkauft; vgl. Schmidinger (2012, S. 137).

nach und das Angebot von pflanzenbasierten Fleischalternativen (Shurtleff & Aoyagi, 2014, S. 5–6). Schätzungen zufolge betrug das globale Marktvolumen für pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte im Jahr 2018 ca. 4,36 Mrd. US-Dollar (vgl. Kapitel 3.3.3).

### Nischenmarkt mit Wachstumspotenzialen

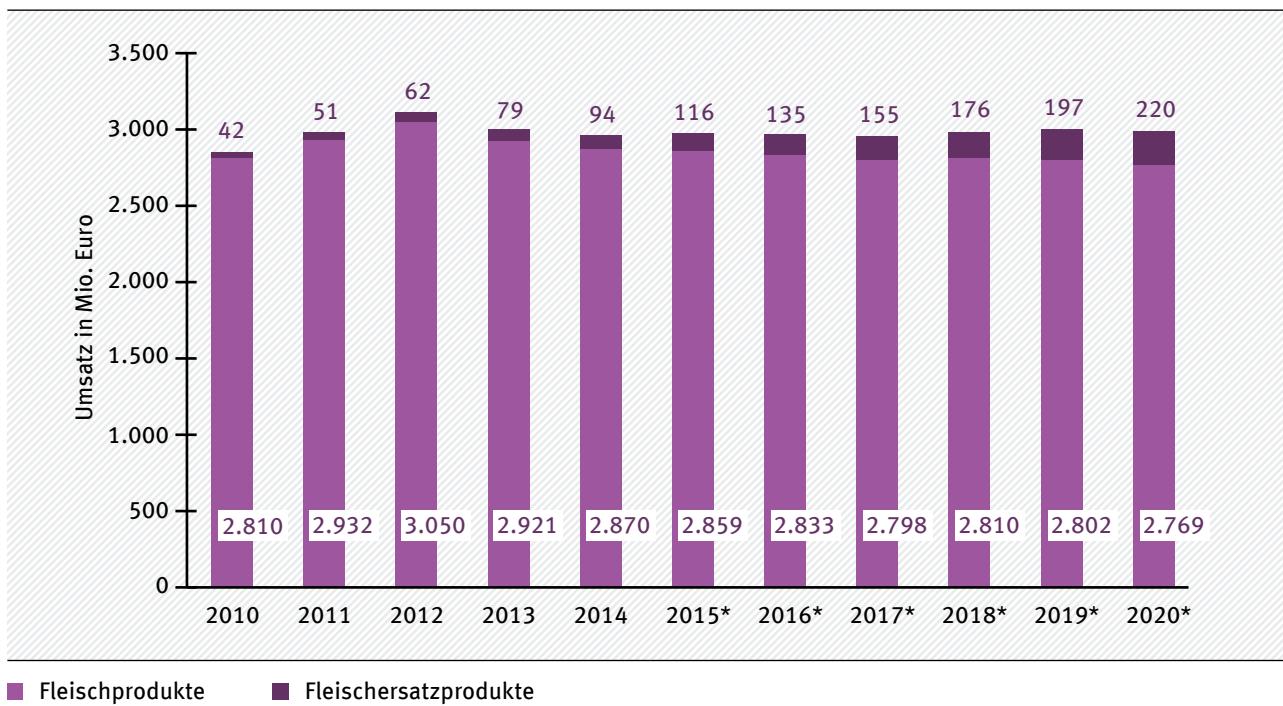
Aktuell ist Europa der größte Markt für Fleischersatzprodukte (Statista GmbH, 2018c, S. 9). Seit 2010 zeigt sich dies besonders deutlich an der gestiegenen Zahl von Produkteinführungen, die 2015 mit rund 900 neuen Produkten in der Kategorie Fleischalternativen einen vorläufigen Höhepunkt erreicht hatte. Nur etwa halb so viele neue Produkte wurden 2016 in Europa auf den Markt gebracht. Von diesen 470 eingeführten

Produkten kamen 111 in Deutschland in den Handel (Statista GmbH, 2018d, S. 2).

Der Umsatz im deutschen Einzelhandel mit Fleischersatzprodukten nimmt zwar zu (Lebensmittelzeitung, 2019), macht aber nur einen geringen Anteil am Marktvolumen der Fleischindustrie aus: 2017 lag dieser geschätzt bei 6 %. Das bedeutet einen Umsatz mit Fleischersatzprodukten von 155 Mio. Euro (Statista GmbH, 2017a, 2017c). Seit 2010 lässt sich hier bei einer jährlichen Wachstumsrate von etwa 18 % ein deutlicher Anstieg beobachten. Da die Umsätze mit Fleischprodukten eine leicht rückläufige Entwicklung aufweisen (-0,74 % durchschnittlicher jährlicher Umsatzrückgang), wird zukünftig der

Abbildung 10

### Umsatzentwicklung mit Fleisch- und Fleischersatzprodukten in Deutschland



\* Prognose ab 2015.

Quellen: Statista GmbH (2017a) und Statista GmbH (2017c)

Anteil von Fleischersatzprodukten am Marktvolumen der Fleischindustrie weiter steigen. Geschätzt werden für 2020 Marktanteile von 8 %, die immerhin einen Gesamtjahresumsatz von rund 220 Mio. Euro bedeuten würden (Statista GmbH, 2017a).

Der Markt in Deutschland für vegetarische und vegane Produkte zeigte in den letzten Jahren ein differenziertes Bild: Nach stetigem Umsatzwachstum gab es von 2016 zu 2017 eine rückläufige Entwicklung

(Tewes, 2017), die sich ähnlich auch in der Zahl der Produkteinführungen zeigt (Statista GmbH, 2018d). Beide Tendenzen könnten Anzeichen für eine Konsolidierung des Marktes sein (Grossarth, 2018).

Die Akteurslandschaft in Deutschland ist vielfältig: Neben spezialisierten Herstellern und Handelsmarken, jungen Start-ups und innovativen Händlern treten auch Produzenten konventioneller Fleischprodukte in den Wettbewerb und weiten ihre Produkt-

paletten um pflanzenbasierte Alternativen aus (FAZ, 2016; Kitzmann, 2018; Liebrich, 2018). Insgesamt gibt es etwa 60 Marken für vegane und vegetarische Produkte inklusive pflanzenbasierter Ersatzprodukte, die von 52 Firmen vertrieben werden (Schneider, 2016). Den größten Marktanteil – rund ein Drittel – hat das Unternehmen Rügenwalder (Tewes, 2018a).

**Vereinfachte Herstellungsverfahren, Skaleneffekte und erhöhte Nachfrage treiben Weiterentwicklung**

Maßgeblich für die wachsenden Marktpotenziale pflanzlicher Fleischprodukte sind u. a. vereinfachte Herstellungsverfahren, die eine Skalierung der Produktion im industriellen Maßstab ebenso ermöglichen wie die zunehmende Produktdifferenzierung. Auch die wachsende Weltbevölkerung und die damit verbundene Frage nach ausreichender Versorgung mit Nahrungsmitteln sowie die Pluralisierung der Ernährungsgewohnheiten können als Treiber für ein zunehmendes Angebot pflanzenbasierter Alternativprodukte angesehen werden. Mit hinein in die Pluralisierung von Ernährungsgewohnheiten spielen Aspekte wie das erhöhte Bewusstsein für Konsequenzen der eigenen Ernährung und die wachsende Akzeptanz von Alternativprodukten (Reeken, Holzapfel & Manthey, 2016).

Vorgenanntes hat dazu geführt, dass es heute eine große Produktvielfalt gibt, Nachfrage und Angebot als weiter wachsend eingeschätzt werden und auch große Fleischproduzenten pflanzenbasierte Alternativprodukte anbieten (FAZ, 2016; Liebrich, 2018). Diese Einschätzung wird jedoch nicht universell geteilt: Grossarth (2018) weist darauf hin, dass auch Produkte aufgrund rückläufiger Umsätze wieder vom Markt verschwinden. Künftig kann erwartet werden, dass die Imitation von Fleisch durch pflanzenbasierte Ersatzprodukte in Geschmack, Konsistenz und Nährstoffgehalt sowohl über verbesserte Herstellungsverfahren als auch durch den Einsatz vielfältiger Zusatzstoffe sowie die Verwendung gentechnisch veränderter Pflanzen angestrebt wird.

**4.1.2 Herstellungsverfahren und technologische Reife**

Da pflanzenbasierte Ersatzprodukte in verschiedenen Kulturkreisen zum Teil schon sehr lange Ernährungsbestandteile sind, sind einige der Herstellungsverfahren bereits seit Jahrhunderten bekannt. Heute jedoch ist eine industrielle Verarbeitung möglich, sodass einerseits die Produktionsmengen steigen, andererseits aber auch neue Produkte erschaffen werden.

## Schlaglicht: Markt für Fleischprodukte in Deutschland

Der Markt für Fleischprodukte in Deutschland weist, verglichen mit dem weltweiten Fleischmarkt, einige abweichende Merkmale auf. So ist die jährliche Produktionsmenge in den letzten Jahren nach einem Einbruch im Zuge der BSE-Krise 2001 wieder angestiegen und lag 2017 mit ca. 9 Mio. Tonnen auf einem hohen Niveau (Agethen, 2018, S. 2–3). Annähernd konstant geblieben ist der inländische Jahresverbrauch mit 7,3 Mio. Tonnen, während die Exporte in einem Zehn-Jahres-Zeitraum um 1,3 Mio. Tonnen auf 2,8 Mio. Tonnen 2017 gestiegen sind (Agethen, 2018, S. 3).

Pro Kopf wurden in Deutschland 2017 rund 60 kg Fleisch konsumiert (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung [BLE], 2018b, S. 185; Newmiwaka & Mackensen, 2019). Diese Zahl ist seit ca. 15 Jahren in etwa konstant und liegt nur ca. 3 kg unter dem Wert von 1991 (Statista GmbH, 2017b). Sie ist beinahe doppelt so hoch wie der globale Durchschnitt.

Die Umsatzentwicklung auf dem deutschen Fleischmarkt liegt, verglichen mit dem wachsenden Weltmarkt, auf annähernd gleichbleibendem Niveau. Der durchschnittliche Jahresumsatz mit Fleischprodukten im Einzelhandel beträgt in Deutschland etwa 2,9 Mrd. Euro (Bundesverband der deutschen Fleischwarenindustrie e. V. [BVDF], 2019).

Geprägt wird der Markt in Deutschland von mehreren großen Herstellern. Allein die Tönnies-Gruppe als größter Akteur erzielte 2016 einen Jahresumsatz von 6,35 Mrd. Euro. Danach folgen Vion Food Germany (2,97 Mrd. Euro) und Westfleisch (2,47 Mrd. Euro) sowie die PHW-Gruppe mit 2,46 Mrd. Euro (Sieler, 2017).

Die nachfolgend genannten Produkte werden größtenteils auf vergleichbare Weise hergestellt. Ausschlaggebend ist die Verwendung pflanzlicher Proteine, die mit Wasser und Gewürzen gemischt in einem Extruder unter Erhitzung zu einem Teig verarbeitet werden. Je nach gewünschtem Endprodukt wird die faserartige Teigmasse durch Düsen in entsprechende Formen gepresst (Buck, 2014, S. 41 f.). Zum Teil werden Rohstoffe durch Zugabe von Pilzmyzelen oder Hefen fermentiert (Weigel & Gensberger-Reigl, 2017, S. 9 ff.). Aufgrund der großen Produktvielfalt in Deutschland wird eine große Bandbreite Zusatzstoffe eingesetzt. Sämtliche verwendeten Stoffe und Verfahren detailliert auszuarbeiten, würde den Rahmen dieser Analyse sprengen. Daher wird im Folgenden auf die wesentlichen Verfahren und eingesetzten Rohstoffe eingegangen:

### Rohstoffe aus landwirtschaftlicher Produktion

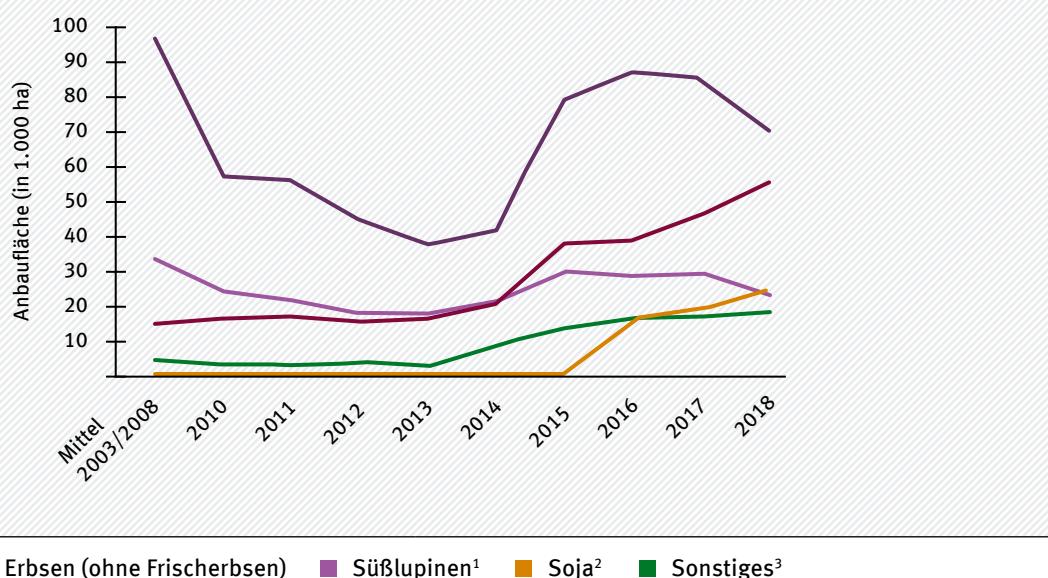
Pflanzenbasierte Ersatzprodukte werden hauptsächlich aus pflanzlichen Proteinen, Proteinkonzentraten oder Proteinisolaten gewonnen (Pabel & Schiller, 2017, S. 5). Infrage kommen Proteine aus Hülsenfrüchten, u. a. Sojabohnen, Erbsen oder Süßlupinen, aus Weizen oder aus Mykoprotein<sup>5</sup>. Zur Herstellung von Mykoprotein werden Schimmelpilze verwendet, die in Bioreaktoren gezüchtet werden (Groß, 2016; Thrane, 2007).



Im Gegensatz dazu werden für den Anbau von Weizen und Hülsenfrüchten landwirtschaftliche Nutzflächen benötigt. Von den in Deutschland landwirtschaftlich genutzten Flächen – 2017 rund 16,7 Mio. ha, das entspricht ca. 51,1 % der Gesamtfläche Deutschlands – wurde etwa ein Fünftel (3 Mio. ha) für den Anbau von Weizen verwendet. Erbsen wurden auf 85.500 ha angebaut, Süßlupinen auf 29.000 ha und Soja (erst ab 2016 statistisch erfasst) auf etwa 19.100 ha (Destatis, 2018, S. 8). Aktuelle Entwicklungen zeigt die nachfolgende Abbildung 11:

Abbildung 11

### Anbau von Hülsenfrüchten zur Körnergewinnung in Deutschland



■ Ackerbohnen ■ Erbsen (ohne Frischerbsen) ■ Süßlupinen<sup>1</sup> ■ Soja<sup>2</sup> ■ Sonstiges<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bis 2009: Lupinen; <sup>2</sup> Wird ab 2016 statistisch erfasst; <sup>3</sup> Ohne Sojabohnen  
Anmerkung: einschließlich Saatguterzeugung

Quelle: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL] (2016)

5 Obwohl es sich bei Pilzen nicht um Pflanzen handelt, werden sie hier mit aufgeführt und analysiert.

## Schlaglicht: Produkte auf Lupinenbasis und Nährstoffkreisläufe

Die heimische Lupine dient nicht nur als tierisches Futtermittel und als Rohstoff zur Entwicklung pflanzenbasierter Ersatzprodukte, sondern sie verfügt – wie alle sogenannten Leguminosen – auch über stickstoffbindende Eigenschaften. Dies hat einen positiven Einfluss auf die Nährstoffkreisläufe. Diese binden Luftstickstoffe und machen sie für andere Pflanzen verfügbar. Lupinen fördern außerdem die Bodenfruchtbarkeit und haben einen sehr geringen Düngedarf (BLE, 2014).

Dank spezieller Züchtungen ist es möglich geworden, eine breite Produktpalette auf Basis von Lupinensamen herzustellen, beispielsweise Wurstwaren, Filetstücke oder auch Joghurt und Speiseeis. Mehr Forschung ist vornötig, um eine höhere Ertragssicherheit und -qualität zu gewährleisten und so den regionalen Anbau auszuweiten (Böhm, H., Aulrich, Rinke & Weißmann, 2018).

Vor allem heimische Hülsenfrüchte erlangen als alternative Proteinquelle für die Herstellung pflanzlicher Fleischprodukte neue Bedeutung gegenüber dem Import von Soja (Bioökonomierat, 2017, S. 5 – 6). Gegenwärtig ist ein Wandel zu beobachten, der dazu führt, dass die genannten Rohstoffe wieder vermehrt in Deutschland angebaut werden und auch in anderen Teilen Europas verfügbar sind, wodurch Importe aus Übersee reduziert werden können (Pabel & Schiller, 2017, S. 4).

Aufgrund der weiten Verbreitung sojabasierter Fleischersatzprodukte wird die Gewinnung von Proteinen, Konzentraten oder Isolaten als erster Schritt der weiteren Verarbeitung am Beispiel der Sojabohne geschildert. Da Lupinen und Erbsen zunehmend relevanter werden, sind die folgenden Ausführungen zum Teil übertragbar.

### Industrielle Produktionsweise von Vor- und Endprodukten

Sojabohnen – bzw. andere Proteinquellen wie Erbsen oder Lupinen – werden mechanisch zerkleinert

und entfettet, um anschließend durch Zugabe von Lösungsmitteln unterschiedliche Proteinkonzentrationen zu erzielen. Durch Erhitzung bzw. Trocknung verflüchtigen sich die Lösungsmittel, und je nach Prozessparametern stehen Vorprodukte mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung (Heiss, 2013).

In der Regel sind weitere Verarbeitungsschritte notwendig, um die Endprodukte zu erzeugen. Die Herstellung einer fleischähnlichen Textur – also einer faserartigen Struktur aus zunächst kugelförmigen Proteinen – gelingt meist durch Einsatz von Extrusionsverfahren. Zwei Verfahren lassen sich unterscheiden:

- ▶ Die Trockenextrusion verarbeitet das Ausgangsmaterial (Protein, -konzentrat oder -isolat) unter Zuführung thermischer und mechanischer Energie sowie entsprechender Zusatzstoffe bei niedrigem Wassergehalt (Heiss, 2013; Pabel & Schiller, 2017, S. 5). Je nach Konstruktionsweise der Maschinen, z. B. Form und Anzahl der Schnecken im Inneren oder Geometrie der Düsen, können unterschiedliche Produktmerkmale wie Konsistenz oder Form erreicht werden. In der Regel müssen trocken extrudierte Zwischenprodukte (Texturized Vegetable Protein, TVP) später rehydratiert werden, um eine schwammartige Konsistenz des Endprodukts zu erreichen (Gleisenberg, 2016, S. 36 – 38).
- ▶ Die Nassextrusion (High Moisture Extrusion, oder auch Kochextrusion), die ein relativ neues Verfahren darstellt, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Verarbeitung mit vergleichsweise hohem Wassergehalt durchgeführt wird (Wild, F. et al., 2014, S. 46), der im Wesentlichen dem Zielwassergehalt des Endprodukts entspricht. Unter Einsatz der weiteren Prozessparameter Druck und Temperatur werden die benötigten Zutaten gemischt und verknetet. Bei Austritt des schwammartigen Endprodukts aus dem Extruder wird die entstandene Masse gekühlt (Osen, o. A., S. 2) – ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zur Trockenextrusion (Pabel & Schiller, 2017, S. 6).

Innovationen in beiden Verfahren führen dazu, dass auch Kombinationen der beiden Extrusionsverfahren sowie eine Kombination unterschiedlicher Inhaltsstoffe möglich werden, z. B. Erbsen-

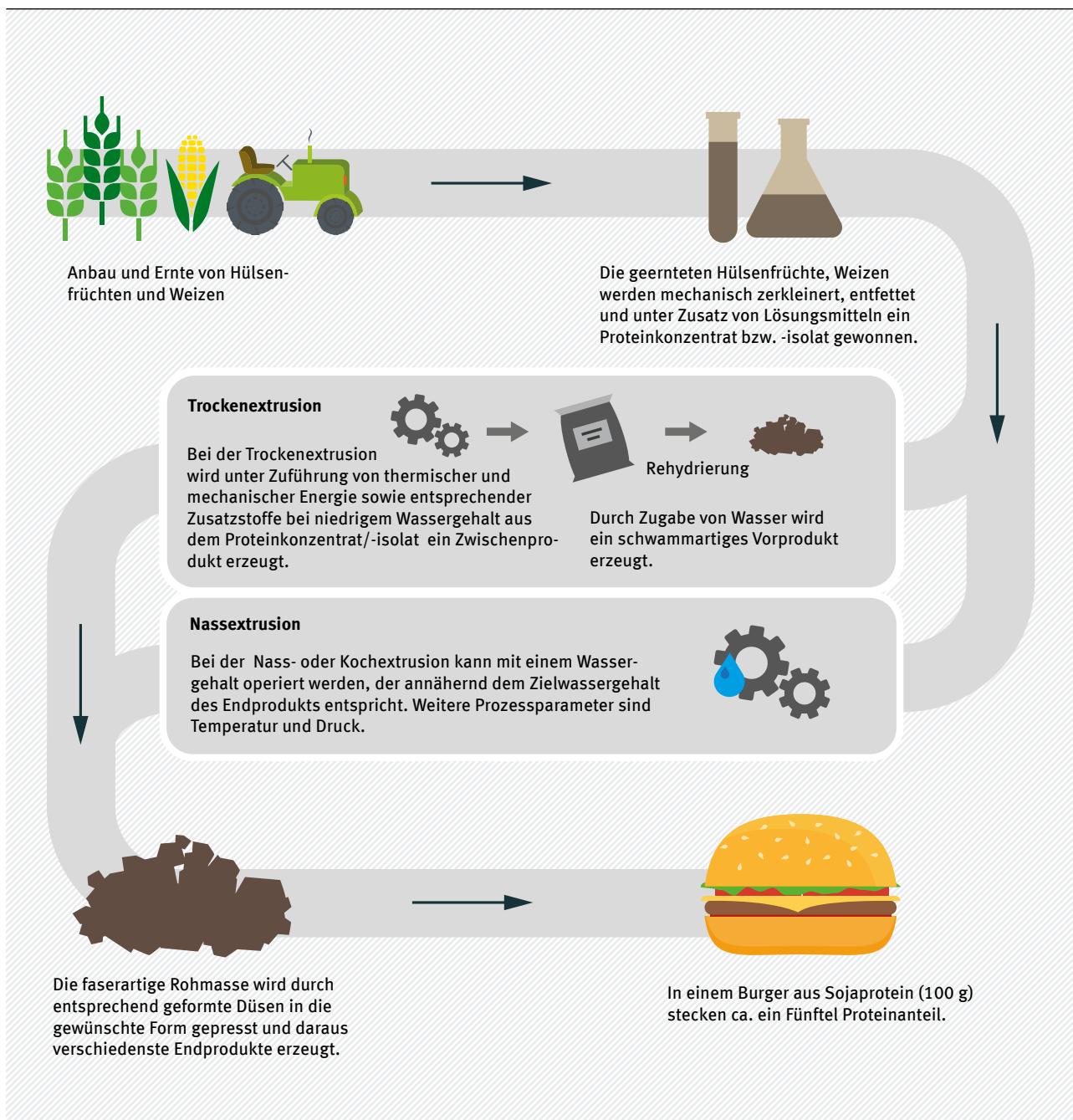
mit Soja- oder Lupinenproteinen (Pabel & Schiller, 2017, S. 6). Dadurch steigen die Möglichkeiten, unterschiedliche Fleischprodukte besser zu imitieren.

Durch Bearbeitungs- und Weiterverarbeitungsprozesse der aus Extrusion entstandenen Vorprodukte werden geschmackliche, olfaktorische und optische Merkmale ergänzt. Je nach eingesetztem Extrusionsverfahren können entsprechende

Inhaltsstoffe auch schon während der Extrusion beigemischt werden. Dazu gehören Gewürze, Salze, Hefen oder Aromen für den angestrebten Geschmack und Geruch sowie Lebensmittel wie Rote Beete, Johannisbeersaft oder mineralisches Eisenoxid für die Farbgebung. Üblicherweise werden auch farberhaltende Stoffe wie Ascorbinsäure hinzugefügt (Pabel & Schiller, 2017, S. 5; Wild, F. et al., 2014, S. 47).

Abbildung 12

### Typischer Herstellungsprozess pflanzenbasierter Fleischalternativen



Quelle: Eigene Darstellung nach Böhm, I., Ferrari und Woll (2017)

### Große Produktvielfalt möglich

Mit Hilfe der skizzierten Verfahren lässt sich eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte herstellen, deren Auflistung den Rahmen dieser Analyse sprengen würde. Daher werden – ausgehend von den drei wichtigsten primär verwendeten Rohstoffen – nachfolgend einzelne Produktgruppenbeispiele dargestellt:

- ▶ Hülsenfrüchte wie Lupinen, Erbsen oder Sojabohnen werden zur Herstellung vielfältiger Produkte verwendet. Sojafleisch (TVP) ist nur ein Beispiel: Es wird entsprechend dem oben geschilderten Trockenextrusionsverfahren erzeugt und ist als Gehacktes Vorprodukt für Burger, Geschnetzeltes o. Ä. Erbsen als Rohstoff führen zu anderen geschmacklichen und farblichen Eigenschaften des Endprodukts (Buck, 2014). Produktinnovationen entstehen vor allem durch Kombination verschiedener pflanzlicher Proteinquellen und die Verbesserung von Produktionsverfahren durch Variation der Prozessparameter.
- ▶ Weizenproteine werden traditionell zur Herstellung von Seitan verwendet, sind neuerdings aber auch ein Kernbestandteil des „Impossible Foods Burger“. Die Herstellung von Seitan ist vergleichsweise einfach und kann in kleinem Maßstab auch zu Hause erfolgen. Dabei wird Weizenmehl ausgewaschen, bis Gluten übrig bleibt, das dann unter Zugabe von Gewürzen und Flüssigkeit zu einem Teig geformt und in Wasser, Gemüsebrühe oder Marinade aufgekocht wird (Ernst, 2011). Aufwendiger in der Herstellung ist der Burgerpatty der Firma Impossible Foods: Neben Wasser, texturiertem Weizenprotein, Kokosöl und Kartoffelprotein kommen verschiedene Zusatzstoffe wie Hefe, Salze, Sojaproteinisolat, Vitamine etc. zum Einsatz (Impossible Foods, 2018).
- ▶ Aus Mykoprotein (bzw. genauer aus einem Schimelpilz; Venator, 2019) wird das Produkt „Quorn“ hergestellt. In England kam das Produkt bereits

### Schlaglicht: Sind pflanzliche Fleischersatzprodukte vegan?

Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte sind nicht per se vegan. Häufig wird Hühnereiweiß (Eiklar) zur Stabilisierung der Rohmasse eingesetzt oder es sind Molkereiprodukte enthalten. Hier eröffnet sich ein Innovationspfad: Der Verzicht auf tierische Bestandteile und die Entwicklung alternativer Stabilisatoren, die ohne Hühnereiweiß auskommen, kann pflanzenbasierte Ersatzprodukte auch für Veganer in Frage kommen lassen. Ob Unternehmen diesen Pfad verfolgen, ist jedoch von ökonomischen Aspekten abhängig: Während Veganer nur einen kleinen Teil der Verbraucherinnen und Verbraucher ausmachen, ist die wesentlich größere und wirtschaftlich relevantere Zielgruppe diejenige, die sich weniger stark für einzelne tierische Bestandteile ihrer Nahrung interessiert.

1985 auf den Markt, während es in Deutschland bis 2012 dauerte, ehe Quorn erhältlich war (Marlow Foods Limited, 2018a). Heute gibt es zwölf Produktvarianten. Auch Quorn wird unter Zugabe von Nährösungen, thermischer Energie sowie Hühnereiweiß als Bindemittel hergestellt und je nach eingesetzter Maschine zu verschiedenen Produkten verarbeitet (Leitzmann, C., 2013, S. 299). Vegetarisches Hack des Herstellers wird beispielsweise unter Einsatz von Aromastoffen, Hühnereiweiß sowie Festigungsmitteln wie Calciumchlorid, Calciumacetat, glutenfreiem geröstetem Gerstenmalzextrakt oder natürlichem Karamellzucker produziert (Marlow Foods Limited, 2018b). Die spezifischen Inhaltsstoffe und Herstellverfahren sind jedoch vom Endprodukt abhängig und variieren dementsprechend.

#### 4.1.3 Stakeholder

Die Entwicklung pflanzenbasierter Ersatzprodukte wird von verschiedenen Stakeholdern unterschiedlich vorangetrieben. Im Fokus von Wissenschaft und Forschung stehen derzeit, Alternativen für Soja als Rohstoff für pflanzlichen Fleischersatz zu finden sowie die Extraktionsmöglichkeiten einzelner pflanzlicher Bestandteile zu verbessern. Wirtschaftliche Akteure bewegen sich in einem Marktumfeld, das generell durch hohe Dynamik und Wachstum gekennzeichnet ist. Verbraucher können sich zwischen Fleisch und einer Vielzahl pflanzenbasierter Produkte entscheiden. Neben dem Produktpreis beeinflussen auch die Akzeptanz der Alternativprodukte sowie der wahrgenommene Nutzen, z. B. positive gesundheitliche Effekte, die Entscheidungssituation.

#### Wissenschaft und Forschung

Die Forschungslandschaft ist stark differenziert und kann hier nur sehr oberflächlich dargestellt werden. Im Gegensatz zu den anderen beiden Entwicklungen lässt sich das Forschungsfeld nicht eindeutig abgrenzen, sodass Aussagen zu Publikationsaktivitäten, Forschungsprojekten und Fördervolumina keinesfalls als vollständig betrachtet werden können. Vor allem drei Entwicklungslinien können jedoch bei der Forschung in Deutschland herausgestellt werden:

Die **Nutzung neuer Rohstoffe** wie Erbsen, Lupinen etc. zur Gewinnung pflanzlicher Proteine sowie die Verwendung von Pilzen als Ausgangsbasis für Ersatzprodukte sind Gegenstand von Forschungsprojekten. Beispielhaft zu nennen sind hier die Vorhaben:

- ▶ „Produktentwicklung von fleischähnlichen Produkten aus kokultivierten Pilzproteinen“: Das mit 147.000 Euro vom Land Hessen geförderte Vorhaben zielt auf die Entwicklung vegetarischer und veganer Fleischalternativen aus Pilzmyzelien ab (Stephan, 2017).
- ▶ Das Projekt „Erbsen, Lupinen & Co im Feldversuch“ des Johann Heinrich von Thünen-Instituts in Kooperation mit dem Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), der Universität Rostock sowie dem Julius Kühn-Institut (JKI) untersucht primär den Einsatz von Lupinen als Tierfuttermittel, aber auch die ökologischen Potenziale des Lupinenanbaus (Böhm, H. et al., 2018).

▶ Auf europäischer Ebene hat das Vorhaben TRUE (TRansition paths to sUstainable legume based systems in Europe) ebenfalls die Potenziale von Hülsenfrüchten für eine nachhaltige Transformation des Ernährungssystems untersucht (Hohenheim Research Center for Global Food Security and Ecosystems, 2018). Im Januar 2020 soll das neue EU-Projekt „Smart Protein“ starten. Ziel ist die Entwicklung neuer, proteinreicher Alternativen zu tierischen Produkten. Diese innovativen Produkte sollen aus Pflanzen, Pilzen und Nebenprodukten erzeugt werden und voraussichtlich 2025 auf den Markt kommen (vegconomist, 2019).

Die **Verbesserung der Produktionsprozesse** ist vor allem eine Frage der Lebensmitteltechnologieforschung, wie sie etwa am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik (DIL) betrieben wird (Biedermann, Heinz & Senkler, 2018). In verschiedenen Vorhaben werden Produkt- und Prozessinnovationen entwickelt, mit denen sich nicht nur pflanzenbasierte Alternativen herstellen, sondern auch etablierte Produktionsprozesse für Fleischprodukte effizienter gestalten lassen.

Die **verbesserte Nutzung vorhandener Rohstoffe** kann dazu beitragen, die sensorische Nähe zu echtem Fleisch zu erhöhen und Ersatzprodukte noch unverwechselbarer zu gestalten. Die maßgebliche Forschungsfrage ist die nach einzelnen Bestandteilen pflanzlicher Rohstoffe, deren Extraktions- und Kombinationsmöglichkeiten sowie deren Optimierungspotenzialen (Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie e. V. [BVE] & Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V. [DIL], 2017).

Die Anwendung technischer Innovationen kann mithin dazu führen, dass die Herstellung pflanzenbasierter Fleischersatzprodukte revolutioniert wird.



## Schlaglicht: Künstliche Intelligenz als Innovationstreiber

Der Einsatz von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) kann dabei helfen, die Einflussfaktoren auf die Wahrnehmung von Geschmack zu verstehen und bei der Produktentwicklung gezielt Inhaltsstoffe miteinander zu kombinieren, um das Geschmackserlebnis verwechslungsfrei gegenüber dem des Fleischverzehrs zu gestalten. Ebenso können Verfahren des maschinellen Lernens dabei unterstützen, die Bestandteile und deren Interaktion bzw. Kombinationsmöglichkeiten von pflanzlichen Rohstoffen zu verstehen und zur Entwicklung neuer Produkte beizutragen. Doch auch jenseits der Erforschung pflanzlicher Rohstoffe zur Entwicklung neuer Ersatzprodukte können Verfahren der KI Anwendung bei der Lebensmittelproduktion finden: Die Optimierung des Energiebedarfs über den Herstellungsprozess oder die Steuerung der Prozessparameter könnten künftig von intelligenten Algorithmen vorgenommen werden (Allen, 2018; Varshney, 2018).

### Wirtschaftliche Akteure

Sowohl etablierte Unternehmen der Fleischindustrie als auch Risikokapitalgeber investieren in innovative Firmen und Produkte. In das 2009 gegründete amerikanische Unternehmen Beyond Meat, das Produkte u. a. auf Basis von Erbsenproteinen herstellt, hat nicht nur der weltweit größte Fleischproduzent Tyson Foods mehrere Millionen US-Dollar investiert (Mumme, 2018), auch das deutsche Unternehmen PHW/Wiesenhof beteiligt sich an Beyond Meat (Liebrich, 2018). Während die Metro den Großhandel beliefern möchte, bringt Wiesenhof die Produkte in die Gastronomie (Mucke, 2018). Mitte 2019 waren die Produkte von Beyond Meat kurzzeitig im Lebensmitteleinzelhandel beim Discounter Lidl verfügbar; die Aktion traf auf eine sehr hohe Nachfrage, die aufgrund von Produktionsengpässen aber nicht gedeckt werden konnte (siehe Kapitel 1).

Ein ebenfalls relativ neuer Akteur in diesem Feld ist die US-Firma Impossible Foods, die 2011 gegründet wurde und sich der Produktion von Fleisch aus pflanzlichen Rohstoffen widmet. Neben der Nutzung

von Weizenprotein, Kokosöl und Kartoffelprotein bei der Herstellung von Alternativprodukten kommt vor allem der Verwendung einer Hämoprotein-Flüssigkeit besondere Bedeutung zu (Impossible Foods, 2018). Hämoprotein ist im Tiermuskel vorhanden, kann aber auch unter Verwendung eines speziellen Fermentationsprozesses aus Sojawurzel gewonnen werden und trägt zur geschmacklichen Imitation von Fleisch bei. Für Ende 2018 plant das Unternehmen Impossible Foods, täglich eine Tonne des künstlichen Fleisches herzustellen; bislang wird der daraus produzierte Burger u. a. bei der Fast-Food-Kette White Castle in den USA angeboten (Mumme, 2018; Peters, 2018). Die Produkte von Impossible Foods sind bislang nicht auf dem deutschen Markt erhältlich (Stand Juli 2019).

Anhand der oben getroffenen Unterscheidung in drei Produktkategorien – Proteine aus Hülsenfrüchten, Weizenproteine und Mykoproteine – lassen sich nachfolgend einige Beispiele für Produkte auf dem deutschen Markt und deren Hersteller sowie Marktentwicklungsperspektiven nennen.

- ▶ Proteine aus Hülsenfrüchten finden sich in vielen Produkten wieder. So hat das zur Heristo-Gruppe gehörende Unternehmen Like Meat neben sojabasierten Produkten auch zwei Produkte aus Erbsenprotein im Angebot: Curry-Filetstücke und Schinken-Bratwurst (Like Meat, 2019). Erbsenproteine lassen sich als wachsendes Marktsegment charakterisieren (vegconomist, 2018a). Auch die Firma Beyond Meat verwendet Erbsenproteine sowie Raps- und Kokosöl neben anderen Zusatzstoffen für ihre Produkte. Weiterhin werden mittlerweile Filetstücke aus Lupinensamen im deutschen Lebensmitteleinzelhandel angeboten. Für die kommenden Jahre soll dieses Marktsegment ebenfalls wachsen (vegconomist, 2018b).
- ▶ Stellvertretend für Produkte aus Weizenproteinen ist oben bereits der Impossible Foods Burger genannt worden, der in Deutschland bislang nicht verfügbar ist. Als weiteres Produkt auf Weizenbasis kann Seitan genannt werden, dessen Ausgangsstoff wie auch die verarbeitete Form im Lebensmitteleinzelhandel breit verfügbar sind. Ein bekannter Hersteller dafür ist die Topas GmbH, die mit ihrer Marke Wheaty ca. 50 verschiedene Produkte in Deutschland anbietet (Popowska, 2016).

- Das Unternehmen Quorn (s. o.) bietet in Deutschland aktuell zwölf Produkte aus Mykoprotein im Lebensmitteleinzelhandel an. Damit verzeichnet das Unternehmen auch hierzulande ein starkes Umsatzwachstum, das mit zweistelligen Wachstumsraten sogar stärker als der Gesamtmarkt wächst (Tewes, 2018b).

In allen drei Produktkategorien dürfte für eine Abschätzung der Umweltwirkungen entscheidend sein, wo die Produktion angesiedelt ist und woher die Rohstoffe bezogen werden. Vielfach ist es bei ausländischen Anbietern so, dass die Produkte nach Deutschland exportiert werden und nicht aus in Deutschland heimischen Rohstoffen produziert werden.

### **Verbraucherinnen und Verbraucher**

Aus Verbrauchersicht ist die oben genannte Produktvielfalt ein wichtiger Faktor, denn Konsumentenscheidungen bedeuten immer, eine Auswahl aus einem existierenden Angebot unter Ausschluss alternativer Produkte zu treffen. Wie bereits dargestellt, deutet der gegenwärtige Fleischkonsum in Deutschland trotz eines wachsenden Marktes für Alternativprodukte nicht darauf hin, dass die Mehrzahl der Konsumenten ihr Verhalten ändert. Vielmehr besteht Grund zu der Annahme, dass Fleischersatzprodukte gelegentlich auch konsumiert werden, nicht aber den Konsum von Fleisch ersetzen.

Dies hängt vor allem damit zusammen, dass pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte bislang nur unzureichend Fleisch imitieren, wodurch die Akzeptanz der Produkte und letztlich Kaufentscheidungen maßgeblich beeinflusst werden (Schrode, 2016). Da insbesondere der Geschmack – neben dem Preis – ein wichtiges Entscheidungskriterium für den wiederholten Kauf von Ersatzprodukten ist (Buxel & Auler, 2017, S. 4–7), dürften Änderungen im Konsumentenverhalten nur dann zu erwarten sein, wenn der Geschmack von Fleisch, zusammen mit Textur, Geruch etc., überzeugend imitiert werden kann (Sexton, 2019) und der Preis im Vergleich zu Fleischprodukten niedriger ist.

### **Schlaglicht: Der Impossible Foods Burger**

Der Impossible Foods Burger besteht aus pflanzlichen Inhaltsstoffen und hat damit geringere Umweltwirkungen als ein konventioneller Burger aus Rindfleisch. Hintergrund ist, dass Treibhausgasemissionen, Wasserverbrauch und Flächenbedarf, die bei Tierhaltung und Tierfutteranbau entstehen, eingespart werden können (Khan, Dettling, Loyola, Hester & Moses, 2019). Allerdings stammen die Inhaltsstoffe für den Burger nicht aus ökologischer Landwirtschaft und sind teilweise gentechnisch verändert. Auch ist der Verarbeitungsgrad der einzelnen Inhaltsstoffe des Impossible Foods Burgers hoch. In Zukunft wird es hier darum gehen, das allergene Potenzial des Leghmägoglobins weiter zu erforschen und gesundheitliche Risiken der gentechnisch veränderten Proteinstruktur auszuschließen.

Als Herausforderung für die weitere Entwicklung pflanzenbasierter Fleischersatzprodukte wird daher vielfach das Bestreben formuliert, Geruch, Textur, Geschmack, Nährstoffgehalt und Aussehen von Fleischprodukten vollständig imitieren zu können. Am ehesten gelingt dies bei Produkten, deren tierische Vorbilder ihrerseits bereits weiterverarbeitet sind, wie Hackfleisch und daraus geformte Produkte.

Der hohe Verarbeitungsgrad pflanzenbasierter Ersatzprodukte bedingt den Einsatz vieler Zutaten und Zusatzstoffe (FAZ, 2016). Für Verbraucher bedeutet dies, sich mit umfangreichen Informationen zu den Bestandteilen der angebotenen Produkte und oft nicht leicht nachvollziehbaren Angaben zu Nährwerten auseinanderzusetzen. Dementsprechend stehen Hersteller und Verbraucherschützer sowie die Politik vor der Herausforderung, Kennzeichnungsvorgaben und -pflichten zu formulieren bzw. zu befolgen. Jedoch ist es aufgrund der Pro-

## Schlaglicht: Zunehmende Produktvielfalt für eine heterogene Kundschaft

Nicht nur die Vielfalt der verfügbaren Produkte wird weiter zunehmen, auch die Bedürfnisse und Anforderungen der Verbraucherinnen und Verbraucher entwickeln sich weiter. Fleischersatzprodukte sind keineswegs nur für Vegetarier und Veganer relevant. Vielmehr wird die äußerst heterogene Kundschaft der bislang Fleisch konsumierenden Menschen, insbesondere der sogenannten „Flexitarier“, verstärkt adressiert. Diese Kundengruppe weist äußerst heterogene Merkmale auf, z. B. hinsichtlich Kaufkraft, Einkaufspräferenzen, Vorlieben, Geschmack etc., der die produzierenden Akteure mit einer entsprechenden Angebotsvielfalt begegnen können. Zukünftig könnten Produkte sogar nach den individuellen Bedürfnissen der Kunden gestaltet werden und beispielsweise bestimmte gesundheitliche Aspekte adressieren (Hughes, 2018).

duktvielfalt und der damit verbundenen Vielfalt der Inhaltsstoffe schwierig, allgemeine Aussagen zum Nährwert der Produkte zu treffen.

Ein weiteres wichtiges Entscheidungskriterium ist der Preis. Die industrielle Produktion von Fleisch hat in Deutschland zu vergleichsweise niedrigen Preisen für Fleischprodukte geführt, obwohl sich hier in den letzten sechs Jahren eine Tendenz zu steigenden Preisen abzeichnet (BLE, 2018b, S. 222). Wenn Kunden auf Fleischersatzprodukte zurückgreifen sollen, dann müssen Produktpreise sich auf einem wettbewerbsfähigen Niveau einpendeln. Bislang werden Fleischersatzprodukte in den einschlägigen statistischen Erhebungen nicht gesondert erfasst, sodass vergleichende Aussagen zu Preisentwicklungen nicht möglich sind.

Für die Akzeptanz von Fleischersatzprodukten spielt auch der Aspekt der Lebensmittelsicherheit eine Rolle, handelt es sich bei den meisten Produkten doch um hochgradig verarbeitete Erzeugnisse. Aufgrund von Herstellungsverfahren können auch unerwünschte Bestandteile oder Allergene enthalten sein.

So wurden beispielsweise Mineralölkohlenwasserstoffe nachgewiesen, die gesundheitsschädigende Wirkungen haben (Brauns, 2016; Hirsch & Tölle, 2019). Ähnlich herausfordernd ist der Umgang mit Allergiepotenzialen vor allem von Lupinen, Weizen und Soja (Bundesinstitut für Risikobewertung [BfR], 2011; Gleisenberg, 2016; Pabel & Schiller, 2017). Ähnlich herausfordernd ist der Umgang mit Allergiepotenzialen vor allem von Lupinen, Weizen und Soja. Die Rohstoffe sind Hauptbestandteile pflanzenbasierter Ersatzprodukte. Da sie jedoch weit verbreitet eingesetzt werden, können sie auch in anderen Endprodukten enthalten sein – wenngleich oft nur in geringen Mengen. Oft wird eine Verunreinigung nicht ausgeschlossen.

Daher scheinen aus Verbrauchersicht Zutatenlisten wichtiger zu sein als Siegel bzw. Kennzeichnungen wie vegan und vegetarisch (Reeken et al., 2016). Produktbezeichnungen sollten eindeutig sein (Buxel & Auler, 2017) und dürfen nicht über die Bestandteile des Produkts hinwegtäuschen (Volkhardt et al., 2017), damit Verbraucher gut informierte Entscheidungen treffen können.

## 4.2 Insekten: Eine neue alternative Proteinquelle am Markt

### 4.2.1 Hintergrund und Status quo

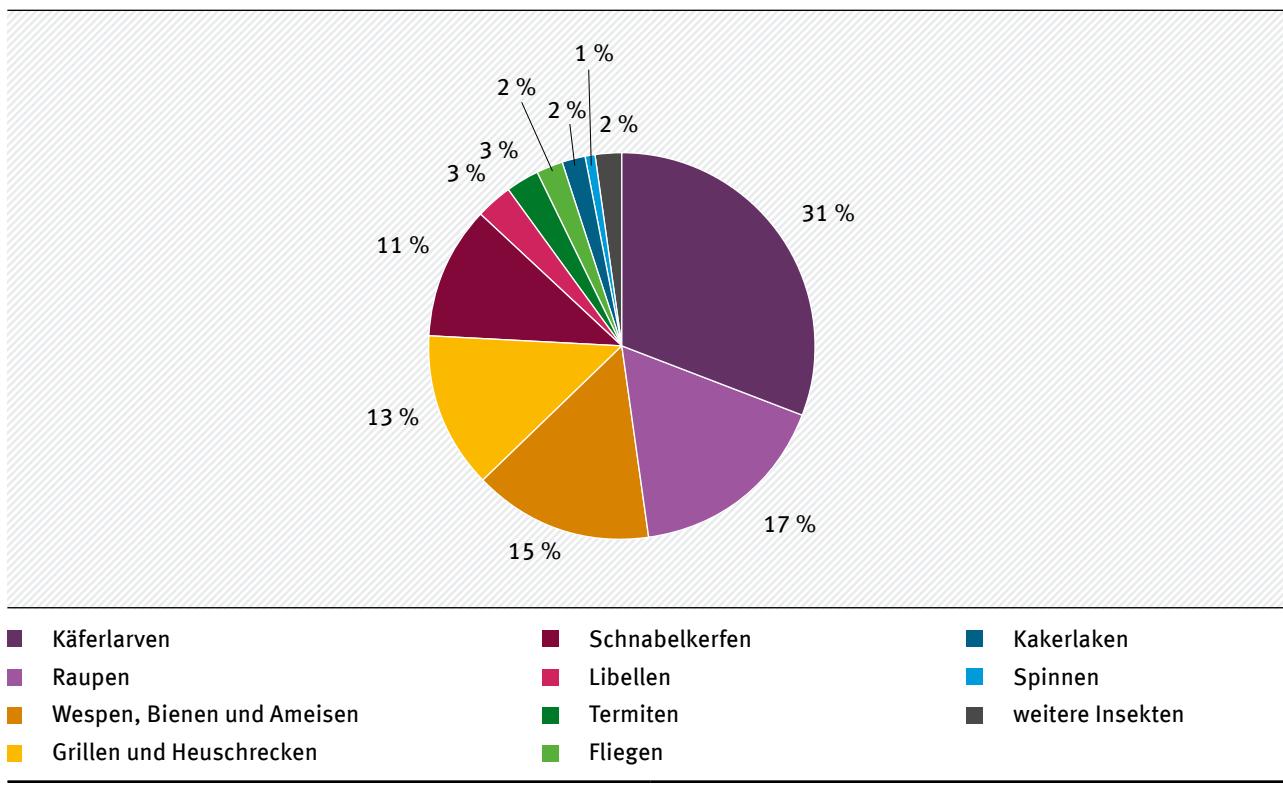
Obwohl Insekten heutzutage vor allem in den Tropen und weniger bis gar nicht in den gemäßigten Klimazonen verzehrt werden (van Huis & Tomberlin, 2017c), sind sie mittlerweile auf dem Lebensmittelmarkt in Deutschland angekommen. Weltweit gibt es 2.111 verzehrbarer Insektspezies (Jongema, 2017). Die Anteile unterschiedlicher Spezies sind in Abbildung 13 dargestellt.

Als wechselwarme Tiere<sup>6</sup> gelten Insekten entsprechend den Leitsätzen für Fleisch und Fleischerzeugnisse (BMEL, 2019) nicht als Fleisch. Als Fleisch dürfen ausschließlich „Teile von geschlachteten oder erlegten warmblütigen Tieren, die zum Genuss für Menschen bestimmt sind“, bezeichnet werden. In Bezug auf ihre Trockenmasse<sup>7</sup> weisen Insekten durchschnittlich Proteingehalte zwischen 25 und 75 % und Fettgehalte – fettlösliche Moleküle eingeschlossen –

von 10 bis 70 % auf (Finke & Oonincx, 2017). Neben den Proteinen enthalten Insekten weitere, für den Menschen wichtige Nährstoffe wie Kupfer, Eisen, Magnesium, Mangan, Phosphor, Selen und Zink, die Vitamine Riboflavin, Pantothensäure und Biotin sowie Ballaststoffe (Payne, Scarborough, Rayner & Nonaka, 2016). Aufgrund der großen Spannweite an essbaren Insekten ist eine generelle Aussage zu „Nährstoffgehalten von Insekten“ jedoch spekulativ. Zudem haben Faktoren wie Futtermittel und Haltebedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Licht) einen großen Einfluss auf den Nährstoffgehalt von Insekten (Finke & Oonincx, 2017). In einem systematischen Vergleich der Nährstoffzusammensetzung von Insekten und Fleisch konnte jedoch gezeigt werden, dass die untersuchten Insektenarten – Heuschrecke, Honigbiene, Seidenraupe, Mopane-Raupe, Mehlwurm und Rüsselkäferlarve – aus ernährungsphysiologischer Sicht dem herkömmlichen Fleisch – Rind, Huhn und Schwein – in keinem Falle nachstehen, sondern teilweise sogar nahrhafter sind (Payne, Scarborough et al., 2016).

Abbildung 13

Anteile an der Gesamtzahl essbarer Insektspezies



<sup>6</sup> Während wechselwarme Tiere, z. B. Insekten und Fische, keine konstante Körpertemperatur aufweisen, verbleibt die Körpertemperatur von warmblütigen Tieren (z. B. Säugetiere und Vögel) auf einem gleichbleibenden Niveau.

<sup>7</sup> Die Trockenmasse ist derjenige Bestandteil einer Substanz, welcher nach Abzug der Masse des enthaltenen Wassers übrigbleibt.



#### 4.2.2 Herstellungsverfahren und technologische Reife

##### **Wildfang und Zucht in Kleinfarmen**

In Regionen, in denen Insekten traditionell verzehrt werden – hierzu zählen vor allem Afrika, Asien und Lateinamerika –, werden diese hauptsächlich in ihren natürlichen Lebensräumen gesammelt. In nur wenigen Fällen kann von einer „Semi-Domestizierung“ gesprochen werden, bei denen die Habitate der Insekten so verändert werden, dass der Zugang zu ihnen erleichtert wird (van Itterbeeck & van Huis, 2012). Für den Fang der Insekten werden verschiedene Methoden angewandt: so werden sie per Hand von Pflanzen abgesammelt, mit Stangen aus Bäumen und Sträuchern gerüttelt und/oder mit Tüchern und Netzen (auf-)gefangen. In der Nacht sind Lichtfallen – in der Regel ausgeleuchtete Tücher – gebräuchlich, um Insekten anzulocken und von der Falle abzusammeln. Die Auslese der Insekten geschieht vor Ort, wobei z. B. ungenießbare Arten aussortiert werden (Grabowski, 2017). Eine nachhaltige „Erntestrategie“ steht häufig nicht im Mittelpunkt, deshalb sind die Erträge zunehmend durch Überentnahme, Veränderungen der Lebensräume oder Umweltverschmutzung gefährdet (Ramos-Elorduy, 2006).

Neben dem Wildfang gibt es auch Verfahren, um Insekten zu züchten. In Thailand etwa werden jährlich 7.500 Tonnen Heuschrecken in 20.000 Kleinfarmen für den Verkauf auf lokalen Märkten oder zur Selbstversorgung produziert (Hanboonsong, Jamjanya & Durst, 2013). Die Herstellung der Grillen findet oftmals „im Hinterhof“ statt (van Huis et al.,

##### **Schlaglicht: Europäische Novel-Food-Verordnung**

Im aktuellen Diskurs um Insekten als Lebensmittel steht vor allem die Novel-Food-Verordnung (EU) 2015/2283 im Mittelpunkt, die am 1. Januar 2018 verbindlich in Kraft getreten ist. Auf ihrer Basis können spezifische Insektenarten nach einer Unbedenklichkeitsprüfung von nun an als Lebensmittel zugelassen und vermarktet werden; bisher war dies nur in Belgien möglich (Europäische Union, 2015). Im Zulassungsantrag sind gemäß Artikel 10 u. a. folgende Informationen zu hinterlegen: (i) die Beschreibung des Herstellungsverfahrens, (ii) die genaue Zusammensetzung des neuartigen Lebensmittels, (iii) wissenschaftliche Daten, die belegen, dass das neuartige Lebensmittel kein Sicherheitsrisiko für die menschliche Gesundheit mit sich bringt sowie (iv) einen Vorschlag für die Bedingungen der beabsichtigten Verwendung und für spezifische Anforderungen an eine Kennzeichnung. Alternativ kann für die Zulassung auch ein „Anzeigeverfahren für traditionelle Lebensmittel aus einem Drittstaat“ genutzt werden. Hierfür gilt es, einen Nachweis zu erbringen, dass das Lebensmittel im Drittstaat bereits seit mindestens 25 Jahren verzehrt wurde und keine Sicherheitsbedenken auftraten.

Im Frühjahr 2019 lagen bereits Anträge für verschiedene Grillenarten, Wanderheuschrecken, Mehlwürmer und sogenannte Buffalowürmer vor. Für insektenhaltige Produkte, die in Deutschland vor Inkrafttreten der Novel-Food-Verordnung in den Markt gebracht wurden, gilt eine Übergangsregelung. Diese dürfen auch weiterhin vermarktet werden, wenn bis Anfang 2019 der erforderliche Zulassungsantrag erfolgt ist.

Die Novel-Food-Verordnung regelt nicht nur die Zulassung von essbaren Insekten, sondern gilt auch für weitere „neue“ Lebensmittel. Bevor In-vitro-Fleisch auf dem deutschen Markt angeboten werden könnte, müsste es ebenfalls auf Basis der Novel-Food-Verordnung zugelassen werden.



2013, S. 102). Dies gilt für Thailand, aber auch für Vietnam und Laos. Als Aufzuchteinheiten werden häufig Betonringe mit einer Höhe unter einem Meter oder Plastikbehälter genutzt, die mit Reishülsen ausgestreut werden. Eierkartons aus Pappe werden häufig genutzt, um den Heuschrecken eine größere Fläche in den Aufzuchteinheiten anzubieten. Für die Ernährung der Heuschrecken werden Hühnerfutter oder andere Tiernahrung, Gemüseabfälle, Reis und Gras verwendet. Insekten, die in der Natur gesammelt oder in kleinen Farmen gezogen werden, landen in der Regel auf den lokalen Märkten und werden nicht nach Übersee exportiert.

### Industrielle Produktionssysteme

Insekten wiederum, die auf dem deutschen Markt als Lebensmittel angeboten werden, z. B. als Bestandteil von Proteinriegeln, werden in der Regel in industriellen Produktionssystemen gezüchtet, etwa in Kanada

oder in Thailand. Im Rahmen eines Expertengesprächs zur Potenzialbewertung von Insekten als Nahrungs- und Genussmittel am FAO-Hauptsitz in Rom 2012 wurde definiert, dass ab einem Produktionsvolumen von einer Tonne frischer Insekten pro Tag von industrieller Produktion gesprochen werden kann (van Huis et al., 2013, S. 104). Solche industriellen Produktionssysteme sind bereits im Einsatz, jedoch vorwiegend für die Herstellung von Insekten als Futtermittel für Tiere. Das Unternehmen AgriProtein betreibt beispielsweise eine Standardanlage, die für ein theoretisches Produktionsvolumen von 250 Tonnen Insekten pro Tag ausgelegt ist (AgriProtein, 2018). Das Unternehmen gibt an, bis zu 25 dieser Fabriken pro Jahr in Betrieb nehmen zu wollen. Produktionssysteme, in denen Insekten als Lebensmittel im großen Maßstab hergestellt werden, sind weniger verbreitet, die Produktionstechnologien und -parameter sind jedoch, unabhängig von dem Endprodukt, übertragbar.

## Schlaglicht: Abfälle als Insektenfutter („Waste to Feed“)

Die Diskussion zur Fütterung von Insekten mit organischen Abfällen und Nebenprodukten und zu ihrer anschließenden Verwendung als Futtermittel für Tiere und Fische entstand besonders vor dem Hintergrund, dass global rund ein Drittel aller Lebensmittel weggeworfen werden, also rund 1,3 Milliarden Tonnen pro Jahr (van Huis, 2013). Neben der Reduktion dieser Abfälle kann die Verwendung organischer Abfälle und Nebenprodukte als Futtermittel für die Insektenzucht dazu beitragen, die bislang hohen Kosten für kommerzielles Futter in Insektenproduktionssystemen zu reduzieren (Halloran, Hanboonsong, Roos & Bruun, 2017).

Es gibt einige Insektenarten, die sich besonders gut dazu eignen, organischen Abfall in Kompost umzuwandeln, z. B. die Larven der Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) und der gemeinen Stubenfliege (*Musca domestica*) sowie einige Mehlwurmarten (van Huis, 2013; van Huis & Oonincx, 2017). Je nach Tierart eignen sich jedoch unterschiedliche Nebenprodukte bzw. organische Abfälle für die Züchtung (van Huis & Oonincx, 2017). So entwickeln sich Mehlwürmer besonders gut auf getrockneten organischen Abfallmaterialien von Obst und Gemüse sowie getrockneten Nebenprodukten des Bierbrauens, wohingegen Hausgrillen auf diesen Materialien weniger gut wachsen (van Huis & Oonincx, 2017). Insgesamt scheinen organische Abfälle am geeignetsten für die Aufzucht von Insekten, jedoch müssen für die jeweiligen Arten noch die spezifischen Quellen bestimmt werden (Alexander et al., 2017). Die Nutzung dieser organischen Reststoffe für die Fütterung von Insekten als Futter- oder Lebensmittel ist – infolge der BSE-Krise – jedoch EU-weit rechtlich stark eingeschränkt (vgl. Kapitel 7).

Insgesamt besteht in diesem Feld großer Forschungsbedarf: Einerseits hinsichtlich der Verwendung organischer Abfälle und Nebenprodukte für die Insektenzucht und ihre anschließende Verwendung als Futtermittel für Tiere und Fische (Alexander et al., 2017), andererseits mit Blick auf die ökonomischen und ökologischen Konsequenzen dieser alternativen Futterquelle für Insekten (Halloran et al., 2017).

Die Parameter für die industrielle Produktion von Insekten, z. B. das Lichtniveau, die Temperatur und die Luftfeuchte, variieren von Spezies zu Spezies stark und werden von den Anbietern als Geschäftsgeheimnis streng gehütet. Zu den Merkmalen, die Insektenarten für die Massenproduktion besonders geeignet machen, zählen (van Huis et al., 2013, S. 104):

- ▶ ein schnelles Populationswachstum,
- ▶ ein kurzer Entwicklungszyklus,
- ▶ eine hohe Überlebensrate der geschlüpften Insekten und die hohe Eiablage-Rate,
- ▶ eine hohe Gewichtszunahme pro Tag,
- ▶ eine hohe Umwandlungsrate von Futtermittel in Körpergewicht,
- ▶ die Fähigkeit, auf sehr eng begrenztem Raum zu leben, und
- ▶ eine geringe Anfälligkeit für Krankheiten.

Als Lebensmittel würde sich demnach der Mehlkäfer (*Tenebrio molitor*) – aufgrund des Aussehens im Larvenstadium besser bekannt als Mehlwurm – besonders eignen. Doch auch die industrielle Produktion essbarer Grillen ist vielversprechend, weil auf einem breiten Erfahrungsschatz aus „kleineren Zuchtfarmen“ aufgebaut werden kann.

Abhängig von Insektenart und Lebensstadium können Insekten sehr unterschiedliche Ansprüche an Umweltparameter, Substrate, auf und in denen sie leben, sowie Futterquellen haben. Generell gilt jedoch, dass eine konstante Temperatur und Luftfeuchtigkeit, ein geregeltes Lichtniveau sowie die Versorgung mit Sauerstoff und Abführung von Kohlendioxid und weiteren Stoffwechselgasen maßgeblich für die Gesundheit der Insekten und die Produktivität der Produktionseinheit sind. Zudem müssen Kontaminationen der Produktionseinheit von außen möglichst vermieden werden. Wenn z. B. ein auf einer Agrarfläche ausgetragenes Insektizid durch das Belüftungssystem in die Produktionseinheit eindringen würde, hätte das fatale Folgen. Um dem entgegenzuwirken, bieten sich (Luft-)Filtersysteme an.

Als Futterquelle benötigen Insekten eine auf die Art und das Lebensstadium abgestimmte Diät. Die Verfütterung von Bioabfällen ist generell möglich, häufig aber nur bedingt geeignet, weil die Insekten auf dieser Basis unter Umständen nicht optimal mit Nährstoffen

versorgt werden können. Dies kann sich negativ auf das Wachstum, die Gesundheit und den Proteingehalt der Insekten auswirken. Generell gilt in der EU, dass Insekten für die Lebensmittelproduktion nicht gefüttert werden dürfen mit Catering-Abfällen, Lebensmittelabfällen, die Fleisch oder Fisch enthalten, oder Fäkalien (Meijer & van der Fels-Klerx, 2017).

Die Abfallströme, die bei der industriellen Produktion von Insekten in beträchtlichen Mengen anfallen, müssen adäquat aufbereitet und/oder entsorgt werden, weil sie Umwelt und Menschen gefährden könnten (Kok, 2017). Hierzu gehören z. B. (i) Stoffwechselgase wie Kohlendioxid, (ii) flüchtige Stickstoffverbindungen wie Ammoniak, (iii) Schwefelverbindungen und (iv) organische Stoffe wie Pheromone. Zudem können Stäube auftreten, die kleinste Insektenteile enthalten. Auch bei der Reinigung der Produktionsanlage und des genutzten Equipments, vor allem, um diese von den Exkrementen zu befreien, fallen Abfälle an.

### **Be- und Verarbeitung**

Die grundlegenden Arbeitsschritte der Be- und Verarbeitung von Insekten sind in Rumpold, Bußler, Jäger und Schlüter (2017, S. 320) dargestellt. Die Betrachtung bezieht sich auf im industriellen Maßstab gezüchtete Insekten. Die „schlachtreifen“ Insekten werden entweder durch Hitze oder Kälte getötet und können zu drei Produktgruppen verarbeitet und als solche konsumiert werden: (i) als ganze Insekten (ii) in gemahlener oder pastöser Form und (iii) als Extrakt aus Protein, Fett oder Chitin zur Anreicherung von Lebensmitteln.

### **Konservierung und Trocknung**

Da Speiseinsekten, wie jedes andere Lebensmittel auch, gewisse gesundheitliche Risiken durch Viren, Bakterien, Pilzen und Parasiten bergen können, müssen diese dekontaminiert werden. Mögliche Verfahren zur Dekontamination sind von Rumpold et al. (2017) benannt worden. Hierzu gehören thermische Verfahren, wie Blanchieren, Pasteurisieren und Sterilisieren, oder nichtthermische Verfahren, z. B. die Bestrahlung mit UV-, Elektronen- oder Gammastrahlen. Zudem

können Insekten durch die Behandlung mit elektrischen Pulsen (Pulsed Electric Fields), Plasma oder hohem Druck konserviert werden. Darüber hinaus können Insekten durch Kühlung oder Einfrieren haltbar gemacht werden sowie durch die Reduktion der Wasserkonzentration im Insekt, etwa über Prozesse wie Trocknen, Gefriertrocknen, Salzen und Beizen, durch Räuchern, die Minderung des pH-Wertes oder per Lagerung in einer Atmosphäre mit niedrigem Sauerstoffgehalt.

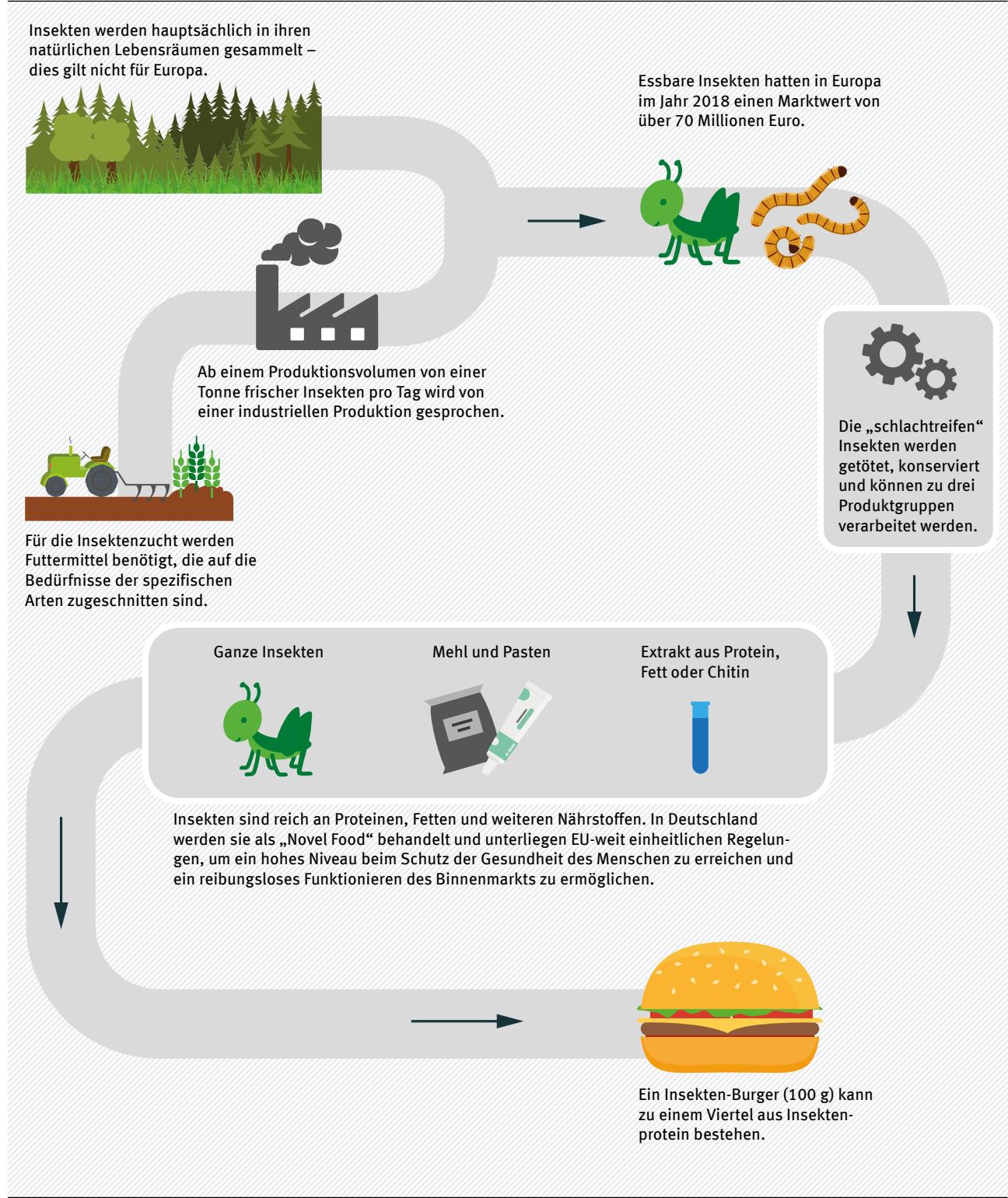
Hierzulande werden bisher keine frischen oder tiefgekühlten Insekten, sondern getrocknete Insekten(-Produkte) angeboten. Bei der thermischen Trocknung von Insekten wird die zu entfernende Feuchte verdunstet oder verdampft. Die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit der Insektentrocknung stand bis dato nicht im Fokus von Wissenschaft und verarbeitender Industrie. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Trocknungsverfahren für Insekten beim Energieverbrauch und bei den Trocknungszeiten sowie der daraus resultierenden Produktqualität optimiert werden können (Rumpold et al., 2017).

Bei der Trocknung können drei wesentliche Teilprozesse unterschieden werden (Schönherr, 2018): (i) die Wärmeübertragung von der Umgebung zum Feuchtgut, (ii) die Phasenumwandlung des Lösungsmittels in einen gasförmigen Zustand und (iii) der Abtransport des Lösungsmitteldampfes. Für die Trocknung von Insekten stehen unterschiedliche Technologien zur Verfügung, die nach der Art der Wärmezufuhr unterschieden werden können: (i) die konvektive Trocknung durch einen heißen Gasstrom, (ii) die Kontakttrocknung durch heiße Flächen und (iii) die Strahlentrocknung, bei der Energie über elektromagnetische Wellen zugeführt wird.

Je nach Ausgangszustand des Feuchtguts oder gewünschtem Zielzustand bieten sich spezifische Trocknungsverfahren an oder deren Kombination. Die Dampfabfuhr erfolgt durch Diffusion in die Umgebungsluft (bzw. Inertgas) oder durch Dampfströmung wie bei der Vakuumtrocknung.

Abbildung 14

### Herstellungsverfahren essbarer Insekten



Quelle: Eigene Darstellung nach Böhm, I. et al. (2017)

Im Kontext des EU-Projektes PROteINSECT wurde ein Konzept entwickelt, um mit Hilfe eines Trommeltrockners eine Tonne Insekten auf einen Feuchtegehalt von 5 % in drei Stunden zu trocknen (Rumpold et al., 2017).

#### ***Herstellung von Mehl oder Pasten***

Um Insekten zu einem Mehl oder einer Paste zu verarbeiten, werden diese mechanisch zerkleinert und/oder gemahlen. Hierfür stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, je nach Ausgangsmaterial und gewünschtem Zielzustand. Zur Herstellung von Grillenmehl aus getrockneten Grillen empfiehlt das Unternehmen Pleasant Hill Grain (Nebraska, USA) die Nutzung einer Scheiben-Schwingmühle, alternativ eines Fleischwolfs oder einer Kaffeemühle für die industrielle Produktion (Rumpold et al., 2017). Es bietet sich ein mehrstufiger Mahlvorgang an, um nach einem ersten groben Mahlgang die stark sklerotisierten Insektenteile – Füße, Flügel etc. – auszusieben. Insekten mit hohem Fettgehalt bedürfen einer besonderen Behandlung, weil ein hoher Fettgehalt die Verarbeitung erschwert, z. B. das Handling des Mahlequipments. Es bietet sich an, das Ausgangsmaterial entweder vor dem Mahlen zu entfetten oder die Insekten im gekühlten bzw. gefrorenen Zustand zu verarbeiten (Rumpold et al., 2017).

#### ***Extraktion von Proteinen und Fetten***

Die Extraktion von Proteinen aus Insekten ist ein geeigneter Weg, um hochkonzentriert Proteine zu gewinnen. Diese können prozessierten Lebensmitteln mit geringem Proteingehalt zugesetzt werden. Das wäre eine Möglichkeit, den „Ekelfaktor“ von Insekten in westlichen Ländern zu umgehen.

Über die Proteinextraktion von Insekten sind bisher nur wenige wissenschaftliche Daten publiziert worden (Rumpold et al., 2017). Proteine können nach ihrer Löslichkeit eingeteilt werden, beispielsweise in wasser-, alkohol- und alkalilösliche Proteine. Für die erfolgreiche Extraktion ist umfassendes Wissen über die Eigenschaften der extrahierten Proteine nötig, u. a. über das Aminosäureprofil, die thermische Stabilität, die Löslichkeit etc. Die industrielle Proteingewinnung aus Pflanzen geschieht in der Regel mit Hilfe der isoelektrischen Fällung. Hierbei wird ein spezifischer pH-Wert eingestellt, an dem das gewünschte Protein aus der Lösung ausfällt (isoelektrischer Punkt). Weitere

Methoden umfassen enzymatische Verfahren zur Gewinnung von Proteinen, die Wirbelschicht-chromatographie sowie die Ultrafiltration. Derzeit ist die Extraktion von Proteinen aus Insekten nicht wirtschaftlich (van Huis et al., 2013, S. 108).

Die Extraktion von Fetten bei der Herstellung von Insektenprodukten, etwa Insektenmehl, reduziert deren „Klebrigkeits“ und verhindert unerwünschte Oxidationsprozesse (van Huis et al., 2013, S. 109). Traditionell wird das gewonnene Fett zum Braten von Fleisch und anderen Lebensmitteln verwendet. Es kann aber auch prozessierten Lebensmitteln zugesetzt werden. Wissenschaftliche Daten über die Fettextraktion aus Insekten sind, wie auch im Falle der Proteinextraktion, wenig publiziert. Für die Extraktion von Fetten aus Insekten können herkömmliche Verfahren adaptiert werden, z. B. mechanische oder Verfahren, die mittels Extraktionslösungsmittern wie Hexan das Fett extra- hieren (Rumpold et al., 2017).

### **4.2.3 Stakeholder**

#### **Wissenschaft und Forschung**

Die wissenschaftliche Community, die ihre Forschungsaktivitäten in Deutschland auf Insekten als Lebensmittel fokussiert, ist klein, aber gut vernetzt und sehr eng mit der Community verknüpft, die sich dem Thema Insekten als Futtermittel widmet. Sie tauscht sich seit 2015 jährlich auf der international ausgelegten Konferenz INSECTA<sup>8</sup> aus und diskutiert aktuelle Forschungsarbeiten u. a. zu den Themen Lebensmittelsicherheit, Produktionssysteme und Zuchtbedingungen, Anwendungen im Bereich Lebensmittel, Futtermittel und weitere Anwendungen.

Auf internationaler Ebene fand 2018 in China die zweite Konferenz „Insects to Feed the World“<sup>9</sup> statt, auf der sich Forscher, Regierungsvertreter und Vertreter des Privatsektors aus dem Lebens- und Futtermittelbereich sowie aus Entwicklungs- und Industrieländern zu allen Aspekten von Insekten als Lebens- und Futtermittel austauschten. Ziel war es, in einen globalen Multi-Stakeholder-Dialog einzutreten, um das Potenzial essbarer Insekten als Lebens- und Futtermittel weiter zu untersuchen. Zwei weitere wichtige Austausch-Plattformen im Kontext Insekten als Lebensmittel sind das „Insectinov“-Meeting

<sup>8</sup> Weitere Informationen verfügbar unter: [www.insecta-conference.com](http://www.insecta-conference.com)  
<sup>9</sup> Weitere Informationen verfügbar unter: <http://ifw2018.csp.escience.cn/dct/page/1>

in Frankreich<sup>10</sup> und die Insect Study Commission der European Association for Animal Production (EAAP)<sup>11</sup> (van Huis, 2017).

Die Konferenzen „INSECTA“ und „Insects to Feed the World“ wie auch weitere Veranstaltungen haben gezeigt: In den vergangenen Jahren haben das forschungsbasierte Wissen sowie die Zahl von Innovationen und Anwendungen in der Industrie zugenommen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Betrachtung der Anzahl international publizierter Fachartikel über essbare Insekten. Payne, Dobermann et al. (2016) haben die aktuelle Forschung zu Insekten als Lebensmittel in Europa in drei Kategorien unterteilt. Aktuelle Studien fokussieren vor allem auf:

- ▶ die (industrielle) Insektenproduktion,
- ▶ die Ernährung und Gesundheit der Konsumenten sowie
- ▶ psychologische, soziale und politische Belange.

Viele Forschungsfragen wurden noch nicht endgültig geklärt, auch weil sich der Sektor essbare Insekten erst seit einigen Jahren zunehmend kommerzialisiert und bislang Mittel für die Finanzierung von Forschungsprojekten fehlen. Van Huis (2017) sieht aktuellen Forschungsbedarf vor allem in den Bereichen:

- ▶ Naturschutzmanagement bei der Entnahme von Insekten aus ihren natürlichen Lebensräumen,
- ▶ Züchtung und Zuchtverfahren,
- ▶ Krankheitsmanagement in (industriellen) Produktionssystemen,
- ▶ Tierwohl (Insect Welfare) im Kontext von Schmerz- und Emotionsempfinden,
- ▶ Lebensmittelsicherheit von Insekten(-produkten),
- ▶ gesundheitliche Vorteile einer insektivoren Ernährung,
- ▶ Verbrauchereinstellungen und Gastronomie sowie
- ▶ profitables (zirkuläres) Wirtschaften (Economy).

Voraussetzung zur Beantwortung aktueller Forschungsfragen ist die Zusammenarbeit zwischen allen beteiligten Akteuren, insbesondere aus dem öffentlichen Sektor, der Wissenschaft und der Privatwirtschaft.

## **Wirtschaftliche Akteure**

In den vergangenen Jahren wurde eine Reihe von Marktstudien über essbare Insekten publiziert, die auf das Wachstumspotenzial dieses Wirtschaftssektors hinweisen. Van Huis und Tomberlin (2017a, S. 440) haben verschiedene Marktstudien zu essbaren Insekten gegenübergestellt, die den zukünftigen globalen Marktwert auf 0,52 Mrd. US-Dollar (Betrachtungszeitraum 2016 – 2023) bis 1,5 Mrd. US-Dollar (Betrachtungszeitraum 2016 – 2021) abschätzen. Auch die Statista GmbH, ein deutsches Online-Portal für Statistik, hat sich diesem Thema in einem umfassenden Dossier gewidmet (Statista GmbH, 2018a): Der Anstieg des globalen Marktwerts essbarer Insekten wird von 0,406 Mrd. im Jahr 2018 auf 1,182 Mrd. US-Dollar für 2023 prognostiziert. In Europa soll sich der Marktwert im gleichen Zeitraum verdreifachen, von 82,1 Mio. (2018) auf 261,5 Mio. US-Dollar 2023; dies entspricht einer Wachstumsrate – Compound Annual Growth Rate (CAGR) – von etwa 26 %. Auf globaler Ebene haben im Jahr 2016 drei Akteursgruppen den Markt für Insekten als Lebens- bzw. Futtermittel unter sich aufgeteilt: Die Lebensmittelindustrie hatte einen Marktanteil von 59 %, die Insektenzüchter einen Marktanteil von 22 % und die Tierfutterhersteller von 19 %.

Die Anzahl aktiver Unternehmen, die Insekten als Lebensmittel züchten oder Lebensmittel-Insekten sowie insektenhaltige Lebensmittel vertreiben, wurde weltweit auf über 150 geschätzt (Taponen, 2018). Für Deutschland konnte nur ein Züchter ausgemacht werden, der nach eigenen Angaben Insekten nicht ausschließlich als Tierfutter, sondern auch als Lebensmittel herstellt, die Bugs-International GmbH (Bugs International, 12.12.19). Ein differenzierteres Bild ergibt sich bei Betrachtung der Akteure der Lebensmittelindustrie. Immer mehr Start-ups bieten auch hierzulande Insekten als Lebensmittel bzw. insektenhaltige Produkte an, u. a. Bearprotein GmbH, Bugfoundation GmbH, Imago Insect Products GmbH, Plumento Foods GmbH, Snack-Insects einschließlich Bug Break, Swarm Nutrition GmbH und Wicked Cricket GbR. Die Produktgruppen reichen von Proteinriegeln und -shakes über Snacks und Süßwaren bis zu Insekten-Pasta oder einem Insekten-Burger; doch auch ganze, getrocknete Insekten werden zum Verzehr angeboten.

<sup>10</sup> Weitere Informationen verfügbar unter: <http://adebiotech.org/ins2/en.ins2.php>

<sup>11</sup> Weitere Informationen verfügbar unter: <http://www.eaat.org/insectsc/>

Die Produkte werden via Internet und neuerdings auch in (Bio-)Supermärkten vertrieben. Die Grundstoffe für die Produkte der deutschen Anbieter, z. B. das Insektenmehl, werden bislang fast ausschließlich von Insektenzüchtern aus Europa oder dem außereuropäischen Ausland bezogen. Ein Überblick über international agierende Insektenzüchter kann van Huis (2016, S. 14) entnommen werden.

Die International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF)<sup>12</sup> ist eine gemeinnützige Organisation. Sie vertritt die Interessen des Insektenproduktionssektors in der EU gegenüber politischen Entscheidungsträgern der EU, europäischen Interessengruppen und Bürgern. Der 2012 gegründete Verein besteht aktuell aus 46 Mitgliedern, dies vor allem europäische kleine und mittlere Unternehmen.

#### **Verbraucherinnen und Verbraucher**

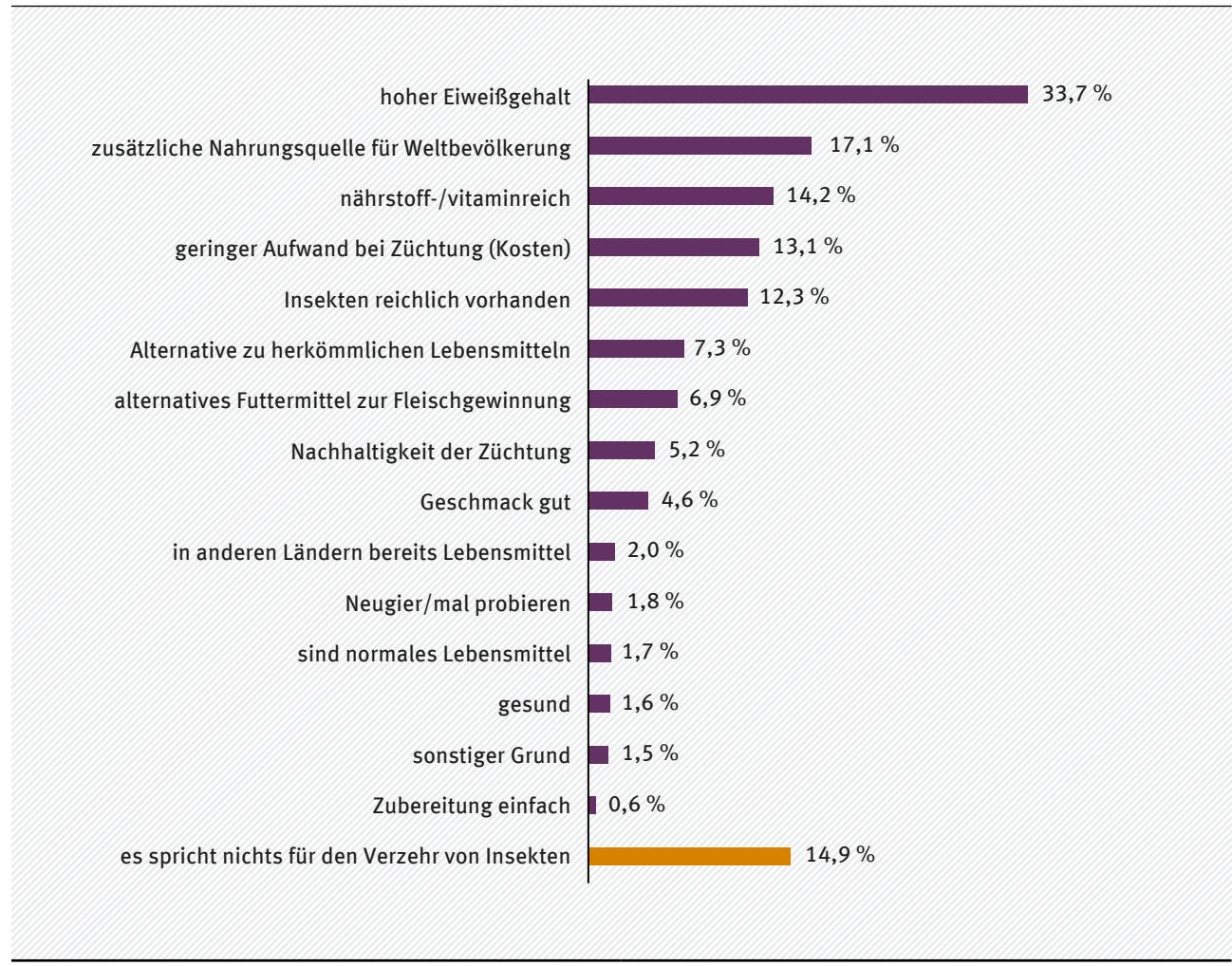
In den tropischen Regionen der Welt, wie Asien, Afrika und Lateinamerika, sind Insekten häufig ein

traditioneller Bestandteil der Ernährung und werden gegenwärtig von mehr als 2,5 Milliarden Menschen konsumiert. Aber auch in den gemäßigten Zonen werden Insekten gegessen, z. B. in China, Japan und Mexiko (van Huis et al., 2013, S. 36). In Deutschland, wie auch im übrigen Europa, zeichnet sich ein differentes Bild ab. Hierzulande gilt der Verzehr von Insekten eher als ekelig.

Ein aktuelles Meinungsbild deutscher Verbraucherinnen und Verbraucher gegenüber Insekten als Lebensmittel wurde von Epp (2016) untersucht. Es wurde gezeigt, dass Insekten 72,3 % der Befragten als Lebensmittel bekannt waren. 29,7 % der Befragten (n = 861) wären bereit, Insekten zu probieren, 10,5 % können sich einen regelmäßigen Verzehr vorstellen. Bereits Insekten probiert hatten 13,9 % aller Befragten (n = 1.000). Für den Verzehr sprach nach Ansicht der Befragten vor allem der hohe Eiweißgehalt und der Nährstoff- und Vitaminreichtum sowie, dass Insekten als zusätzliche



Abbildung 15

**Ergebnisse einer repräsentativen Befragung nach dem Hauptgrund, der für den Verzehr von Insekten spricht**

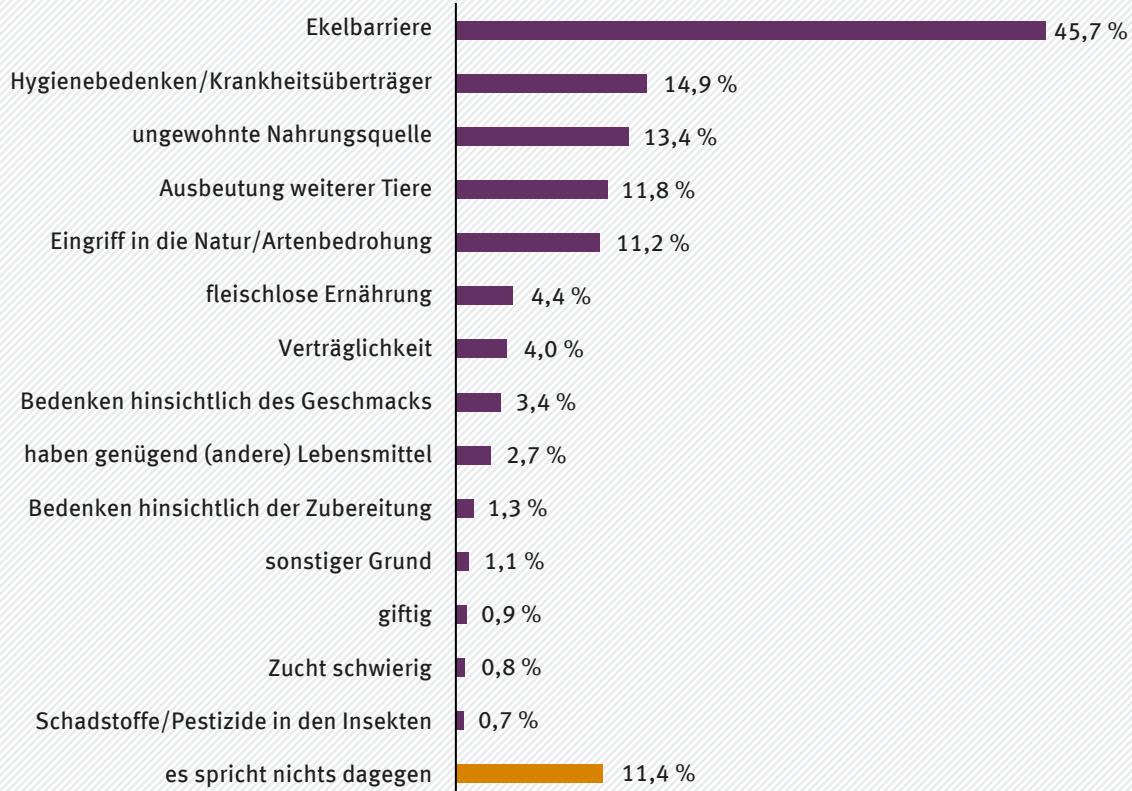
Quelle: Epp (2016)

Nahrungsquelle für die Weltbevölkerung genutzt werden könnten (Abbildung 15). Zudem sei der Aufwand für die Züchtung gering bzw. seien Insekten reichlich vorhanden. Der Hauptgrund gegen einen Verzehr von Insekten ist vor allem der Ekel davor (Abbildung 16). Beinahe 80 % der Befragten gaben an, sich mehr oder weniger stark vor Insekten zu ekeln ( $n = 1.000$ ). Weitere Aspekte, die gegen den Verzehr von Insekten sprächen und von mehr als 10 % der Befragten als Hauptgrund angegeben wurden, sind Bedenken bezüglich der Lebensmittelsicherheit, die Ungewöhnlichkeit von Insekten als Lebensmittel, Bedenken gegen die Ausbeutung neuer Tiere, bezüg-

lich des Artenschutzes und des Eingriffs in die Natur. Eine vergleichende Studie zur aktuellen Akzeptanz von Insekten als Lebensmittel im europäischen Raum zeichnet ein ähnliches Bild (Hartmann & Siegrist, 2017). Ekel wird als größte Hürde für die Einführung von Insekten auf dem westlichen Lebensmittelmarkt eingestuft. Zudem werden Insekten in Europa eher mit Lebensmittelkontaminationen, Gesundheitsrisiken und einer primitiven Ernährung in Verbindung gebracht. Die Bereitschaft, Insekten als Ersatz für Fleisch zu konsumieren, ist sehr gering. Neben einem geringen Einfluss des Geschlechts – Männer scheinen dem Verzehr von Insekten offener gegen-

Abbildung 16

**Ergebnisse einer repräsentativen Befragung nach dem Hauptgrund,  
der gegen den Verzehr von Insekten spricht**



(in % aller Befragten, n = 1.000)

Quelle: Epp (2016)

überzustehen – konnten keine weiteren soziodemografischen Faktoren identifiziert werden, die die Akzeptanz von Insekten als Nahrungsmittel beeinflussen.

Um die Bereitschaft europäischer Verbraucherinnen und Verbraucher zu erhöhen, Insekten zu essen, werden unterschiedliche Strategien vorgeschlagen (Albores, Schäufele & Hamm, 2018; Hartmann, Shi, Giusto & Siegrist, 2015; Hartmann & Siegrist, 2017; Piofczyk, 2018):

- ▶ Informationsaufbereitung und -versorgung bez. Insekten als Lebensmittel, z. B. über die Zubereitung, Sicherheit, Nährwerte etc.;

- ▶ die Durchführung von positiven „Geschmackserlebnissen“ in Restaurants oder auf Veranstaltungen, in deren Rahmen interessierte Konsumenten Insekten verkosten können;
- ▶ die Nutzung verarbeiteter Insektenprodukte, etwa als Insekten-Hackbällchen, in denen das Insekt nicht mehr als solches wahrgenommen wird;
- ▶ die Kombination mit bekannten Trägerprodukten, wie Salat oder Pasta, bzw. mit bekannten Soßen und Geschmacksrichtungen sowie
- ▶ die Nutzung von Insekten, die hierzulande eher positiv besetzt sind und weniger stark Ekelreize auslösen;
- ▶ die Erhöhung der sozialen Akzeptanz, Insekten zu essen.

## 4.3 In-vitro-Fleisch: Ein weiter Weg vom Labor in den Markt

### 4.3.1 Hintergrund und Status quo

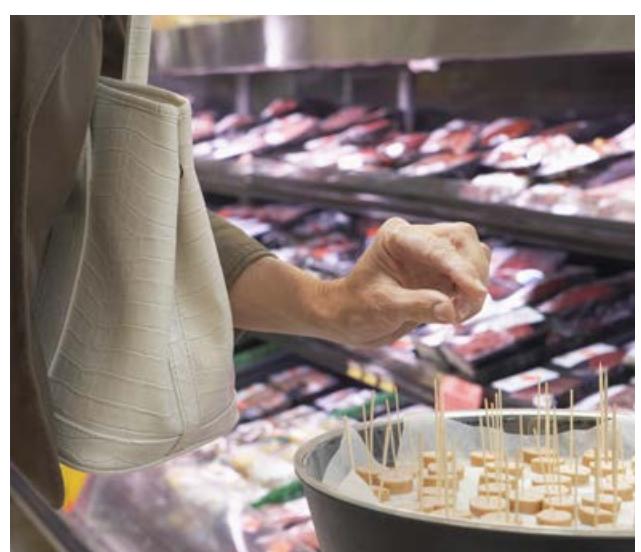
In der medialen Berichterstattung über zukünftige Ernährungstrends nimmt das „In-vitro-Fleisch“<sup>13</sup> (in vitro, lat. für „im Glas“) eine zunehmend bedeutende Rolle ein<sup>14</sup>, auch weil künftige Anbieter, wie die Start-ups Memphis Meats aus den USA (Memphis Meats, 2019) und Mosa Meat (Niederlande) (Mosa Meat, 2019) auf ihren Internet-Auftritten einen Fleischgenuss mit geringeren negativen Umweltwirkungen bei gleichzeitiger Verbesserung des Tierwohls versprechen. Die Herstellung von In-vitro-Fleisch lässt sich deutlich von der Produktion und Verarbeitung von Nutztieren aus konventioneller oder biologischer Landwirtschaft abgrenzen. Das Fleisch wird „in vitro“ mit Hilfe sogenannter Tissue-Engineering-Techniken (tissue, engl. für „Gewebe“) auf Basis von Zellkulturen außerhalb des tierischen Organismus gezüchtet. Die hierfür benötigten Stammzellen können Nutztieren entnommen werden. Um Fleisch aus wenigen Mikrometer großen Zellen herzustellen, werden diese typischerweise auf ein Trägergerüst aufgetragen, in einem Bioreaktor mit einem Nährmedium versorgt sowie ggf. stimuliert, sodass sie sich vermehren (Proliferation) und das gewünschte Gewebe ausbilden – z. B. Fleisch aus Muskelfasern. Tissue Engineering wird bisher vor allem in medizinischen Anwendungen eingesetzt, etwa zur Züchtung von Hautgeweben für Patienten mit großflächigen Verbrennungen oder von Geweben für Toxizitätstests. Die In-vitro-Herstellung von Fleisch durch die Kultivierung von Zellen steckt dagegen in den Anfängen (Bhat, Z. Fayaz, Kumar & Fayaz, 2015; Kadim, Mahgoub, Baqir, Faye & Purchas, 2015; Post, 2012).

Als Vordenker von In-vitro-Fleisch gilt John Burdon Sanderson Haldane, ein britisch-indischer Wissenschaftler, der in seinem 1927 erschienenen Werk Possible Worlds and Other Essays ein Zukunftsszenario beschreibt, in dem das Steak mittels Tissue Engineering hergestellt wird, und der schon damals die Bedeutung des Nährmediums erkannte und in den Mittelpunkt stellte (Haldane, 1927, S. 98). War die Produktion von Fleisch ohne die intensive Nutzung von Tieren vor beinahe hundert Jahren noch eine

Utopie, so gehört In-vitro-Fleisch heute zu den neuesten Trends der Lebensmitteltechnologie. Die erheblichen Investitionen in die jungen Start-ups, z. B. durch Tyson Foods, einem der weltweit größten Fleischproduzenten (Cosgrove, 2018), sind ein Indikator dafür, dass sich In-vitro-Fleisch als eine prägende (sozio-)technische Innovation mit weitreichenden Folgen für Umwelt, Tier und Gesellschaft durchsetzen könnte.

### 4.3.2 Herstellungsverfahren und technologische Reife

Für die Herstellung von In-vitro-Fleisch werden Muskelzellen mittels Tissue Engineering kultiviert (Abbildung 17). Die Grundlage für dieses Fleisch bildet Muskelgewebe, das einem lebenden Spendertier entnommen wird. Anschließend werden die Stammzellen von anderen Zellen separiert, in einem Bioreaktor kultiviert und durch ein Nährmedium mit Nährstoffen etc. versorgt. Der Bioreaktor ist ein Behälter, in dem die Zellen unter optimalen Umgebungsbedingungen kultiviert werden: Hierzu zählen beispielsweise die Temperatur und der Sauerstoffgehalt. Das Nährmedium besteht aus Nährstoffen, Vitaminen und Aminosäuren sowie Wachstumsfaktoren und Hormonen, die für das Wohlergehen der Zellen und deren weitere Entwicklungsphasen eine wichtige Rolle spielen. Fetales Kälberserum (FKS) ist derzeit ein wichtiger „Standard-Bestandteil“ der gängigen Nährmedien für die Zellkultur. FKS wird aus dem Blut von Kuhköpfen gewonnen und beinhaltet verschiedene Proteine und Wachstumsfaktoren.



<sup>13</sup> Im deutschen Sprachraum ist zudem der Terminus „kultiviertes Fleisch“ gängig; im englischen „cultured meat“ und „clean meat“.

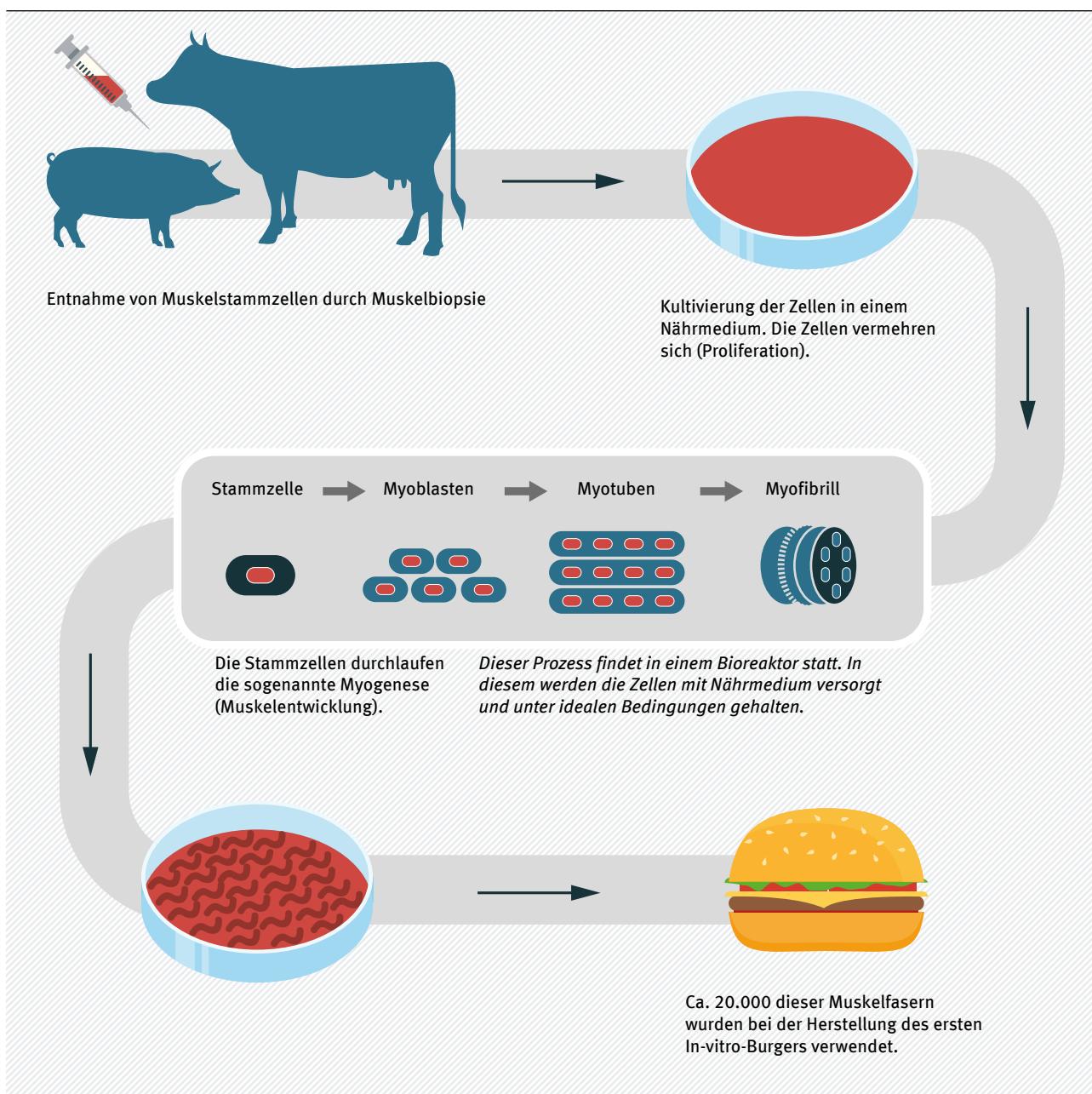
<sup>14</sup> Führende deutsche Tages- und Wochenzeitungen, wie die Onlineausgaben der Zeit, der Süddeutschen Zeitung, der taz oder der FAZ, haben in den vergangenen Jahren diverse Artikel zum Thema publiziert, z. B. Schumann (2018) oder Frankfurter Allgemeine Zeitung [FAZ] (2016); Gurk (2018).

Im Bioreaktor durchlaufen die Stammzellen zwei Phasen: (i) die Proliferationsphase und (ii) die Differenzierungsphase. In der ersten Phase wachsen und vermehren sich die Stammzellen. In der zweiten Phase differenzieren sich die Stammzellen zu Myoblasten, spindelförmigen Vorläuferzellen der Muskelfasern. Die Differenzierung wird durch chemische und physikalische Reize ausgelöst. Die Myoblasten bilden dann mehrkernige Myotuben, welche sich wiederum zu Muskelfibrillen (Muskelfasern) entwickeln.

Diese werden auf einem Trägergerüst zum Wachsen angeregt. Anschließend werden die einzeln erzeugten Lagen an Muskelfibrillen „geerntet“. Aus diesen dünnen Gewebebeschichten kann z. B. ein hackähnliches Fleischprodukt hergestellt werden. Um „natürlichen“ Fleischgeschmack zu erzeugen, sollten dem Muskelgewebe zudem Fettzellen hinzugefügt werden. Diese können auch in einer In-vitro-Kultur produziert werden.

Abbildung 17

### Herstellungsverfahren In-vitro-Fleisch



Quelle: Böhm, I. et al. (2017)

Aktuell ist die kleinskalige Produktion von In-vitro-Fleisch bereits möglich, es existieren jedoch noch keine Verfahren für die industrielle Produktion. Zur Herstellung von In-vitro-Fleisch in großem Maßstab sind noch verschiedene technische, und für den Prozess preisbestimmende, Herausforderungen anzugehen und zu lösen. Zu den maßgeblichen Herausforderungen zählen: (i) die Identifizierung geeigneter Zelllinien, (ii) die Entwicklung eines kostengünstigen Nährmediums ohne tierische Bestandteile spezifisch für die Herstellung von In-vitro-Fleisch, (iii) der Aufbau von Bioreaktoren für eine großskalige Produktion und (iv) die Optimierung und Entwicklung von Trägergerüsten für die Herstellung von In-vitro-Fleisch (Bhat, Z. Fayaz et al., 2015; Hocquette, 2016; Post, 2012, 2014).

Die **Identifizierung geeigneter Zellen** zur In-vitro-Fleischherstellung ist ein entscheidender Faktor, um die Produktion zu industrialisieren. Aktuell werden unterschiedliche Ansätze bezüglich der Eignung von Zellarten für die Herstellung von In-vitro-Fleisch untersucht. Die drei bisher erfolgversprechenden Stammzellarten sind: (i) embryonale Stammzellen, (ii) Satellitenzellen und (iii) sogenannte iPS-Zellen (induced pluripotent stem cells, engl. für „induzierte pluripotente Stammzellen“). Bei allen Zellarten handelt es sich um Stammzellen. Für den Herstellungsprozess von In-vitro-Fleisch werden vor allem Satellitenzellen genutzt. Diese lassen sich zu Muskelzellen mit einer hohen Teilungsfähigkeit ausbilden.

Bisher gibt es zwei mögliche Quellen für Zellen zur Produktion von In-vitro-Fleisch: primäre Zellen, die direkt dem (Muskel-)Gewebe eines Nutzters – ggf. auch aus einer kleinen Tierherde – entnommen und kultiviert werden (Primärkultur) sowie immortalisierte Zelllinien, die sich im Unterschied zu primären Zellen theoretisch unbegrenzt vermehren lassen (Rambour et al., 2014). Die Immortalisierung kann durch die selektive Auswahl spontaner Mutationen oder durch die gezielte Veränderung der Zellen mit Hilfe von Proteinen, Genen, Viren etc. erreicht werden.

Eine weitere Herausforderung ist die Entwicklung eines für die industrielle Produktion von In-vitro-Fleisch geeigneten **Nährmediums** zur Versorgung der Zellen. Standard-Zellkulturmedien enthalten anorganische und organische Komponenten einschließlich Kohlenhydraten, Aminosäuren und Vitaminen, die erforderlich sind, um die Lebensfähigkeit der

Zellen in der kultivierten Zellpopulation aufrechtzuhalten (Arora, 2013). Bisher bestimmt der Preis des Nährmediums maßgeblich die Produktionskosten von In-vitro-Fleisch. Zudem ist das üblicherweise in Nährmedien enthaltene fetale Kälberserum (FKS) ein kritischer Inhaltsstoff. Abhängig vom Gesundheitszustand und den Haltungsbedingungen der Mutterkühe, kann das FKS übertragbare Krankheitserreger enthalten (Girón-Calle et al., 2008, Brunner et al., 2010). Hinzu kommen gravierende tierethische Aspekte: Das Serum wird mittels einer Kanüle aus den Herzen lebender Kälberföten entnommen, was sehr wahrscheinlich mit starken Schmerzen verbunden ist. Innovatoren möchten deshalb In-vitro-Fleisch ohne die Verwendung tierischer Komponenten im Nährmedium herstellen. Schon heute kann FKS durch alternative Zusätze ersetzt werden, z. B. durch Ultroser-G (Pall Corporation, 2019); auch gebrauchsfertige, serumfreie Nährmedien für die Zellkultur wie AIM-V sind erhältlich (Thermo Fisher Scientific, 2019). Diese Alternativen eignen sich bisher jedoch nicht optimal für die Herstellung von In-vitro-Fleisch.

Ein weiterer kritischer Faktor ist die gängige Praxis, Zellkulturen Antibiotika zuzusetzen, um eine Infektion der Zellkultur zu verhindern (Stephens et al., 2018). Wenn die Kultur unter sterilen Bedingungen gehalten wird, kann jedoch auf die Zugabe von Antibiotika verzichtet werden.

Zudem sind die aktuell erhältlichen **Bioreaktoren** für Tissue-Engineering-Anwendungen nicht auf eine Massenproduktion von In-vitro-Fleisch ausgelegt (Stephens et al., 2018). Bisher werden Bioreaktoren für Tissue-Engineering-Anwendungen vor allem im wissenschaftlichen und klinischen Umfeld genutzt. Sie regeln Umgebungsparameter wie die Temperatur, den CO<sub>2</sub>-Gehalt, die Luftfeuchtigkeit und ggf. die konstante Versorgung der Zellkultur mit Nährmedien. Aktuell sind Bioreaktoren wenig automatisiert und Konzepte, beispielsweise zum Recycling von Nährmedien, noch nicht umgesetzt.

Bei der Herstellung von In-vitro-Fleisch werden die Zellen auf ein **Trägergerüst** aufgetragen, das ihnen eine Stützstruktur bietet, während sie sich differenzieren und zu den gewünschten Zelltypen entwickeln (Muskel, Fett etc.). Für die Herstellung von Muskelzellen werden in der Regel Gerüste aus Kollagen genutzt (Snyman, Goetsch, Myburgh & Niesler, 2013). Kollagene sind Strukturproteine, die z. B. aus den Knochen von Rindern und Schweinen gewonnen werden.

Es gibt jedoch auch hier intensive Forschung, Alternativen zum tierischen Produkt zu finden. So könnten künftig dezellularisierte pflanzliche Zellgerüste genutzt werden. Hierfür werden die pflanzlichen Zellen aus dem Blatt entfernt, sodass in die frei gewordenen Leerstellen Muskelzellen migrieren können.

Grundsätzlich können Trägergerüste aus essbaren, geschmacksneutralen Materialien hergestellt werden – diese würden im Endprodukt zu einem gewissen Teil vorhanden sein – oder aus biologisch abbaubaren Materialien bestehen, welche die Zellen beim Wachstum in ihre zelleigene extrazelluläre Matrix einbauen; diese Matrix ist ein Netzwerk aus Proteinen und Stützstrukturen.

In beiden Fällen muss das Trägergerüst ausreichend porös sein, sodass die Zellen mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt und Ausscheidungen der Zellen abtransportiert werden können. Die Herstellung dreidimensionaler Trägergerüste, die dies leisten können, ist bis heute eine Herausforderung. Muskelgewebe können aktuell nur in einer Stärke von wenigen Mikrometern hergestellt werden. Werden viele dieser „Gewebechnipsel“ zusammengebracht, kann zwar ein In-vitro-Fleischhack hergestellt werden, ein Steak jedoch nicht. Hierfür wäre die Entwicklung komplexerer Trägergerüste erforderlich (Stephens et al., 2018). Bio-printing ist ein vielversprechendes 3D-Druckverfahren, um solch hochporöse Trägergerüste herzustellen, in denen ein künstliches Blutgefäßsystem integriert ist, um Zellen im dreidimensionalen Raum zu versorgen.

### Schlaglicht: Marktfähigkeit durch Kooperation

Bevor In-vitro-Fleisch zu marktfähigen Preisen in den Verkauf kommen kann, müssen verschiedene technische Hürden überwunden werden. Hierbei stehen die relevanten Start-ups vor großen Herausforderungen, denn es gilt, Schlüss 技术 in den Bereichen (i) Zelllinien, (ii) Nährmedien, (iii) Bioreaktoren und (iv) Trägergerüste weiterzuentwickeln, um eine Produktion im industriellen Maßstab zu ermöglichen. In der Kooperation von Unternehmen und Forschungseinrichtungen liegen große Potenziale, um die komplexen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben erfolgreich zu bewältigen. In Deutschland wäre die Biotechnologiebranche ein geeigneter Partner. Diese ist hierzulande sehr breit aufgestellt und es böte sich an, die Herausforderungen zur Herstellung von In-vitro-Fleisch gemeinsam anzugehen, beispielsweise in den Biotechnologiebereichen Gesundheit und Medizin sowie Agrar- und industrielle Produktion. Im Jahr 2017 gab es in Deutschland über 646 Biotechnologieunternehmen mit 21.860 Mitarbeitern, die einen Umsatz von 4,105 Mrd. Euro erwirtschafteten. Die Innovationsfreudigkeit dieser Unternehmen spiegelt sich in den jährlichen Investitionen für Forschung und Entwicklung wider: Im Jahr 2017 betrugen diese 1,117 Mrd. Euro (Biocom, 2018).

#### 4.3.3 Stakeholder

##### Wissenschaft und Forschung

Anfang der 1950er-Jahre begann der Niederländer Willem van Eelen, sich für die Idee einzusetzen, Fleisch auf Basis von Zellkulturen herzustellen. Die Stammzellforschung und die Methoden des Tissue Engineering steckten zu dieser Zeit noch in den frühen Anfängen. Es dauerte fast fünfzig Jahre, bis Willem van Elen und Kollegen das erste Patent zur Herstellung von In-vitro-Fleisch anmeldeten (Bhat, Z. Fayaz & Fayaz, 2011, S. 127). Anfang der 2000er-Jahre waren die technischen Möglichkeiten so weit entwickelt, dass verschiedene wissenschaftliche Arbeitsgruppen erste Publikationen zu erfolgreich hergestelltem, verzehrbarem In-vitro-Fisch bzw. -Fleisch veröffentlichten, so Benjaminsen, Gilchrist und Lorenz (2002) oder Edelman, McFarland, Mironov und Matheny (2005). Die Vorstellung des ersten verzehrfähigen In-vitro-Fleischburgers von Marc Post im Jahr 2013 – dieser wurde im Rahmen eines universitären Forschungsprojektes hergestellt – gilt als der Beginn einer Gründungsbewegung verschiedener Start-ups rund um das Thema In-vitro-Fleisch. Im akademischen Kontext kam es demgegenüber aber zu keiner vergleichbaren Bewegung. Es scheint vielmehr, dass sich mittlerweile die entwicklungsnahen Forschungsaktivitäten vor allem in den neu gegründeten Start-ups abspielen, weniger im universitären Kontext.



Ein wichtiger Akteur, der Forschungsprojekte fördert sowie Wissenschaft und Industrie miteinander vernetzt, ist New Harvest<sup>15</sup>, eine gemeinnützige Organisation, die seit 2004 auf dem Gebiet der zellulären Landwirtschaft aktiv ist, wozu auch die Herstellung von In-vitro-Fleisch gezählt werden kann. Seit 2016 veranstaltet New Harvest eine jährlich stattfindende Konferenz, auf der sich Industrie und Wissenschaft austauschen.

Ein weiterer Akteur mit ähnlichem Profil ist das Good Food Institute<sup>16</sup>, welches sowohl auf In-vitro-Fleisch als auch pflanzenbasierte Fleischalternativen fokussiert. Die Good Food Conference der Organisation ist eine weitere wichtige internationale Konferenz, die sich neben pflanzenbasierten Fleischalternativen auch dem Thema In-vitro-Fleisch widmet, mit dem Ziel, dessen Kommerzialisierung voranzutreiben. Sie ist eine wichtige Plattform für industriennahe Forschung und Entwicklung.

### **Wirtschaftliche Akteure**

Im Jahr 2013 wurde der erste verzehrfähige Burger, der von Mark Post an der Universität Maastricht hergestellt wurde, in London vor einem öffentlichen Publikum zubereitet und verkostet (Maastricht University, 2013; Schadwinkel, 2013). Die anschließende Diskussion während der Veranstaltung und die Berichterstattung über den PR-Event verhalfen dem Thema In-vitro-Fleisch zu großer medialer Aufmerksamkeit. Drei

Jahre später folgte das Start-up Memphis Meats mit einem In-vitro-Fleischbällchen (Memphis Meats [Youtube], 2016), und 2017 wurden in vitro hergestelltes Hähnchenschnitzel und Entenbrust medienwirksam verköstigt (Youtube, 2017).

Während der erste Burger 2013 noch 250.000 Euro Entwicklungskosten verursachte (Szentpétery-Kessler, 2018), konnte Memphis Meats 2016 die Herstellungskosten für das Pfund In-vitro-Burgerpatty bereits auf 18.000 Dollar und 2018 auf 4.000 Dollar reduzieren (Forbes, 2018; Szentpétery-Kessler, 2018). Der Gründer von Memphis Meats, Uma Valerti, geht davon aus, die Herstellungskosten bis 2021 stark senken und ein erstes Produkt am Markt anbieten zu können (Szentpétery-Kessler, 2018). Eine ähnliche Einschätzung gibt Mark Post, der das Start-up Mosa Meat gegründet hat; dieses möchte ebenfalls bis 2021 In-vitro-Fleischprodukte anbieten können. Mosa Meat schätzt, dass es weitere drei bis vier Jahre dauern wird, bis der Preis auf ein Niveau sinkt, welches für ein größeres Publikum akzeptabel ist (Fernández, 2017). Als erster Abnehmer käme die hochpreisige Restaurant-Spitzenküche in Frage, schätzt Memphis Meats-Gründer Valerti (Szentpétery-Kessler, 2018).

In-vitro-Fleisch ist gegenwärtig nicht am Markt erhältlich. Das Marktforschungsunternehmen Markets and Markets schätzt dennoch den Marktwert für kultiviertes Fleisch im Jahr 2021 auf 15,5 Mio. US-Dollar und prognostiziert einen Anstieg auf 20 Mio. US-Dollar bis 2027 (Markets and Markets, 2019). In dieser Marktstudie werden steigende Nachfrage nach alternativen Fleischproteinen, wachsende Bedenken hinsichtlich der Lebensmittelsicherheit von herkömmlichem Fleisch und der technologische Fortschritt in der zellulären Landwirtschaft als Markttreiber benannt.

Aktuell beschäftigen sich vor allem Unternehmen aus den USA, den Niederlanden, Israel und Japan mit der Herstellung von In-vitro-Fleisch. Hierbei ist zu beobachten, dass sich die Start-up-Landschaft zunehmend diversifiziert und neben In-vitro-Fleisch mittlerweile auch In-vitro-Fisch in den Fokus der Unternehmen gerückt ist.

<sup>15</sup> Weitere Informationen verfügbar unter: <https://www.new-harvest.org>

<sup>16</sup> Weitere Informationen verfügbar unter: <https://www.gfi.org>

### Verbraucherinnen und Verbraucher

Bisher ist In-vitro-Fleisch nicht im Handel erhältlich, wurde aber schon auf verschiedenen „Tastings“ verkostet, die von den Produzenten öffentlichkeitswirksam inszeniert wurden. In aktuellen Studien über die Akzeptanz von In-vitro-Fleisch werden also Verbraucherinnen und Verbraucher zu einem Produkt befragt, welches sie in der Regel nicht kennen und deren Herstellungsprozess ihnen weitestgehend unbekannt ist. In den meisten der Studien wird über eine breite Spanne an Rückmeldungen berichtet, die von positiven bis negativen Einstellungen gegenüber In-vitro-Fleisch reichen (Bryant & Barnett, 2018; Stephens et al., 2018).

In Deutschland ist In-vitro-Fleisch einer Mehrheit der Gesellschaft noch unbekannt. Das zeigt die im Rahmen der Umweltbewusstseinsstudie 2018 durchgeführte repräsentative Umfrage von BMU und UBA (2019). Demnach hatten 38 % der Befragten schon einmal von In-vitro-Fleisch gehört oder gelesen, 60 % verneinten dies und 2 % waren sich unsicher ( $n = 2.021$ ) (vgl. Abbildung 18).

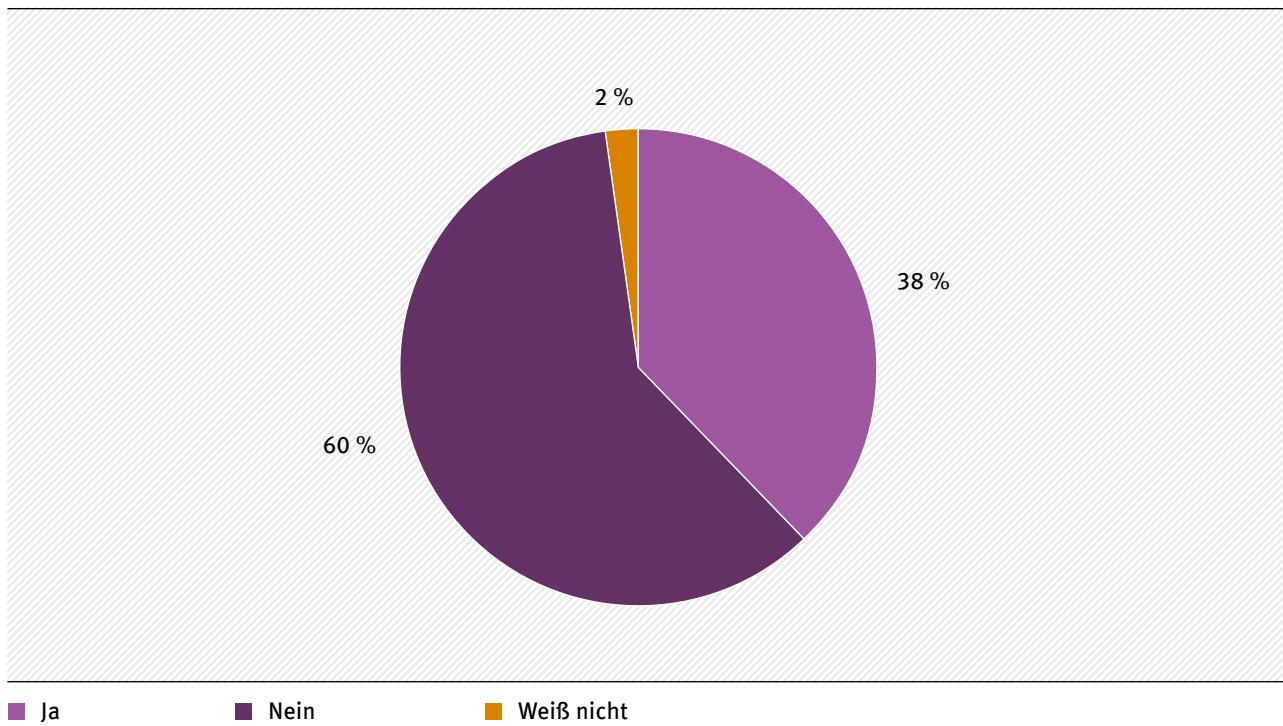
Von den Befragten hielt etwa ein Drittel In-vitro-Fleisch für einen guten Ersatz zu herkömmlichem Fleisch, 27 % würden es auch probieren. Gegenüber In-vitro-Fleisch eher negativ eingestellt waren 59 %: Für 29 % käme In-vitro-Fleisch für ihre Ernährung nicht in Frage, 30 % sind eher skeptisch eingestellt.

Faktoren, die die Akzeptanz der Einführung und/oder des Konsums von In-vitro-Fleisch bestimmen können, haben Bryant und Barnett (2018) in ihrem Review auf Basis wissenschaftlicher Fachartikel zusammengefasst:

- ▶ Hiernach sind die persönliche Einstellung und gesellschaftliche Bedenken zwei Hauptfaktoren, die zu generellen Einwänden gegenüber In-vitro-Fleisch führen. In-vitro-Fleisch wird vor allem als „unnatürlich“ angesehen, wobei in diesem ideologischen Kontext das „Natürliche“ als gut und gesund, das „Unnatürliche“ dagegen als schlecht und risikoreich konstruiert wird. Weitere Bedenken gibt es gegenüber der Lebensmittelsicherheit und Gesundheit.

Abbildung 18

### Abfrage des Kenntnisstandes zu In-vitro-Fleisch in Deutschland



- ▶ Ein Einwand gegen In-vitro-Fleisch ist z. B. die Annahme, der Nährwert von In-vitro-Fleisch sei geringer als bei herkömmlichem Fleisch. Zudem nehmen viele Konsumenten an, dass auch Geschmack, Textur und das Aussehen von In-vitro-Fleisch schlechter als bei herkömmlichem Fleisch seien. Zu den sozialen und gesellschaftlichen Bedenken gehört u. a., die Markteinführung von In-vitro-Fleisch könne aus Wettbewerbsgründen einen negativen Einfluss auf traditionelle Landwirte haben. Zweifel und Unsicherheit bestehen zudem darüber, ob die Produktion von In-vitro-Fleisch im großen Maßstab technisch umsetzbar sei und dessen Regulierung verbrauchergerecht umgesetzt werde, vor allem in den Feldern Lebensmittelsicherheit, transparente Kennzeichnung sowie Marketing. Eine unzureichende Kennzeichnung könnte beispielsweise zu versehentlichem Verzehr von In-vitro-Fleisch führen.
- ▶ Ein verbessertes Tierwohl und umweltschonendere Fleischproduktion gehören zu den am häufigsten genannten Vorteilen von In-vitro-Fleisch. In der Regel schätzen Konsumenten, dass durch die Einführung von In-vitro-Fleisch die aktuellen Tierwohl-Standards verbessert würden und die Anzahl „glücklicher“ (Nutz-)Tiere nicht reduziert werden würde. Zudem wird in der Regel angenommen, dass In-vitro-Fleisch nachhaltiger als herkömmliches Fleisch ist, vor allem in Bezug auf Treibhausgasemissionen; obwohl einige Konsumenten durchaus annehmen, dass die Produktion von In-vitro-Fleisch energieintensiv ist. Einige Studien zeigen zudem, dass Konsumenten Vorteile für die öffentliche Gesundheit erwarten, besonders durch die Möglichkeit, Fleisch mit einem geringen Fettgehalt herzustellen bzw. Zoonosen zu verhindern.

### Schlaglicht: Dynamische Entwicklung der Investitionen in Start-ups

Die Start-up-Szene im Bereich In-vitro-Fleisch entwickelt sich sehr dynamisch. Bis Ende 2018 wurden weltweit 27 Start-ups gegründet, die zukünftig In-vitro-Fleisch und/oder In-vitro-Fisch herstellen wollen. Hiervon wurden elf Unternehmen im Jahr 2018 gegründet (Cameron & O'Neill, 2019). Von den 27 Unternehmen gaben 15 an, dass sie Mittel bei externen Finanzierungsgründen akquirieren konnten. Die extern finanzierten Start-ups kommen aus den USA (8), Israel (3), den Niederlanden (2) sowie je eins aus Spanien und Japan. Insgesamt wurden 73,3 Millionen US-Dollar zwischen 2015 und 2018 in In-vitro-Fleisch-Unternehmen investiert; 50 Millionen US-Dollar davon allein im Jahr 2018 (Cameron & O'Neill, 2019). Die jährlichen Investitionen nehmen seit 2015 stark zu. Von 2017 bis 2018 sind die Investitionen in die Start-ups um 169 % angestiegen.

- ▶ In mehrere Studien wurde darüber hinaus berichtet, dass die Befragten davon ausgehen, eine Einführung von In-vitro-Fleisch am Markt würde es „den Armen“ weltweit ermöglichen, sich Fleisch zu leisten.

## 5 Zukünftige Tendentwicklung: Fleisch der Zukunft

Bereits bei der Darstellung der Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 3.3) wurde deutlich, dass Entwicklungen gemeinsam betrachtet werden, zwischen denen vielfältige Wechselbeziehungen bestehen. Daraus ergeben sich eine ganze Reihe treibender oder bremsender Faktoren, die wiederum die künftigen Entwicklungen von Fleischalternativen beeinflussen. Das darzustellende Gesamtbild Fleisch der Zukunft ist also von hoher Komplexität gekennzeichnet.

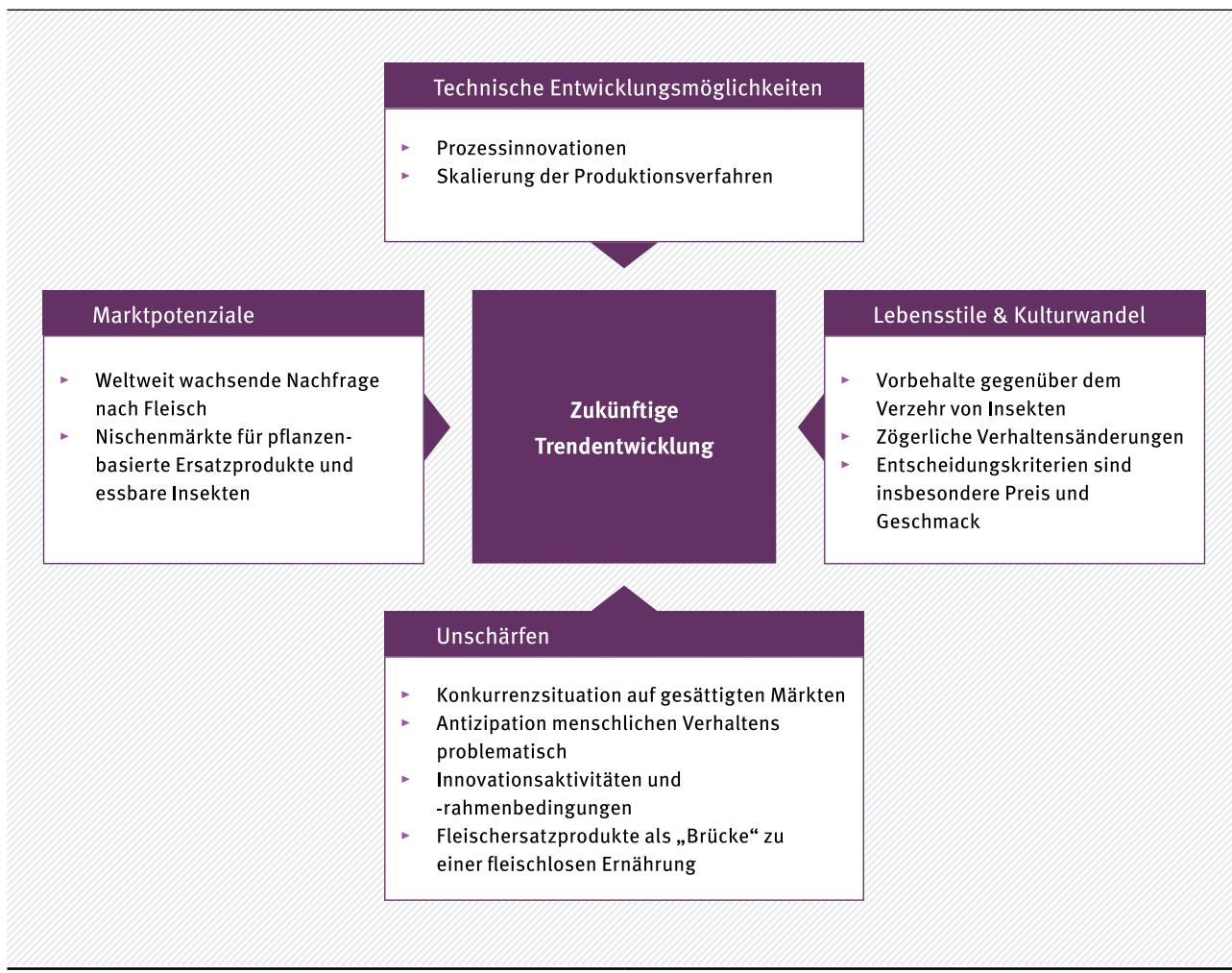
Auch weisen die bislang aufgezeigten Schlaglichter auf mögliche Wende- oder Bruchpunkte in einer

zukünftigen Tendentwicklung hin. Eine Beschreibung der zukünftigen Tendentwicklung als Ausgangspunkt für die Bewertung möglicher Umweltwirkungen wird also immer auch von Unschärifen gekennzeichnet sein – und ein Gesamtbild vom Fleisch der Zukunft geprägt von zahlreichen Unsicherheiten.

Dementsprechend lassen sich zukünftige Entwicklungen skizzieren, die zwar hinsichtlich der denkbaren Komplexität stark vereinfacht sind, jedoch für die weitere Analyse negativer und positiver Umwelteffekte eine hinreichend genaue Grundlage bieten.

Abbildung 19

### Treiber, Barrieren und Unschärfen einer zukünftigen Tendentwicklung



Quelle: Eigene Darstellung

## 5.1 Treiber und Barrieren

Alle drei Entwicklungen werden hinsichtlich ihrer jeweiligen Entwicklungsrichtung und -dynamik von treibenden und hemmenden Faktoren beeinflusst. Vereinzelt ist bereits angeklungen, an welchen Stellen Treiber und Barrieren bestehen. Bestimmte Faktoren betreffen alle drei Alternativen. Es gibt jedoch auch charakteristische Faktoren, die nur einzelne Alternativen beeinflussen.

### Bei allen drei Alternativen bestehen Innovationspotenziale durch technische Entwicklungsmöglichkeiten

- ▶ Durch Prozessinnovationen kann es immer besser gelingen, Fleisch durch pflanzenbasierte Ersatzprodukte zu imitieren und dabei ein vergleichbares Geschmackserlebnis zu bieten. Diese Innovationen werden einerseits durch eine Verbesserung im Herstellungsprozess erzielt, andererseits aber auch durch neue Kombinationen der verwendeten Inhaltsstoffe, die etwa mittels KI-Verfahren entwickelt werden. Prozessinnovationen treiben künftig die Entstehung insbesondere pflanzenbasierter Ersatzprodukte an.
- ▶ Für alle drei Alternativen besteht die Hürde, die Produktion zu skalieren, also größere Mengen an Zwischen- und Endprodukten herstellen zu können. Die Skalierbarkeit ist dabei einerseits von der Verfügbarkeit der notwendigen Rohstoffe abhängig, z. B. Pflanzenextrakte, Insekten und Stammzellen, sowie von Ressourcen wie Energie, Wasser, Anbauflächen, Futtermittel etc. Vor allem für In-vitro-Fleisch ist die Frage ungelöst, ob geeignete Nährmedien verfügbar sind. Die Skalierbarkeit ist andererseits auch von ökonomischen und ökologischen Faktoren abhängig. In ökonomischer Hinsicht muss die Skalierung der Produktion dazu führen, dass Hersteller wettbewerbsfähige Preise erzielen können. Speziell für In-vitro-Fleisch ist bislang keine kostengünstige Alternative für das fetale Kälberserum in Sicht. Eine ökologisch nachhaltige Skalierung der Produktion ist unter anderem davon abhängig, aus welchen Quellen Energie- und Rohstoffbedarfe gedeckt werden

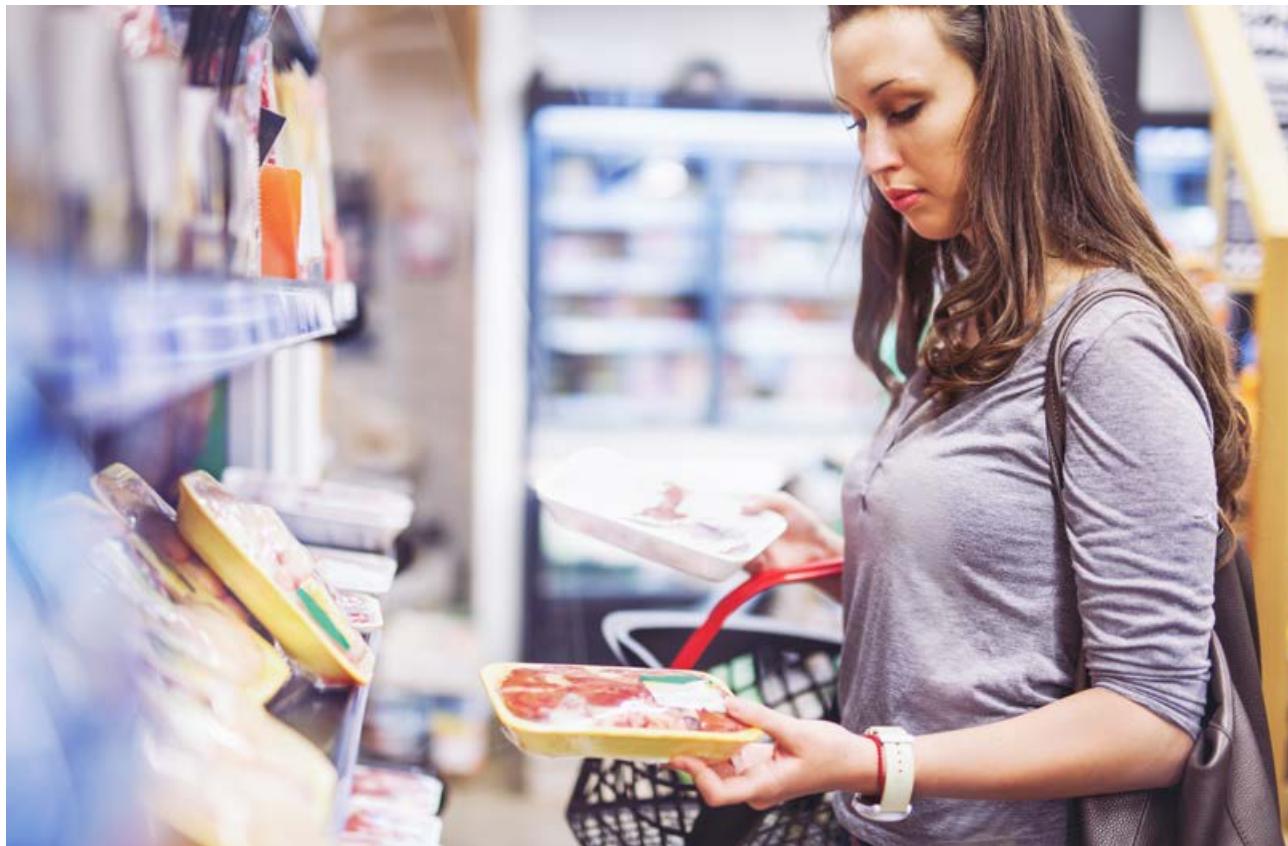
können. Bei pflanzenbasierten Alternativen stellt sich z. B. die Frage, welche pflanzlichen Proteinquellen hauptsächlich zum Einsatz kommen und wo bzw. unter welchen Bedingungen diese Rohstoffe angebaut werden.

### Im Vergleich zum globalen Fleischmarkt weisen Alternativprodukte aktuell nur begrenzte Marktpotenziale auf

- ▶ Abhängig von der Entwicklung der Haupttreiber Bevölkerungswachstum und Steigerung der Kaufkraft, ist die Annahme einer weltweit steigenden Fleischnachfrage in den nächsten Jahrzehnten plausibel. Die entsprechende Ausweitung der Fleischproduktion ist also denkbar. Ob daher Fleischersatzprodukte ihre bisherigen Nischen verlassen und zu einem Massenmarkt werden können, ist fraglich. Zudem entstehen bei einem Rückgang der heimischen Nachfrage für inländische Fleischproduzenten wirtschaftliche Potenziale durch die Erhöhung des Exports. Ein Anreiz, die Produktion zu reduzieren, ist daher kaum gegeben.
- ▶ Vor allem den Anbietern pflanzenbasierter Ersatzprodukte ist es gelungen, einen Nischenmarkt zu besetzen. Die Gewinnung zusätzlicher Marktanteile, etwa über die Substitution von Fleisch durch Ersatzprodukte, ist am ehesten aufgrund der breiten Palette pflanzenbasierter Ersatzprodukte zu erwarten. Förderlich kann sich hier durchaus auswirken, dass dieses Marktsegment von hoher Dynamik und Attraktivität gekennzeichnet ist. Nicht nur neue Anbieter drängen in den Markt, sondern auch bestehende Hersteller – darunter auch Fleischproduzenten – stärken ihre Marketing- und Vertriebsaktivitäten, um Marktanteile zu gewinnen.

### Etablierte Lebensstile und Konsummuster stehen einem Kulturwandel gegenüber

- ▶ Insbesondere gegenüber dem Verzehr von Insekten, aber auch von In-vitro-Fleisch bestehen hierzulande Vorbehalte und Bedenken bis hin zu Ekel.



Während Vorbehalte und Bedenken beim Verzehr pflanzenbasierter Ersatzprodukte als weitgehend überwunden gelten können, zeigen repräsentative Untersuchungen, dass dies für Insekten und In-vitro-Fleisch noch längst nicht der Fall ist. Die Substitution von Fleisch durch essbare Insekten ist ohne Abbau dieser Bedenken nicht vorstellbar. Da In-vitro-Fleisch noch nicht auf dem Markt ist, sind jedwede Aussagen bezüglich einer Akzeptanz allenfalls hypothetisch. Trotzdem bestehen auch hier Vorbehalte, etwa hinsichtlich möglicher genetischer Manipulation oder gesundheitlicher Risiken.

- ▶ Eine wichtige Rolle bei der Verbreitung von Alternativen zu herkömmlichen Fleischprodukten spielt deren Akzeptanz bei Konsumenten. Befragungen zeigen, dass mit dem Verzehr von Fleischersatzprodukten im Vergleich zu traditionellen Fleischerzeugnissen positive Aspekte assoziiert werden, u. a. Gesundheit, Umwelt, Klima und Tierwohl (Buxel & Auler, 2017). Als notwendig für eine Verhaltensänderung werden dabei unterschiedliche Anreize angesehen, wie etwa Informationen über Produkte und Preisgestaltung, aber auch regulierende Maßnahmen (Heinrich-Böll-Stiftung et al., 2018).
- ▶ Wiederum hemmend auf die Verbreitung von Fleischalternativen wirkt die zögerliche Bereitschaft, das individuelle Konsumverhalten zu ändern. Wenngleich Interesse an alternativen Produkten geäußert wird und auch die Bereitschaft besteht, diese zu probieren, kann weder rückblickend noch vorausschauend eindeutig gezeigt werden, dass sichtbare Verhaltensänderungen erfolgt sind bzw. erfolgen werden. Dies mag damit zusammenhängen, dass vor allem pflanzenbasierte Produkte oft stark verarbeitet sind und nicht zwangsläufig als natürliche Erzeugnisse wahrgenommen werden.

Insgesamt entsteht der Eindruck, dass die hemmenden Faktoren überwiegen, also noch zahlreiche Barrieren zu überwinden sind, ehe in großem Maße Fleischprodukte durch Alternativen ersetzt werden. Jedoch bestehen auch Potenziale, die genutzt werden können. Neben Innovationen im Bereich Herstellungsverfahren sind es vor allem die individuellen Konsum- und Ernährungsverhalten, die maßgeblich die zukünftige Entwicklung der drei Fleischalternativen prägen können.

## 5.2 Unschärfen

Die wechselseitigen Abhängigkeiten der verschiedenen treibenden und hemmenden Einflussfaktoren führen zu Unschärfen, die eine eindeutige Darstellung der zukünftigen Entwicklungsrichtung erschweren. Dazu gehören unter anderem:

- ▶ Konkurrenzsituation: Der Markt für Fleisch- und Ersatzprodukte ist begrenzt, die Anbieter konkurrieren miteinander. Dies ist bereits implizit anhand der Bandbreite der unterschiedlichen, in der Trendbeschreibung zitierten Marktprognosen ersichtlich. Diese Bandbreite erschwert aber auch grundsätzlich die Formulierung einer einheitlichen, diese Wettbewerbssituation berücksichtigenden Annahme einer zukünftigen Marktentwicklung. Zudem können Konsolidierungstendenzen auftreten, wenn Anbieter in Nischen von Marktführern aufgekauft werden, oder Anbieter aufgrund mangelnder Nachfrage bzw. anderer Gründe ihre Geschäftstätigkeit einstellen.
- ▶ Die Änderung menschlichen Verhaltens ist grundsätzlich nur sehr schwer antizipierbar. Wenngleich Untersuchungen zeigen, dass das Interesse der Verbraucherinnen und Verbraucher an pflanzenbasierten Ersatzprodukten oder einer fleischlosen Ernährung zunimmt, so zeigen die Daten zur Marktentwicklung und zum annähernd stagnierenden Fleischkonsum, dass hier allenfalls Verhaltensänderungen im kleinen Maßstab stattfinden. Die dauerhafte Änderung individuellen Konsumverhaltens kann nur dann vermutet werden, wenn sowohl die Bereitschaft zur Verhaltensänderung vorhanden ist als auch die Möglichkeit zur Verhaltensänderung besteht. Gerade die Option, Fleischalternativen zu konsumieren, ist jedoch vom vorhandenen Angebot abhängig. Dies umfasst nicht nur die Verfügbarkeit entsprechender Produkte im Lebensmitteleinzelhandel, sondern auch entsprechende Angebote im Außer-Haus-Verzehr, z. B. in Restaurants, Kantinen etc.
- ▶ Die Weiterentwicklung essbarer Insekten, aber auch von In-vitro-Fleisch, zu marktreifen, nachgefragten Produkten ist einerseits von der Innovationskraft einzelner Akteure abhängig,

andererseits von forschungspolitischen Rahmenbedingungen, mit denen Innovationstätigkeit unterstützt werden kann.

- ▶ Letztlich sind bislang Entwicklungen beschrieben worden, die Alternativen zu Fleischprodukten liefern sollen, von denen viele in der gesellschaftlichen Ess- und Ernährungskultur tief verwurzelt sind. Es ist aber grundsätzlich auch vorstellbar, dass die Alternativprodukte nur eine „Brückenfunktion“ erfüllen, d. h., die Fleischprodukte werden zunächst durch Imitate ersetzt, ehe teilweise oder gänzlich auf solche Imitate und schließlich auf Fleischprodukte verzichtet werden wird.
- ▶ Denkbar ist auch, dass es völlig neue Produkte aus pflanzlichen Proteinen geben wird, mit denen gar nicht erst angestrebt wird, Fleisch zu imitieren, und dass entsprechende Produktkategorien heute noch nicht existieren, sondern erst entwickelt werden müssen. Auch in einem solchen Fall ist die belastbare Beschreibung der zukünftigen Entwicklung insbesondere pflanzenbasierter Fleischersatzprodukte nur sehr schwer möglich.



### 5.3 Gesamtbild Fleisch der Zukunft: Ausgangspunkt für Analyse der Umwelteffekte

Die drei dargestellten Alternativen weisen unterschiedliche Reifegrade hinsichtlich der Leistungsfähigkeit ihrer Produktionsprozesse, ihrer Marktreife und ihrer Akzeptanz bei Verbraucherinnen und Verbrauchern auf. Zudem stehen alle Alternativen potenziell in Konkurrenz zueinander, sodass nicht davon ausgegangen werden kann, dass hier parallele, ggf. zeitverzögerte lineare Entwicklungen stattfinden werden. Komplexe Wechselwirkungen sowie Unschärfen kennzeichnen die zukünftigen Entwicklungsrichtungen und erschweren die Ableitung von Umweltbe- und -entlastungseffekten.

Die Analyse der Umweltbe- und -entlastungseffekte wird daher exemplarisch für einen klar abgegrenzten Untersuchungsgegenstand durchgeführt. Ausgehend von den zu erwartenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Potenzialen, lassen sich die zukünftigen Entwicklungen bis zum Jahr 2030 lediglich nähe-

rungsweise auf Basis der bisherigen Ausführungen beschreiben:

- ▶ Während in Deutschland der durchschnittliche Pro-Kopf-Verzehr von Fleisch mit ca. 60 kg pro Jahr auf einem weiterhin hohen Level stagniert (BLE, 2018b), steigen global Nachfrage und Produktion. Aufgrund des weltweiten Bevölkerungswachstums und veränderter Konsumgewohnheiten in Ländern des globalen Südens wird insgesamt ein starker Nachfragezuwachs nach Nahrung bis zum Jahr 2050 angenommen (Chrappa & Sabo, 1996; FAO, 2017). Ebenso wird erwartet, dass der Anteil tierischer Produkte an der konsumierten Nahrung steigen wird (Bodirsky et al., 2015). **Für die Zukunft kann also angenommen werden, dass der Fleischkonsum ohne entsprechende (Gegen-)Maßnahmen weiterhin hoch bleiben wird. Der deutschen Fleischindustrie bietet sich, zusätzlich zum annähernd konstanten inländischen Absatz, das Potenzial zur Ausweitung des Exportgeschäfts.**



- ▶ Pflanzenbasierte Ersatzprodukte sind bereits etabliert, weisen aber noch Wachstums- und Innovationspotenziale auf. Eine vollständige Imitation des sensorischen Spektrums von Fleisch ist bislang nicht zufriedenstellend gelungen, sodass nicht davon auszugehen ist, dass Verbraucherinnen und Verbraucher vermehrt Fleisch durch pflanzenbasierte Ersatzprodukte substituieren werden. Die breite Bevölkerung wird wohl erst bereit sein, Fleisch zu substituieren, wenn ihnen ein geschmacklich überlegenes, qualitativ hochwertiges und preisgünstigeres Ersatzprodukt angeboten wird. Für die Zukunft kann also angenommen werden, dass pflanzenbasierte Ersatzprodukte die wichtigste Alternative zu Fleisch bleiben werden. Hinsichtlich ihrer Marktanteile werden pflanzenbasierte Ersatzprodukte jedoch auch weiterhin eher ein Nischendasein fristen. Dies vor allem dann, wenn Marktpotenziale ungenutzt bleiben, Produktinnovationen fehlen und Verbraucherinnen wie Verbraucher ihr Konsum- und Ernährungsverhalten nur geringfügig ändern.
  - ▶ Insekten erweisen sich als interessante Alternative, deren Substitutionspotenzial jedoch vor allem durch gesellschaftliche Vorbehalte eingeschränkt wird. Im Vergleich zu Fleisch und pflanzenbasierten Ersatzprodukten ist eine Verbreitung von Produkten mit essbaren Insekten kaum in größerem Maßstab vorstellbar. Zukünftig dürften essbare Insekten also vor allem eine sehr kleine Nische besetzen, die nicht in ernst zunehmender Konkurrenz zu den anderen Alternativen steht.
  - ▶ In-vitro-Fleisch hat als Substitution für Fleisch sicherlich das größte Potenzial, kommt es doch qua Beschaffenheit dem Original am nächsten. Jedoch ist bislang kaum realistisch absehbar, wann die ersten Produkte marktreif sein werden und wie sich dann die Preisentwicklung gestalten wird. Die zukünftige Entwicklung wird maßgeblich davon abhängen, ob die derzeitige Dynamik bei Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gesteigert werden kann. Dadurch könnten in absehbarer Zeit Durchbrüche bei großskaligen Produktionsanlagen, der Verwendung kostengünstiger und ethisch vertretbar erzeugte Rohstoffe und der Vermarktungsfähigkeit von Produkten aus In-vitro-Fleisch gelingen.
- Es erscheint nachvollziehbar, dass ein angestrebtes Zukunftsbild, in dem eine Reduzierung des Fleischkonsums aus ökologischen Gründen gelungen sein wird, an zahlreiche Voraussetzungen geknüpft ist. Als besonders prägend wird geschlussfolgert, dass es bislang nur sehr wenige Anzeichen für einen Wandel gibt, bei dem der Rückgang des Fleischkonsums mit seiner Substitution durch Alternativprodukte einhergeht. Gegenstand der Analyse von Auswirkungen auf die Umwelt ist es daher, nicht nur aufzuzeigen, mit welchen Konsequenzen für die Umwelt der Verbleib auf dem bisherigen Pfad verbunden ist (vgl. Kapitel 6.1), sondern auch, welche Be- und Entlastungseffekte aktuell durch verfügbare Alternativen darstellbar sind (vgl. Kapitel 6.5).

## 6 Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und Tierwohl

Im folgenden Kapitel wird dargestellt, welche Umweltauswirkungen sich durch die Produktion von In-vitro-Fleisch, insektenbasierten Fleischalternativen und pflanzlichen Fleischersatzprodukten ergeben könnten. Dargestellt werden die zentralsten Auswirkungen, mit Fokus auf Klima, Nährstoffeinträgen, Wasser, Landnutzung und Biodiversität in Anlehnung an das Konzept der Planetaren Grenzen (Rockström, Steffen, Noone, Persson & Chapin, 2009)<sup>17</sup>. Für In-vitro-Fleisch wird außerdem zusätzlich noch der Energieverbrauch in einem eigenständigen Abschnitt betrachtet, da dieser in der Forschung besonders stark diskutiert wurde.

Als Vergleichsmaßstab für die Bewertung der Umweltauswirkungen von In-vitro-Fleisch, Insekten und pflanzlichen Fleischersatzprodukten<sup>18</sup> dient die konventionelle Tierproduktion<sup>19</sup>. Außerdem werden ethische Aspekte und Gesundheitswirkungen aufgegriffen.

Um die einzelnen Entwicklungen möglichst konsistent bezüglich ihrer Umweltauswirkungen vergleichen zu können, wurde in der vorliegenden Studie für die Visualisierung sowie für das Fazit die Produktion von 100 g essbarem Fleisch bzw. Fleischersatz als Einheit herangezogen<sup>20</sup>. Verfügbare Daten erlauben so einen einheitlichen und konsistenten Vergleich aller betrachteten Fleischarten. In diesem Bericht wird daher die in der Fachliteratur verwendete funktionale Einheit (Funktionseinheit; FE) von 1 kg essbare Masse hinsichtlich der Umweltwirkungen auf 100 g essbare Masse umgerechnet.

Außerdem wird über das Produkt des „Burger-Bratlings“ eine anschauliche, konsumentennahe Illustration ermöglicht. Die Daten für die grafische Darstellung der Umweltauswirkungen des Burger-Bratlings basieren auf einer Studie von Smetana, Mathys, Knoch und Heinz (2015a), in welcher Umweltwirkungen in den Systemgrenzen von Cradle-to-Plate erhoben wurden, d. h. von der Viehhaltung bis zum Verzehr. Smetana et al. (2015a) vergleichen konsis-



tent alle hier vorgestellten Fleischalternativen mit Geflügel, sodass die Studie als Grundlage für die Überlegungen zu den Umweltwirkungen verwendet wurde. Dabei ist hinsichtlich der Treibhausgas-Emissionen der Insekten zu beachten, dass diese nur auf ersten Beobachtungsdaten beruhen. Um die Zahlen mit Daten anderer Autoren zu konventionellem Fleisch vergleichen zu können, wurde für die nachfolgenden Ausführungen der Anteil an Emissionen für die Zubereitung der Produkte bei den Daten von Smetana et al. (2015a) herausgerechnet (Cradle-to-Plate-Ansatz). Dadurch ist eine bessere Vergleichbarkeit mit dem Gros der Forschungsliteratur gegeben, das überwiegend einen Cradle-to-Gate-Ansatz verwendet, d. h. von der Viehhaltung bis zum Werkstor – z. B. Mattick, Landis, Allenby und Genovese (2015a). Die unterschiedlichen Annahmen wurden jeweils verdeutlicht. Nur so ist es möglich, ein umfassendes Bild der Entwicklungen zu erhalten.

17 Die „planetary boundaries“ (deutsch: planetare Grenzen) beschreiben die ökologischen Grenzen unserer Erde, die es zu wahren gilt, um die Stabilität unseres Ökosystems und unserer Lebensgrundlagen zu garantieren.

18 Hülsenfrüchte und andere unverarbeitete Fleischalternativen wurden für den Bericht nicht betrachtet (siehe Kapitel 3.1).

19 Der Fokus liegt dabei auf Fleisch- und nicht auf Milchproduktion.

20 Alternativ gibt es Ansätze, die als Basis der Ökobilanzierung die Versorgung des Verbrauchers mit einer bestimmten Menge an Proteinen heranziehen, was jedoch nicht den hier angestrebten anschaulichen Vergleich mit einem Burger-Bratling erlauben würde.

## 6.1 Konventionelle Tierproduktion

Der folgende Abschnitt zu konventioneller Tierproduktion soll wichtige Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen der konventionellen Tierproduktion grob skizzieren, um einen besseren Vergleich der Auswirkungen von Fleischersatzprodukten zu ermöglichen. Der Abschnitt dient nicht dazu, das Thema der konventionellen Fleischproduktion vollumfänglich zu behandeln.

### 6.1.1 Aktuell beobachtbare Umweltwirkungen

#### Treibhausgase

Die Tierhaltung<sup>21</sup> trägt weltweit mit über 15 % zu den vom Menschen verursachten Emissionen von Treibhausgasen (THG) und damit zum Klimawandel bei (Steinfeld, 2006). Diese Emissionen setzen sich vorrangig zusammen aus: (i) Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus Brandrodung<sup>22</sup> von Wäldern für Futtermittelanbau und Weideland, (ii) Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) aus dem Einsatz von Düngemitteln zum Futtermittelanbau sowie (iii) Methan (Steinfeld, 2006). Die Methanemissionen spielen bei der Fleischproduktion<sup>23</sup> eine besonders

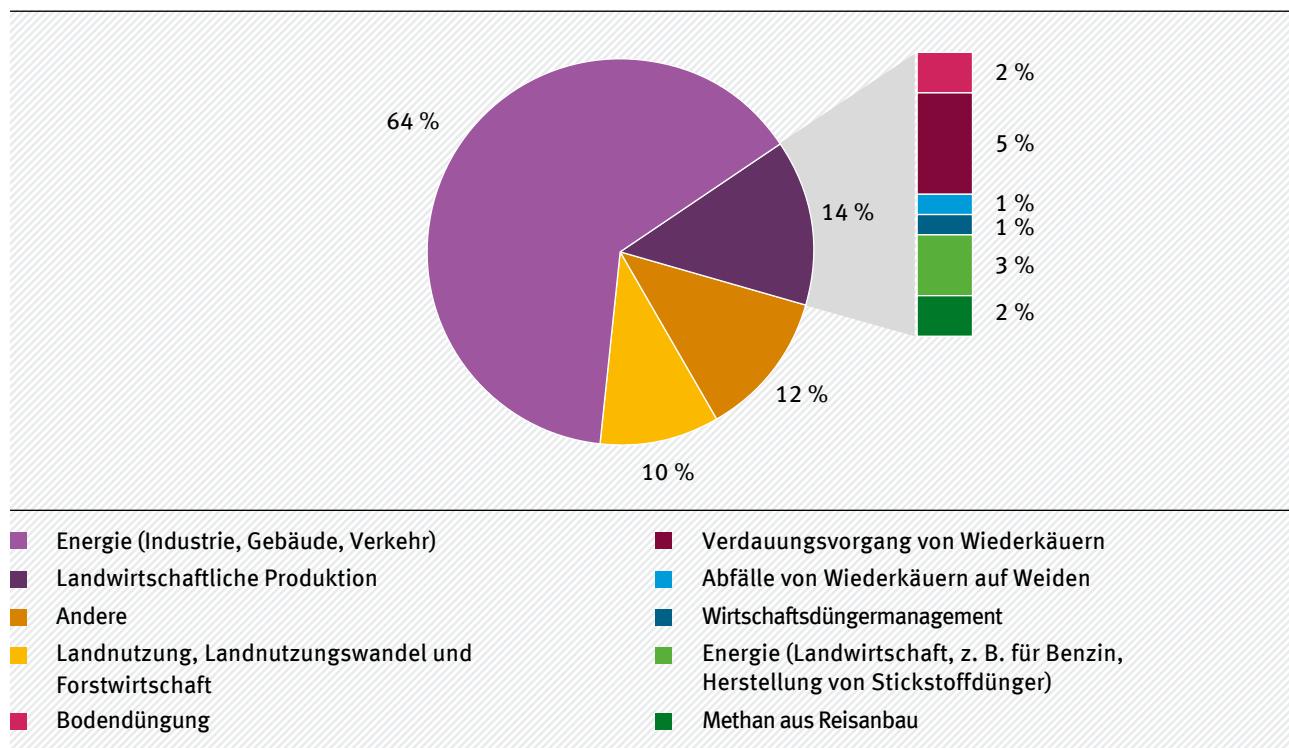
wichtige Rolle. Sie entstehen beim Verdauungsvorgang von Wiederkäuern und werden bei der Lagerung und Ausbringung der Wirtschaftsdünger freigesetzt (Wirtschaftsdüngermanagement). Die nachfolgende Abbildung zeigt die Treibhausgasemissionen aus der globalen landwirtschaftlichen Produktion im Jahr 2010.

Die Klimawirkung von Methan oder Lachgas ist dabei im Vergleich zu der von Kohlendioxid 25-fach (Methan) bzw. knapp 300-fach so hoch (Lachgas). Um die Klimawirkung einheitlich darzustellen, werden diese in  $\text{CO}_2$ -Äquivalente umgerechnet.

Im Jahr 2017 war in Deutschland die Landwirtschaft für die Emission von ca. 66 Mio. Tonnen  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten verantwortlich, das entspricht ungefähr 7,3 % der gesamten Treibhausgas-Emissionen Deutschlands. Dabei wurden mehr als 1,2 Mio. Tonnen Methan emittiert. Hinzu kommen ebenfalls aus dem Wirtschaftsdüngermanagement stammende Lachgasemissionen und Stickoxide, einer Vorläufersubstanz für Lachgas, von knapp 16.000 Tonnen (UBA, 2018).

Abbildung 20

#### Treibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion im Vergleich zu anderen Bereichen



Quelle: World Resources Institute [WRI] (2019)

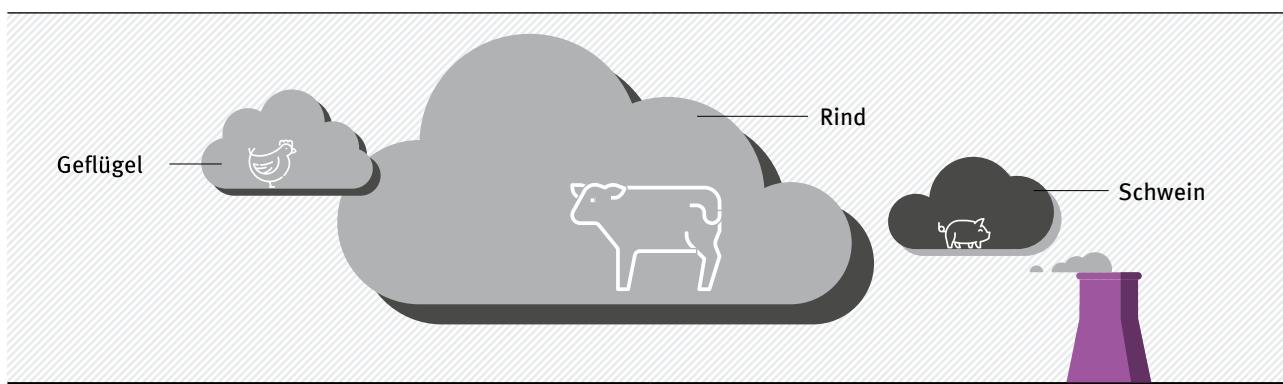
21 Der Begriff Tierproduktion und der Begriff Viehzucht werden in diesem Bericht synonym verwendet.

22 Die Trockenlegung von Mooren für die landwirtschaftliche Nutzung ist ein weiteres Beispiel für die Entstehung landnutzungswandelbedingter Treibhausgasemission.

23 Auch bei der Milchproduktion entsteht Methan. In dieser Studie liegt der Fokus aber auf der Fleischproduktion.

Abbildung 21

### Treibhausgasemissionen im Vergleich



Quellen: Mattick, Landis, Allenby und Genovese (2015b) und Smetana et al. (2015a)

Grundsätzlich gilt, dass die Produktion verschiedener Fleischarten die Emission unterschiedlicher Mengen an THG verursacht<sup>24</sup>. Bei der Produktion von 100 g Rindfleisch entstehen wesentlich mehr CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>e) als bei Schweinefleisch und Geflügel (Oonincx & Boer, Imke J. M. de, 2012). So sind es 3,05 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent für 100 g Rindfleisch, 0,41 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent für 100 g Schweinefleisch (Mattick et al., 2015a) und 0,38 bis 0,43 kg für 100 g Geflügel<sup>25</sup> (Smetana et al., 2015a) bei einer Systemgrenze Cradle-to-Gate. Diese Unterschiede gelten auch, wenn betrachtet wird, wie viele CO<sub>2</sub>-Äquivalente für 100 g Protein entstehen (Oonincx & Boer, Imke J. M. de, 2012)<sup>26</sup>. THG fallen dabei außerdem nicht nur in dem Land an, in dem die Tiere gehalten werden, sondern auch dort, wo Futtermittel angebaut werden.

#### Nährstoffeinträge und -überschüsse

Wenn über den Nährstoffbedarf der Kulturpflanzen hinaus gedüngt wird, kommt es zu Nährstoffüberschüssen im Boden<sup>27</sup>. Laut European Nitrogen Assessment (Sutton et al., 2011) stehen 79 bis 88 % der gesamten Emissionen von Ammoniak, Nitrat und Lachgas<sup>28</sup> der europäischen Landwirtschaft in Zusammenhang mit der Tierhaltung.

In Deutschland entstehen v. a. in Betrieben mit hoher Viehbestand regelmäßig Stickstoffüberschüsse: 2016 betrug dieser Überschuss an Wirtschaftsdünger rund 102 kg pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche (Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt [KLU], 2019). In anderen landwirtschaftlichen Betrieben, z. B. solchen, die selbst keine Tierhaltung betreiben und damit keine Gülle produzieren, werden zur Ertragssteigerung des Bodens Mineraldünger eingesetzt, etwa Phosphordünger.

Nach Ausbringen von Wirtschaftsdünger auf Acker- oder Grünland gelangen Stickstoffverbindungen – Nitrate – durch Auswaschung ins Grundwasser sowie in Oberflächengewässer und können zu ihrer Eutrophierung (Überdüngung) führen. Phosphor bleibt hingegen im Boden, kann aber durch dessen Erosion in Flüsse, Seen und Bäche geraten und dort ein übermäßiges Pflanzenwachstum bedingen (UBA, 2019). Stickstoffverbindungen erreichen über Flüsse das Meer und bewirken besonders in Binnenmeeren mit geringem Wasseraustausch, etwa der Ostsee, Algenbildung sowie Sauerstoffmangel und damit eine Absenkung der Wasserqualität (Mayer et al., 2015). Auch die Lagerung von Gülle in der Intensivtierhaltung ist in vielen Ländern ein Kontaminationsrisiko

<sup>24</sup> Gründe dafür sind beispielsweise, dass Schweine oder Hühner keine Wiederkäuer sind und bei der Verdauung kein Methan produzieren, doch auch der Einsatz unterschiedlicher Futtermittel spielt eine Rolle.

<sup>25</sup> Bei den Daten von Smetana et al. wurde, wie oben beschrieben, der Anteil an Emissionen für die Zubereitung der Produkte herausgerechnet, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.

<sup>26</sup> In der Literatur finden sich Angaben, die von 75 bis 175 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für Rindfleisch, 20 bis 55 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für Schweinefleisch und 20 bis 40 kg bei Geflügel reichen: Oonincx und Boer, Imke J. M. de (2012).

<sup>27</sup> Stehen die Produktion von Dünger durch die Tierhaltung und die Verwendung des Düngers für den Pflanzenanbau in einem angemessenen Verhältnis, und wird der Dünger technisch korrekt ausgebracht, kommt es normalerweise nicht zu Nährstoffüberschüssen und umweltschädlichen Emissionen.

<sup>28</sup> Ammoniak, Nitrat und Lachgas werden auch als „reaktive Stickstoffverbindungen“ bezeichnet.

für Oberflächen- und Grundwasser (Godfray et al., 2018). Die Belastung von Gewässern mit Stickstoff oder Phosphor wirkt sich in der Folge negativ auf die Artenvielfalt aus (siehe Abschnitt Biodiversität und Landnutzungswandel).

Stickstoffverbindungen aus Wirtschaftsdünger belasten jedoch nicht nur Gewässer, sondern in Form von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) auch die Luft (Atmosphäre), vor allem in Regionen mit einer erhöhten Konzentration an Viehbetrieben. Die Stickstoffeinträge aus der Luft tragen zur Versauerung und Eutrophierung von Böden und Ökosystemen bei, sie können langfristig zu verringertem Pflanzenwachstum und einem Verlust an biologischer Vielfalt führen (Bayrisches Landesamt für Umwelt [LfU], 2018). Dabei ergibt sich für 100 g hergestelltes In-vitro-Fleisch ein Eutrophierungspotential von 0,75  $\text{PO}_4$ -Äquivalente gegen 21,4  $\text{PO}_4$ -Äquivalente für Rind, 2,62 für Schwein und 0,64 für Huhn (Mattick, Landis & Allenby, 2015).

Durch die Tierproduktion in Deutschland werden jedoch nicht nur die Nährstoffkreisläufe hierzulande gestört, sondern es verändern sich auch die Kreisläufe in den Ländern, in denen die Futtermittel angebaut werden. Dort wird das natürliche Gleichgewicht der Stickstoff- oder Phosphorfreisetzung und Fixierung u. a. durch den Einsatz großer Mengen künstlichen Düngers gestört, z. B. beim Sojaanbau<sup>29</sup>.

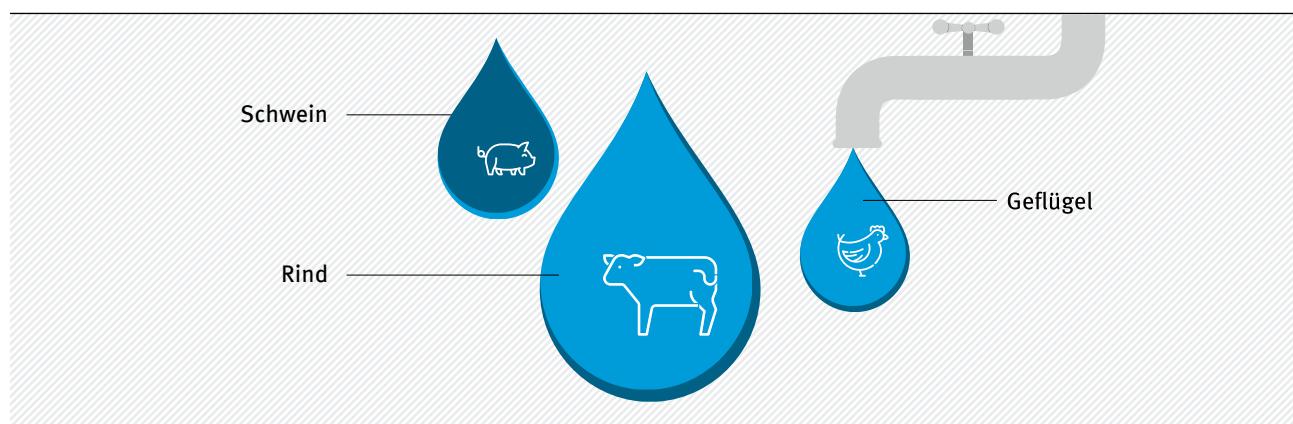
## Süßwasserverbrauch

Global betrachtet ist die Landwirtschaft der größte Süßwasserverbraucher und nutzt ca. 69 % des jährlich weltweit entnommenen Süßwassers (FAO, 2017). Ungefähr ein Drittel des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs entfällt dabei auf die Fleischproduktion, insbesondere die Produktion von Futtermitteln. Dabei entstammt der größte Anteil des genutzten Wassers aus Niederschlag, auch „grünes Wasser“ genannt; ein kleinerer Anteil von 6,2 %, das „blaue Wasser“, wird aus Flüssen, Seen und Grundwasser entnommen (Godfray et al., 2018). Der Anteil an entnommenem blauen Wasser ist jedoch besonders kritisch, da dieser mit der „natürlichen“ Wassernutzung, z. B. zum Erhalt aquatischer Ökosysteme, konkurriert (Godfray et al., 2018; Mekonnen & Hoekstra, 2010).

Der durchschnittliche Wasser-Fußabdruck, also der gesamte Wasserverbrauch, der entlang der verschiedenen Produktionsschritte für die Produktion von Geflügel und Schweinen nötig ist, liegt bei rund 340 Litern bzw. 380 Litern pro 100 g Tiermasse (Miglietta, Leo, Ruberti & Massari, 2015). Noch deutlicher werden die Unterschiede hinsichtlich des Wasserverbrauchs unter Berücksichtigung des essbaren Anteils, also des Anteils abzüglich der Haut, Knochen und anderer Nebenprodukte der jeweiligen Nutztierart. So werden für die Produktion von 100 g essbarem Rind gut 1.500 Liter Wasser benötigt, für 100 g Schweinefleisch sind es knapp 600, für Geflügel gut 400 Liter (Miglietta et al., 2015)<sup>30</sup>.

Abbildung 22

### Wasserverbrauch konventioneller Tierproduktion im Vergleich



Quelle: Miglietta et al. (2015)

<sup>29</sup> Importiertes Soja, das in Deutschland als Futtermittel verwendet wird, sorgt gleichermaßen für einen Nährstoff- bzw. Stickstoffimport und führt potenziell zu weiteren Nährstoffüberschüssen.

<sup>30</sup> Die starken Unterschiede sind darin begründet, dass der essbare Anteil beim Rind im Vergleich zum Schwein oder zu Geflügel wesentlich geringer ist.

Die Umweltauswirkungen des Wasserverbrauchs von „grünem“, also von Niederschlagswasser, sind in vielen Regionen unproblematisch, z. B. in Mitteleuropa. Die Umweltwirkungen der Nutzung „blauen“ Oberflächenwassers, etwa für die künstliche Bewässerung von Futterpflanzen, sind hingegen stark kontextabhängig, also von der Wasserarmut vor Ort ebenso wie von den Eigenschaften des Ökosystems, z. B. spezifischen Vulnerabilitäten. Mit zunehmender Süßwasserknappheit weltweit steigen jedoch der Druck auf Ökosysteme sowie die Risiken für die Wasserqualität und stabile Wasserkreisläufe (Hoekstra, 2017).

Deutschland gehört zu den größten Netto-Importeuren von virtuellem Wasser, d. h., es importiert beispielsweise Futtermittel für die Tierhaltung aus dem Ausland, z. B. Brasilien oder Argentinien, für die Wasser außerhalb Deutschlands verbraucht wurde. Somit entstehen die Umweltwirkungen des Wasserverbrauchs auch in den jeweiligen Exportländern (Mekonnen & Hoekstra, 2011, S. 21).

### Biodiversität und Landnutzungswandel

Die Tierproduktion kann sich sowohl positiv als auch negativ auf die Biodiversität auswirken (FAO, 2016a, S. 13). Im Millennium Ecosystem Assessment wurden als wichtigste Treiber des Biodiversitätsverlustes identifiziert: Wandel von Habitaten, Klimawandel,

invasive Arten, Verschmutzung sowie Übernutzung (Millennium Ecosystem Assessment, 2005, S. 8). Die Tierproduktion wirkt auf diese Treiber sowohl verstärkend als auch entlastend (FAO, 2016a, S. 13). Effekte sind dabei auch abhängig von der Art der Tierproduktion, d. h., ob diese intensiv oder extensiv erfolgt (Leip et al., 2015). So gelten extensiv beweidete Flächen in Europa als die artenreichsten in der Agrarlandschaft, während die Tierfutterproduktion für die intensive Tierhaltung zu erheblichen Verlusten und Fragmentierung von Lebensräumen beiträgt, etwa in Südamerika (FAO, 2016a).

Für 100 g verzehrfähiges Rinderfleisch liegt der Flächenverbrauch zwischen 2,7 und 4,9 m<sup>2</sup>, etwa viermal so hoch wie der Flächenverbrauch für dieselbe Menge Schweine- und fast fünfmal so hoch wie für Geflügelfleisch (Vries, M. de & Boer, Imke J. M. de, 2010). Gründe für die hohen Zahlen bei der Rindfleisch-Produktion sind unter anderem, dass Kühe mehr Grünfutter und weniger Kraftfutter fressen und der Futteranbau flächenintensiver ist.

Fast die Hälfte der für den heimischen Fleischkonsum notwendigen Anbaufläche liegt außerhalb Deutschlands; dadurch wird Deutschland zu einem Nettoimporteur von „virtueller“ Ackerfläche und Grünland (UBA, 2017a, S. 35). Diese Fläche in der Größe von Mecklenburg-Vorpommern liegt überwie-

Abbildung 23

### Landnutzung im Vergleich



Quelle: Mattick et al. (2015b) und Smetana et al. (2015a)

gend in Südamerika und dient mehrheitlich dem Sojaanbau zur Tierfütterung (Witzke et al., 2011). Die Abholzung der tropischen Regenwälder führt zum Aussterben wertvoller und/oder seltener Arten.

Auch die Überweidung von Flächen führt auf globaler Ebene zu einer Verringerung der pflanzlichen Artenvielfalt. In Trockengebieten kommt es durch die reduzierte Pflanzendecke zudem zu Bodenerosion (Godfray et al., 2018). Schließlich kann die Tierproduktion sich auch durch Krankheitsübertragung von Nutz- auf Wildtiere und damit die biologische Vielfalt auswirken (FAO, 2016a, S. 13).

### **6.1.2 Ökologische Tierproduktion und Umwelt**

Die Auswirkungen der ökologischen Tierproduktion auf die Umwelt sind stark abhängig von der Effizienz des Produktionssystems, insbesondere der Futterverwertung, der Fütterung – Zusammensetzung und Produktion des Futters – (Alig, Grandl, Mieleitner, Nemecek & Gaillard, 2012) sowie der betrachteten Fleischart. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die ökologische Landwirtschaft aufgrund des verfolgten Systemansatzes hinsichtlich des Umwelt- und Resourcenschutzes gegenüber konventionellen Varianten vorteilhafter ist (Sanders & Heß, 2019).

Bereits wissenschaftlich erfasst sind Umweltwirkungen einiger ökologisch produzierter Fleischarten. So kann die ökologische Produktion von Rind- und Lammfleisch positive Effekte auf die Biodiversität, den Erhalt offener Landschaften sowie den Bodenschutz haben – z. B. dadurch, dass bei der ökologischen Produktion auf Pestizide und Mineraldünger verzichtet wird (Alig et al., 2012; Castellini, Bastianoni, Granai, Bosco & Brunetti, 2006; Kumm, 2002). Auch die ökologische Geflügelfleischproduktion kann gegenüber konventionellen Produktionsmethoden umweltbezogene Vorteile aufweisen, speziell hinsichtlich der Schwefel- und Stickoxid-Emissionen in der Luft, des Verbrauchs nicht erneuerbarer Ressourcen, der Treibhausgas- sowie Stickstoffemissionen. Der größte Anteil von Einsparpotenzialen entfällt dabei auf CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese können bei ökologischen Produktionsweisen eingespart werden, da diese weitestgehend auf die Verwendung fossiler Energieträger bei der Herstellung von Düngemitteln verzichten sowie auf den Import von Futtermitteln,

etwa Soja aus Lateinamerika. (Hirschfeld, Weiß, Preidl & Korbun, 2008)

Der Vergleich der Methan (CH<sub>4</sub>)- und Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) Emissionen bei konventioneller und ökologischer Tierhaltung ist insbesondere für die Rinderhaltung schwierig, da die Datengrundlage bisher nicht ausreichend ist (Sanders & Heß, 2019). Im Bereich der Treibhausgasemissionen ist daher kein klarer Vorteil gegenüber konventioneller Tierhaltung festzustellen. Für die ökologische Fleischproduktion werden insgesamt mehr Anbauflächen benötigt als für die konventionelle Produktion (Korbun, 2004). Aufgrund der ökologischen Bewirtschaftung wird jedoch ein Beitrag zum Erhalt von Biodiversität und offenen Landschaften geleistet (Sanders & Heß, 2019).

### **6.1.3 Tierschutzaspekte konventioneller und ökologischer Tierproduktion**

Wer sich mit den Folgen der konventionellen Tierproduktion auseinandersetzt, muss auch Fragen der Haltung, des Transports und der Tötung von Tieren berücksichtigen. Erklärtes Ziel der Nutztierhaltung in Deutschland ist die Erzeugung von Nahrungsmitteln und die Gewinnung von Tierprodukten (BMEL, o. J.), der Tierschutz ist ebenfalls relevant – aber zunächst zweitrangig.

In einem von Spezialisierung, Standardisierung und Automatisierung geprägten System passen sich die Tiere oft an die beengten und auf Produktivität ausgerichteten Haltungssysteme an bzw. werden an diese angepasst. Dafür werden Hörner bei Kälbern entfernt, Schwänze bei Ferkeln kuriert oder dem Geflügel die Schnäbel gekürzt, damit gegenseitige Verletzungen auf dem beengten Raum minimiert und eine produktive wie standardisierte Tierleistung erzielt werden kann (Dirscherl, 2013).

In der ökologischen Tierproduktion ist die artgerechte Haltung der Tiere ein wichtiger Aspekt. Beispielsweise werden Vorgaben zur Bereitstellung von Auslaufmöglichkeiten an frischer Luft sowie zum Platzangebot im Stall erlassen, aber auch zum Einsatz oder Nicht-Einsatz von Arzneimitteln bei der Erkrankung von Tieren. Auch die Klauen- und Gliedmaßengesundheit ist in ökologischen besser als in

konventionellen Betrieben (Sanders & Heß, 2019). In der Praxis allerdings schneidet die ökologische Tierproduktion nicht immer generell besser ab, da das Tierwohl stark von dem jeweiligen Management abhängt. Variablen, wie das Tierverhalten und emotionales Befinden, werden in weniger Studien erfasst, diese weisen jedoch auf Vorteile der ökologischen Tierhaltung hin (March, Haager & Brinkmann, 2019; Sanders & Heß, 2019).

#### **6.1.4 Gesundheitsauswirkungen des erhöhten Fleischkonsums**

Grundsätzlich liegt der Fleischkonsum in Deutschland im internationalen Vergleich überdurchschnittlich hoch und über den Empfehlungen nationaler wie internationaler Gesundheitsorganisationen: In Deutschland wurden 2016 über 60 kg Fleisch pro Kopf verzehrt, während die Empfehlungen bei 15 bis 30 kg liegen (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. [DGE], 2017; Willett et al., 2019).

Die Bewertung der Gesundheitsauswirkungen des übermäßigen Fleischkonsums ist schwierig und mit Unsicherheiten behaftet. In Industrieländern existieren neben dem hohen Fleischkonsum weitere Risikofaktoren, wie Rauchen, Alkohol und Übergewicht, die Auswirkungen auf die Gesundheit haben (Dannemann Purnat et al., 2019).

Vor allem rotes Fleisch, aber auch verarbeitetes Fleisch stehen im Fokus vieler Studien zu den Gesundheitsauswirkungen erhöhten Fleischkonsums. Der stärkste Zusammenhang besteht zwischen Darmkrebs und dem übermäßigen Konsum von rotem und verarbeitetem Fleisch (Bouvard et al., 2015; Godfray et al., 2018; Stewart & Wild, 2014). Aktuelle Empfehlungen für die zu verzehrenden Höchstmengen an rotem und verarbeitetem Fleisch variieren zwischen 100 g (Lim, S. S., Vos & Flaxman, 2012) und 350 bis 500 g pro Woche (World Cancer Research Fund [WCRF] & American Institute for Cancer Research, 2018), werden aber durch die Konsumenten regelmäßig um das Vielfache überschritten (Bouvard et al., 2015). Weitere Studien stellen einen Zusammenhang zwischen übermäßigem Fleischkonsum und Übergewicht, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Hypertonie oder Diabetes Typ 2 (Crowe, Appleby, Travis & Key, 2013; Huang et al., 2012; Sinha, Cross, Graubard, Leitzmann & Schatzkin, 2009). Die Aufnahme von tierischen Fetten, also gesättigten Fettsäuren, und

die Zubereitungsart, wie Räuchern, Beizen, Salzen und starkes Erhitzen, sind Faktoren, die die oben genannten Krankheitsbilder begünstigen können (WCRF & American Institute for Cancer Research, 2018).

Zahlreiche Lebensmittelskandale haben die Risiken mangelnder Lebensmittelsicherheit in der Tierproduktion verdeutlicht. Salmonellose ist die klassische Lebensmittelinfektion und wird am häufigsten durch rohes Fleisch bzw. nicht oder nicht ausreichend erhitzte Fleischerzeugnisse übertragen (Robert Koch-Institut [RKI], 2019). Außerdem wurde bei Fischen und Tieren, die im Freiland gehalten werden, eine hohe Dioxinbelastung nachgewiesen, die durch den Verzehr der Lebensmittel auf den Menschen übertragen wird (Bundesamt für Strahlenschutz [BfS], BfR, UBA & RKI, 2011). Dioxine sind toxische Schadstoffe, die sich in Ökosystemen und Organismen verbreiten und den menschlichen Körper vor allem bei ihrer Ablagerung im Fettgewebe und in der Leber erheblich belasten (BfS et al., 2011).

Ein weiteres Problem für die öffentliche Gesundheit ist der hohe Antibiotikaeinsatz in der Tierhaltung. Im Jahr 2017 lag in Deutschland die Abgabemenge von Antibiotika an Tierärzten bei 733 Tonnen (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit [BVL], 2019). Dieser hohe Verbrauch kann zur Entstehung gefährlicher Antibiotikaresistenzen bei Mensch und Tier führen, die die antibiotischen Behandlungen von Krankheiten zunehmend erschweren (BfS et al., 2011; BfS, BfR, RKI & UBA, 2017; Landers, Cohen, Wittum & Larson, 2012).



## 6.2 Pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte

### 6.2.1 Grundlagen der Umweltbewertung

Fleischersatzprodukte, die auf verarbeiteten pflanzlichen Proteinen basieren, haben in den letzten Jahrzehnten verstkt an Bedeutung gewonnen. Dazu gehören Produkte wie Seitan (Weizenprotein), Sojafleisch/Tempeh (Sojabohnen) und Quorn (fermentiertes Myzel); ebenso Produkte auf Basis von Lupinen. Die Analyse der Umweltwirkung pflanzlicher Fleischersatzprodukte soll dabei helfen, Unterschiede zu konventionellem Fleisch sowie zwischen den pflanzlichen Fleischersatzprodukten selbst aufzuzeigen. Wo sinnvoll, werden auch Ergebnisse zu Tofu hinzugezogen, z. B. hinsichtlich des Sojabohnen-Anbaus.

Weizen und Sojabohnen, die für die pflanzlichen Fleischersatzprodukte verwendet werden, dienen direkt der menschlichen Ernährung. Dies senkt die Umweltauswirkung der pflanzenbasierten Fleischersatzprodukte in erheblichem Maße, da die THG-Emissionen und die Land- und Wasserverbrche entfallen, die bei der Umwandlung von pflanzlicher in tierische Nahrung entstehen – und die damit verbundenen Kalorienverluste entfallen.

Die Frage der Substitution – also ob die pflanzenbasierten Fleischersatzprodukte tatsächlich ein Fleischersatz sind oder zusätzlich zum Fleisch gegessen werden – ist bei der Umweltbewertung zentral.

Die Ressourceneinsparungen durch pflanzenbasierte Fleischersatzprodukte entfalten vor allem dann ihre Wirkung, wenn der Fleischkonsum entsprechend reduziert wird. Aktuell werden rund 93 % des in Europa nachgefragten Sojas für Tierfutter eingesetzt (Europäische Kommission, 2018). Bei einer fehlenden Substitution und bei zusätzlichem Konsum von Fleischersatzprodukten wchs die Nachfrage nach Soja zusätzlich. Die Art der Verwendung von Pflanzen – ob als Substitut oder „Addon“ – muss daher bei einer Umweltbewertung stets mitgedacht werden.

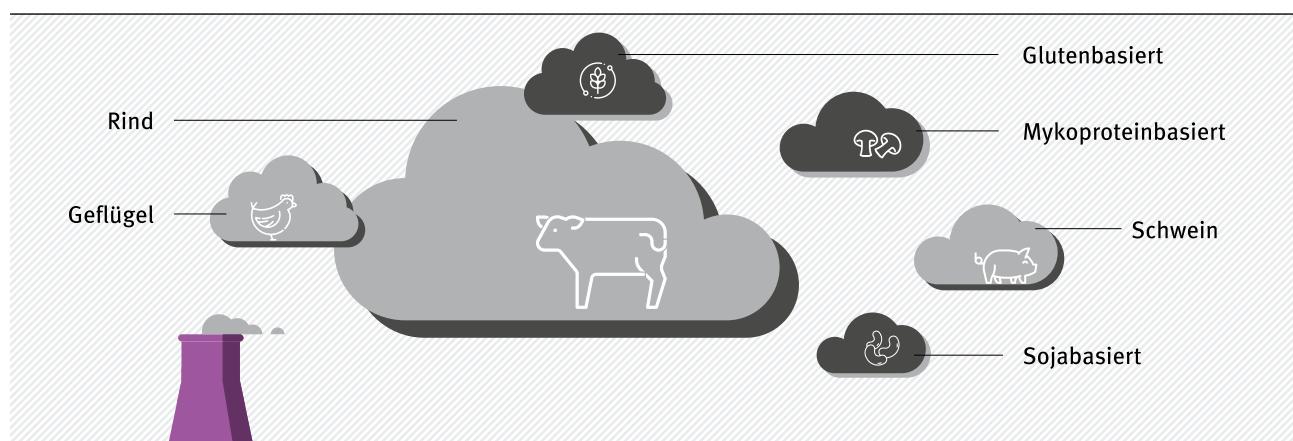
### Treibhausgase

Insgesamt werden bei der Herstellung sojabasierter Produkte im Vergleich zur Fleischproduktion weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen freigesetzt, wie verschiedene Studien mit unterschiedlichen Systemgrenzen und Annahmen zeigen (Fresn, Mejia, Craig, Jaceldo-Siegl & Sabet, 2019; Smetana et al., 2015a). Wrend bei der Produktion von 100 g Hühnerfleisch (essbare Masse) 0,38 bis 0,43 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente entstehen, werden bei der Produktion von 100 g sojabasiertem Fleischersatzprodukt nur ca. ein Drittel der THG-Emissionen freigesetzt, nämlich 0,111 bis 0,117 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Fresn et al., 2019; Smetana et al., 2015a).<sup>31</sup>

Aus der Forschung zu Tofu ist bekannt, dass die grösten Auswirkungen bei der Verarbeitung der Sojabohnen zu Tofu entstehen, nämlich ca. 52 % Anteil an den Gesamtemissionen (Mejia, A. et al., 2018).

Abbildung 24

### Treibhausgasemissionen im Vergleich



Quellen: Mattick et al. (2015b) und Smetana et al. (2015a)

<sup>31</sup> Zur besseren Vergleichbarkeit der Daten wurde hier der Anteil der Emissionen, der bei der Zubereitung des Produkts entsteht, herausgerechnet (s. o.).

Die Größe des Emissionsanteils, der aus Anbau und Transport resultiert, hängt dabei von der Anbauregion ab (Head, Sevenster & Croezen, 2011).

Bei der obigen Berechnung der Emissionen für 100 g sojabasiertes Produkt (Smetana et al., 2015a) wurde keine spezifische Anbauregion als Annahme zugrunde gelegt; vielmehr diente der Durchschnittswert der weltweiten Soja-Anbaufläche als Grundlage der Berechnung<sup>32</sup>. Die meisten Hersteller von Sojaprodukten für den deutschen Markt beziehen ihr nicht gentechnisch modifiziertes Soja jedoch aktuell überwiegend aus EU-Ländern<sup>33</sup> (Albert Schweitzer Stiftung für unsere Mitwelt, 2018), sodass die Treibhausgasemissionen aus dem Transport für die deutsche Produktion vergleichsweise weniger ins Gewicht fallen<sup>34</sup>. Die Treibhausgasemissionen fallen darüber hinaus bei biologisch erzeugten Sojaprodukten um bis zu 50 % geringer aus als bei konventionell hergestellten Produkten (Sustainable Europe Research Institute [SERI], 2011b).

Seitan verursacht laut einer Studie des Sustainable European Research Institute (SERI, 2011a) im Auftrag des Vegetarierbunds (VeBu) durchschnittlich rund 50 % mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen als Tofu (0,23 bis 0,25 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die Produktion von 100 g sojabasiertem Produkt gemäß Smetana<sup>35</sup>), jedoch sind die Emissionen im Vergleich zur Herstellung von 100 g Geflügel nur etwa halb so hoch. Quorn schneidet hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Bilanz schlechter ab als Seitan: Bei der Herstellung von 100 g Quorn werden 0,41 bis 0,46 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente freigesetzt – also fast so viel, wie bei der Produktion von 100 g Schweinefleisch freigesetzt werden. Die hohe Treibhausgasbilanz dieses Produkts liegt am hohen Energiebedarf bei der Herstellung (Jungbluth, Nowack, Eggenberger, König & Keller, 2016, S. 17).

### Nährstoffeinträge und -überschüsse

Als landwirtschaftliche Erzeugnisse haben Soja und Weizen – und damit auch sojabasierte Produkte und Seitan – Auswirkungen auf Nährstoffkreisläufe von Stickstoff und Phosphor. Generell gilt, wie bei der konventionellen Tierproduktion beschrieben, dass durch Ausbringen von Wirtschafts- und Mineraldün-

ger auf Ackerland Stickstoff- bzw. Phosphorverbindungen ins Grundwasser gelangen und sich negativ auf die Qualität von Gewässern auswirken können. In Abhängigkeit vom Anbauort, natürlichen Standortfaktoren und landwirtschaftlicher Praxis sind die Umweltbelastungen unterschiedlich groß.

Sojabohnen und Weizen dienen in Form pflanzlicher Fleischersatzprodukte direkt der menschlichen Ernährung. Bei der Tierhaltung werden Pflanzen als Tierfutter verwendet, die Umwandlungsrate von pflanzlichen in tierische Kalorien ist daher hoch, was auch als Kalorienverlust bezeichnet wird. Durchschnittlich 250 kg Tierfutter verbraucht ein Mastschwein innerhalb von fünf bis sechs Monaten, bis es das Schlachtwicht von ca. 95 kg erreicht hat; der verzehrbare Anteil eines ganzen Tiers beträgt rund 62 % (Heinrich-Böll-Stiftung et al., 2014b; Heinze, 2011). Bei pflanzlicher Ernährung wird somit insgesamt eine geringere Menge landwirtschaftlicher Erzeugnisse benötigt, um die gleiche Menge an Menschen zu ernähren. Damit sinkt auch die Belastung des Grundwassers und des Bodens durch Nährstoffüberfrachtung. Dies zeigen z. B. Ersatzprodukte auf Sojabasis: Die summierten Emissionen von Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxiden (NOx) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) sind bei einer Ernährung, die auf Sojaprotein basiert, siebenmal geringer als für fleischliche Proteine (Reijnders & Soret, 2003). Auch die Phosphor-Emissionen betragen lediglich ein Siebtel, verglichen mit der Herstellung fleischlicher Proteine (Reijnders & Soret, 2003).

Die Sojabohne ist zudem eine stickstofffixierende Eiweißpflanze (Leguminose), die Stickstoff im Boden anreichert, so zur Bodenverbesserung beiträgt und den Einsatz mineralischer Dünger verringert. Dadurch können, im Gegensatz zu Weizen, mineralische Stickstoffdüngemittel eingespart werden (BMEL, 2016).

Der ökologische Landbau weist sowohl für den Anbau der Sojabohne als auch für Weizen Vorteile gegenüber der konventionellen intensiven Bewirtschaftung auf. Der Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel hilft, Belastungen der Gewässer

32 Indirekte Emissionen durch Landnutzungswandel wurden nicht mit einbezogen.

33 Bisher werden in Deutschland rund 24.000 Hektar Sojabohnen angepflanzt, das zukünftige (vorsichtig geschätzte) Anbaupotenzial beträgt 100.000 Hektar (ökolandbau.de, 2018). 2017 betrug die Sojaanbaufläche in Europa rund 0,97 Mio. Hektar und es ist mit einem starken Wachstum zu rechnen (The Sustainable Trade Initiative [IDH] und Dutch national committee of the International Union for the Conservation of Nature [IUCN NL] (2019)).

34 Sollte nicht genmanipuliertes Soja zukünftig aus Übersee in die EU importiert werden, kommen den THG-Emissionen für den Transport einen höheren Stellenwert zu.

35 Exklusive des Anteils an Emissionen für die Zubereitung.

durch Pflanzenschutz weitestgehend auszuschließen (Sanders & Heß, 2019). Bei Weizen ist die Bilanz gut, aber nicht ganz so positiv wie bei der Sojabohne, da der Effekt der Stickstofffixierung entfällt (Sanders & Heß, 2019).

Je mehr konventionelle Tierprodukte durch pflanzliche Fleischersatzprodukte substituiert würden, desto mehr würden die Emissionen entfallen, welche direkt der Tierhaltung zuzuschreiben sind. Die Tierhaltung trug im Jahr 2015 mit 38 % zum Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft bei (UBA, 2019). Auf Tierhaltung zurückzuführen sind 60 % der Ammoniakemissionen innerhalb der Landwirtschaft (UBA, 2017b). Zusätzlich würde auch das Kontaminationsrisiko für Oberflächen- und Grundwasser durch die Lagerung von Gülle in der Intensivtierhaltung sinken, wenn die Fleischherstellung reduziert würde. Somit weisen die pflanzlichen Fleischersatzprodukte bei teilweiser Substitution ein erhebliches Einsparpotenzial auf.

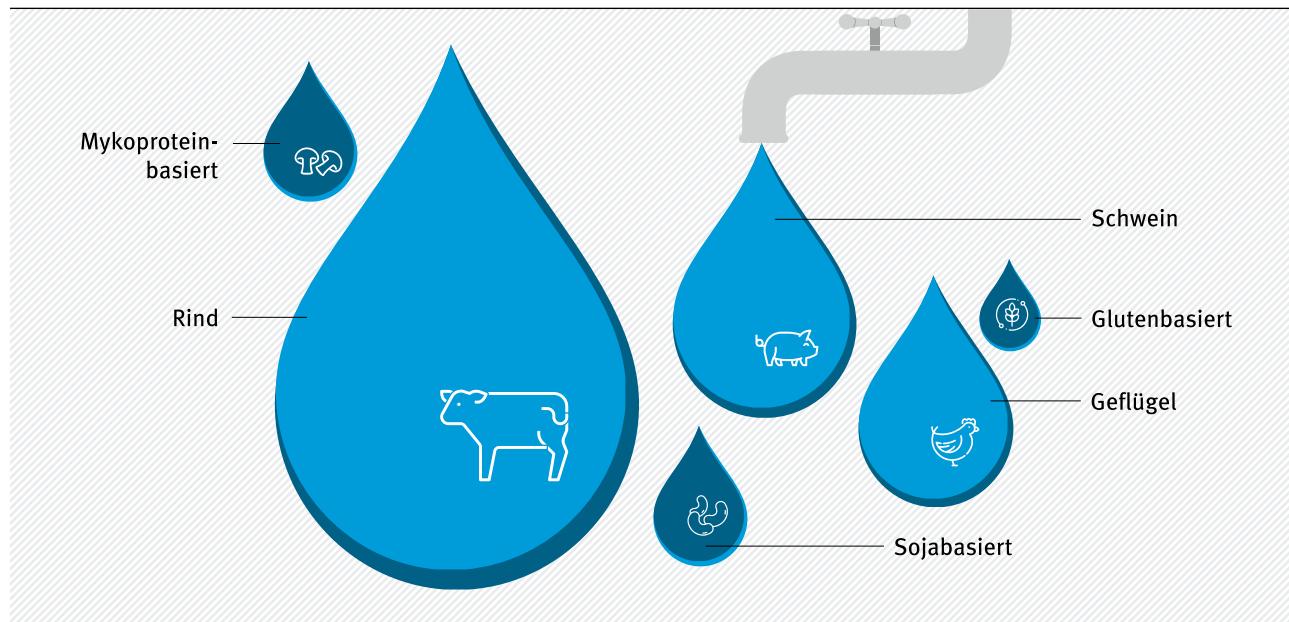
### Süßwasserverbrauch

Wie Forschungsergebnisse zeigen, ist der Wasserverbrauch für die Herstellung von Quorn am höchsten, von Seitan geringer und von sojabasierten Produkten am geringsten. Außerdem gilt, dass bei allen drei Produkten der Wasserverbrauch im Vergleich zu Rind, Schwein und Huhn um ein Vielfaches geringer ausfällt: Der Faktor liegt zwischen 4 und 15.

Aus der Forschung zu Tofu ist bekannt, dass der größte Anteil des Wasser-Fußabdrucks aus dem Sojaanbau resultiert (Ercin, Aldaya & Hoekstra, 2012). An dieser Stelle wird dementsprechend – und in Erweiterung konkreter Zahlen zum Wasserfußabdruck der Endprodukte Tempeh/Sojafleisch – der Wasserbedarf für den Anbau von Soja betrachtet, also der Wasserbedarf für den Anbau der Masse x an Sojabohnen, die für die Herstellung von 100 g Tempeh/Sojafleisch erforderlich sind. Für die Herstellung von 100 g Soja-Tempeh werden ca. 63 g Sojabohnen benötigt (Shurtleff & Aoyagi, 1986, S. 80). Für die Kultivierung von 350 g Sojabohnen sind etwa 1.000 Liter Wasser nötig (Ercin et al., 2012). Der größte Anteil davon ist mit 65 % das „grüne Wasser“, das aus Niederschlägen stammt, 5 % sind „blaues Wasser“ – also zusätzliches Bewässerungswasser – und 30 % „graues Wasser“, jener Anteil, der beim Anbau durch Dünger und Pestizide verschmutzt und damit für andere Zwecke unbrauchbar wird (Grundlage der Berechnung: Ercin et al., 2012). Da Sojabohnen in gemäßigten Zonen ebenso angebaut werden wie in Trockenklimaten, gibt es große regionale Unterschiede hinsichtlich der Anteile für „grünes“ und „blaues“ Wasser. Die oben genannten Zahlen legen den Sojaanbau in Europa (Frankreich) zugrunde, was damit korrespondiert, dass die meisten Hersteller von Sojaprodukten für den deutschen Markt ihr Soja überwiegend aus EU-Ländern beziehen (s. o.) (Albert Schweitzer Stiftung, 2017).

Abbildung 25

### Wasserverbrauch im Vergleich



Quellen: Miglietta et al. (2015) und Carbon Trust (2014); eigene Berechnung

tung für unsere Mitwelt, 2018). Das bedeutet auch, dass, im Gegensatz zum konventionellen Fleisch, unter dieser Annahme keine bzw. weniger Importe von virtuellem Wasser außerhalb der EU stattfinden. Der Anteil des „grauen Wassers“ kann entsprechend verschiedener Ökobilanzen beim ökologischen Anbau der Sojabohnen um bis zu 98 % gegenüber dem konventionellen Anbau reduziert werden (Ercin et al., 2012). Der Eintrag von Wasserschadstoffen ist beim ökologischen Anbau von Sojabohnen sehr viel geringer als im konventionellen Anbau (Jungbluth et al., 2016).

Für die Herstellung von 100 g Seitan wird ca. 0,16 kg Weizen benötigt (Smetana, Mathys, Knoch & Heinz, 2015b). Dafür sind – ausgehend vom Weizenanbau in Deutschland – etwa 130 Liter Wasser notwendig. Davon sind 70 % „grünes Wasser“, 19 % „blaues“ und 11 % „graues Wasser“ (Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e. V., 2019).

Nicht einbezogen in die beiden oberen Berechnungen – aufgrund der fehlenden Datengrundlage – wurde die Weiterverarbeitung der Rohstoffe Soja und Weizen zu den Endprodukten, bei der ebenfalls Wasser verbraucht wird, jedoch signifikant weniger als für den Anbau der Rohstoffe (Ercin et al., 2012; SERI, 2011a).

Für Quorn liegen Zahlen zum fertig verarbeiteten, verkaufsfertigen Produkt vor (Cradle-to-gate-Ansatz). Je nach Produkt werden dabei ca. 1.700 bis 1.900

Liter Wasser pro kg verbraucht (Carbon Trust, 2014). Anteilig davon sind 76 % grünes Wasser, nur 4 % blaues und 20 % graues Wasser.

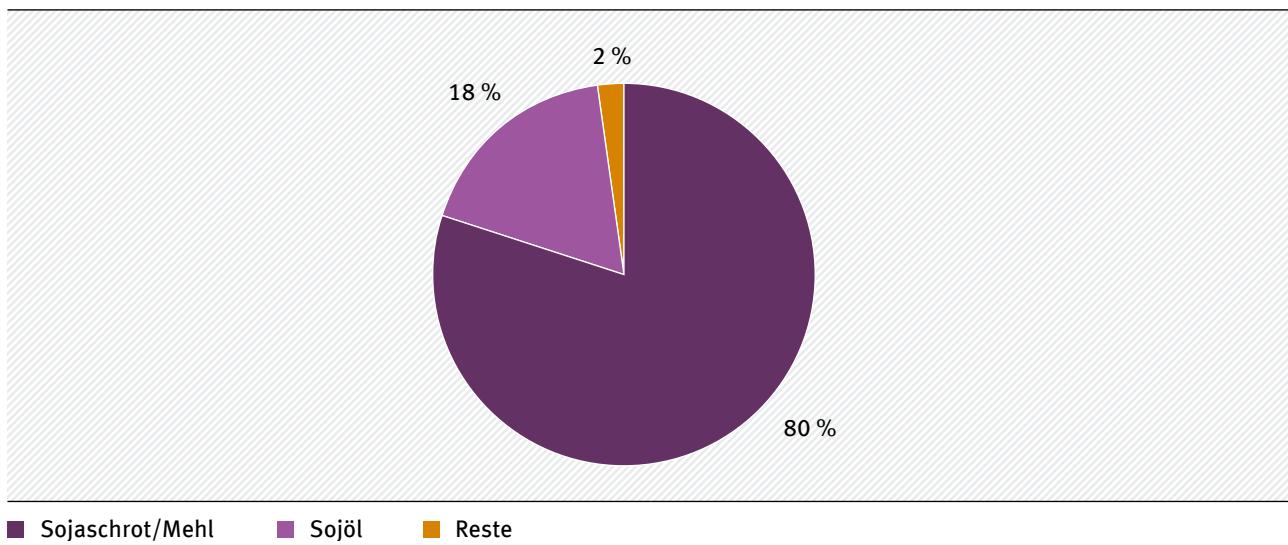
Pflanzliche Fleischersatzprodukte haben also hinsichtlich des Wasserverbrauchs Vorteile gegenüber konventionellem Fleisch, die je nach Anbaugebiet, Anbauart (ökologisch oder konventionell) und Ersatzprodukt variieren.

### Biodiversität und Flächenverbrauch

Für die Herstellung pflanzlicher Fleischersatzprodukte wie Tofu, Tempeh, Sojafleisch und Seitan werden landwirtschaftliche Nutzflächen für Soja- und Weizenanbau benötigt. Momentan stellt diese Fläche jedoch nur einen Bruchteil der globalen Anbauflächen dar. So werden nur ca. 6 % der weltweit angebauten Sojabohnen für den direkten menschlichen Verzehr verwendet, während etwa 70 bis 75 % als Tierfutter dienen (Dutch Soy Coalition, 2012). Auch Getreide wird zu großen Teilen an Tiere verfüttert, in Deutschland landen ca. 40 % des geernteten Weizens im Futtertrog (BLE, 2018a). Der große Vorteil der pflanzlichen Fleischersatzprodukte gegenüber konventionellem Fleisch röhrt daher, dass diese auf einer niedrigeren Stufe der Nahrungskette angesiedelt sind. Für die gleichen Nährstoffe werden also weniger Ressourceninputs und Landfläche benötigt. Anstatt Soja oder Weizen für Tierfutter zu verwenden, kann es in verarbeiteter Form direkt für die menschliche Ernährung genutzt werden. Betrachtet man den Proteingehalt, so benötigt man sechs- bis siebzehnmal

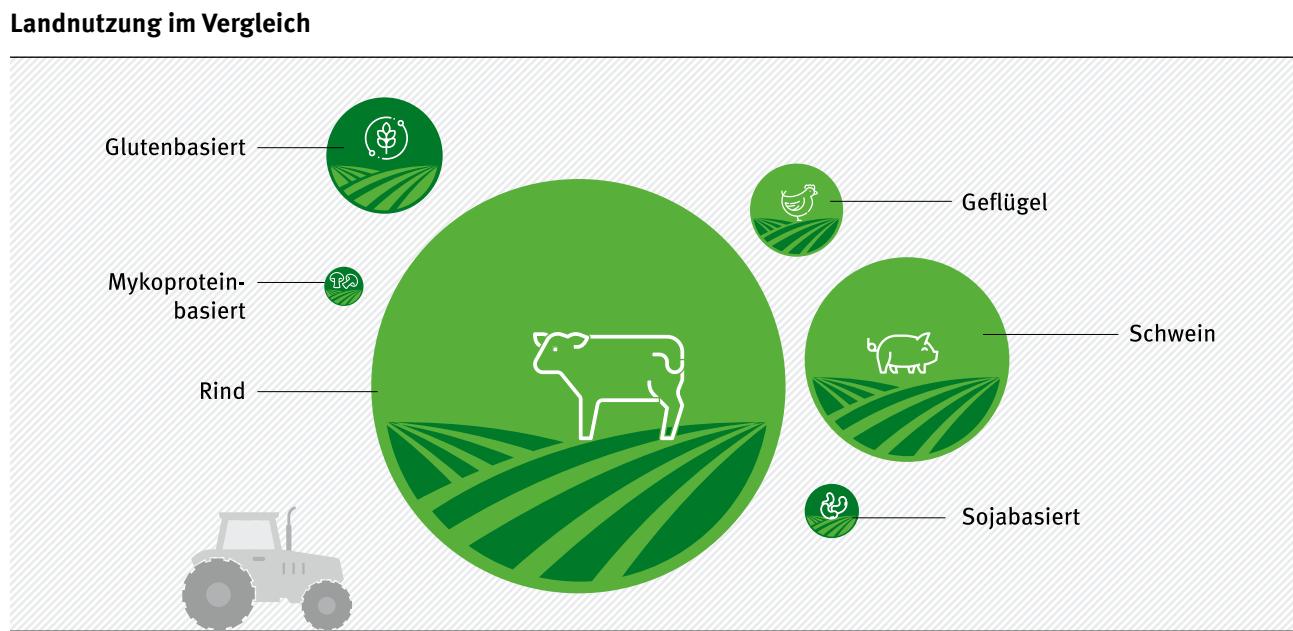
Abbildung 26

### Verwendung von Soja



Quelle: Brack, Glover und Wellesley (2016)

Abbildung 27



Quellen: Mattick et al. (2015b) und Smetana et al. (2015a)

mehr Land für die Produktion fleischlichen Proteins, verglichen mit Sojaprotein (Reijnders & Soret, 2003).

Betrachtet man einzelne Produkte wird für pflanzliche Fleischersatzprodukte weniger landwirtschaftliche Fläche benötigt als für die konventionelle Tierproduktion. Für 100 g Hühnerfleisch werden 0,385 bis 0,389 m<sup>2</sup>/kg Fläche benötigt (Head et al., 2011; Smetana et al., 2015a), wobei die Angaben je nach Haltungsart und Tierfutter leicht variieren. Im Vergleich zum Hühnerfleisch ist für die Herstellung von 100 g sojabasierter Mahlzeit ein Drittel weniger Landfläche notwendig (Smetana et al., 2015a). Weizengluten benötigt zwischen 0,55 und 0,582 m<sup>2</sup>/100 g (Smetana et al., 2015a). Wie schon im Kapitel zu konventioneller Tierhaltung erläutert, ist die Umweltwirkung von Schweine- und Rindfleisch noch größer, daher ist deren Differenz zu den pflanzlichen Fleischersatzprodukten um ein Vielfaches höher. Unter den getroffenen Annahmen in einer Cradle-to-Gate-Systemgrenze liegt der Flächenverbrauch für Rindfleisch bezüglich Weideland und Ackerland bei 2,7 bis 4,9 m<sup>2</sup>/100 g (Vries, M. de & Boer, Imke J. M. de, 2010).

Aufgrund der industriellen Fertigung von Quorn ist die Landnutzung mit 0,079 bis 0,084 m<sup>2</sup>/100 g um ein Vielfaches geringer als bei der konventionellen

Fleischproduktion. Auch im Vergleich zu soja- und glutenbasierten Fleischersatzprodukten schneidet Quorn am besten ab (Smetana et al., 2015a).

Auswirkungen auf die lokale Biodiversität unterscheiden sich stark, je nach Art der landwirtschaftlichen Praxis des Sojabohnen- und Weizenanbaus. Monokulturen sowie eine extensive Düngemittel- und Pestizidausbringung haben aufgrund der Intensität der Produktion erheblich negative Auswirkungen auf Biodiversität und Bodenqualität. Ökologischer Landbau hingegen beeinflusst die Biodiversität positiv (Sanders & Heß, 2019).

Auch die Herkunft der Pflanzen spielt eine Rolle bei der Bewertung der Auswirkungen auf die Biodiversität. Laut der EU-Verordnung 1829/2003/EG müssen gentechnisch veränderte Pflanzen gekennzeichnet werden, was zur Folge hat, dass der in Deutschland verkaufte Seitan und Tofu bzw. verkauften sojabasierte Produkte aus nicht gentechnisch verändertem Weizen oder Soja hergestellt werden und hauptsächlich aus Europa oder Kanada stammen (Stiftung Warentest, 2016). Bei der Herstellung von konventionellem Fleisch wird hingegen für das Tierfutter hauptsächlich gentechnisch verändertes Soja aus Südamerika verwendet (WWF International, 2014).

### 6.2.2 Gesundheitseffekte

Pflanzliche Fleischersatzprodukte können als Proteinquellen in der menschlichen Ernährung dienen. Der Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS; „um die Verdaulichkeit korrigierte Aminosäurenbewertung“) wird genutzt, um die Proteinverwertung im menschlichen Körper aufzuzeigen. Milch-, Soja und Eiproteine werden mit dem höchsten Wert von 1,0 bewertet (Biesalski, Grimm & Nowitzki-Grimm, 2011). Mykoprotein, aus dem Quorn hergestellt wird, hat einen Wert von 0,996 und weist somit ebenfalls eine sehr gute Proteinqualität auf (Edwards & Cummings, 2010). Von den verschiedenen Fleischarten schneidet Rindfleischprotein (0,9) am besten ab (Biesalski et al., 2011). Weizenprotein hat eine Proteinqualität von 0,4 (Biesalski et al., 2011). Durch die Kombination von Hülsenfrüchten mit Getreide kann die Proteinverwertung erhöht werden.

Ein Vergleich der Gesundheitseffekte von Fleisch und pflanzlichen Fleischersatzprodukten ist komplex, da diese stark von der (Tier-/Pflanzen-)Art, dem Verarbeitungsgrad und der Zubereitung der Produkte abhängen. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt beispielsweise fettarmes Fleisch und mageres Muskelfleisch (DGE, 2017). Ein Vorteil pflanzlicher Lebensmittel gegenüber Fleischprodukten ist, dass sie nahezu kein Cholesterin enthalten (Heseker, H. & Heseker, 2015). Allgemein haben die nicht stark verarbeiteten Soja- und Glutenprodukte einen geringen Fett- sowie erhöhten Nährstoffgehalt (Huber & Keller, 2017). Quorn enthält ebenfalls einen hohen Proteingehalt, viele Ballaststoffe und wenig Fett (Wiebe, 2004).

Ein Aspekt der Gesundheitswirkung ist die Lebensmittelsicherheit. Diese spielt vor allem bei den hochgradig verarbeiteten Erzeugnissen eine Rolle, etwa bei Schnitzeln oder Würstchen aus Seitan etc. Aufgrund von Produktionsverfahren können unerwünschte Bestandteile enthalten sein. So wurden etwa Mineralölkohlenwasserstoffe nachgewiesen, die gesundheitsschädigende Wirkungen haben (Ökotest, 2016). Allerdings wurden diese Stoffe auch in fleischhaltigen Produkten gefunden (20 Grillwürste im Test, 2016).

Weitere wichtige Effekte für die Gesundheitswirkung sind die Zusatzstoffe der verarbeiteten Fleischersatzprodukte; dazu zählen Farbstoffe, Stabilisatoren, Säurereregulatoren, Emulgatoren und Antioxidationsmittel (Huber & Keller, 2017). Konventionelle Fleischersatzprodukte weisen im Schnitt mehr Zusatzstoffe auf als ihre Pendants aus ökologischer Erzeugung.

## 6.3 Insekten

### 6.3.1 Grundlagen der Umweltbewertung

Grundsätzlich müssen bei der Umweltbewertung insektenbasierter Fleischersatzprodukte verschiedene Rahmenbedingungen genauer betrachtet bzw. definiert werden. Dazu gehören der Produktionsort, die betrachtete Insektenart und die Art des eingesetzten Futters. Der „Produktionsort“ kann sowohl hinsichtlich des dort vorherrschenden Klimas – z. B. tropisch vs. kontinental gemäßigt – als auch aufgrund seiner Naturnähe oder -ferne definiert werden. Es sollte dabei unterschieden werden zwischen:

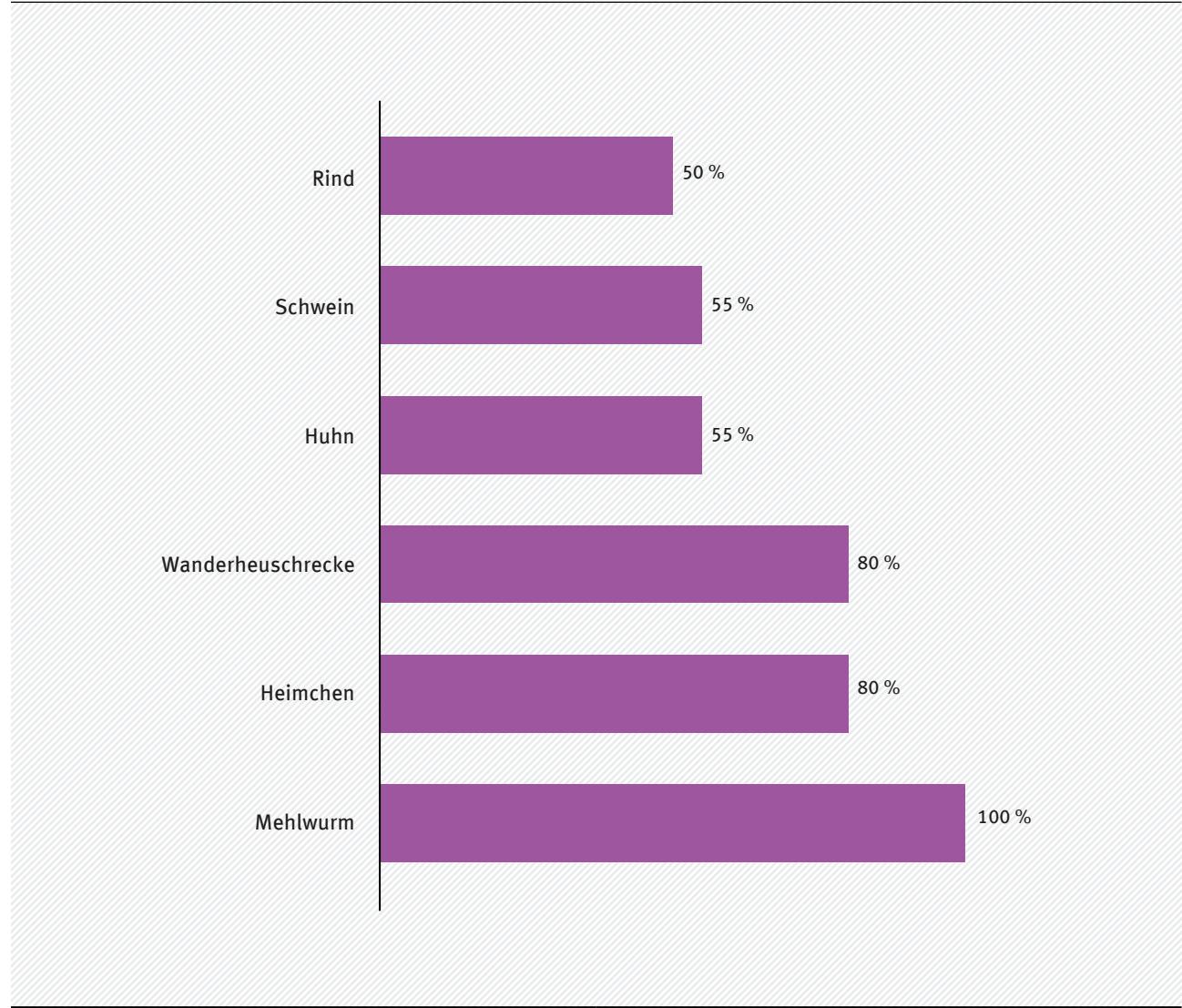
- ▶ Entnahme von Insekten aus natürlichen Habitaten
- ▶ Entnahme von Insekten aus modifizierten Habitaten
- ▶ „Insektenplagen“, also das Absammeln von ursprünglich ungewünschten Insekten z. B. aus Mais- oder Hirselfeldern in Mexiko oder der Sahelregion.
- ▶ Produktion in Insektenfarmen außerhalb Deutschlands/der EU
- ▶ Produktion in Insektenfarmen in Deutschland/der EU

Nur für die Produktion in Insektenfarmen außerhalb Deutschlands/der EU liegen aktuell Ökobilanzierungen vor (etwa Halloran et al., 2017)<sup>36</sup>.

Ebenso spielt eine Rolle, welche Insektenart betrachtet wird und welches Futter zum Einsatz kommt. Zu unterscheiden sind z. B. der Einsatz von Hühnerfutter wie Getreide, Fischmehl und Sojamehl als Insektenfutter sowie die Fütterung mit Abfall- oder Nebenprodukten.

36 Die Datenlage ist zudem noch recht dünn.

Abbildung 28

**Essbarer Anteil im Vergleich**

Quelle: Fiebelkorn (2017)

Übergreifend gilt im Vergleich zu konventionellen Nutztieren, dass der essbare Anteil von Insekten mit 80 bis 100 % wesentlich höher ist: Der essbare Anteil konventioneller Nutztiere liegt bei 50 bis 55 % (Fiebelkorn, 2017). Darüber hinaus haben Insekten eine wesentlich bessere Futterverwertung als konventionelle Nutztiere, sie benötigen also wesentlich weniger Futter für den gleichen Massezuwachs. Insekten sind außerdem poikilotherm, also wechselwarm, im Unterschied zu konventionellen Nutztiern, die homoiotherme (gleichwarme) Lebewesen sind. Aufgrund dieser Eigenschaft benötigen Insekten in bestimmten Regionen, z. B. den Tropen, keine zusätzliche (Wärme-)Energiezufuhr für die Aufrechterhaltung ihrer Körpertemperatur, sondern können all ihre Energie

für das Wachstum nutzen (Fiebelkorn, 2017). Insgesamt können diese Eigenschaften der Insekten ihre Umweltauswirkungen während der Produktion im Vergleich zur konventionellen Tierproduktion positiv beeinflussen.

Im Folgenden liegt der Fokus auf den – wenigen – Insektenarten, die bereits hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen untersucht wurden. Dazu gehören Mehlwürmer, Heuschrecken und Grillen. Ferner liegt der Schwerpunkt auf Insekten, die in Produktionsanlagen aufwachsen und nicht in freier Wildbahn, da nur mit einer Großproduktion signifikante und bezahlbare Mengen an Insektenfleisch erzeugt werden können, die ggf. konventionelles Fleisch ersetzen können.

### 6.3.2 Aktuell beobachtbare Umweltauswirkungen

#### Treibhausgase

Bei der Produktion von 100 g verzehrfertigem insektenbasiertem Endprodukt entstehen ca. 0,14 bis 0,15 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente<sup>37</sup> (Smetana et al., 2015a). In dieser Betrachtungsform innerhalb der Systemgrenzen Cradle-to-Gate, in der neben Futterherstellung und -transport für die Insekten auch die Verarbeitung (Gefriertrocknung) mitbetrachtet wird, fallen im Vergleich zu 100 g Hühnerfleisch nur ca. ein Drittel der THG-Emissionen an.

Die direkten THG-Emissionen der Tiere setzen sich zusammen aus Kohlendioxid, Methan, Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>), die durch die Atmung und den Stoffwechsel von Insekten und durch ihre Fäkalien freigesetzt werden (van Huis & Oonincx, 2017). Diese THG-Emissionen fallen nach bisherigem Kenntnisstand geringer aus als die der konventionellen Tierproduktion (van Huis & Oonincx, 2017). Beispielsweise geben Mehlwürmer, Grillen und Heuschrecken, bezogen auf 1 kg Massezuwachs, im Vergleich zu Schweinen und Rindern bis zu 100 mal weniger Treibhausgase ab (Fiebelkorn, 2017). Dies erklärt sich vor allem durch das Fehlen des hoch klimawirksamen Methans und durch die bessere Futterverwertung bei der Insektenproduktion (Oonincx et al., 2010). Methan, welches in der konventionellen Tierproduktion – und zwar beim Verdauungsprozess der Wiederkäuer – eine bedeutende Rolle spielt, fällt nur bei der Produktion einiger weniger Insektenarten an, wie Kakerlaken, Termiten und Blatthornkäfer, und während des Verdauungsprozesses nur in geringen Mengen (Fiebelkorn, 2017).

Die Treibhausgasbilanz der Insektenproduktion wird jedoch, ähnlich der Fleischproduktion, durch weitere Effekte beeinflusst, deren Umweltwirkung von größerer Relevanz ist. So fallen zusätzlich Emissionen an, die z. B. durch den Futtermittelanbau oder, wenn die Insekten außerhalb tropischer Gebiete gehalten werden,

durch das Beheizen der klimatisierten Aufzuchtanlage für Insekten<sup>38</sup> entstehen (Oonincx & Boer, Imke J. M. de, 2012). Die Beheizung der Aufzuchtanlage macht am Beispiel einer Mehlwurmzucht etwa ein Viertel der THG-Emissionen aus (Oonincx & Boer, Imke J. M. de, 2012)<sup>39</sup>. Eine Beheizung ist in kühleren Klimazonen, z. B. in Mitteleuropa, notwendig, da sich die Körpertemperatur von wechselwarmen Insekten an die Umgebungstemperaturen anpasst und der Stoffwechsel erst bei höheren Temperaturen aktiv wird. Der Vorteil bei einer Beheizung der Aufzuchtanlagen ist, dass die Energie im Futter direkt in Wachstum umgesetzt und nicht für die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur verwendet werden muss (Fiebelkorn, 2017; van Huis & Oonincx, 2017).

Das in einem Produktionssystem für Insekten verwendete Futtermittel beeinflusst, wie oben erwähnt, die Umweltauswirkungen und die THG-Emissionen erheblich (van Huis & Oonincx, 2017). In einer Mehlwurmzucht etwa schlägt die Produktion und der Transport des Futtermittelgetreides mit 42 % der Gesamtemissionen zu Buche (Oonincx & Boer, Imke J. M. de, 2012). Mehlwürmer und Heimchen benötigen ca. 2,2 kg Futtermittel, um 1 kg Gewicht zu produzieren. Bei Hühnern sind es gut 4,5 kg Futtermittel, bei Schweinen 9 kg und bei Rind 25 kg (Fiebelkorn, 2017). Wenn Soja- oder Fischmehl eingesetzt werden, schlägt sich das negativ auf die THG-Bilanz nieder, da es beim Sojaanbau zu Landumnutzung und Abholzung von Regenwäldern kommt bzw. für die Herstellung von Fischmehl verhältnismäßig viel Energie aufgebracht werden muss (van Huis & Oonincx, 2017). Auch Trockenschlempe<sup>40</sup> (DDGS) kommt als Futter zum Einsatz und weist eine geringere Umweltwirkung auf (van Huis & Oonincx, 2017).

Insgesamt deuten derzeitige Forschungsergebnisse darauf hin, dass bei der Produktion von Insekten weniger Treibhausgase entstehen als bei der konventionellen Schweine- oder Rinderhaltung (Doermann, Swift & Field, 2017) und bei der Geflügelproduktion<sup>41</sup>

37 Zur besseren Vergleichbarkeit der Daten wurde hier der Anteil der Emissionen, der bei der Zubereitung des Produkts entsteht, herausgerechnet (s. o.).

38 In diesem Beispiel befand sich die Aufzuchtanlage in den Niederlanden.

39 In der Studie von Oonincx und Boer, Imke J. M. de wurde die Systemgrenze Cradle-to-Gate verwendet.

40 Trockenschlempe fällt bei der Herstellung von Bio-Ethanol an und ist ein hochwertiges Protein-Energie-Futter, das z. B. auch für Milchkühe eingesetzt wird.

41 Bezogen auf die Herstellung von 100 g Fleisch.

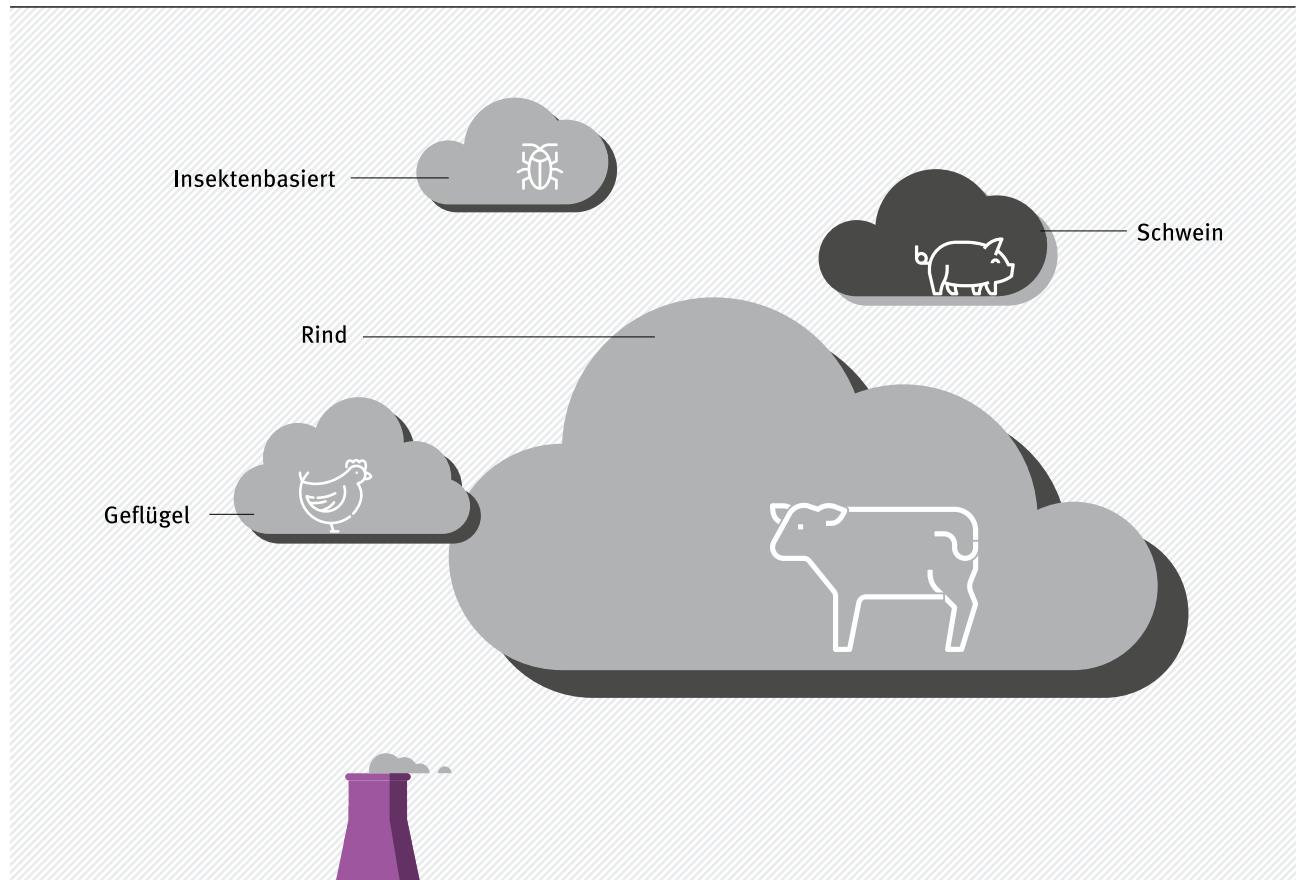
(Halloran et al., 2017). Als größter Hotspot<sup>42</sup> wurde dabei für beide Systeme die Produktion des benötigten Getreidefutters identifiziert, in Abgrenzung zu anderen möglichen Futtermitteln wie Bioabfällen (Dobermann et al., 2017; Halloran et al., 2017).

Zusammenfassend lässt sich sagen: Es gibt großes Potenzial, die Insektenzucht durch den Einsatz von Futtermitteln aus Abfall- oder Nebenprodukten beim THG-Potenzial weiter zu optimieren (Alexander et al., 2017; Dobermann et al., 2017). Bestimmte Arten, z. B.

der Mehlwurm, lassen sich gut mit Abfallprodukten der Lebensmittelindustrie füttern, was die futterbedingten Umweltwirkungen reduziert. Sie wachsen dadurch aber etwas langsamer, was zu längeren und damit „ineffizienteren“ Produktionszyklen führt (van Huis & Tomberlin, 2017b). Insektenarten wie Grillen sind bezüglich ihrer Nahrung weniger flexibel, wieder andere – z. B. bestimmte Fliegenarten – lassen sich auch mit Gülle oder Hausmüll aufziehen, sind dann aber nicht als Futter- oder Nahrungsmittel verwendbar (van Huis & Tomberlin, 2017b).

Abbildung 29

### Treibhausgasemissionen im Vergleich



Quellen: Mattick et al. (2015b) und Smetana et al. (2015a)

<sup>42</sup> Hotspots sind in einer Ökobilanz identifizierte „Lebenszyklusphasen, -prozesse oder Stoffströme, welche für einen signifikanten Anteil der Auswirkungen der Funktionseinheit verantwortlich sind“ (UN Environment [2017, S. 7]; Übersetzung durch die Autoren).

### Nährstoffeinträge und -überschüsse

Wie in Kapitel 6.1 dargestellt, sind einige der Probleme der hiesigen konventionellen Fleischproduktion die Erzeugung, Lagerung und Ausbringung viel zu großer Mengen Wirtschaftsdünger auf viel zu wenige und kleine Flächen sowie die damit verbundenen Umweltwirkungen auf Gewässer, Luft, Boden und Biodiversität.

Auch bei Insekten fallen stickstoff- und phosphorhaltige Exkremeante an. So wurde das Eutrophierungspotenzial z. B. in der Ökobilanz einer thailändischen Grillenfarm erfasst (Halloran et al., 2017). Die Resultate ergaben, dass die entstehende Eutrophierung von Boden und Wasser (marin und Süßwasser) bei der Produktion von 100 g Grillen im Vergleich zu 100 g Masthähnchen um bis zu ein Drittel geringer waren (Halloran et al., 2017). Dabei ging man in der Studie von folgenden Annahmen aus: Erstens, dass die Ammoniakemissionen des Tertiärs der Grillen (vermischt mit anderen Abfallstoffen<sup>43</sup>) nach der Ausbringung und während der Lagerung gering ist, da Insektendung naturgemäß verhältnismäßig trocken ist (Halloran et al., 2017; van Huis & Tomberlin, 2017b). Zweitens, dass während der Grillenproduktion die Ammoniakemissionen ähnlich hoch sind denen bei der Masthähnchenproduktion, wodurch sich hier kein Vorteil für Insekten ergibt. Drittens, dass der Grillendung die Anwendung von Kunstdünger in der Region substituiert (Halloran et al., 2017), was bei einer Übertragung auf Deutschland jedoch an der Überschussproblematik von Wirtschaftsdünger scheitern würde. In einem zukünftigen – effizienteren und vergrößerten – Grillenproduktions-Szenario würde das Eutrophierungspotenzial auf Wasser und Boden im Vergleich zur Masthähnchenproduktion jedoch weiter reduziert, teilweise sogar mehr als halbiert.

Die Ammoniakemissionen tragen, wie bereits im Kapitel zu konventionellem Fleisch beschrieben, zu saurem Regen und Bodenversauerung bei. Erste Forschungsergebnisse weisen jedoch einen Vorteil der Insekten- gegenüber der Fleischproduktion auf. Der Vergleich der Ammoniakemissionen von Schweinen mit denen von Mehlwürmern, Heimchen und Wanderheuschrecken ergab, dass die Emissionen der Insekten zwischen 13- bis 1.900-fach geringer sind (Fiebelkorn, 2017). In einem Experiment mit fünf

unterschiedlichen Insektenarten<sup>44</sup> lagen die gemessenen NH<sub>3</sub>-Emissionswerte aller Insektenarten unter den NH<sub>3</sub>-Emissionswerten konventioneller Nutztiere (Oonincx et al., 2010). Bei einer industriellen Produktion ist gutes Abfallmanagement notwendig, um den Abgasstrom zu reinigen, der Schwefelverbindungen, Ammoniak und Kohlendioxid enthält (Kok, 2017).

### Süßwasserverbrauch

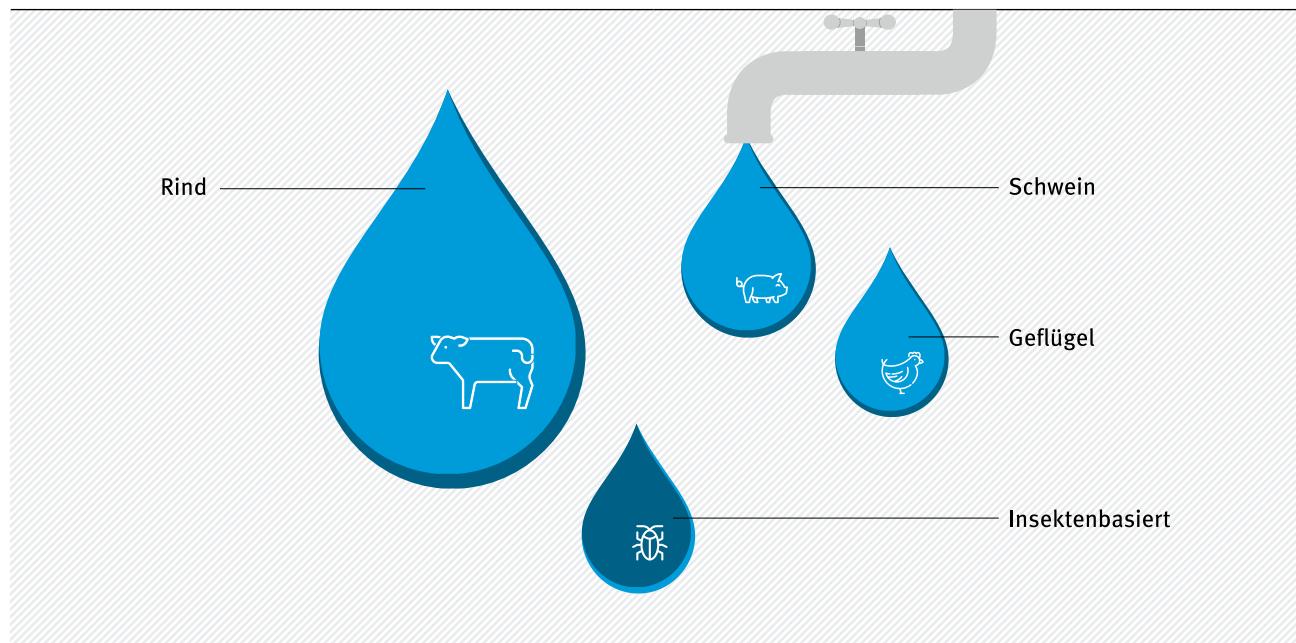
Um den Wasser-Fußabdruck der Insektenproduktion zu berechnen, werden sämtliche Wasserverbräuche und -verunreinigungen berücksichtigt, die während der verschiedenen Produktionsschritte entstehen. Dazu gehören Verbräuche während der Futtermittelproduktion, für das Tierwachstum sowie für die Reinigung der Produktionsanlagen. Den signifikantesten Einfluss auf den Wasserverbrauch bei der Insektenproduktion hat, wie auch bei der konventionellen Tierproduktion, die Herstellung der jeweiligen Futtermittel (Miglietta et al., 2015). Der Wasserverbrauch der Futtermittelherstellung ist wiederum abhängig von den verzehrten Futtermengen, der Zusammensetzung sowie der Herkunft des Futters (Halloran, Roos, Eilenberg, Cerutti & Bruun, 2016). Verschiedene Futtermittel weisen unterschiedlich hohe Wasserverbräuche auf. So hat etwa Futter aus Mischgetreide einen höheren Wasser-Fußabdruck als die Fütterung mit Karotten (Miglietta et al., 2015). Die aktuelle Diskussion zu biologischen Abfällen als Futtermittel kann dem Schlaglicht Waste to Feed entnommen werden.

Die Produktion von 100 g essbaren Mehlwürmern weist in den bestehenden Analysen mit rund 434 Litern pro 100 g einen geringeren Wasserverbrauch auf als die konventionelle Produktion von Rind- und Schweinefleisch mit jeweils rund 1.540 Litern pro 100 g bzw. 600 Litern. Der Wasserverbrauch der Produktion von 100 g essbaren Hühnerfleisches ist mit rund 433 Litern pro 100 g ähnlich hoch wie der von Mehlwürmern (Miglietta et al., 2015). Der gegenüber der konventionellen Produktion von Rind- und Schweinefleisch geringere Wasserverbrauch der Insektenproduktion kann u. a. damit begründet werden, dass Insekten wechselwarme Lebewesen sind. Daher produzieren sie bei gleicher Futtermenge mehr essbare Masse als konventionelle Tierarten. In der Konsequenz werden weniger Futtermittel

43 Dazu gehören Insektenreste, Futterreste und Eierkartonteile.

44 Dazu gehörten u. a. Grillen, Mehlwürmer und Wanderheuschrecken.

Abbildung 30

**Wasserverbrauch im Vergleich**

Quelle: Miglietta et al. (2015)

benötigt, um die gleiche Menge „Fleisch“ zu produzieren, was zu einem geringeren Wasserverbrauch für den Futtermittelanbau pro kg Insektenfleisch führt und damit zu einem geringeren Wasser-Fußabdruck (Oonincx, 2017). Darüber hinaus sind Insekten fähig, ihren gesamten Wasserbedarf durch ihre Nahrung zu decken (Miglietta et al., 2015). In einem praktischen Versuch konnte bereits festgestellt werden, dass einem Insektenproduktionssystem kein zusätzliches Trinkwasser zugefügt werden musste, solange eine angemessene Luftfeuchtigkeit vorlag

und ein Futtermittelmix aus Möhren, Kleie und Körnern gewählt wurde (Miglietta et al., 2015).

Deutlich wird der geringere Wasserverbrauch von Mehlwürmern gegenüber der Rind- und Schweinefleischproduktion bei der Betrachtung des Wasser-Fußabdrucks pro essbaren 100 g. Ließe man den essbaren Anteil der untersuchten Tierart unberücksichtigt und betrachtete lediglich den Wasser-Fußabdruck eines lebenden Tieres am Ende seines Lebens, lägen die Wasserverbräuche pro 100 g Tiermasse der

Tabelle 02

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

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

Quelle: Miglietta et al. (2015); angepasst an 100 g

Mehlwürmer sogar über dem von Hühnern und Schweinen (siehe Tabelle 2) (Miglietta et al., 2015). Der niedrigere Wasser-Fußabdruck pro verzehrfähigen 100 g Mehlwürmern lässt sich dadurch erklären, dass ihr essbarer Anteil bei 80 bis 100 % liegt und von Schweinen und Rindern in der Regel nur ein kleinerer Anteil des gesamten Tieres verzehrt wird.

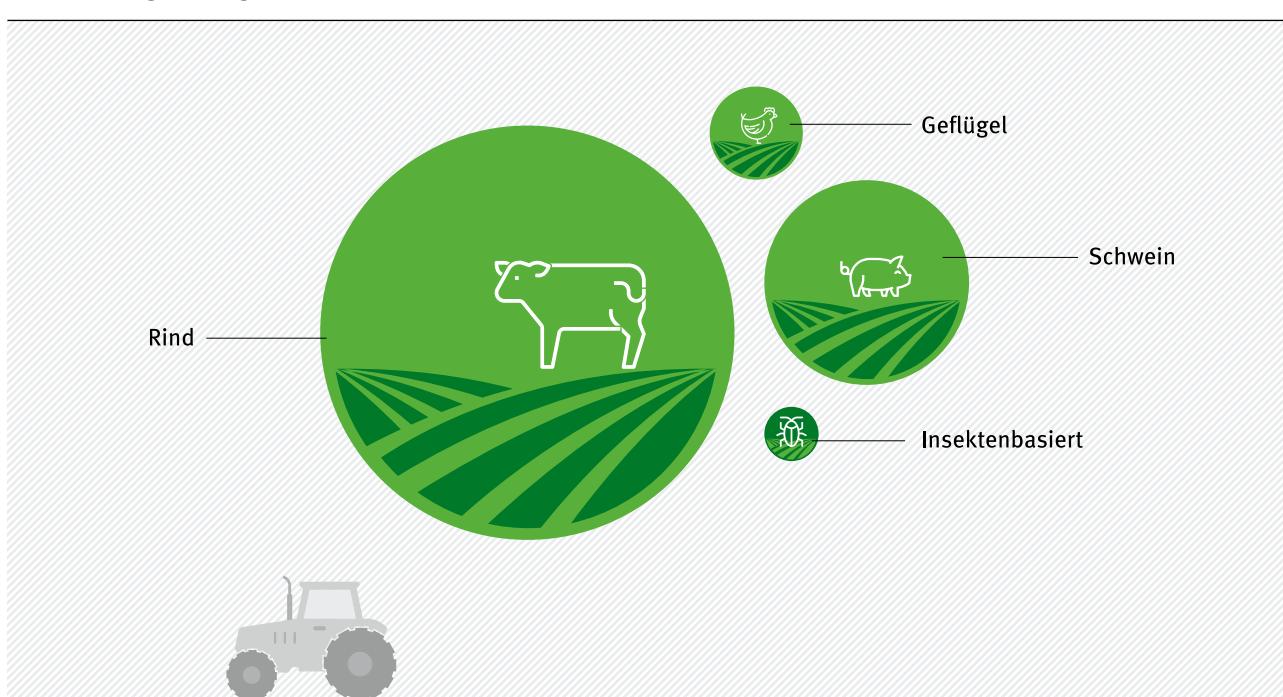
Zu beachten ist allerdings auch, dass zwischen verschiedenen Insektenarten Unterschiede hinsichtlich ihres Wasserverbrauchs bestehen. So fand eine Studie heraus, dass bei der Produktion von Mehlwürmern zehnmal mehr Wasser verbraucht wird als bei der Produktion auf einer Grillenfarm in Thailand (Halloran et al., 2017).

## Landnutzung und Biodiversität

Auch zum Landverbrauch der Insektenproduktion stehen bislang nur begrenzt Daten zur Verfügung (Dobermann et al., 2017). Festgestellt werden konnte, dass ein Großteil des Flächenbedarfs der Insektenproduktion ebenfalls in engem Zusammenhang mit der Futtermittelproduktion steht. So fand eine Studie heraus, dass die Produktionsstätte für Mehlwürmer nur 0,2 % der gesamten Landnutzung ausmacht, wohingegen die in dieser Anlage verwendeten Futtermittel mit 99 % der Landnutzung verbunden waren (Oonincx & Boer, Imke J. M. de, 2012; van Huis & Oonincx, 2017)<sup>45</sup>.

Abbildung 31

### Landnutzung im Vergleich



Quelle: Mattick et al. (2015b) und Smetana et al. (2015a)

Tabelle 03

### Landnutzung pro essbares Gramm Protein im Vergleich

	Mehlwurm	Huhn	Rind
Landnutzung/ Essbares Protein (g)	1	2 bis 3	8 bis 14

Quelle: van Huis und Oonincx (2017)

45 Die definierte Systemgrenze der Studie ist Cradle-to-Gate.

Da ein Großteil des Flächenbedarfs der Insektenproduktion in direktem Zusammenhang mit der Futtermittelproduktion steht, spielt die effizientere Futterverwertung von Insekten bei der Betrachtung des Flächenbedarfs eine wichtige Rolle. So werden zur Futtermittelproduktion für Insekten insgesamt weniger Flächen benötigt als für die konventionelle Futtermittelproduktion (van Huis & Oonincx, 2017). Zur Produktion von 100 g verzehrfähiger Insektenmasse werden 0,15 bis 0,152 m<sup>2</sup> Land benötigt, für die Produktion der gleichen verzehrfähigen Masse Hühnerfleisch zwischen 0,385 und 0,389 m<sup>2</sup> (Smetana et al., 2015a).

Da die Verfügbarkeit von Land ein kritischer Faktor für die Ernährungssicherheit der Weltbevölkerung ist, hat die Produktion von Mehlwürmern das Potenzial, je nach Nutzung der eingesparten Flächen, eine nachhaltige Alternative zu Geflügel-, Schweine- und Rindfleisch zu sein (Oonincx & Boer, Imke J. M. de, 2012).

Eine auf Masse ausgerichtete Produktion präferiert Insekten mit schnellem Wachstum, großer Körpermasse und einer hohen Reproduktionsrate. Eine selektive Züchtung von Insekten könnte zu veränderten Insektenpopulationen führen, die den Bedingungen der Domestizierung angepasst sind. Der Nachteil einer stetig vorhandenen Nahrungszufuhr in einer Insektenproduktionsanlage wäre eine geringere Hungertoleranz und Futterverwertung (Jensen, Kristensen, Heckmann & Sørensen, 2017). Die domestizierten Insekten hätten somit eine geringere Anpassungsfähigkeit an die Bedingungen in der freien Wildbahn.

## Tierschutz

Herausforderungen beim Tierschutz ergeben sich auch bei der Aufzucht und dem Verzehr von Insekten.

Derzeit werden Insekten nicht in Tierschutzgesetzen der EU, beispielsweise in der EU-Richtlinie 2010/63/EU zu Tierforschung (2010), erwähnt. Ein Grund dafür ist die ungeklärte Frage, ob Insekten Schmerz empfinden können. In Experimenten wurde festgestellt, dass Insekten auf Impulse, die mögliche Gefahren bedeuten, reagieren. Allerdings ist unklar, ob dies nur ein Reflex ist oder ob damit ein „tatsächliches“ Schmerzempfinden verbunden ist (Erens, Es

van, Haverkort, Kapsomenou & Luijben, 2012). Diese Frage ist schwierig zu klären, da die Physiologie der Insekten sich mit der menschlichen nicht vergleichen lässt und die Forschung in diesem Bereich noch nicht weit fortgeschritten ist (Pali-Schöll, Binder, Moens, Polesny & Monsó, 2019). Des Weiteren gibt es über eine Million Insektenarten; eine pauschale Aussage zum Schmerzempfinden von Insekten zu treffen, ist daher nicht möglich (Gjerris, Gamborg & Röcklinsberg, 2016).

Verschiedene Autoren sprechen sich aber dafür aus, das Fehlen von Evidenz nicht als Anlass zu nehmen, Insekten das Schmerzempfinden per se abzusprechen, sondern eine artgerechte Tierhaltung zu befürworten (Erens et al., 2012; Gjerris et al., 2016; Pali-Schöll et al., 2019).

Empfehlenswert ist es dieser Systematik entsprechend, dass sich die Haltung an den natürlichen Umweltbedingungen orientiert und äußere Faktoren, wie Temperatur und Feuchtigkeit, an die betreffende Insektenart angepasst werden (Erens et al., 2012). Forschungsbedarf besteht vor allem in Bezug auf speziesspezifische Bedürfnisse und die daraus resultierende Art der Aufzucht und Verarbeitung (Erens et al., 2012). Das Töten der Insekten sollte schnell, zuverlässig und schmerzfrei erfolgen (Erens et al., 2012). Tiefkühlen ist eine der präferierten Optionen, wobei sich je nach Spezies und Entwicklungsstadium die empfohlenen Methoden unterscheiden und weiterer Forschungsbedarf besteht (Pali-Schöll et al., 2019).

Auch wenn die Frage des Schmerzempfindens von Insekten noch nicht beantwortet ist: Aus ethischer Sicht ist die Insektenhaltung der konventionellen Tierhaltung vorzuziehen, da Insekten nach jetzigem Kenntnisstand weniger Schmerz empfinden als Säugetiere (Pali-Schöll et al., 2019). Ähnlich wie bei Tierexperimenten, bei denen der Grundsatz gilt, die Tiere zu benutzen, die das geringste Schmerz- und Stressempfinden haben (Europäische Kommission, 2010), könnte dieses Kriterium auch für die (Insekten-)Fleischproduktion herangezogen werden. Dabei gilt es auch abzuwägen, ob eine Verlagerung der Tierhaltung auf „niederere“ Tierarten bei Vorliegen pflanzlicher Alternativen überhaupt erforderlich ist.

### 6.3.3 Aktuell beobachtbare Gesundheitswirkungen

Ernährungsphysiologisch stellen Insekten eine gute Alternative zu Fleisch dar. In Bezug auf ihre Trockenmasse weisen Insekten durchschnittlich Proteingehalte zwischen 25 und 75 % und Fettgehalte (fettlösliche Moleküle eingeschlossen) von 10 bis 70 % auf (Finke & Oonincx, 2017). Fleischliche Lebensmittel weisen einen Proteingehalt von 20 bis 30 % auf, der Fettgehalt variiert stark, je nach Zubereitungsart (Max Rubner-Institut, 2019). Abhängig von Spezies, Futtermitteln und Haltebedingungen, enthalten Insekten neben den Proteinen weitere, für den Menschen wichtige Nährstoffe, Mineralien, Vitamine und Spurenelemente sowie Ballaststoffe (Payne, Scarborough et al., 2016). Eine Ausnahme ist Calcium, welches bei Wirbeltieren in einer höheren Konzentration vorhanden ist (Finke & Oonincx, 2017).

In einem relativ neuen Forschungsfeld sind bisher wenige Studien über die Verbindung des Verzehrs von Insekten mit einzelnen Krankheiten durchgeführt worden, z. B. Darmkrebs, Übergewicht oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Gründe für diese Krankheitsbilder sind jedoch häufig tierische Fette, also gesättigte Fettsäuren, sowie das intensive Braten und Salzen (WCRF & American Institute for Cancer Research, 2018). Da Insekten einen hohen Anteil an einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren aufweisen, könnte das Krankheitsrisiko dadurch reduziert werden (Fiebelkorn, 2017).

Für Gesundheitswirkungen sind weitere Aspekte relevant. Zu berücksichtigen sind etwa die potenziellen allergischen Reaktionen, die der Verzehr von Insekten, insbesondere Mehlwürmern, Heuschrecken und Grillen, bei Personen mit Krustentier- und Hausstaubmilbenallergien auslösen können (Ribeiro, Cunha, Sousa-Pinto & Fonseca, 2018). Dieser Effekt könnte auch bei Menschen auftreten, die auf Insektenfarmen arbeiten; daher ist ausreichender Arbeitsschutz zu gewährleisten (Dobermann et al., 2017).

Potenziell krankheitserregende Mikroorganismen aus der Darmflora der Insekten können meist durch einfache Verarbeitungsschritte reduziert werden, etwa gründliches Waschen und Erhitzen, sodass das

mikrobielle Risiko von Insekten, je nach Zubereitung, mit dem anderer tierischer Proteine vergleichbar ist (Dobermann et al., 2017). Auch Kontaminanten, wie Schwermetalle, Dioxine und Polychlorierte Biphenyle, die durch Aufzucht, Insektenfutter und das Verpacken entstehen können, stellen bei korrekter Zucht und Verarbeitung der Insekten kein höheres Risiko dar als bei anderen tierischen Produkten (Dobermann et al., 2017).

Das Futtermittel der Insekten kann sich auch auf die menschliche Gesundheit auswirken. Insekten, die in landwirtschaftlich genutzten Habitaten gesammelt werden und sich von dortigen Pflanzen ernährt haben, weisen zum Teil eine hohe Pestizidbelastung auf (Rumpold & Schlüter, 2013).

Insgesamt besteht noch Forschungsbedarf zu den Gesundheitswirkungen des Insektenverzehrs. Weitere Untersuchungen zu einem möglichen mikrobiellen und pathogenen Risikopotenzial essbarer Insekten sind wünschenswert (Roos & van Huis, 2017). Ob Insekten als Überträger von Krankheitserregern fungieren, wurde noch nicht ausreichend erforscht (van Huis et al., 2013). Schließlich wären Studien zur hygienischen und risikominimierenden Haltung und Lagerung der Insekten interessant.



## 6.4 In-vitro-Fleisch

### 6.4.1 Grundlagen der Umweltbewertung

Umweltauswirkungen des In-vitro-Fleisches können heutzutage nur hypothetisch abgeschätzt werden, da eine großskalige Produktion (noch) nicht möglich ist. Für die genauere Abschätzung der Umweltauswirkungen müssen zuerst wichtige technische Schritte des Herstellungsprozesses weiter geklärt werden, wie insbesondere die Herstellung eines alternativen Nährmediums zum fetalen Kälberserum – bzw. eines tierfreien Nährmediums – für die Zellen, die effiziente Etablierung von Stammzelllinien sowie die Herstellung von Bioreaktoren für eine großskalige Produktion von In-vitro-Fleisch (Pandurangan und Kim 2015; Mattick et al. 2015a; Mattick 2018; Mattick et al. 2015b; Tuomisto 2019). Hierbei ist auch zu beachten, dass bei der Produktion von In-vitro-Fleisch eine kontrollierte Produktionsumgebung aufrechterhalten werden muss, welche die biologischen Funktionen von Tieren ersetzen kann (Mattick et al., 2015a). Für die Innovationsbewertung können deshalb nur sogenannte antizipatorische Ökobilanzen herangezogen werden, welche aber mit hohen Unsicherheiten verbunden sind; letztlich hängen sie von Annahmen über die Ressourceninputs und auftretenden Emissionen ab (Mattick, Wetmore & Allenby, 2015).

Die Ökobilanzen sollten deshalb als begründete Szenarien mit geringer Aussagekraft und nicht als Voraussagen verstanden werden. Allerdings wird das nur selten deutlich von den Innovatoren kommuniziert.

### 6.4.2 Unterschiede in den Ausgangsparametern der Studien

Die bisherigen antizipativen Ökobilanzen von In-vitro-Fleisch unterscheiden sich stark in der Auswahl der Ausgangsparameter für den Vergleich mit traditioneller Tierproduktion (siehe auch Einleitung im Kapitel Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und Tierwohl). Nachfolgend werden die wichtigsten Unterschiede erklärt.

#### Nährmedium

Tuomisto und Teixeira de Mattos (2011) nahmen für die erste Ökobilanzierung von In-vitro-Fleisch

an, dass Cyanobakterien-Hydrolysat als Nährmedium für die Muskelzellen dient. Das Hydrolysat wird aus blauen Algen hergestellt und gilt als ein sehr effizientes Nährmedium. Da aber ein Verfahren zur großskaligen Gewinnung dieser Bakterien als Nährmedium noch nicht existiert, wurde die Studie stärker kritisiert (Alexander et al., 2017; Mattick et al., 2015a; Röös et al., 2017). Für eine weitere Ökobilanzierung änderten Tuomisto und ihre Forschergruppe diese Annahme und nutzten zur Umweltbewertung stattdessen eine „gemischte“ Form von Nährmedien, bei der – zusammen mit Cyanobakterien-Hydrolysat – als Wachstumsfaktoren auch verarbeiteter Weizen und Mais verwendet werden. Auf Basis existierender Daten zur Weizen- und Maisproduktion wurde abgeschätzt, dass 200 g Weizen oder Mais für die Herstellung von 100 g In-vitro-Fleisch nötig sind. Cyanobakterien zeigten die niedrigsten Treibhausgasemissionen und die geringste Landnutzung; Weizen wies den niedrigsten Wasser-Fußabdruck und Mais den niedrigsten Energiebedarf auf. In dieser Studie wurde auch der Ressourceninput für die Sterilisierung und Hydrolyse von Mais und Weizen kalkuliert (Tuomisto, Ellis & Haastrup, 2014). Mattick und ihre Gruppe (Mattick et al., 2015a; Mattick, Landis & Allenby, 2015) verwenden in ihrer Abschätzung ein Nährmedium, das aus Peptiden und Aminosäuren aus der Sojahydrolyse sowie Glukose aus Maisstärke besteht. Damit stützen sie sich auf Daten aus der Zellproliferation vom Eierstock des Chinesischen Zwerghamsters (CHO) (Sung, Lim, Chung & Lee, 2004).

#### Modellierung der Bioreaktoren

In den Studien von Tuomisto und Teixeira de Mattos (2011) sowie Tuomisto und Roy (2012) wurde die Arbeitsweise und der Aufbau der Bioreaktoren weniger genau modelliert als in späteren Studien. Energieverbräuche für die Bioreaktoren wurden vor allem zur Aufrechterhaltung der Wachstumstemperatur von 37 °C für die Kultivierung der Zellen angenommen; als Bioreaktor-Design wurde ein Rührzyylinder verwendet. In Tuomisto et al. (2014) wurde ein Szenario auf Basis eines hohlen Kapillarbioreaktors vorgestellt; die Energieverbräuche wurden allerdings entsprechend des früheren Ansatzes in Tuomisto und

Teixeira de Mattos (2011) modelliert. Laut späteren Studien besteht das Zellengerüst aus Maisstärke-Mikroträgerperlen und findet der Prozess in Rührkessel-Bioreaktoren statt (Mattick et al., 2015a; Mattick, Wetmore et al., 2015). Schließlich werden die Bioreaktoren in diesen Studien zwischen jedem Kultursatz durch Spülen mit Natriumhydroxid und Erhitzen auf 77,5 °C gereinigt.

#### Funktionelle Einheit (FE)

Smetana und seine Kollegen (2015a, 2015b) entwickelten eine Ökobilanzierung, welche die Lieferkette von der Extraktion der Rohstoffe (Cradle) bis zur Nutzung des Produkts durch den Verbraucher bzw. der Zubereitung (Plate) berücksichtigt. Wie oben beschrieben, wurde der Emissionsanteil für die Zubereitung an dieser Stelle herausgerechnet, um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Bei Smetana et al. (2015a) werden die unterschiedlichen Produkte auf Basis dreier funktionaler Einheiten (FE) verglichen: 1 kg Produkt, das verbrauchsfertig zubereitet ist, die Versorgung des Verbrauchers mit 3,75 MJ des Kalorieninhaltes sowie die Versorgung des Konsumenten mit 0,3 kg verdautem Protein. Hier wird In-vitro-Fleisch – zusammen mit anderen Fleischalternativen – nur mit Hühnerfleisch verglichen, da Hühnerfleisch die „effizienteste“ Fleischsorte ist (Roy, P. et al., 2009). Lynch und Pierrehumbert (2019) betonen, dass die Art der FE bei der Abschätzung der THG-Emissionen in den bestehenden Ökobilanzierungen sehr stark variiert. Wenn Eiweiß statt Fleisch als funktioneller Output angesehen wird, würden die Fußabdrücke innerhalb der Studien variieren: Mattick et al. (2015a) z. B. schätzen einen Anteil von 7 % Eiweiß pro Gewicht der Fleischmasse für In-vitro-Fleisch, während Tuomisto und Teixeira de Mattos (2011) sowie Tuomisto et al. (2014) dafür 19 % kalkulieren. Außerdem werden in den Studien verschiedene Typen von Zellbiomassen verglichen: In Mattick et al. (2015a) stellt die FE 1 kg Zellbiomasse dar, wobei alle weiteren verarbeitungs- oder zusätzlichen Zutaten, die erforderlich sind, um diese Biomasse in eine essbare Form oder ein herkömmliches Analogprodukt für Fleischprodukte umzuwandeln, nicht abgeschätzt wurden. Tuomisto und Teixeira de Mattos (2011) kalkulieren die FE eines „Hackfleischprodukts“, ohne die weiteren notwendigen Verarbeitungsschritte einzubeziehen (was aufgrund des Früh-Innovationsstadiums gar nicht möglich

war). Die Auswirkungen der Prozesse zur Herstellung verschiedener Fleischprodukte, wie Steaks, können sogar noch größer sein (Stephens et al., 2018).

#### 6.4.3 Zukünftig mögliche Umweltauswirkungen im Vergleich zur konventionellen Tierproduktion

Die bisherigen antizipativen Ökobilanzen von In-vitro-Fleisch unterscheiden sich stark in der Auswahl der Ausgangsparameter für den Vergleich mit traditioneller Tierproduktion (siehe auch Einleitung im Kapitel 6).

#### Treibhausgase

Treibhausgas-Emissionen ergeben sich bei der Herstellung von In-vitro-Fleisch unter anderem aus dem Betrieb von Bioreaktoren sowie der Produktion der Nährmedien. Die Studien legen verschiedene Parameter über die Größe, die Funktionsweise der Bioreaktoren sowie die Art des verwendeten Nährmediums zugrunde (vgl. Kapitel 6.4.2) da bis jetzt keine Bioreaktoren für die großskalige Produktion existieren. Die ersten Studien zu den Umweltauswirkungen von In-vitro-Fleisch kamen noch zu äußerst positiven Ergebnissen hinsichtlich der THG-Emissionen. So kalkulieren Tuomisto und Teixeira de Mattos (2011) Einsparungen zwischen 78 und 96 % bei den THG-Emissionen im Vergleich zur konventionellen Fleischproduktion, je nachdem, ob Best-Case- oder Worst-Case-Szenarien bezüglich der Effizienz der Bioreaktoren und des Wachstumsfaktors berücksichtigt werden. Sie schätzen einen durchschnittlichen THG-Fußabdruck von 2,2 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro kg In-vitro-Fleisch. Mit den gleichen Parametern wurde die Abschätzung für 27 Länder der Europäischen Union durchgeführt (Tuomisto & Roy, 2012); es ergab sich ebenfalls eine Einsparung von bis zu 43 % bei den THG-Emissionen im Vergleich zu konventionellen Tierprodukten.

Neuere Studien gehen von wesentlich höheren THG-Emissionen aus; zuvor getroffene optimistische Annahmen bezüglich des Nährmediums und der Modellierung der Bioreaktoren wurden nun modifiziert. So ergibt sich ein Fußabdruck von 0,75 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro 100 g In-vitro-Fleisch (Mattick et al., 2015a). Dieser Wert ist höher als beim Schwein (0,41 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro 100 g) und Huhn (0,23 kg), aber deutlich geringer als beim Rindfleisch mit 3,5 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro 100 g. In einer Sen-

Abbildung 32

**THG-Emissionen im Vergleich**

Quellen: Mattick et al. (2015b) und Smetana et al. (2015a)

sitivitätsanalyse zeigt sich außerdem, dass die Werte je nach Ausgangsparametern stärker variieren und auch noch steigen können.

Teils ergeben sich sogar noch höhere THG-Emissionen. In einem Szenario, dass das obere Ende der Sensitivitätsanalyse in Mattick et al. (2015a) modelliert, ergibt sich ein Fußabdruck von 25 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro 100 g In-vitro-Fleisch (Lynch & Pierrehumbert, 2019). Zu den Annahmen zählen, dass am Ende der Proliferationsphase niedrigere Zelldichten als während der Proliferationsphase erreicht werden; dass in der Differenzierungsphase kein weiteres Wachstum von Biomasse erreicht wird; dass die Gebäudegröße und der Energiefußabdruck der Bioproduktionsanlage eher mit einer pharmazeutischen Anlage als mit einer Brauerei vergleichbar sind. Diese Annahmen decken sich auch mit Zahlen aus weiteren antizipatorischen Ökobilanzierungen, welche kalkulieren, dass sich aus 100 g In-vitro-Fleisch ca. 2,3 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente ergeben, was deutlich höher ist als bei Hühnerfleisch, wo der Wert zwischen 0,38 und 0,43 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten liegt (Smetana et al., 2015a)<sup>46</sup>.

Bisher basieren diese Vergleiche auf Kohlendioxid-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>e), welche die Emissionen verschiedener Treibhausgase in Bezug zu Kohlendioxid bringen. Darüber hinaus wurden auch die

potenziellen Klimaauswirkungen von In-vitro-Fleisch und Rindfleisch unter Verwendung eines atmosphärischen Modellansatzes kalkuliert – ein einfaches Klimamodell, das das unterschiedliche Verhalten von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) simuliert (Lynch und Pierrehumbert (2019)). Die Autoren gehen davon aus, dass CO<sub>2</sub>-Äquivalente als Vergleichsgrundlage unzureichend seien: Einzelne Gase würden sich sowohl in der Menge unterscheiden, in der sie die atmosphärische Energiebilanz verändern (Strahlungsantrieb), als auch in der Zeitspanne, wie lange sie in der Atmosphäre bestehen bleiben. In ihrem Modell werden verschiedene Fußabdrücke der Züchtung von Fleisch- und Rindfleischsystemen unter drei alternativen Verbrauchspfaden getestet und die Temperatureinflüsse unter verschiedenen Produktions- und Verbrauchsszenarien in allen Zeiträumen mit 1.000 Jahren verglichen (Lynch & Pierrehumbert, 2019). Insgesamt zeigt sich, dass die Wirkung der Produktion von In-vitro-Fleisch nicht per se immer effizienter als die Produktion von Rindfleisch ist: Während der Beitrag von In-vitro-Fleisch für die Erderwärmung ausschließlich von der Produktion von CO<sub>2</sub> abhängt, das in der Atmosphäre akkumuliert, hängt der Beitrag des Rindfleisches auch stark von der Produktion von CH<sub>4</sub> ab, das nicht akkumuliert: In vielen Szenarien überholt das THG-Potenzial von In-vitro-Fleisch das des Rindfleisches.

46 S. o.: Der Anteil der Emissionen, der durch die Zubereitung der Produkte entsteht, wurde jeweils herausgerechnet.

## Energie

Fast die gesamte Energie bei der Herstellung von In-vitro-Fleisch wird für industrielle Prozesse benötigt, d. h. für Belüftung, Mischung und Temperaturregulierung während der Kulturphase (Mattick, Landis & Allenby, 2015; Tuomisto et al., 2014). Anfangs wurden noch Energieeinsparungen zwischen 7 und 45 % bei der Herstellung von In-vitro-Fleisch im Vergleich mit konventionellem Fleisch berechnet (Tuomisto & Teixeira de Mattos, 2011). Aktuelle Studien sehen dies wesentlich anders. Hier liegt der Verbrauch nicht erneuerbarer Energien bei der Herstellung von 100 g In-vitro-Fleisch (FE) zwischen 29,07 und 37,3 MJ, höher als bei der Produktion von Hühnerfleisch (zwischen 5,164 und 6,34 MJ) (Smetana et al., 2015a, 2015b). Auch weitere Studien kalkulieren, dass der Energieverbrauch bei der Herstellung von In-vitro-Fleisch 35 % höher ist als bei der Produktion von Rindfleisch und fast viermal so hoch wie bei der Produktion von Geflügelfleisch (Mattick et al., 2015a). Diese Berechnungen basieren auf der Annahme, dass Produktionsanlagen eine ähnliche Mischung von Brennstoffen verwenden würden wie diejenigen, die in der Malzgetränkeindustrie verwendet werden. Diese Kraftstoffmischung besteht hauptsächlich

aus Erdgas (43 %), Kohle (33 %) und Strom aus dem US-Stromnetz (16 %) (Galitsky, Martin, Worrell & Lehmann, 2003). Würden erneuerbare oder niedrigere Kohlenstoffe eingesetzt, würde die Herstellung von In-vitro-Fleisch in geringerem Maße zur globalen Erwärmung beitragen.

## Nährstoffeinträge und -überschüsse

Das Eutrophierungspotenzial durch die Freisetzung von Stickstoffen und Phosphor, die aus landwirtschaftlichen Abwässern kommen, ergibt sich vor allem aus der Herstellung des verwendeten Nährmediums. Deshalb ist das Potenzial bei In-vitro-Fleisch nur bedingt kalkulierbar: Studien über konventionelle Fleischproduktion betrachten deren Abfallströme (Pelletier, 2008; Pelletier, Lammers, Stender & Pirog, 2010; Pelletier, Pirog & Rasmussen, 2010), während dies für In-vitro-Fleisch nicht der Fall ist (Mattick, Landis & Allenby, 2015). Bestehende Studien gehen von einem geringeren Eutrophierungspotenzial<sup>47</sup> als bei Rind und Schwein aus. So ergibt sich für 100 g hergestelltes In-vitro-Fleisch ein Eutrophierungspotenzial von 0,75 PO<sub>4</sub>-Äquivalenten gegen 21,4 PO<sub>4</sub>-Äquivalenten für Rind, 2,62 für Schwein und 0,64 für Huhn (Mattick, Landis & Allenby, 2015).

Abbildung 33

### Landnutzung im Vergleich



Quellen: Mattick et al. (2015b) und Smetana et al. (2015a)

<sup>47</sup> Eutrophierungspotenzial ist ein Indikator für die Wirkungskategorie Eutrophierung in der Ökobilanzierung.

In einem späteren Paper kommt Mattick (2018) zu der etwas optimistischeren Abschätzung, dass In-vitro-Fleisch etwa in demselben Maße zu einer Eutrophierung beiträgt wie die konventionelle Geflügelproduktion und in wesentlich geringerem Maße als Rind- oder Schweinefleisch.

### Süßwasserverbrauch

In der Studie von Tuomisto und Teixeira de Mattos (2011) wurde nur der Verbrauch von „blauem“ Wasser kalkuliert und eine Einsparung zwischen 82 und 96 % berechnet. Allerdings ist anzumerken, dass die konventionelle Fleischproduktion einen großen „grünen“ und nur einen relativ geringen „blauen“ Wasser-Fußabdruck zeigt. Smetana et al. (2015a, 2015b) schätzen einen Verbrauch von Leitungswasser von etwa 42 kg für die Herstellung von 100 g In-vitro-Fleisch, also deutlich geringer als bei der Herstellung von Hühnerfleisch (85 kg). Eine spätere Studie von Tuomisto et al. (2014), die auch den grünen Wasser-Fußabdruck berücksichtigte, kam zum Ergebnis, dass der Wasser-Fußabdruck für In-vitro-Fleisch auf dem gleichen Niveau wie bei der konventionellen Fleischproduktion liegt.

### Landnutzungswandel

In-vitro-Fleisch wird in der Forschung insgesamt als vorteilhafter für die Landnutzung dargestellt, verglichen mit konventionellem Fleisch. In der Literatur wird ein Landverbrauch zwischen 0,18 und 0,77 m<sup>2</sup> pro kg erzeugtem In-vitro-Fleisch angenommen. Damit ist dieser geringer als beim Hühnerfleisch, für das der Wert zwischen 3,85 und 3,89 m<sup>2</sup> pro kg liegt (Mattick et al., 2015a; Smetana et al., 2015a, 2015b)<sup>48</sup>. Frühere Studien gingen von noch geringeren Werten aus (Tuomisto & Roy, 2012; Tuomisto & Teixeira de Mattos, 2011) und schätzen einen Landverbrauch zwischen 0,18 und 0,23 m<sup>2</sup> pro kg hergestellten In-vitro-Fleisches.

### Tierschutz

Sehr wenig Literatur beschäftigt sich mit dem Thema künftiger Haltungsbedingungen von Tieren, die für die Herstellung von In-vitro-Fleisch genutzt werden. Die Innovatoren gehen von einem allgemeinen Vorteil für Tiere aus, da sich die Zahl der Tiere, die für die Fleischproduktion gehalten wird, deutlich reduzieren wird (Bhat, Z. Fayaz et al., 2015) – mit Ausnahme der Tiere, die für die Stammzellenentnahme und als Nährmediumslieferant benötigt werden.

Allerdings gibt es in der Literatur keine Abschätzung darüber, wie viele Stammzellen für In-vitro-Fleisch-Produkte benötigt werden, wie viel Muskelmaterial aus dem Tier zur Gewinnung der Stammzellen benötigt wird und wie oft wie vielen Tieren für die Produktion von In-vitro-Fleisch Zellen entnommen werden müssen. Dieser Mangel an Daten hat auch damit zu tun, dass Stammzelllinien in der Forschung für Menschen und Mäuse optimiert sind und nicht für die üblichen Arten der sogenannten Nutztiere. In diesem Kontext sei daran erinnert, dass In-vitro-Fleisch eine Technik aus dem Medizinbereich verwendet, das Tissue Engineering.

Auch die Entnahme fetalen Kälberserums ist Ursache für das Leiden von Kälbern: Sie erfolgt über eine Punktions in der Mitte des Herzens ungeborener, noch lebender Kälber ohne Narkose (Jochems, van der Valk, Jan B. F., Stafleu & Baumans, 2002). Bis jetzt bleiben in der Literatur die Implikationen anderer Nährmedien mit tierischen Komponenten auf das Tierwohl unbekannt.

Auch von den Innovatoren selbst wird kaum thematisiert, wie Tiere in einer Zukunft mit In-vitro-Fleisch leben werden. Post (2012) schrieb z. B., dass eine der wichtigsten Herausforderungen für diese Innovation die spezielle Züchtung von Tieren ist, die dann als Stammzelllieferanten optimiert werden.

<sup>48</sup> Mattick, Landis und Allenby (2015) und Mattick, Landis, Allenby und Genovese (2015a) schätzen einen Verbrauch von 717 m<sup>2</sup> pro Jahr für jeden Bioreaktor, d. h. durchschnittlich 0,7 m<sup>2</sup> pro kg hergestellten In-vitro-Fleisches. Smetana, Mathys, Knoch und Heinz (2015a); (2015b) kalkulieren einen Landverbrauch zwischen 0,39 und 0,77 m<sup>2</sup> pro kg In-vitro-Fleisches.

Im Unterschied dazu sprach Forgacs vom Unternehmen Modern Meadow in einem Vortrag im Jahre 2014 von Daisy, einer Kuh, die frei lebt und an der ab und zu eine Muskelbiopsie vorgenommen wird (Forgacs, 2013). Solange dies ungeklärt ist, bleibt In-vitro-Fleisch als Vision ein Mittel unterschiedlicher ethischer Strategien, welche die Mensch-Tier-Beziehung verschieden definieren: entweder als inkrementeller Schritt zu einer Verbesserung der Haltungsbedingungen oder als Mittel für eine radikale Veränderung solcher Beziehungen (Ferrari, 2016).

#### **6.4.4 Zukünftig mögliche Gesundheitsauswirkungen im Vergleich zur konventionellen Tierproduktion**

In-vitro-Fleisch wird von den Innovatoren als gesünderes Fleisch dargestellt, weil es im Labor unter kontrollierten Bedingungen hergestellt wird (Post, 2012). Eine Reduktion der Gefahr von Zoonosen, also der Krankheitsübertragung von Tieren auf den Menschen, ist zu erwarten, da es bei dieser Innovation keinen Kontakt mit ganzen Tieren gibt. Allerdings gibt es eine Reihe ungelöster Aspekte, die möglicherweise Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben könnten und künftig jedoch noch genauer erforscht werden müssen:

**Antibiotika:** Oft wird davon ausgegangen, dass bei In-vitro-Fleisch die Tiere im Vergleich zur herkömmlichen Fleischproduktion anders gehalten und ihnen keine Antibiotika verabreicht werden (Bhat, Z. Fayaz & Bhat, 2011; Mattick & Allenby, 2013). Selbst bei antibiotikafreier Haltung bleibt unklar, ob und inwieweit Antibiotika doch notwendig für Zellkulturen sind: Bei der Herstellung des ersten In-vitro-Burgers aus Rinderstammzellen, der im August 2013 in London vorgestellt wurde, wurden Antibiotika verwendet. Post geht davon aus, dass keine Antibiotika mehr gebraucht werden, wenn eine Produktion im großen Maßstab in sterilen Systemen möglich geworden ist (Zaraska, 2013).

#### **Übertragung von Krankheiten und Keimen:**

Fetales Kälberserum, bis jetzt immer noch das effizienteste Wachstumsmedium, kann Keime für ansteckende Krankheiten enthalten (Brunner et al., 2010; Girón-Calle et al., 2008). Solche Krankheiten sind schwer auszuschließen, da der Gesundheitszustand und die Haltungsbedingungen der Mutter-

kühe schwer zu kontrollieren sind. Die Innovatoren arbeiten an der Herstellung alternativer – tierfreier – Wachstumsmedien.

**Fleischkonsum und Zubereitung:** Viele Studien belegen den Zusammenhang zwischen übermäßigem Fleischkonsum und Übergewicht, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Bluthochdruck, autochthonem Hepatitis-E-Virus, einigen Krebsarten oder Diabetes Typ 2 (Farvid et al., 2018; IARC, 2015; Lippi, Mattiuzzi & Sanchis-Gomar, 2015). Allerdings weiß man noch nicht, ob diese Gesundheitsrisiken intrinsisch mit Fleischkonsum zu tun haben, ob sie eher aus der Weise resultieren, wie Tiere gehalten werden (Futter und Medikamente) oder wie Fleisch anschließend vorbereitet und gekocht wird. Deshalb ist unklar, ob und inwieweit sich solche gesundheitlichen Risiken auch im Fall eines (breiten) Konsums von In-vitro-Fleisch ergeben würden.

Smetana et al. (2015a) kalkulierten die Auswirkungen auf menschliche Gesundheit und kommen zum Ergebnis, dass In-vitro-Fleisch die negativsten Auswirkungen aufweist, wobei es hier um indirekte gesundheitliche Auswirkungen geht (Ökotoxizität bei der Herstellung; die Autoren vergleichen es mit Hühnerfleisch und anderen alternativen Produkten).

#### **Zusatzeffekte funktionelles Lebensmittel:**

In-vitro-Fleisch könnte ein Nahrungsmittel werden, das mit zusätzlichen Nährstoffen wie Vitaminen oder Omega-3-Fettsäuren angereichert wird und einen positiven Effekt auf die Gesundheit haben soll. Darauf spekulieren die Innovatoren, dennoch bleibt der Bereich auch gesellschaftlich kontrovers: So wird diskutiert, ob In-vitro-Fleisch überhaupt erwünscht und nötig ist.

## 6.5 Fazit



Um angemessen auf die bestehenden Unterschiede zwischen Fleisch- und Alternativprodukten eingehen zu können, wurde als Vergleichsmaßstab 100 g unverarbeitete, essbare Masse ohne Zusatzstoffe gewählt, was je nach Produkt ungefähr dem Gewicht eines Burger-Bratlings entspricht. Verfügbare Daten erlauben hier einen einheitlichen und konsistenten Vergleich aller betrachteten Fleischarten. Außerdem kann über das Produkt des „Burger-Bratlings“ eine anschauliche, konsumentennahe Illustration ermöglicht werden.

**Aus Umweltsicht sind pflanzliche Fleischersatzprodukte die beste Fleischalternative.** Dies liegt vor allem daran, dass Pflanzen „ohne Umweg“ direkt der menschlichen Ernährung dienen können. Somit entfällt die bei der Tierproduktion nötige Kalorienumwandlung pflanzlicher Futtermittel in tierisches Fleisch, die mit einem hohen Kalorienverlust einhergeht. Zudem ergibt sich beim Direktverzehr von Pflanzen ein vielfach geringerer Landflächen- und Wasserbedarf. Für die Produktion 100 g fleischlichen Proteins benötigt man sechs- bis siebenmal mehr Fläche als für die Produktion von 100 g Sojaprotein (Reijnders & Soret, 2003). Gleichzeitig ist die Belastung des Grundwassers und des Bodens durch

Nährstoffüberfrachtung bei pflanzlichen Fleischersatzprodukten geringer. Auch die THG-Emissionen sojabasierter Fleischersatzprodukte sind um 75 % geringer als die von Hühnerfleisch, der Fleischsorte mit den verhältnismäßig geringsten THG-Emissionen (Smetana et al., 2015a). Im Vergleich zu Rindfleisch, der treibhausgasintensivsten Fleischsorte, sind die THG-Emissionen sogar 27-mal geringer. Die Entlastungen treten gleichzeitig aber nur auf, wenn sojabasierte Produkte nicht zusätzlich zur bestehenden Nachfrage konsumiert werden. Wenn zukünftig davon ausgegangen wird, dass pflanzenbasierte Ersatzprodukte die wichtigste Alternative zu Fleisch bleiben, jedoch hinsichtlich ihrer Marktanteile eher eine Nische sind, dann bleiben auch die Umweltentlastungen insgesamt geringer als wenn pflanzliche Ersatzprodukte konventionelle Tierprodukte in größerem Umfang ersetzen (vgl. Kapitel 6.2 und Kapitel 5).

Diverse Vorteile pflanzlicher Fleischersatzprodukte gegenüber konventionellem Fleisch ergeben sich auch aus Gesundheits- und aus ethischer Sicht (dabei sind jedoch Unterschiede bei den pflanzlichen Fleischersatzprodukten etwa zwischen Weizen und Soja zu beachten; vgl. Kapitel 6.2). Pflanzliche Fleischalternativen sind proteinreich, enthalten dabei aber kein Cholesterin, welches bei übermäßigem Verzehr negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann. Die Gesundheitsvorteile pflanzlicher Fleischersatzprodukte werden auch vom Verarbeitungsgrad der Produkte beeinflusst: Sie können bei übermäßigem Zusatz von Stabilisatoren, Farbstoffen etc. deutlich geschmälert werden. Außerdem ist gemäß Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung auf vollwertige Ernährung zu achten; dies gilt insbesondere für Kinder und Schwangere (DGE, 2017).

Aspekte des Tierwohls, z. B. die nicht artgerechte Haltung oder der Einsatz von Antibiotika, die bei konventionellem Fleisch hinlänglich bekannt sind und auch bei Insektenfleisch bzw. In-vitro-Fleisch eine wichtige Rolle spielen, entfallen bei den pflanzlichen Fleischersatzprodukten.

In einer Rangliste der untersuchten Fleisch- bzw. Fleischersatzprodukte folgen die **insektenbasierten Erzeugnisse hinsichtlich ihrer Umwelt- und Gesundheitswirkung auf Platz zwei hinter den**

**pflanzlichen Produkten.** Bei der Insektenproduktion fallen im Vergleich zu 100 g Hühnerfleisch nur ca. ein Drittel der THG-Emissionen an (Smetana et al., 2015a); bezogen auf die anderen konventionellen Fleischsorten sind die Einsparungen an CO<sub>2</sub> noch wesentlich höher. Ebenso ergeben sich bei der Insektenproduktion Vorteile beim Wasserverbrauch. Auch der Nährstoffeintrag in Boden und Wasser fällt geringer aus als bei der konventionellen Tierhaltung. Die Einsparungen, bezogen auf den Landverbrauch, liegen bei der Insektenzucht bei bis zu 50 %, verglichen mit Hühnerfleisch (Smetana et al., 2015a).

Insekten haben einen positiven Effekt auf die Gesundheit. Krankheitsrisiken, die durch die erhöhte Aufnahme von gesättigten Fettsäuren in Fleischprodukten entstehen, können durch den Verzehr von Insekten minimiert werden, da diese einen hohen Anteil an einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren aufweisen (Fiebelkorn, 2017). Insekten haben einen hohen Proteingehalt und stehen damit dem konventionellen Fleisch hinsichtlich der Deckung des menschlichen Proteinbedarfs in nichts nach.

Tierschutzaspekte müssen auch bei einer Großproduktion von Insekten mitgedacht werden. Potenziell problematisch ist z. B. eine Haltung in Masse; hiermit verbunden ist die Frage, ob sich diese noch an den natürlichen Umweltbedingungen orientieren kann, um eine artgerechte Haltung zu garantieren. Zudem ist das Schmerzempfinden von Insekten noch nicht ausreichend erforscht, um pauschale und wissenschaftlich belastbare Aussagen über angemessene und schmerzfreie

Tötungsmethoden der verschiedenen Arten machen zu können.

Bleiben essbare Insekten zukünftig weiterhin in der Nische, dann können sich deren Potenziale auch nicht entsprechend entfalten.

In-vitro-Fleisch und seine potenziellen Vorteile im Vergleich zu konventionell hergestelltem Fleisch werden derzeit breit diskutiert. **Sichere Aussagen zu positiven Umwelt- oder Gesundheitswirkungen von In-vitro-Fleisch können aber noch nicht getroffen werden.** Aktuelle Bewertungen von Laborversuchen und antizipatorische Berechnungen gehen von Entlastungen beim Land- und Wasserverbrauch gegenüber allen konventionellen Fleischsorten aus, ergaben aber gleichzeitig einen Energieverbrauch, der den der konventionellen Fleischproduktion übertrifft. Die Fleischerzeugung im Labor müsste noch umfassend gestaltet und entwickelt werden, um die aktuell gelobten potenziellen Vorteile zu realisieren, wie weniger Tierleid, den möglichen Verzicht auf Antibiotika etc. Nach aktuellem Stand ergeben sich folgende große Herausforderungen für In-vitro-Fleisch: der aktuell sehr hohe Energieverbrauch während der Produktion, das zugrundeliegende Nährmedium bzw. die Entwicklung von Alternativen zum Kälberserum und die bisher unverzichtbare Nutzung von Antibiotika. Setzt sich In-vitro-Fleisch zukünftig mittels weiterer Forschung und Entwicklung als echte Fleischalternative durch, so ergeben sich voraussichtlich große Umweltvorteile, wenn für die bestehenden Umweltrisiken Lösungen gefunden werden.



## 7 Politische Ansatzpunkte und Forschungsfragen

Bei der Identifikation von politischen Ansatzpunkten und Forschungsfragen, die im Sinne einer umweltfreundlichen Entwicklung von Fleischalternativen auszumachen sind, können drei Bereiche unterscheiden werden:

- ▶ Ansatzpunkte, die sich konkret auf eine der drei untersuchten Entwicklungen beziehen (vgl. Kapitel 7.1);
- ▶ Ansatzpunkte, die sich auf zwei oder mehr der genannten Entwicklungen beziehen (sogenannte Querschnittsansätze; vgl. Kapitel 7.2 und 7.3);
- ▶ Ansatzpunkte, die sich auf die notwendige umwelt- und förderpolitische Einbettung von Fleischalternativen in den übergeordneten politischen Rahmen von Ernährungssystemen bzw. der Ernährungswende beziehen (vgl. Kapitel 7.4).

Kurzzusammenfassungen sind den folgenden Unterkapiteln jeweils in Kästen vorangestellt.

Der Schwerpunkt der Ausführungen liegt auf politischen Gestaltungsoptionen, die die ökologische Bilanz der Produkte verbessern. In geringerem Umfang wird auch auf die für das Umweltressort mittelbar relevanten Auswirkungen im Bereich Gesundheit, Ethik und Tierwohl eingegangen, um aufzuzeigen, wo Synergien mit anderen Zielen einer nachhaltigeren Ernährung liegen und wo ggf. auch Zielkonflikte bestehen. Sofern in relevanten Bereichen aufgrund der schlechten Datenlage noch keine Handlungsoptionen abgeleitet werden können, wird auf die wichtigsten Forschungsbedarfe eingegangen, die für die Gestaltung der politischen Rahmenbedingungen notwendig sind. Forschungsbedarf und politische Handlungsempfehlungen sind dabei stark miteinander verbunden: So treffen z. B. einige politische Handlungsempfehlungen nur dann zu, wenn bestimmte Umwelt- oder Gesundheitswirkungen mit weiterer Forschung untermauert werden können.

### 7.1 Politische Ansatzpunkte für Fleischersatzprodukte

#### 7.1.1 Pflanzliche Fleischersatzprodukte

Wie die Untersuchungen der Umweltbilanzen gezeigt haben, schnitten pflanzliche Fleischalternativen im Vergleich mit Fleisch am besten ab. Aufgrund des erreichten Technologiereifegrads gibt es nur noch wenige kritische (Forschungs-)Fragen, deren Antworten die Einschätzung zu Umwelt- und Gesundheitswirkungen wesentlich ändern könnten. Es ist daher sinnvoll, insbesondere pflanzliche Alternativen für Fleisch und andere tierische Produkte zu nutzen. Hierfür sind insbesondere die Handlungsfelder „regionale Ausgangsstoffe“ und „Verarbeitungsgrad“ relevant wie auch die im Kapitel „Querschnittsansätze“ beschriebenen Aspekte Kennzeichnung, öffentliche Beschaffung, Aus- und Weiterbildung sowie Akzeptanz.

#### Verbesserung der Umweltbilanz durch regionale, diverse Ausgangsprodukte

Förderung regionaler, diverser Ausgangsstoffe, insbesondere von Hülsenfrüchten (u. a. aufbauend auf der Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL])

Wichtiger Ansatzpunkt für die Verbesserung der Umweltbilanz pflanzenbasierter Fleischersatzprodukte sind die Ausgangsprodukte. Aktuell zum Einsatz kommen hier vor allem Weizen, Soja, Erbsen und Lupinen aus heimischer Produktion, aber auch aus Importen. Möglichst auf regionale Ausgangsprodukte zurückzugreifen ist empfehlenswert, um zur Reduktion der transportbedingten Treibhausgasemissionen beizutragen, zur Vermeidung der negativen Auswirkungen des Soja-Anbaus in Übersee<sup>49</sup>, zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit sowie zu einer positiven ländlichen Entwicklung.

Hier setzen politische Strategien wie die Eiweißpflanzenstrategie des BMEL (BMEL, 2016) und die Europäische Soja-Erklärung an (European Soya

<sup>49</sup> Der Futtermittelanbau von Soja stellt eine der Hauptursachen der Abholzung von Wäldern in Südamerika dar.

Declaration, 2017), deren Umsetzung auch im Sinne der Förderung pflanzenbasierter Fleischalternativen weiter unterstützt werden sollte. Um die Ressourceneffizienz zu steigern, ist zudem zu prüfen, welche Nebenströme der Pflanzenölherstellung – Pressrückstände z. B. der Sonnenblumenöl- und Kürbisölproduktion – sich eignen, um sie für die Produktion pflanzenbasierter Fleischalternativen zu verwenden; ebenfalls sollte analysiert werden, ob diese Verwendung gegenüber der Nutzung als Futtermittel ökologisch vorteilhaft ist.

Umweltvorteile und positive Gesundheitswirkungen lassen sich neben dem Aspekt der Regionalität auch durch den Einsatz von Methoden des ökologischen Landbaus weiter steigern.

### Verarbeitungsgrad und Verpackung

Förderung von gering verarbeiteten und wenig verpackten Produkten im Sinne von Ressourceneffizienz und gesunder Ernährung

Die meisten der pflanzlichen Fleischalternativprodukte sind stark verarbeitete Lebensmittel, die in der Regel in Einzelportionen verpackt sind. Stark verarbeitete Lebensmittel sind im Vergleich zu gering verarbeiteten oder frischen Produkten aus Gesundheitssicht weniger empfehlenswert. Was für eine Bewertung der Gesundheitswirkung fehlt, ist jedoch ein an den aktuellen Markt angepasster Vergleich der Fleischprodukte und ihrer fleischfreien Alternativen. Eine solche Untersuchung existiert bislang nicht, sollte aber durchgeführt werden. Die Ergebnisse sollten die Grundlage dafür bilden, um mit den Produzenten der Lebensmittelindustrie in den Dialog zu treten mit dem Ziel, den Verarbeitungsgrad sowie die Anteile an gesundheitlich ggf. bedenklichen Zusatzstoffen wie künstliche Aromen, Konservierungsstoffe und gesättigte Fette zu reduzieren. So soll verhindert werden, dass mögliche positive Effekte in der Umweltverträglichkeit mit negativen Gesundheitswirkungen einhergehen. Schließlich gilt es, Unterschiede in der Qualität und Gesundheitswirkung durch Aufklärung und entsprechende Kennzeichnungen an Konsumierende, Gastronomen und alle relevanten Nutzenden zu vermitteln.

Die Verarbeitung und der Verpackungsaufwand sind mit einem hohen Ressourcenkonsum, Treib-



hausgasemissionen, Energie- und Wasserverbrauch, Plastikabfällen etc. verbunden (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL, 2016). Den Einfluss des Verarbeitungs- und Verpackungsgrades auf die Umweltbilanz von Fleischersatzprodukten gilt es, weiter zu untersuchen. Allgemeine Aussagen lassen sich kaum treffen. Entscheidend ist vielmehr die Gesamtbilanz, die sich unter anderem durch das genutzte Transportmittel und die Transportdistanz, die Effizienz der Logistik, die Herstellungstechnik und die Art und Dauer der Kühlung bzw. Lagerung ergibt (Eberle & Hayn, 2007).

#### 7.1.2 Ansatzpunkte zu Insekten als Nahrungsmittel

Auch essbare Insekten haben großes Potenzial als alternativer Proteinlieferant und sind aus Umweltsicht besonders wegen ihrer Eigenschaft interessant, natürliche Ressourcen effizient zu verwerten. Die zwei wichtigsten Ansatzpunkte – die Prüfung der Verfütterung organischer Reststoffe an Insekten und die Zulassung von Insekten als Futtermittel – sind nachfolgend beschrieben. Darüber hinaus sind die im Kapitel „Querschnittsansätze“ aufgeführten Themen Akzeptanz, baurechtliche Zulassung, Prüfpflichtigkeit der Anlagen nach Umweltverträglichkeitsprü-

fung (UVPG) und Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), Energieverbrauch und Standortwahl der Produktionsanlagen, Bio-Zertifizierung, Aus- und Weiterbildung sowie (langfristig) die öffentliche Beschaffung relevant.

Forschungsbedarf besteht zudem mit Blick auf die Haltung und Tötung von Insekten, da die Leidfähigkeit sogenannter niederer Tiergruppen bisher nur wenig erforscht ist.

### **Prüfung der Verfütterung von organischen Reststoffen**

(Neu-)Bewertung der nutzbaren Futtermittel für Insekten zur Nutzung ressourcenschonender Ausgangsstoffe aus organischen Resten

Für die Entwicklung des Marktes für essbare Insekten spielt gemäß einer Umfrage unter den Insektenproduzenten insbesondere der regulative europäische Rahmen eine wesentliche Rolle<sup>50</sup>. Hierzu zählt, dass die Fütterung von Insekten mit „ehemaligen Lebensmitteln“<sup>51</sup>, die tierische Erzeugnisse und/oder „Cateringrückflüsse“ enthalten<sup>52</sup>, nicht erlaubt ist, egal ob sie als Futtermittel oder Lebensmittel genutzt werden<sup>53</sup>.

Die Einführung des Fütterungsverbots mit einstigen Lebensmitteln, die auch tierische Erzeugnisse und Cateringrückflüsse enthalten können, ist in der EU auf die BSE-Krise zurückzuführen. Als Ursache für den „Rinderwahn“ wurde die Verfütterung von nicht ausreichend erhitztem Tiermehl aus Schafkadavern, die mit dem Scrapie-Erreger infiziert waren, ausgemacht. In der Folge wurde die Verfütterung von Produkten tierischen Ursprungs, u. a. Tiermehl, an Lebensmittel liefernde Tiere seit 2001 generell EU-weit verboten (VO 999/2001). Später erfolgte eine Lockerung für die Nutzung in Aquakulturen.

Seit einigen Jahren ist nun die Nutzung von Reststoffen für Omnivoren, das heißt für von Natur aus allesfressende Tiere, wieder in der Diskussion. Eine Verfütterung z. B. an Insekten, Schweine oder Geflügel stellt eine Möglichkeit dar, Lebensmittelabfälle sinnvoll zu verwerten und wieder in den Nährstoffkreislauf zurückzuführen.

So kündigt die EU-Kommission 2015 im EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (Europäische Kommission, 2015) im Kapitel „Lebensmittelverschwendungen“ an, „Maßnahmen zu treffen, um die EU-Rechtsvorschriften über Abfälle sowie Lebens- und Futtermittel zu präzisieren und Lebensmittelabfälle sowie die Verwendung von ehemaligen Lebensmitteln und Nebenprodukten aus der Lebensmittelversorgungskette in der Futtermittelerzeugung zu erleichtern, ohne Abstriche bei der Lebens- und Futtermittelsicherheit zu machen“. Im Bericht des Europäischen Parlamentes „Report on Resource Efficiency: Reducing Food Waste, Improving Food Safety“ aus dem Jahr 2017 (Borzan, 2017) fordert das EU-Parlament die EU-Kommission auf, die rechtlichen Hindernisse zur Nutzung ehemaliger Lebensmittel und Reststoffe als Futtermittel zu analysieren sowie Forschung in diesem Bereich zu unterstützen, und verweist auf das Potenzial für die Futterverwertung sowie die Notwendigkeit, dies Potenzial mit hohen Lebensmittelsicherheitsstandards zu vereinbaren<sup>54</sup>. 2019 präsentierte das von der EU-Kommission geförderte EU-Forschungsprojekt gegen Lebensmittelabfälle „REFRESH“ einen in der EU-Politik und der europäischen Futtermittelwirtschaft viel beachteten technischen Bericht, der darlegt, wie unter strengen Lebensmittelsicherheitsstandards überschüssige Lebensmittel, die auch tierische Erzeugnisse enthalten, als Futtermittel genutzt werden können (Luyckx, Bowman, Broeze & Taillard). Eine Änderung der entsprechenden europarechtlichen Grundlagen zur Nutzung dieser Ressourcenströme könnte 16 % der 88 Mio. Tonnen Lebensmittel in Europa, die aktuell

<sup>50</sup> Umfrage der „International Platform of Insects for Food & Feed“ unter ihren Mitgliedern (IPIFF 2018).

<sup>51</sup> Lebensmittel, die nicht länger für den menschlichen Verzehr geeignet sind.

<sup>52</sup> Für die Definition „ehemaliger Lebensmittel“ und „Cateringrückflüsse“ siehe die Verordnung (EU) 2017/1017 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 68/2013 zum Katalog der Einzelfuttermittel.

<sup>53</sup> Gemäß der Definition des Begriffs „Nutztier“ in Artikel 3 Nummer 6 der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 gelten für die Herstellung von verarbeitetem tierischem Protein gezüchtete Insekten als Nutztiere und unterliegen somit dem Verfütterungsverbot nach Artikel 7 und Anhang IV der Verordnung (EG) Nr. 999/2001 sowie den in der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 festgelegten Verfütterungsvorschriften. Folglich ist die Verwendung von Wiederkäuern-Proteinen, Küchen- und Speiseabfällen, Fleisch- und Knochenmehl sowie Gülle als Futter für Insekten verboten. Des Weiteren ist gemäß Anhang III der Verordnung (EG) Nr. 767/2009 die Verwendung von Kot in der Tierernährung verboten.

<sup>54</sup> Im englischen Original heißt es „to analyse legal barriers to the use of former foodstuffs in feed production and to promote research in this area, while also bringing food safety risk down to zero“ und verweist auf „the potential for optimisation of use of food unavoidably lost or discarded and by-products from the food chain, in particular those of animal origin, in feed production“ (Borzan 2017).

jährlich als Abfall entsorgt werden, als Tierfutter nutzbar machen (Bowman & Luyckx, 2019). Die wichtigsten EU-rechtlichen Grundlagen, die hierfür geändert werden müssten, stellen dabei die folgenden Verordnungen dar (Bowman & Luyckx, 2019):

- ▶ Verordnung 999/2001 zur Verhütung, Kontrolle und Tilgung bestimmter transmissibler spongiformer Enzephalopathien,
- ▶ Verordnung 1069/2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte, die u. a. die Nutzung von Küchenabfällen und Cateringresten betrifft, sowie
- ▶ Verordnung 142/2011 zu Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte, in die in Annex IV eine Methode zur Weiterverarbeitung bestimmter Nebenprodukte eingefügt werden konnte.

Noch liegt jedoch keine aktualisierte Risikoprüfung der europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority, EFSA) oder anderer Institutionen zur Wiederzulassung der besagten Futtermittel vor; es ist auch noch nicht abschätzbar, welche Dynamik zur Änderung der Rechtsgrundlagen auf europäischer Ebene zu erwarten ist. Für eine fundierte Einschätzung sollten der mögliche Nutzen und die Auswirkungen der Nutzung wiedereingeführter organischer Futtermittel in Forschungsprojekten



getestet und bewertet werden. Gleichzeitig sollte geprüft werden, welchen Einfluss eine geringfügige Verunreinigung von überschüssigen Lebensmitteln durch Verpackungsreste auf die tierische und menschliche Gesundheit haben könnte. Bei fehlenden Beeinträchtigungen sollte die Einführung geduldeter geringfügiger Toleranzen bei Futtermitteln diskutiert werden, um die Nutzung von Ressourcenströmen zu erlauben, die derzeit noch als Abfall entsorgt werden: etwa Backwaren im Einzelhandel vom Vortag, die in geringem Maß auch tierische Proteine enthalten, z. B. Schinkenbrötchen, oder Verpackungsreste (Lebensmittel aus beschädigten Verpackungen). Entsprechende Toleranzen sind häufig bereits schon Bestandteil etwa der Kontrolle von Schweinefuttermitteln.

Während der oben angesprochene Diskurs zur Wiederzulassung bestimmter organischer Reststoffe im Kontext der Verfütterung an Schweine, Geflügel und Insekten geführt wird, gibt es speziell für die Fütterungsmöglichkeiten von Insekten einen konkreten aktuellen Vorschlag hinsichtlich der Änderung der EU-Hygienevorschriften für Insekten<sup>55</sup>. Der Vorschlag sieht vor, dass Bedingungen definiert werden, die für alle für den menschlichen Verzehr geeigneten Insekten zutreffen sollen.

Konkret handelt es sich um vier Teilbereiche:

1. Die Insekten müssen einer Art angehören, die durch die Novel-Food-Verordnung zugelassen ist<sup>56</sup>.
2. Es werden die erlaubten Substrate für die Fütterung der Insekten benannt: Substrate nichttierischen Ursprungs, aber auch diverse tierischen Ursprungs, wie Blutprodukte von Nicht-Wiederkäuern.
3. Es wird vorgeschrieben, dass die Futtermittel nicht mit anderen als den erlaubten Futtermitteln in Berührung kommen dürfen.
4. Der Vorschlag schließt aus, dass das Substrat für die Insektenfütterung Gülle, Cateringabfälle oder andere Abfälle enthalten darf (Shungham, 2019).

55 EU-Verordnung 853/2004 zu spezifischen Hygiene-Vorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs.

56 Bis zum Juli 2019 wurde bislang keiner der vorliegenden Anträge zur Zulassung von Insekten als Nahrungsmittel auf dem EU-Markt genehmigt.

Am 4. Juli 2019 wurde dieser Vorschlag jedoch vertagt, da einige Mitgliedsstaaten noch prüfen wollen, ob die geplanten Änderungen in Bezug auf das allergene Potenzial von Insekten, die Hygienestandards für Lebensmittel, die Vorschriften für die Tierernährung und zu neuartigen Lebensmitteln angemessen sind (Shungham, 2019).

Mit einem vermutlich geringeren Lebensmittelsicherheitsrisiko verbunden wäre eine Änderung der Regelungen, die die Verfütterung ehemaliger Lebensmittel an Insekten vorsehen, die keine tierischen Erzeugnisse enthalten – und damit als Insektenfutter zugelassen sind, aber ggf. Verpackungsrückstände enthalten können. Hier fordert der europäische Insektenverband IPIFF, dass Toleranzgrenzen für Verpackungsrückstände definiert werden. Aktuell gibt es hierbei noch Unterschiede in der Anwendung der bestehenden Regeln in den Mitgliedsstaaten in Bezug auf Kontrollen und die Ahndung von Verstößen<sup>57</sup>. Bereits 2018 hatte die EU-Kommission Leitlinien für die Nutzung von Lebensmitteln veröffentlicht, die nicht mehr für den menschlichen Verzehr bestimmt, aber als Futtermittel geeignet sind, die zahlreiche rechtliche Auslegungsfragen klären konnten. Diese Ressourcen auch für Insekten zugänglich zu machen, ist das Ziel eines Vorstoßes von IPIFF bei der Europäischen Kommission (Stand Juli 2019).

Eine Änderung der europäischen Vorgaben, um Cateringrückflüsse, organische Abfälle und/oder ehemalige Lebensmittel an Insekten verfüttern zu können – sofern dies unter Einhaltung strenger Lebensmittelsicherheitsstandards möglich ist –, würde vermutlich einen großen Einfluss auf das Wachstum der Branche in Europa haben und sich auch vorteilhaft auf die Umweltbilanz der Insektenproduktion auswirken.

### 7.1.3 Ansatzpunkte zur In-vitro-Fleischproduktion

Die Untersuchungen zu In-vitro-Fleisch sind im Vergleich zu pflanzenbasierten Fleischalternativen und essbaren Insekten mit den größten Unsicherheiten sowohl hinsichtlich der Chancen als auch hinsichtlich potenzieller Risiken für Umwelt und Gesundheit behaftet. Als verbesserte Informationsbasis für politische Akteure sind daher insbesondere forschungs

politische Schlussfolgerungen in Bezug auf Nährmedien für die Fleischproduktion und die Erstellung von (erweiterten) Lebenszyklusanalysen aufgeführt. Darüber hinaus sind die im Kapitel „Querschnittsansätze“ angesprochenen Themen Akzeptanz, Kennzeichnung, baurechtliche Zulassung, Prüfpflichtigkeit der Anlagen nach UVPG und BImSchG, Energieverbrauch und Standortwahl der Produktionsanlagen, Bio-Zertifizierung sowie Aus- und Weiterbildung relevant.

### Schlaglicht: Prüfung der Zulassung von Insekten als Futtermittel

Eine mögliche Erweiterung der für die Insektenproduktion zulässigen Futtermittel hat nicht nur das Potenzial, die Umweltbilanz der Insektenproduktion, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit der Insektenproduzenten zu verbessern. Ähnlich verhält es sich mit der **Zulassung von Insekten als Futtermittel**. Aktuell dürfen Insekten (bzw. einige definierte Arten) nur in der Aquakultur und an Haustiere, z. B. Hunde, verfüttert werden. Eine Zulassung von Insektenmehl für omnivore Nutztiere wie Schweine, Hühner etc., die von Natur aus tierische Proteine zu sich nehmen, hätte wahrscheinlich Rückwirkungen auf ein Marktwachstum für Insekten<sup>58</sup>. Aus Umweltsicht ist auch hier entscheidend, womit diese Insekten gefüttert wurden. Ökologische Vorteile zu pflanzlichen Futtermitteln lassen sich vor allem dann erzielen, wenn für die Fütterung anderweitig nicht verwertete Ressourcen-Restströme zum Einsatz kommen, z. B. altes Brot aus Bäckereien, falsch deklarierte Lebensmittel, Cateringabfälle etc. Da im Rahmen dieses Projektes jedoch Insekten als Alternative zu Fleisch für den menschlichen Verzehr im Vordergrund stehen, sollen diese Art der Insektenutzung und notwendige politische Handlungsoptionen hier jedoch nicht weiter vertieft werden.

<sup>57</sup> Interview mit Christopher Derrien.

<sup>58</sup> Interview mit Heinrich Katz.

## Forschung zu Nährmedien und Erstellung von (erweiterten) Lebenszyklusanalysen

Forschung zu wettbewerbsfähigen, serumfreien Nährmedien zur Produktion von Zellkulturen, die für die In-vitro-Fleischproduktion als Nahrungsmittel geeignet sind.

Erstellung weiterer vergleichender Lebenszyklusanalysen unter Einbezug der aus Umweltsicht wichtigen Parameter: Auswahl des Nährmediums, (Wieder-) Nutzung und Reinigung des Nährmediums, Antibiotikaeinsatz, Energieverbrauch und Energiequelle (fossil oder erneuerbar), Größe der Produktionsanlage

Aktuell erfolgt die Produktion des In-vitro-Fleisches zu Forschungszwecken in Nährmedien, die fetales Kälberserum enthalten, also das Blut ungeborener Kälber. Die Entwicklung eines serumfreien, also tierfreien, Nährmediums ist entscheidend für die Frage, ob In-vitro-Fleisch ökologisch sowie in ethischer und gesundheitlicher Hinsicht vorteilhaft gegenüber anderen fleischähnlichen Produkten und gegenüber Fleisch sein kann. Die vorhandenen Lebenszyklusanalysen beziehen sich auf in der Zukunft bestehende serumfreie Nährmedien, die nicht auf der Nutzung von fetalem Kälberserum basieren.

Es bedarf daher weiterer vergleichender Lebenszyklusanalysen unter Berücksichtigung der jeweils eingesetzten verschiedenen Nährmedien sowie des notwendigen Flächen-, Energie- und Wasserbedarfs ihrer Herstellung. Sofern fetales Kälberserum als Bestandteil des Nährmediums zur Produktion von In-vitro-Fleisch zum Einsatz kommt, gilt es, die möglichen Gesundheitsrisiken, die mit dem Einsatz verbunden sind, genauer zu untersuchen.

Auch der Anspruch, „Fleisch ohne Tierleid“ herstellen zu können, hängt im Wesentlichen davon ab, ob in der In-vitro-Fleischproduktion alternative, serumfreie Nährmedien eingesetzt werden. Von den bestehenden Herstellern am Markt bewirbt der Hersteller aleph farms, dass „die Stammzellen, aus denen sich das Fleisch entwickelt, von lebenden Tieren entnommen werden“ und dass „die Nährlösung frei von tierlichen Bestandteilen“ ist (Ksienzyk, 2019).

„Innocent Meat“, das als erstes deutsches Start-up die Herstellung von In-vitro-Fleisch plant, geht ebenfalls davon aus, dass serumfreie Nährmedien zwar noch teurer sind, aber – auch aufgrund der bestehenden medizinischen Nutzung – grundsätzlich schon jetzt zur Verfügung stehen und die Weiterentwicklung in den kommenden Jahren Kosteneinsparungen mit sich bringen wird<sup>59</sup>. Aussagen der Innovatoren in diesem Bereich zufolge verursacht die Bereitstellung des Nährmediums etwa 80 bis 85 %<sup>60</sup> der Kosten von In-vitro-Fleisch. Die Reduzierung dieser Kosten durch alternative Nährmedien ist ein entscheidender Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit.

Eine wettbewerbsfähige und umweltfreundliche großskalige Produktion von In-vitro-Fleisch in Bioreaktoren ist auch abhängig von der Frage, ob und wie das Nährmedium weitergenutzt bzw. recycelt werden kann (landwirtschaftlich, energetisch etc.) und wie oft das Nährmedium ersetzt werden muss.

Auch die Frage, wie die Trennung der Fleischzellen vom Nährmedium gelingt und wie Stoffwechselprodukte der Zellen aus dem Nährmedium entfernt werden, ist zu klären<sup>61</sup>. Die bekannten medizintechnologischen Lösungen sind hierfür bislang auf einen kleineren Produktionsmaßstab ausgelegt und sehr kostenintensiv. Eine wissenschaftliche Untersuchung dieser Aspekte ist daher lohnenswert.



59 Interview mit Laura Gertenbach.

60 80 % wurden in Bezug auf das Start-up Mosa Meat genannt (Ksienzyk 2018). Laura Gertenbach von Innocent Meat geht von bis zu 85 % der aktuellen Kosten aus (Interview mit Laura Gertenbach).

61 Interview mit Prof. Dr. Hans-Wilhelm Windhorst.

## 7.2 Querschnittsansätze für Fleischersatzprodukte

Einige politische Gestaltungspotenziale betreffen mehrere, das heißt zwei oder alle der benannten Fleischalternativen und stellen damit Querschnittsansätze dar.

### Kennzeichnung

Für pflanzliche Ersatzprodukte: Sicherstellung, dass auf europäischer Ebene eine klare Verbraucherkennzeichnung gefunden wird, die die Entscheidung der Konsumenten und Konsumentinnen für Fleischersatzprodukte fördert.

Für In-vitro-Fleisch: Schaffung von Leitlinien und Regelungen, die Klarheit in Bezug auf die Frage bringen, ob In-vitro-Fleisch als Fleisch gekennzeichnet werden kann und ob die Art der Zellgewinnung (Stanzbiopsie vom lebenden Tier und Entnahme vom geschlachteten Tier) Einfluss auf diese Kennzeichnung hat.

In der Verbreitung von Fleischalternativen – insbesondere bei pflanzlichen Fleischalternativen –, spielt es eine große Rolle, welche Kennzeichnung das Produkt trägt, etwa ob es als „vegetarisches Schnitzel“, „vegetarischer Burger“ oder „vegane Salami“ vermarktet werden darf. Da die Bezeichnung auch einen Hinweis auf den zu erwartenden Geschmack, die Art der Verwendung etc. gibt, ist es wahrscheinlich, dass Konsumenten und Konsumentinnen eher zu Fleischalternativen greifen, wenn die Bezeichnung erkennen lässt, welches Fleisch- oder Wurstprodukt sie imitieren.

In Deutschland wurden hier durch die Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission (DLMBK) im Dezember 2018 die „Leitsätze für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs“ veröffentlicht (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission [DLMBK], 2018). Die Leitsätze bilden zwar keine rechtliche Grundlage, spielen aber als Sachverständigengutachten eine große Rolle und dienen als Orientierung für Lebensmittelhersteller, -verarbeiter, Gerichte und Aufsichtsbehörden.

In der Praxis wird jedoch eine fehlende Klarheit der neuen Regeln bemängelt, sodass Unsicherheit in ihrer korrekten Anwendung besteht. Dies zeigt unter anderem eine Stellungnahme von 18 Lebensmittelherstellern gemeinsam mit ProVeg e. V., in dem die Unterzeichnenden die nicht nachvollziehbare und uneinheitliche Verwendung von Fleischbegriffen kritisieren, die für manche Produktgruppen erlaubt ist und für andere nicht (ProVeg Deutschland e. V., 2019). Teilnehmer von Fortbildungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) und des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) für Lebensmittelhersteller und andere betroffene Akteure bestätigten ebenfalls die fehlende Klarheit im Umgang mit den Regeln<sup>62</sup>. Diese Klarheit herzustellen, sollte Ziel politischen Handelns sein.

Aufgrund der Relevanz der Kennzeichnungsfrage und der fehlenden rechtlichen Verbindlichkeit der Leitsätze der DLMBK kommt einem aktuellen rechtlichen Vorstoß auf europäischer Ebene besondere Bedeutung zu. Dort hat der Agrarausschuss des EU-Parlamentes im April 2019 mit großer Mehrheit für einen Änderungsantrag der EU-Verordnung 1308/2013 Verordnungsvorschlag für die Gemeinsame Marktordnung gestimmt, der vorsieht, dass sich auf „Fleisch“ beziehende Begriffe und Bezeichnungen ausschließlich für „die zum Verzehr geeigneten Teile des Tieres“ gebraucht werden dürfen. Wie und ob dieser Vorstoß weiterbearbeitet wird, ist – auch aufgrund des sich neu konstituierenden EU-Parlamentes – noch ungewiss; es ist aber anzunehmen, dass es zeitkritisch ist, auf diesen Vorstoß zu reagieren, der auf das Verbot von sich auf „Fleisch“ beziehenden Begriffen abzielt. Sollte sich ein Verbot von auf „Fleisch“ referenzierenden Begriffen durchsetzen, ist zu erwarten, dass die Vermarktung von pflanzenbasierten Fleischalternativen deutlich erschwert wird. Noch laufend war im Juni 2019 eine europäische Petition gegen die geplanten Einschränkungen der Kennzeichnungen seitens ProVeg International<sup>63</sup> (ProVeg International, 2019).

Bislang belegen nur wenige Studien, dass Verbrauchern und Verbraucherinnen Klarheit bei der Produktklassifizierung fehlt. Es ist daher unklar, ob ein Verbot der Nutzung von Begriffen mit Ähnlichkeit zu Fleisch und Wurst notwendig ist. Eine forsa-Umfrage

<sup>62</sup> Interview mit Stephan Zwoll und Simone Schiller.

<sup>63</sup> Stand August 2019: 72.000 Unterschriften laut ProVeg International (2019).

der Verbraucherzentrale Bundesverband aus dem Jahre 2015 zeigte, dass nur 4 % der Konsumenten und Konsumentinnen angaben, schon versehentlich vegetarische Produkte gekauft zu haben (Verbraucherzentrale Bundesverband e. V., 2015). Dennoch könnte eine Bezeichnung von Fleisch nachempfundenen Produkten als Fleisch oder Schnitzel von Verbrauchenden als Verbrauchertäuschung wahrgenommen werden, wie eine von der DLG in Auftrag gegebene Studie ermittelte (Buxel & Auler, 2017). Einer klaren Kennzeichnung jenseits des Produktnamens, dass es sich um vegetarische oder vegane Produkte handelt, scheint damit eine besondere Bedeutung zuzukommen<sup>64</sup>.

Nicht nur die Nutzung von Fleischbegriffen ist für die Vermarktung und Verbreitung von pflanzenbasierten Fleischalternativen relevant, auch die Nutzung der Begriffe „vegan“ und „vegetarisch“ spielt eine Rolle. Weder auf Bundes- noch auf europäischer Ebene existieren rechtliche Definitionen, was unter „vegan“ und „vegetarisch“ genau zu verstehen ist. Dies kann zu Verunsicherungen bei Verbrauchern, Verbraucherinnen und Herstellenden führen, die zum Teil unterschiedliche Auffassungen von solchen Kriterien haben. Daher sieht ein Passus in der europäischen Lebensmittelinformationsverordnung vor, dass die Europäische Kommission einen Durchführungsrechtsakt zur Definition der Begriffe „vegan“ und „vegetarisch“ in der Lebensmittelkennzeichnung erlässt (Art. 36 Abs. 3 Ziffer b Verordnung (EU) Nr. 1169/2011, auch „Lebensmittelinformationsverordnung“ genannt). Dem ist die Europäische Kommission jedoch seit 2011 nicht nachgekommen, eine Regelung steht damit noch aus. Auf nationaler Ebene wurde durch die Verbraucherschutzministerkonferenz (VSMK) bereits 2016 ein rechtlicher Definitionsvorschlag für die Lebensmittelinformationsverordnung erarbeitet<sup>65</sup>.

Auch für In-vitro-Fleisch spielt die Frage der Kennzeichnungsanforderungen und -möglichkeiten zumindest mittel- und langfristig eine wesentliche Rolle. Konkret stellt sich für Investoren im Bereich In-vitro-Fleisch die Frage, ob Fleisch, welches per In-vitro-Technologie hergestellt wurde, auch als

Fleisch gekennzeichnet werden darf<sup>66</sup>. Für den Verkauf von In-vitro-Fleisch in der EU ist hier zunächst die EU-Kommission und die EFSA als Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit im Rahmen der Zulassung der Novel-Food-Verordnung zuständig. Entsprechende Anträge müssen gemäß Artikel 10 der Novel-Food-Verordnung auch eine „Beschreibung des Herstellungsverfahrens“ enthalten (damit vermutlich auch Informationen darüber, wie dem Tier die Zellen entnommen wurden) und einen „Vorschlag für spezifische Anforderungen an eine Kennzeichnung“. Da noch kein Antrag zur Herstellung von In-vitro-Fleisch in der EU eingereicht wurde, kann diese Frage noch nicht beantwortet werden<sup>67</sup>.

Für die Antwort auf diese Frage kann es eine Rolle spielen, wie die Zellen dem Tier entnommen werden. Hier gibt es zwei Möglichkeiten: Erstens die Stanzbiopsie von einem lebenden Tier (die in Deutschland durch die Veterinärämter der Landkreise zunächst genehmigt werden muss) oder die Entnahme bei einem geschlachteten Tier. Eine europäische Regelung zur Kennzeichnungsmöglichkeit als „Fleisch“, das vermutlich leichter zu vermarkten ist, könnte damit auch Rückwirkungen auf die Art der Zellentnahme haben – vom toten oder lebenden Tier – und so eine Rolle für die Vermarktung von In-vitro-Fleisch spielen.

#### Nutzung der Spielräume der öffentlichen Beschaffung für die Gemeinschaftsverpflegung durch relevante öffentliche Akteure

#### Öffentliche Beschaffung

Ein wichtiger übergreifender Ansatzpunkt im Wirkungsbereich politischer Entscheidungsträger zur Beeinflussung von Ernährungspraktiken ist die öffentliche Beschaffung. Über die Festlegung von Einkaufsstandards für die Gemeinschaftsverpflegung öffentlicher Einrichtungen, wie Schulen, Krankenhäuser, Justizvollzugsanstalten, Kindertagesstätten und öffentliche Kantinen, können Anreize für umweltfreundliche und gesunde Ernährung gesetzt werden. Dies betrifft in erster Linie die Möglichkeiten, die Angebotsvielfalt und Attraktivität pflanzenbasierter Speisen und Fleischalternativen in

64 Für den Verbraucher ist auch wichtig, dass – z. B. durch entsprechende Label – klar erkennbar ist, ob es sich um vegetarische oder vegane Produkte handelt.

65 Es wurde auch vereinbart, dass der einstimmig angenommene Vorschlag einer Definition, die inhaltlich den Vorstellungen der European Vegetarian Union entspricht (ProVeg 2018), ebenso der Lebensmittelüberwachung bei der Beurteilung der Kennzeichnung von Lebensmitteln „zukünftig zu Grunde gelegt werden soll“ (VSMK 2016).

66 Interview mit Laura Gertenbach.

67 Auf nationaler Ebene befasst sich der „Arbeitskreis der auf dem Gebiet der Lebensmittelhygiene und der Lebensmittel tierischer Herkunft tätigen Sachverständigen“ (ALTS) des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit mit der Frage der notwendigen Kennzeichnung von In-vitro-Fleisch.



der Gemeinschaftsverpflegung zu fördern bzw. den Fleischkonsum zu reduzieren. Perspektivisch gilt diese Einflussmöglichkeit theoretisch auch für Insekten als Nahrungsmittel oder für in vitro produziertes Fleisch, sofern diese stärker am Markt nachgefragt und angeboten werden und sich die Potenziale der ökologischen wie gesundheitlichen Vorteile in der Praxis umsetzen lassen. Grundsätzlich ist bei allen Potenzialen der öffentlichen Beschaffungspraxis zu beachten, dass zu den Kriterien der öffentlichen Beschaffung Nachhaltigkeitskriterien gehören können, jedoch auch viele andere Kriterien eine zentrale Rolle spielen, vor allem der Preis.

Kosteneinsparpotenzial bietet der vermehrte Einsatz von Hülsenfrüchten als Ersatz für tierisches Protein. Für die Förderung pflanzenbasierter Fleischalternativen in der Gemeinschaftsverpflegung ist es wichtig, dass diese auch sprachlich so beworben werden, dass sie an Attraktivität gewinnen. Hier gibt es auf deutscher Ebene erst wenige Studien, wie etwa das Projekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) NAHGAST<sup>68</sup>. Umfassende Studien und Praxistests des „Better Buying Labs“ des World Resources Institute in Kantinen in den USA und

Großbritannien zur Förderung pflanzlicher Lebensmittel in den Gerichten legen jedoch nahe, dass eine Veränderung der Namenswahl großen Einfluss auf die Konsumententscheidung haben kann (Wise & Vennard, 2019)<sup>69</sup>. Zudem konnte gezeigt werden, dass nach einer Verdoppelung vegetarischer Gerichte auf den Speiseplänen von Menschen und Kantinen die Nachfrage nach fleischlosen Speisen drastisch anstieg (Garnett, E. E., Balmford, Sandbrook, Pilling & Marteau, 2019).

### Bio-Zertifizierung

Schaffung EU-einheitlicher Regeln und Leitlinien für die Produktion und den Vertrieb von Insekten und In-vitro-Fleisch nach Bio-Standards

Mit dem Wachstum der Bio-Branche und den sich dadurch erschließenden Vermarktungspotenzialen stellt sich im Bereich Insekten und In-vitro-Fleisch die Frage nach der Möglichkeit der Bio-Zertifizierung, die im Bereich der pflanzenbasierten Alternativprodukte bereits besteht.

<sup>68</sup> Weitere Informationen verfügbar unter: <https://www.nahgast.de/>

<sup>69</sup> Als vorteilhaft haben sich dabei Namen erwiesen, die auf Geschmack, Aussehen, Emotionen oder regionale Besonderheiten Bezug nehmen. Nicht empfehlenswert sind hingegen Bezeichnungen, die sich auf den Gesundheitswert beziehen, z. B. „frei von“, „low fat“ etc. Auch die Bezeichnungen vegan, vegetarisch und fleischfrei sollten nicht genutzt werden, vielmehr Symbole, die anzeigen, dass etwas vegetarisch ist, oder Bezeichnungen wie „auch für Vegetarier geeignet“. Die Untersuchung des Einflusses verschiedener Bezeichnungen und sprachlicher Lösungen für den deutschsprachigen Raum stellt ein relevantes Forschungsfeld dar. Dabei sollten auch bestehende Initiativen wie der „Klimateller“ ([www.klimateller.de](http://www.klimateller.de)) auf die sprachliche Eignung zur Beschreibung ihrer Angebote und Aktivitäten überprüft werden.

Da es aktuell in der EU noch keine Bio-Standards<sup>70</sup> für Insekten gibt, können Insektenprodukte aus der EU auch noch kein Bio-Siegel tragen. Im Zuge der Änderungen des EU-Rahmens für biologische Produktion (Verordnung 2018/848) ist die Definition von Bio-Standards für Insekten jedoch in Planung (International Platform of Insects for Food and Feed [IPIFF], 2019). Dennoch befinden sich schon jetzt Bio-Insektenprodukte auf dem europäischen Markt, da es in Kanada einen Insekten-Bio-Standard gibt und Produkte über ein Äquivalenzabkommen für biologische Produkte der EU mit Kanada auch in der EU verkauft werden können.

Ob und unter welchen Bedingungen – Antibiotikaeinsatz, Gentechnikeinsatz, Haltungsform des Spendertieres, Kreislaufnutzung des Nährmediums etc. – In-vitro-Fleisch als Bio-Fleisch zertifiziert werden könnte, ist noch ungeklärt.

Für die Klärung dieser Fragen sollten EU-einheitliche Regeln und Leitlinien geschaffen werden.

## Aus- und Weiterbildung

In Bezug auf pflanzenbasierte Ersatzprodukte: Integration der Erkenntnisse zu Einsatzmöglichkeiten, zur Umwelt- und Gesundheitswirkung und zur Kommunikation von pflanzenbasierten Fleischalternativen (sowie einer stärker pflanzenbasierten, ernährungsphysiologisch vollwertigen Ernährung) in die relevanten Ausbildungsberufe und Ausbildungsordnungen (Köche, gastronomisches Personal, z. T. auch pädagogisches Personal und Personal in Heil- und Pflegeberufen), Steigerung der Attraktivität dieser Ausbildungsberufe, Schaffung finanzieller Fördermöglichkeiten.

In Bezug auf essbare Insekten und In-vitro-Fleisch: Kapazitätsaufbau bei Zulassungsbehörden, Kompetenzaufbau zu Fragen der Haltung und Zulassung von Insekten, z. B. Zootechniker, Zulassungsbehörden für Produktionsanlagen, Veterinärämter, Kontrollinstitutionen für Futtermittel etc.

Für eine breitere Einführung von gut schmeckenden, ökologisch vorteilhaften und gesunden Lebensmittelangeboten, die pflanzliche Fleischalternativen sowie perspektivisch In-vitro-Fleisch und Insekten stärker nutzen, ist entscheidend, ob die Ausbildung

der hierfür relevanten Berufsgruppen – insbesondere in der Gastronomie – hinreichend gut organisiert ist. Dies sicherzustellen, ist über die Festsetzung von Ausbildungscurricula und die Sicherstellung ihrer Umsetzung sowie über finanzielle Fördermöglichkeiten auch eine politische Aufgabe. Zudem leiden viele gastronomische Berufe unter fehlendem Nachwuchs. Auch die Steigerung der Attraktivität dieser Berufe ist ein mögliches politisches Handlungsfeld.

In Bezug auf ausstehenden Regelungsbedarf bei der Förderung von Fleischalternativen wird immer wieder die Notwendigkeit benannt, Personal an den relevanten Stellen (etwa Zulassungsbehörden für Produktionsanlagen, Veterinärämter, Köche der Gemeinschaftsverpflegung etc.) auf die neuen Anforderungen vorzubereiten sowie eine möglicherweise wachsende Produktion von Fleischalternativen und deren Konsum unter anderem durch die Anpassung von Aus- und Weiterbildungscurricula zu unterstützen.

## Akzeptanz für Fleischersatzprodukte

Untersuchung, welche Faktoren die Akzeptanz der Verbraucher für neuartige Fleischalternativen beeinflussen und wie diese gefördert werden kann, da dies wiederum ein wichtiges Kriterium für die Verbreitung von Fleischalternativen darstellt.

Die Nutzung von Fleischalternativen trifft vielfach immer noch auf Vorbehalte und Akzeptanzmangel in der Bevölkerung. Forschungsbedarf besteht für die zugrundeliegenden Ursachen der fehlenden Akzeptanz und für Strategien zu deren Überwindung: die Rolle von Sprache, Darbietung, Unterschiede zwischen Geschlechtern, Altersgruppen, soziale Milieus; Einfluss des kulturellen Kontexts, Rolle von Fleisch und Fleischalternativen als Statussymbol etc.

Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung von Alternativen zu Fleisch sollten dabei immer eingebettet sein in grundlegende Empfehlungen zu einer gesunden, umweltfreundlichen und ethisch vertretbaren Ernährung – z. B. Empfehlungen zum Fleischkonsum insgesamt, zur Rolle von (stark) verarbeiteten Lebensmitteln, pflanzlichen Lebensmitteln etc. – um mit einheitlichen Botschaften an Verbraucher und Verbraucherinnen heranzutreten.

70 EU-Verordnung 2018/848 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen.

Für die Verbraucherakzeptanz, aber auch für die gesundheitspolitische Einschätzung von In-vitro-Fleisch, wird es entscheidend sein, welche Techniken sich für die Produktion von In-vitro-Fleisch durchsetzen und wie transparent Verbraucher und Verbraucherinnen über Zutaten und Produktionsverfahren informiert werden. Eine akzeptanzrelevante Frage ist dabei der Antibiotikaeinsatz<sup>71</sup>. Ebenso sind die Antworten auf die Fragen, wieweit die entnommenen Zellen gentechnisch modifiziert werden und ob diese Eingriffe bedeuten, dass das Fleisch entsprechend als gentechnisch modifiziert deklariert werden muss, wichtig für die Weiterentwicklung der Produktions-techniken.

Für alle drei Bereiche ist zudem relevant, welchen Einfluss die Kennzeichnung und Namensgebung auf die Verbreitung der Produkte hat und ob es gelingt, Fleischalternativen sensorisch noch fleischähnlicher werden zu lassen.

### **Produktionsstätten und baurechtliche Belange**

Klärung der Frage, ob Produktionsanlagen für Insekten und In-vitro-Fleisch zu den privilegierten landwirtschaftlichen Betrieben gemäß § 35 Abs. 1 des Baugesetzbuches zählen, sodass hier auch im sogenannten „Außenbereich“ Bauten errichten werden dürfen.

Die Produktion von Insekten und In-vitro-Fleisch ist noch wenig verbreitet. Mit einem Wachstum des Marktes ist eine höhere Nachfrage zu erwarten, so dass Flächen benötigt werden, um Bioreaktoren und größere Produktionsanlagen zu bauen. Hier stellt sich die Frage, ob groß angelegte Insektenproduktionsanlagen und/oder In-vitro-Fleischproduktion in Bioreaktoren auch als „landwirtschaftliche Betriebe“ eingestuft werden können. Diese Einstufung hat Auswirkungen auf die zulässigen Standorte, auf denen diese Bauten errichtet werden dürfen und welche Kosten anfallen<sup>72</sup>: Während Bauen im sogenannten „Außenbereich“ grundsätzlich durch den Gesetzgeber eingeschränkt ist, regelt § 35 Abs. 1 des Baugesetzbuches (BauGB) die sogenannte Privilegierung landwirtschaftlicher Betriebe, sodass diese auch im Außenbereich Bauten errichten dürfen<sup>73</sup>.

### **Prüfpflicht im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung, Genehmigungspflicht im Rahmen des BImSchG**

Klärung der Frage, ob aus den besonderen Produktionsbedingungen von Anlagen zur Zucht von Insekten und Herstellung von In-vitro-Fleisch Anforderungen erwachsen, die eine Veränderung der nach Umweltverträglichkeitsprüfung prüfpflichtigen Anlagen bzw. nach Bundesimmissionsschutzgesetz genehmigungspflichtigen Anlagen ergeben.

Forschungsbedarf zu neuen Risiken und Folgen der mikrobiellen Keimbela stung durch Großanlagen für die Insektenzucht

Aktuell zählen weder Insektenaufzuchtanlagen noch In-vitro-Fleisch-Produktionsanlagen speziell zu den in Anlage 1 des Gesetzes zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) gelisteten prüfpflichtigen Anlagen oder den nach § 4 Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) genehmigungspflichtigen Anlagen. Es ist zu prüfen, ob sich durch die besonderen Produktionsbedingungen hier ggf. Anpassungen in Bezug auf die Prüf- bzw. Genehmigungspflicht ergeben.

Nach UVPG könnte aus Nr. 18.5 der UVP-prüfpflichtigen Vorhaben zum „Bau einer Industriezone für Industrieanlagen, für den im bisherigen Außenbereich im Sinne des § 35 des Baugesetzbuchs ein Bebauungsplan aufgestellt wird, mit einer zulässigen Grundfläche im Sinne des § 19 Absatz 2 der Baunutzungsverordnung oder einer festgesetzten Größe der Grundfläche von insgesamt 100 000 m<sup>2</sup> oder mehr und eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls bei 20 000 m<sup>2</sup> bis weniger als 100 000 m<sup>2</sup>“ die Möglichkeit einer Prüfpflicht abgeleitet werden.

Nr. 7.13.1 der Anlage 1 im UVPG zu „Errichtung und Betrieb einer Anlage zum Schlachten von Tieren mit einer Kapazität von 50 t Lebendgewicht oder mehr je Tag“ wiederum scheint für Großanlagen eine mögliche Prüfpflicht nahezulegen. Da sich „Schlachten“ im Sinne von § 1 und § 3 des Fleischhygienege setzes jedoch auf das Entbluten der dort genannten Wirbeltiere bezieht, und Insekten dort nicht als Tiergruppe genannt sind, ist anzunehmen, dass eine solche

71 Die Herstellung von In-vitro-Fleisch kann unter sterilen Bedingungen ohne die Zugabe von Antibiotika erfolgen. In der (Forschungs-)Praxis werden noch vielfach Antibiotika eingesetzt.

72 Der Erwerb landwirtschaftlicher Flächen ist in der Regel erheblich preiswerter als der Erwerb von Gewerbe flächen.

73 § 35 Abs. 1 (1): „Im Außenbereich ist ein Vorhaben nur zulässig, wenn öffentliche Belange nicht entgegenstehen, die ausreichende Erschließung gesichert ist und wenn es einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb dient.“

Prüfpflicht nicht besteht, auch wenn Anlagen von mehr als 50 Tonnen Lebendgewicht Insekten bereits in Planung sind.

Im Falle einer UVP-Pflicht muss auch ein Bericht zur UVP-Prüfung erstellt werden. Der Bericht der UVP-Prüfung ist bei der Beurteilung der Zulassung von Anlagen ein wichtiger Bestandteil. Gemäß Artikel 4 UVPG gehören zum UVP-Bericht unter anderem eine Beschreibung des Vorhabens, in Bezug auf Energiebedarf und -verbrauch und der erwarteten Rückstände und Emissionen, sowie eine Beschreibung der vom Vorhabenträger geprüften vernünftigen Alternativen. Für insektenproduzierende Anlagen ist der Passus der Prüfung von Auswirkungen auf die Biodiversität relevant, da einige Insektenarten in Europa möglicherweise invasiv sind und durch „Entweichen“ aus den Anlagen der heimischen Biodiversität schaden können.

Aufgrund des hohen Energieeinsatzes für die Wärmeversorgung von Insektenzuchtanlagen und In-vitro-Fleisch-Produktionsanlagen ist bei einer möglichen Förderung von Insektenproduktionsgroßanlagen ggf. auch zu prüfen, ob eine Förderung speziell für besonders umweltfreundliche und energieeffiziente Anlagen sinnvoll ist. Sofern nicht anderweitig öffentlich verfügbar, können die UVP-Berichte hierfür eine gute Informationsgrundlage liefern.

### Energiebereitstellung und Produktionsstandort

#### Prüfung der Möglichkeiten zur Reduktion der Energiebereitstellung (Standortwahl), Abwärmenutzung und Einbindung erneuerbarer Energien

Die Herstellung von In-vitro-Fleisch und von Insekten ist im Vergleich zur Fleischproduktion aus konventioneller Tierhaltung energieintensiver, da das Wachstum der Zellen im Nährmedium eine konstante Wärmezufuhr bzw. für die Insektenzucht je nach Betrieb, Phase und Zuchtlinie Wärme- und Kältezufluss benötigt. Eine Senkung des Energiebedarfs in der Insekten- und In-vitro-Fleischproduktion, die

Nutzung der überschüssigen Wärme sowie der Einsatz erneuerbarer statt fossiler Energiequellen stellen daher einen Forschungs- und Förderungsbereich dar, um die Herstellung umweltfreundlicher zu gestalten.

Im Bereich der erneuerbaren Energien bietet sich die Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik an, um den Wärmebedarf ebenfalls aus erneuerbaren Energieträgern zu decken. Die Frage der Nutzung erneuerbarer Energien hat je nach Nutzungsart, z. B. Erzeugung vor Ort, Bezug aus dem Netz, mögliche Rückwirkungen auf die Standortfrage der Produktionsanlagen und Bioreaktoren. Ist die aktuelle Fleischproduktion noch oft an fruchtbare Böden und Weiden gekoppelt, könnte für Insekten und In-vitro-Fleischproduktion die Sonneneinstrahlung zum wichtigen Standortfaktor werden.

### 7.3 Indirekte Auswirkungen: Querschnittsthemen der Forschung

Um eine aus Umweltsicht zu empfehlende Substituierung von Fleisch durch Fleischalternativen voranzutreiben, gilt es, auch indirekte Auswirkungen zu untersuchen und Lösungen bereitzustellen. Dies sollte Gegenstand zukünftiger Forschungsvorhaben sein. Die Forschungsfragen umfassen unter anderem:

- ▶ Welche **Arbeitsplatzeffekte** zeigen sich mit einer Veränderung von Produktion und Konsum von Fleisch/Fleischalternativen? In welchen Bereichen werden Arbeitsplätze geschaffen, wo fallen sie weg? Entstehen neue **Produktionsstrukturen** oder docken diese an bestehende landwirtschaftliche Strukturen an? Wo sind die neuen Unternehmen ansässig? Welche Auswirkungen hat es, dass große Fleischproduzenten stark in Start-ups der In-vitro-Produktion investieren/Anteile halten? Führt die In-vitro-Fleischproduktion zu einer **Diversifizierung der Anbieter** auf dem Fleischmarkt oder zu einer **Konzentration**? Wie ist die Eigentumsstruktur gestaltet?
- ▶ Welche Auswirkungen hat ein Wachstum der Branche auf die **landwirtschaftliche Produktionsstruktur** und den **ländlichen Raum**?

- ▶ Können das wachsende Angebot von Fleischalternativen und ein wachsender Konsum dieser Produkte eine „**Brücke**“ hin zur Reduktion des Fleischkonsums darstellen und die Umstellung kulturell gewachsener Ernährungsgewohnheiten? Hat der Konsum Einfluss auf die „**Ernährungsbildung**“ in der Gesellschaft? Gibt es **geschlechts- und milieuspezifische Unterschiede** zwischen Konsumenten und Konsumentinnen? Setzen sich die Konsumierenden mehr mit den Grundlagen des Ernährungssystems und der landwirtschaftlichen Produktion auseinander oder führt die Produktion in In-vitro-Fleisch-Bioreaktoren und Insektengroßfarmen zu einem Wissensverlust und einer (weiteren)<sup>74</sup> „Entkopplung“ von landwirtschaftlichen Produktionssystemen?

## 7.4 Die Rolle von Fleischersatzprodukten in der Ernährungswende und übergeordnete politische Handlungsoptionen

Die politische Gestaltung der Entwicklung von Fleischalternativen im Sinne des Umweltschutzes ist eng mit den begleitenden Rahmenbedingungen der Agrar- und Ernährungspolitik sowie weiteren Politikfeldern verbunden.

Die vorangegangenen Erläuterungen haben gezeigt, dass Handlungsoptionen oft nicht direkt im Bereich Umweltpolitik zu finden sind. Vielmehr spielen eine Vielzahl von Regulationsbereichen zusammen: Die mögliche Nutzung von organischen Reststoffen, ehemaligen Lebensmitteln und Cateringrückflüssen als Futtermittel für Insekten etwa wird ganz wesentlich durch die Lebensmittelsicherheit und EU-Bestimmungen für Lebensmittelhygiene reguliert. Die Beurteilung von In-vitro-Fleischproduktionsanlagen ist eng mit der Energiepolitik verbunden und hat zahlreiche Berührungspunkte zum Tierschutz, Verbraucherschutz und Strategien zur Entwicklung des ländlichen Raums. Die förderlichen bzw. hemmenden Rahmenbedingungen für die Fleischproduktion – Förderung von Stallneubauten, Schlachthäusern etc. – in Europa sind wiederum eng mit der EU-Agrarpolitik verbunden. Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Berührungspunkte zur Handel-, Bildungs- und Wirtschaftspolitik, zur Innovationsförderung etc.

Es ist daher wichtig, eine Strategie zur Rolle von Fleischersatzprodukten in der Ernährung zu definieren, die im Sinne der Kohärenz und Effizienz der Maßnahmen in Zusammenarbeit mit allen relevanten politischen Akteuren erarbeitet wird.

Die Ausgestaltung dieser Politikfelder bildete im Projekt nicht den Schwerpunkt der Untersuchung. Nachfolgend soll dennoch auf die wichtigsten Aspekte hingewiesen werden, die für die Entwicklung von nachhaltigen und umweltfreundlichen Ernährungspraktiken und der möglicherweise zunehmenden Rolle von Fleischalternativen darin von Bedeutung sind.

### Reduktion des Fleischkonsums, Internalisierung externer Kosten

Da Fleischalternativen auch direkt mit Fleisch am Markt konkurrieren, ist es bei der Ableitung politischer Gestaltungsoptionen wichtig, sich nicht nur auf die Förderung von Fleischalternativen zu konzentrieren, sondern auch die politischen Rahmenbedingungen für die Fleischproduktion in den Blick zu nehmen und diese in ein gewünschtes Verhältnis zu setzen. In Anbetracht der negativen Auswirkungen des Fleischkonsums auf die Umwelt und die Kostenentwicklungen im Gesundheitssystem ist daher wichtig, wie sich die negativen Effekte des Fleischkonsums auch im Preis widerspiegeln („Internalisierung externer Effekte“) und so ein fairer Wettbewerb zwischen Fleisch und ressourcen- wie gesundheitsschonenderen Fleischalternativen möglich ist.

Mögliche Ansatzpunkte, die hierzu in unterschiedlichen Kontexten diskutiert werden, sind unter anderem die Aufhebung der Mehrwertsteuer-Privilegierung (aktuell 7 % auf den Normalsatz von 19 %) bei gleichzeitiger steuerlicher Privilegierung pflanzlicher Lebensmittel, (Wieder-)Einführung der Flächenkopplung/flächengebundenen Tierhaltung, gewichts- oder treibhausgasbezogene Abgabe auf Fleisch/Wurst, Steuern und Abgaben – in Bezug auf Treibhausgasemissionen, Stickstoffüberschüsse, Futtermittelimporte, Tierwohl etc. –, Klimasteuern, Erhebung einer Tierwohlabgabe je nach Produktionssystem, Stickstoffüberschussabgabe, Futtermittelimportabgabe etc., aber auch Kampagnen.

<sup>74</sup> Auch der dominierende Teil der traditionellen Nahrungsmittelbereitstellung ist aktuell vom Verbraucher „entkoppelt“: kein Zugang/Zutritt zu Großställen, Schlachthäusern, Verarbeitungsanlagen etc. für die breite Bevölkerung, jedoch zu kleineren Produktionseinheiten.

gnen und Maßnahmen zur Ernährungsbildung in Schulen sowie die Förderung umweltfreundlicher Fleischprodukte mit hohen Tierschutzstandards.

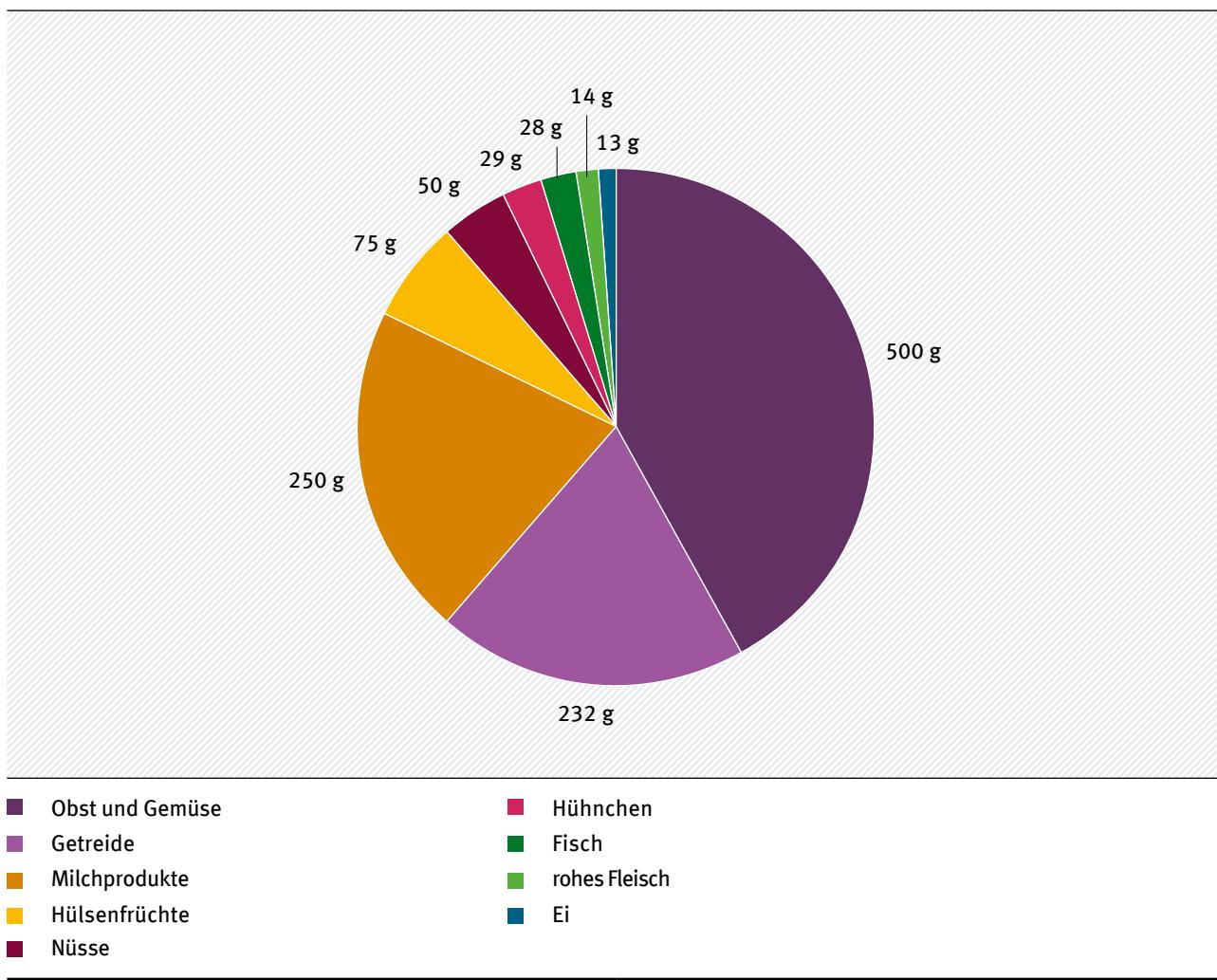
### Förderung einer stärker pflanzenbasierten Ernährung

Bei der Förderung einer stärker pflanzenbasierten Ernährung kommt der öffentlichen Beschaffung/Förderung in der Gemeinschaftsverpflegung eine besondere Bedeutung zu. Darüber hinaus sind Maßnahmen zur Ernährungsbildung, zur Beeinflussung von Ernährungspraktiken und -gewohnheiten insbesondere in Schulen, zum Einsatz von sogenanntem Nudging zur Lenkung der Verbraucherentscheidungen (ohne Zwang und bei voller Wahlfreiheit) sowie eine stärkere Verankerung pflanzenbasierter Ernährung in Gesundheitsleitlinien wichtig und hilfreich.

**Entwicklung eines politikfeldübergreifenden Ansatzes bzw. einer Agrar- und Ernährungsstrategie**  
Um Inkonsistenzen zu anderen Politikfeldern zu verhindern, ist ein koordinierter Ansatz bei der Entwicklung umweltfreundlicher und nachhaltiger Ernährungsweisen und der Definition der Rolle von Fleischalternativen notwendig (Wunder et al., 2018). Dies betrifft unter anderem die Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse und anfallender Reststoffe, um die schon jetzt stark konkurriert wird: Bioenergie, Tierfutter, Bioökonomie, Lebensmittelproduktion, Kompostherstellung etc. Im Rahmen einer Ernährungsstrategie müssen auch Kompromisse im Umgang mit den Widersprüchen der Umweltwirkungen verschiedener Fleischersatzprodukte gefunden werden, da die Bewertung der Effekte in den Bereichen Landnutzung, Energiebilanz und Artenschutz

Abbildung 34

### Möglicher Speiseplan der „planetary health diet“ pro Person und Tag gemäß der EAT-Lancet-Kommission



Quelle: Eigene Darstellung nach Willett et al. (2019)

oft sehr unterschiedlich ausfällt. Anders als etwa im Energiebereich, kann es bei einer Strategie zu Fleischkonsum und Fleischalternativen nicht um einen nachhaltigen „Mix“ bzw. Mindestanteil von Fleisch oder Fleischersatzprodukten gehen, da es keinen Minimalwert eines notwendigen Fleischkonsums gibt, der substituiert werden müsste. Orientierungsrahmen für eine nachhaltige Ernährung aus Umweltperspektive müssen vor allem die planetaren Grenzen sein, doch ebenso die Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Fläche pro Person sowie die notwendige Nährstoff- und Kalorienbereitstellung. So können Maßnahmen zur Einhaltung der Klimaziele und Emissionsgrenzen über die Renaturierung von Moorstandorten, die Förderung der Dauerhumusbildung in Ackerböden und Aufforstungen (Kohlenstoffbindung) Rückwirkungen auf das verfügbare Acker- und Weideland haben. Weitere Themen einer solchen Strategie umfassen auch die Themen Re-Regionalisierung der Ernährung bzw. von Produktion und Konsum, mit geschlossenen Nährstoffkreisläufen und der Ableitung von Schlussfolgerungen für andere Politikbereiche wie Forschung und Bildung, Wirtschaftsförderung, Energie etc. Nationale Ernährungsstrategien existieren weltweit bisher nur in wenigen Ländern. Eine Auswertung dieser Ernährungsstrategien, ihrer Inhalte und Auswirkungen auf Wirtschaftsweisen und Konsumgewohnheiten ist daher ein wichtiger Forschungsgegenstand.

Wegweisend für die Ausgestaltung einer gesunden und umweltverträglichen Ernährungsweise sind die 2019 veröffentlichten Vorschläge der EAT-Lancet-Kommission (Willett et al., 2019). Der Bericht gibt erstmals eine Abschätzung des pro Person darstellbaren Fleischkonsums, der die Anforderungen einer „Planetary Health Diet“ erfüllen kann und damit die Anforderungen einer wachsenden Weltbevölkerung, der planetaren Grenzen und einer gesunden Ernährung vereint.

Gegenüber dem bestehenden nationalen Verbrauch<sup>75</sup> an Fleisch von 88,6 kg pro Person (2018) in Deutschland und einem Pro-Kopf-Verzehr von etwa 60 kg (BLE, 2018b; Newmiwaka & Mackensen, 2019) entspricht die empfohlene Menge der EAT-Lancet-Kom-

mission einem Viertel des deutschen Verzehrs oder der verfügbaren Fleischmenge von 300 g pro Person und Woche – also etwa 15 kg pro Jahr.

### **Gemeinsame Förderinitiative zur Erforschung von Fleischalternativen**

Für die Erforschung der aufgeführten technologie-spezifischen Fragen und Querschnittsthemen wäre eine gemeinsame Forschungs- und Förderinitiative vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft zum Beitrag von Fleischalternativen und der Substitution tierischer Proteine durch pflanzliche Proteine ein Ansatz, der Innovation, Lebensmittelsicherheit, gesunde Ernährung, Umweltschutz, Ernährungsbildung und Tierschutz zusammenbringen kann. Hierbei kann an die entsprechenden Vorarbeiten der Ressorts, vor allem des Referats „Ernährung der Zukunft“ im BMEL direkt angeknüpft werden. Eine verbesserte Forschungsgrundlage zu den möglichen positiven und negativen – auch indirekten – Auswirkungen und die Identifikation von Wegen, die Technologien gezielt in Richtung Nachhaltigkeit und Umweltschutz weiterzuentwickeln, ist wiederum Voraussetzung, um passende (förder-)politische Rahmenbedingungen weiterzuentwickeln.

Forschungsprojekte können die erzeugten Daten öffentlich zur Verfügung stellen („Open Access“), sodass Unternehmen diese für die Zulassung im Rahmen der Novel-Food-Verordnung nutzen können. Dadurch ließe sich auch das finanzielle Investitionsrisiko mindern<sup>76</sup>, das Unternehmen und Start-ups derzeit tragen, um die Sicherheit von Lebensmitteln nachzuweisen, deren Marktzulassung in der EU zum Teil von öffentlichem Interesse ist. Dies betrifft vor allem die Zulassung von Insekten und In-vitro-Fleisch, aber auch diverse pflanzliche Ausgangsprodukte, wie etwa isolierte Proteine der Mung-Bohne, die – als wichtiger Bestandteil z. B. des Ei-Ersatzprodukts „Just Egg“ – ebenfalls der Novel-Food-Verordnung unterliegen.

<sup>75</sup> Die zum Verbrauch verfügbare Menge umfasst neben dem Nahrungsverbrauch auch den Verbrauch für Futtermittel, industrielle Verwertung sowie alle Verluste, z. B. ungenutzte Abschnitte. Der Verbrauch berechnet sich aus der Nettoerzeugung zuzüglich der Importe und abzüglich der Exporte.

<sup>76</sup> Die Kosten, um alle für die Zulassung im Rahmen der Novel-Food-Verordnung notwendigen Unterlagen für ein Produkt beizubringen, werden von Antragstellern häufig zwischen 40.000 und mehreren Hunderttausend Euro angegeben.

Aufgrund der Vielfalt notwendiger Innovationen im Ernährungssystem wird die Förderung einer positiven Innovationskultur immer wichtiger. Hierzu gehört auch die Schaffung regelbasierter „Innovationsräume“, in denen bei Pilotprojekten regulatorische Freiheiten geschaffen werden, z. B. im Rahmen einer Verfütterungsstudie von bisher nicht zulässigen Fütterungssubstraten für Insekten, und diese unter behördlicher Aufsicht zeitbegrenzt getestet und bewertet werden.

#### **International abgestimmtes Handeln und Änderung der EU-Agrarpolitik**

Schließlich ist es wichtig, Regelungen im globalen und europäischen Gesamtkontext zu treffen, um Wettbewerbsverzerrungen und Verlagerungseffekte, etwa der Fleischproduktion, auszuschließen. Bedeutendster Ansatzpunkt ist hierfür die Neugestaltung der europäischen gemeinsamen Agrarpolitik, die für die Periode ab 2020 seit Herbst 2019 verhandelt wird.

#### **Interessenkonflikte transparent machen**

Starke strukturelle Änderungen im Produktions- und Konsumverhalten werden ebenfalls auf Widerstand stoßen, da es neben Gewinnern auch Verlierer des Wandels geben wird. Diese Veränderungen sind immanenter Bestandteil von gesellschaftlichen Transformationsprozessen. Gerade in der Agrarpolitik ist die Einflussnahme einiger Interessengruppen sehr hoch, die sich gegen weitreichende Änderungen der Agrar- und Ernährungspolitik und die Reduktion

des Fleischkonsums einsetzen (Nischwitz & Chojnowski, 2019). Die Einführung eines Transparenz- oder Lobbyregisters kann hilfreich sein, um verdeckte Einflussnahme und Verflechtungen erkennbar zu machen und in die öffentliche Debatte zu bringen.

#### **Partizipative Multi-Akteurs-Prozesse**

Zur Bewältigung der Komplexität bei der Erstellung einer Ernährungsstrategie ist es wichtig, verschiedene Perspektiven, Expertisen und Wissensarten – also inter- und transdisziplinäre Kooperation – in den Prozess einzubeziehen und partizipative Multi-Akteurs-Prozesse anzustossen. Im Bereich der Produktion von Fleisch und Fleischalternativen ergeben sich hier potenziell neue Allianzen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine Reduktion des Fleischkonsums und die Förderung von Fleischalternativen zwar ein großes umweltpolitisches Anliegen darstellen. Die Handlungsoptionen zur Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen liegen jedoch ganz wesentlich in anderen politischen Handlungsfeldern. Einer übergreifenden Kooperation der betroffenen Akteure, sei es im Rahmen einer gemeinsamen Forschungs- und Förderinitiative, der Abstimmung agrarpolitischer Neuerungen oder beim Entwurf einer Ernährungsstrategie zur konsistenten Gestaltung politischer Rahmenbedingungen, kommt daher besondere Bedeutung zu.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick



Eine starke Reduktion des zu hohen Fleischkonsums in Deutschland ist für eine nachhaltige, gesunde und umweltschonende Ernährungsweise notwendig.

Die Trendanalyse hat gezeigt, dass alternative Fleischprodukte bereits heute existieren. Diese sind überwiegend aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt und erreichen einen immer höheren Imitationsgrad verglichen mit Fleischprodukten. Auch über die pflanzlichen Alternativen hinaus weisen Fleischersatzprodukte aus essbaren Insekten Potenziale auf, sind jedoch noch mit hohen Akzeptanzhürden behaftet. Die Formulierung zukünftiger Entwicklungen bei In-vitro-Fleisch ist aufgrund von Entwicklungshemmissen aktuell mit größeren Unsicherheiten behaftet.

Gegenüber den möglichen Alternativprodukten ist die Entwicklung des weltweiten sowie des deutschen Fleischmarktes relevant. Auf dem weltweiten Fleischmarkt sind bislang keine Anzeichen für eine Abschwächung des starken Wachstums zu erkennen. Fleischalternativprodukte nehmen im Vergleich

zu Fleischprodukten weiterhin nur Nischen ein. Deutschland lässt sich in dieser Hinsicht zwar auch als wachsender Markt mit gesteigertem Verbrauchinteresse an Fleischersatzprodukten charakterisieren, jedoch ist der durchschnittliche Fleischkonsum der deutschen Bevölkerung in den letzten dreißig Jahren kaum gesunken.

Fleischersatzprodukte aus Pflanzen, Insekten und In-vitro-Fleisch können eine wichtige „Brückenfunktion“ zur Reduktion des Fleischkonsums darstellen und die Umstellung kulturell gewachsener Ernährungsgewohnheiten erleichtern. Fleischersatzprodukte sind damit ein mögliches Element auf dem Weg in eine fleischärmere Ernährung, auch wenn sie kein zwingend notwendiger Bestandteil einer umweltbewussten und gesunden Ernährungsweise sind.

Wie die Untersuchungen der Umweltbilanzen gezeigt haben, konnten pflanzliche Fleischalternativen im Vergleich mit Fleisch am besten abschneiden. Zudem haben die zugrundeliegenden Technologien bereits

eine relativ hohe Reife. Daher sollte die Förderung einer stärker pflanzenbasierten Ernährung im Mittelpunkt politischen Handelns stehen, vor allem wenn diese Produkte einen geringen Verarbeitungsgrad aufweisen. Unverarbeitete pflanzliche Produkte wie Leguminosen stehen dem Markt risikoarm und funktional sofort zur Verfügung.

Auch essbare Insekten haben ein großes Potenzial als alternativer Proteinlieferant und sind aus Umweltsicht besonders durch ihre Eigenschaft, natürliche Ressourcen effizient zu verwerten, interessant. Der wichtigste Ansatzpunkt zur Verbesserung der Umweltbilanz besteht in der Neubewertung der Verfüttung von organischen Reststoffen an Insekten.

Die Untersuchungen zur In-vitro-Fleischproduktion sind im Vergleich zu pflanzenbasierten Fleischalternativen und Insekten mit den größten Unsicherheiten sowohl hinsichtlich der Chancen als auch hinsichtlich potenzieller Risiken für Umwelt und Gesundheit behaftet. Daraus ergeben sich vor allem forschungspolitische Implikationen: Die Entwicklung tierbestandteifreier Nährmedien und die Erstellung von (erweiterten) Lebenszyklusanalysen sind zwei zentrale Forschungsfragen. Eine aus den daraus gewonnenen Erkenntnissen basierende verbesserte Informationsgrundlage versetzt politische Akteure in die Lage, die zukünftige Entwicklung unter den Maßstäben der Nachhaltigkeit zu gestalten.

Als wichtige sogenannte Querschnittsansätze, die sich für alle drei der untersuchten Fleischersatzprodukte von hoher Relevanz für die zukünftige Entwicklung am Markt erweisen, sind die folgenden drei Themen zu nennen:

1. gesellschaftliche Akzeptanz der Nahrungsmittel,
2. die Überarbeitung von Bildungslehrplänen und Ausbildungscurricula, um das Wissen und Kompetenzen zu Themen rund um den Marktausbau für Fleischalternativen aufzubauen und
3. der Rahmen der zulässigen Kennzeichnung der Produkte (im Kern: ob Fleischersatzprodukte als an Fleisch erinnernde Produkte vermarktet werden dürfen z. B. als „vegetarisches Schnitzel“ oder „vegane Salami“).

Bei der Entwicklung politischer Maßnahmen zur Förderung umweltfreundlicher und nachhaltiger Ernährungsweisen ist es notwendig, eine Vielzahl von Politikfeldern einzubeziehen (Gesundheit, Lebensmittelsicherheit, Tierschutz, Agrarpolitik, Wirtschaftsförderung und Innovationskultur, Forschungs- und Bildungspolitik, Verbraucherschutz, Energiepolitik etc.), um so auch indirekte Auswirkungen der Entwicklungen zu berücksichtigen. Art und Umfang der Förderung neuer Lebensmitteltechnologien zur Herstellung von Produkten aus essbaren Insekten, alternativen pflanzlichen Rohstoffen und In-vitro-Fleisch sollten daher im Rahmen einer ressortübergreifenden nationalen Ernährungsstrategie definiert und umgesetzt werden.

Schließlich ist es wichtig, Regelungen im globalen und europäischen Gesamtkontext zu treffen, um Wettbewerbsverzerrungen und Verlagerungseffekte (etwa der Fleischproduktion) auszuschließen. Wichtigster Ansatzpunkt ist hierfür die Neugestaltung der europäischen gemeinsamen Agrarpolitik, die für die Periode ab 2020 seit Herbst 2019 verhandelt wird.

Mit dem vorliegenden Trendbericht wurde ein kleiner Einblick in das komplexe Thema zukünftiger Ernährung gegeben. Fleisch der Zukunft stellt dabei nur einen Auschnitt des sich wandelnden Ernährungssystems dar. Unter der Annahme, dass das derzeitige Ernährungssystem einerseits nicht nachhaltig ist, sondern zu Umweltproblemen führt, und andererseits in gewissem Umfang gestaltet werden kann, wird die Reduzierung des Fleischkonsums zu einem zentralen Hebel bei der Lösung von Umweltproblemen. Dabei soll es nicht darum gehen, zum Verzicht zu motivieren. Vielmehr stehen zahlreiche Alternativen bereit, die einige der mit hohem Fleischkonsum zusammenhängenden Probleme lösen können. Dieser Trendbericht wirft ein Licht auf diese Alternativen und deren Umweltwirkungen. Zusätzlich entwirft er erste Gestaltungsansätze, die im Rahmen einer zukunftsorientierten und nachhaltig handelnden Umwelt- und Ernährungspolitik umgesetzt werden können sowie eine Transformation des Ernährungssystems vorantreiben können.

## 9 Quellenverzeichnis

- 20 Grillwürste im Test. (2016). Ökotest, (7), 80–93. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter [https://www.oekotest.de/essen-trinken/20-Grillwuerste-im-Test\\_108040\\_1.html](https://www.oekotest.de/essen-trinken/20-Grillwuerste-im-Test_108040_1.html)
- Agethen, K. (2018). Steckbriefe zur Tierhaltung in Deutschland: Ein Überblick. Braunschweig: Thünen-Institut für Betriebswirtschaft. Zugriff am 09.11.2018. Verfügbar unter [https://www.thuenen.de/media/ti-themenfelder/Nutztierhaltung\\_und\\_Aqua-kultur/Nutztierhaltung\\_und\\_Fleischproduktion/Steckbrief\\_Nutz-tierhaltung\\_2018.pdf](https://www.thuenen.de/media/ti-themenfelder/Nutztierhaltung_und_Aqua-kultur/Nutztierhaltung_und_Fleischproduktion/Steckbrief_Nutz-tierhaltung_2018.pdf)
- AgriProtein (Hrsg.). (2018). About Us. Zugriff am 15.01.2019. Verfügbar unter <https://agriprotein.com/about-us/>
- Albert Schweizer Stiftung für unsere Mitwelt (Albert Schweizer Stiftung für unsere Mitwelt, Hrsg.). (2018). Warum Sojawurst nicht dem Regenwald schadet, Albert Schweizer Stiftung für unsere Mitwelt. Zugriff am 12.12.2019. Verfügbar unter <https://albert-schweizer-stiftung.de/aktuell/warum-soja-wurst-nicht-dem-regenwald-schadet>
- Albores, E. B., Schäufele, I. & Hamm, U. (2018). Willingness-to-try edible insects – The impact of consumers' perception and visual characteristics of insect dishes. In T. Piófczyk (Hrsg.), INSECTA 2018 International Conference. Book of Abstracts. Bornimer Agrartechnische Berichte (Bd. 100, S. 85).
- Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Dias, C., Finnigan, J., Moran, D. et al. (2017). Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? Global Food Security, 15, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.04.001>
- Alig, M., Grandl, F., Mieleitner, J., Nemecek, T. & Gaillard, G. (2012). Ökobilanz von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch: Executive Summary. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Allen, M. (Good Food Institute (GFI), Hrsg.). (2018). Can AI help fix the Food System. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <https://www.gfi.org/how-ai-can-help-fix-the-food-system>
- Allied Market Research (Hrsg.). (2018). Meat Substitute Market Expected to Reach \$7,549 Million, Globally, by 2025. Zugriff am 02.07.2019. Verfügbar unter <https://www.alliedmarketresearch.com/press-release/global-meat-substitute-market.html>
- Arora, M. (2013). Cell Culture Media: A Review. Materials and Methods, 3. <https://doi.org/10.13070/mm.en.3.175>
- Baier, C. & Krafft, E. (2019). Das neue Fleisch. FOCUS, (36).
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.). (2018). Eutrophierung und Versauerung. Zugriff am 09.12.2019. Verfügbar unter [https://orgprints.org/36229/1/Beitrag\\_305\\_final\\_a.pdf](https://orgprints.org/36229/1/Beitrag_305_final_a.pdf)
- Benjaminson, M.A., Gilchrist, J.A. & Lorenz, M. (2002). In vitro edible muscle protein production system (mpps): stage 1, fish. Acta Astronautica, 51(12), 879–889. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(02\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00033-4)
- Bhat, Z. F. & Bhat, H. (2011). Animal-free Meat Biofabrication. American Journal of Food Technology, 6(6), 441–459. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.441.459>
- Bhat, Z. F. & Fayaz, H. (2011). Prospectus of cultured meat—advancing meat alternatives. Journal of Food Science and Technology, 48(2), 125–140. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0198-7>
- Bhat, Z. F., Kumar, S. & Fayaz, H. (2015). In vitro meat production. Challenges and benefits over conventional meat production. Journal of Integrative Agriculture, 14(2), 241–248. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60887-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60887-X)
- Biedermann, S., Heinz, R. & Senkler, G. (2018). Jahresbericht 17/18 (Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL), Hrsg.). Zugriff am 05.02.2019. Verfügbar unter [https://www.dil-ev.de/uploads/pdf/DIL\\_JB18\\_online\\_01.pdf](https://www.dil-ev.de/uploads/pdf/DIL_JB18_online_01.pdf)
- Biesalski, H.-K., Grimm, P. & Nowitzki-Grimm, S. (2011). Taschenatlas der Ernährung (5., überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Thieme. <https://doi.org/10.1055/b-005-143652>
- Bindra, S. & Scanlon, X. C. (2010). UNEP annual report 2009. Seizing the green opportunity (United Nations / Environment Programme: Annual report, Bd. 2009). Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP).
- Biocom. (2018). Die deutsche Biotechnologie-Branche 2018, biotechnologie.de. Zugriff am 02.10.2019. Verfügbar unter [http://biotechnologie.de/statistics\\_articles/27-die-deutsche-biotechnologie-branche-2018](http://biotechnologie.de/statistics_articles/27-die-deutsche-biotechnologie-branche-2018)
- Bioökonomierat (Hrsg.). (2017). Bioökonomie für eine nachhaltige Ernährung – Lösungsansätze für die Proteinversorgung der Zukunft. Berlin. Zugriff vor Veröffentlichungsdatum des Dokuments 10.11.2017 vs. 17.11.2017. Verfügbar unter [https://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/BOERMEMO\\_06\\_Final.pdf](https://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/BOERMEMO_06_Final.pdf)
- Bodirsky, B., Rolinski, S., Biewald, A., Weindl, I., Popp, A. & Lotze-Campen, H. (2015). Global Food Demand Scenarios for the 21st Century. PLoS ONE, 10(11), e0139201. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139201>
- Böhm, H., Aulrich, K., Rinke, N. & Weißmann, F. (Johann Heinrich von Thünen-Institut, Hrsg.). (2018). Erbsen, Lupinen & Co im Feldversuch. Zugriff am 05.02.2019. Verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/ol/fachdisziplinen/acker-und-futterbau/erbsen-lupinen-co-im-feldversuch/>
- Böhm, I., Ferrari, A. & Woll, S. (2017). In-vitro-Fleisch. Eine technische Vision zur Lösung der Probleme der heutigen Fleischproduktion und des Fleischkonsums? Karlsruhe: Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS).
- Boland, M. J., Rae, A. N., Vereijken, J. M., Meuwissen, M. P.M., Fischer, A. R.H., van Boekel, M. A. J. S. et al. (2013). The future supply of animal-derived protein for human consumption. Trends in Food Science & Technology, 29(1), 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.07.002>
- Borzan, B. (2017). Own-Initiative Report on Resource Efficiency: Reducing Food Waste, Improving Food Safety - A8-0175/2017. (2016/2223(INI)). European Parliament's Committee on the Environment, Public Health and Food Safety. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter [http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2017-0175\\_EN.html?redirect](http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2017-0175_EN.html?redirect)
- Bouvard, V., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., El Ghissassi, F., Benbrahim-Tallaa, L. et al. (2015). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. The Lancet Oncology, 16(16), 1599–1600. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00444-1)
- Bowman, M. & Luyckx, K. (2019). Avoiding food waste through feeding surplus food to omnivorous non-ruminant livestock. EU Horizon 2020 REFRESH.

- Brack, D., Glover, A. & Wellesley, L. (2016). Agricultural Commodity Supply Chains. Trade, Consumption and Deforestation. Research Paper (The Royal Institute of International Affairs (Chatham House), Hrsg.). The Royal Institute of International Affairs (Chatham House). Zugriff am 15.10.2019. Verfügbar unter [www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2016-01-28-agricultural-commodities-brack-glover-wellesley.pdf](http://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2016-01-28-agricultural-commodities-brack-glover-wellesley.pdf)
- Brauns, B. (ZEIT Online, Hrsg.). (2016). Fleischersatz: Auch im Veggi-Burger lauert Gefahr. Zugriff am 05.02.2019. Verfügbar unter <https://www.zeit.de/wirtschaft/2016-09/fleischersatz-vegetarisch-vegan-lebensmittelverunreinigung-gesundheit-stiftung-warentest>
- Brunner, D., Frank, J., Appl, H., Schöffl, H., Pfaller, W. & Gstraunthal, G. (2010). Serum-freeCell Culture: The Serum-free Media Interactive Online Database. ALTEX - Alternatives to animal experimentation, 27(1), 53–62. Zugriff am 01.08.2018. Verfügbar unter <https://doi.org/10.14573/altex.2010.1.53>
- Bryant, C. & Barnett, J. (2018). Consumer acceptance of cultured meat: A systematic review. Meat Science, 143, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.008>
- Buck, C. (2014). Fleisch oder Pflanze. Technology Review, (11), 40–44.
- Bugs International (Hrsg.). (12.12.19). Bugs International. Unternehmenswebseite. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://www.bugs-international.com/>
- Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesinstitut für Risikobewertung, Robert Koch-Institut & Umweltbundesamt (Hrsg.). (2017). UMID – Umwelt + Mensch Informationsdienst. Schwerpunkt: Antibiotikaresistenzen (2/2017).
- Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesinstitut für Risikobewertung, Umweltbundesamt & Robert Koch-Institut (Hrsg.). (März 2011). UMID. Umwelt und Mensch – Informationsdienst: Schwerpunktthema Dioxine (1/2011). Verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/publikationen/umid0111\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/publikationen/umid0111_0.pdf)
- 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. Berlin. Zugriff am 09.12.2019. Verfügbar unter [https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/05\\_tierarzneimit tel/2019/2019\\_07\\_25\\_PI\\_Antibiotikaabgabe.html](https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/05_tierarzneimit tel/2019/2019_07_25_PI_Antibiotikaabgabe.html)
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. (2014). Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit: Strategien für einen erfolgreichen Anbau (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Hrsg.). Bonn. Verfügbar unter [https://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/erzeuger/Broschuere\\_Koernerleguminosen\\_Bodenfruchtbarkeit.pdf](https://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/erzeuger/Broschuere_Koernerleguminosen_Bodenfruchtbarkeit.pdf)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2018a). Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2017 (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Hrsg.).
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. (2018b). Versorgungsbilanz für Getreide - Wirtschaftsjahr 2016/2017 (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Hrsg.). Zugriff am 11.12.2019. Verfügbar unter [https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Getreide\\_Getreideerzeugnisse/Getreidebilanz\\_16-17.html](https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Getreide_Getreideerzeugnisse/Getreidebilanz_16-17.html)
- Bundesinstitut für Risikobewertung (Hrsg.). (2011). Allergie durch Lupineneiweiß in Lebensmitteln. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 039/2011 des BfR vom 26. August 2011 (Stellungnahme 039/2011).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.). (o. J.). Nutztierhaltung (27.02.2019). Verfügbar unter [https://www.bmel.de/DE/Tier/Nutztierhaltung/nutztierhaltung\\_node.html;j-sessionid=6A7F66C82FB4167B1397E00DFDD6201A.1\\_cid385](https://www.bmel.de/DE/Tier/Nutztierhaltung/nutztierhaltung_node.html;j-sessionid=6A7F66C82FB4167B1397E00DFDD6201A.1_cid385)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.). (2016). Ackerbohne, Erbse & Co. Die Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung des Leguminosenanbaus in Deutschland. Berlin.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.). (2019). Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse. Berlin. Zugriff am 08.08.2019. Verfügbar unter [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzeFleisch.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzeFleisch.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Umweltbundesamt (Hrsg.). (2019). Umweltbewusstsein in Deutschland 2018. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Zugriff am 09.07.2019. Verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pools/Broschueren/umweltbewusstsein\\_2018\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/umweltbewusstsein_2018_bf.pdf)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit & Umweltbundesamt (Hrsg.). (2017). Umweltbewusstsein in Deutschland 2016. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin.
- Bundesverband der deutschen Fleischwarenindustrie e. V. (Bundesverband der deutschen Fleischwarenindustrie e. V. (BVDF), Hrsg.). (2019). Umsatz und Produktionsausstoß, Bundesverband der deutschen Fleischwarenindustrie e. V. Zugriff am 05.12.2019. Verfügbar unter <https://www.bvdf.de/in-zahlen/tab-14>
- Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie e. V. & Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V. (Hrsg.). (2017). So schmeckt's in Zukunft. Trends und Innovationen in der Lebensmittelindustrie.
- Buxel, H. & Auler, C. (2017). DLG-Studie 2017: Akzeptanz und Käuferverhalten bei Fleischersatzprodukten (DLG e. V. Testzentrum Lebensmittel, Hrsg.). Frankfurt am Main: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) e. V.
- Cameron, B. & O'Neill, S. (2019). State of the Industry Report. Cell-based Meat, Good Food Institute. Zugriff am 03.10.2019. Verfügbar unter <https://www.gfi.org/non-cms-pages/splash-sites/soi-reports/files/SOI-Report-Cell-Based.pdf>
- Carbon Trust. (2014). Quorn, beef and chicken footprints: Internal Report.
- Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Bosco, A. D. & Brunetti, M. (2006). Sustainability of poultry production using the emergency approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. Agriculture, Ecosystems & Environment, 114(2-4), 343–350. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.014>
- Chrappa, V. & Sabo, V. (1996). Options of feeding meals from fly pupae and algae to Japanese quail. FAO, 41(5), 213–217.
- Cogrove, E. (AgFunderNews, Hrsg.). (2018). BREAKING UPDATE: Memphis Meats Adds Tyson to Investor List With Cargill, Gates, Branson, Musk, more. Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter <https://agfundernews.com/memphis-meats-raises-17m-series-cargill-gates-branson-musk.html>

- Crowe, F. L., Appleby, P. N., Travis, R. C. & Key, T. J. (2013). Risk of hospitalization or death from ischemic heart disease among British vegetarians and nonvegetarians. Results from the EPIC-Oxford cohort study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 97(3), 597 – 603. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.044073>
- Dannemann Purnat, T., Fietje, N., Kuchenmüller, T., Ghith, N., Umachandran, S. & Stein, C. (2019). European Health Report 2018. More than numbers, evidence for all. S.l.: WHO Regional Office for Europe.
- Deutsch, A. (DER AKTIONÄR, Hrsg.). (2019). Beyond Meat: 560 Prozent plus – keine Aktie ist besser, DER AKTIONÄR. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://www.deraktioner.de/artikel/aktien/beyond-meat-560-prozent-plus-keine-aktie-ist-besser-10922589.html>
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (2017). Vollwertig essen und trinken nach den 10 Regeln der DGE. (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE), Hrsg.). Verfügbar unter <https://www.dge.de/fileadmin/public/doc/fm/10-Regeln-der-DGE.pdf>
- Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission. (2018). Leitsätze für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs. Neufassung vom 04. Dezember 2018 (BAz AT 20.12.2018 B1, GMBI 2018 S. 1174). Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission (DLMBK), Hrsg.). Verfügbar unter [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzevegetarischeveganeLebensmittel.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzevegetarischeveganeLebensmittel.pdf?__blob=publicationFile&v=5)
- Dirscherl, C. (2013). Fleischkonsum und Tierhaltung in der aktuellen gesellschaftsethischen Debatte. Berichte über Landwirtschaft – Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, 91(3). <https://doi.org/10.12767/buel.v91i3.32.g84>
- Dobermann, D., Swift, J. A. & Field, L. M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin*, 42(4), 293 – 308. <https://doi.org/10.1111/nbu.12291>
- Dutch Soy Coalition. (2012). Soy Barometer 2012. Netherlands.
- Eberle, U. & Hayn, D. (2007). Ernährungswende. Eine Herausforderung für Politik, Unternehmen und Gesellschaft (Öko-Institut e. V. & Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), Hrsg.).
- Edelman, P. D., McFarland, D. C., Mironov, V. A. & Matheny, J. G. (2005). Commentary: In vitro-cultured meat production. *Tissue Engineering*, 11(5–6), 659 – 662. <https://doi.org/10.1089/ten.2005.11.659>
- Edwards, D. G. & Cummings, J. H. (2010). The protein quality of mycoprotein. *Proceedings of the Nutrition Society*, 69(OCE4), 537. <https://doi.org/10.1017/S0029665110001400>
- Epp, A. (Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Hrsg.). (2016). Sind essbare Insekten als Lebensmittel aus Sicht der Verbraucher sicher? BfR-Symposium Insekten als Lebens- und Futtermittel: 24. Mai 2016. Zugriff am 04.09.2018. Verfügbar unter <https://www.bfr.bund.de/cm/343/sind-essbare-insekten-als-lebensmittel-aus-sicht-der-verbraucher-sicher.pdf>
- Ercin, A. E., Aldaya, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2012). The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. *Ecological Indicators*, 18, 392 – 402. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.009>
- 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.
- Ernst, B. (essen & trinken, Hrsg.). (2011, 11. Mai). Seitan: kleine Warenkunde, <https://www.facebook.com/essen-und-trinken>. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://www.essen-und-trinken.de/vegetarische-rezepte/78469-rtkl-seitan-kleine-warenkunde>
- Europäische Kommission. (2010). Directive 2010/63/EU of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. Zugriff am 31.01.2020. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:276:0033:0079:EN:PDF>
- Europäische Kommission. (2015). Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschaftsausschuss und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. COM(2015) 614 final. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_1&format=PDF)
- Europäische Kommission. (2018). Report from the Commission to the Council and the European Parliament. On the development of plant proteins in the European Union (Europäische Kommission, Hrsg.). Brüssel. Zugriff am 09.12.2019. Verfügbar unter [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/plants\\_and\\_plant\\_products/documents/report-plant-proteins-com2018-757-final\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/plants_and_plant_products/documents/report-plant-proteins-com2018-757-final_en.pdf)
- Europäische Union, EUR-Lex (Mitarbeiter). (2015). Verordnung (EU) 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2015 über neuartige Lebensmittel, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 1852/2001 der Kommission (Text von Bedeutung für den EWR). Zugriff am 23.05.2018. Verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R2283&from=DE>
- European Soya Declaration. (2017). Common Declaration of Austria, Croatia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Italy, Luxemburg, the Netherlands, Poland, Romania, Slovakia and Slovenia. European Soya Declaration – Enhancing soya and other legumes cultivation. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter <http://www.politico.eu/wp-content/uploads/2017/07/European20Soya20Declaration20e2809320Enhancing20soya20and20other20legumes20cultivation.pdf>
- Farvid, M. S., Stern, M. C., Norat, T., Sasazuki, S., Vineis, P., Weijenberg, M. P. et al. (2018). Consumption of red and processed meat and breast cancer incidence: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *International Journal of Cancer*, 143(11), 2787 – 2799. <https://doi.org/10.1002/ijc.31848>
- Fernández, C. R. (Labiatech.eu, Hrsg.). (2017). ,Meat' the Founder behind the Lab-Grown Burger Investors are Queuing for. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter <https://www.labiatech.eu/interviews/interview-mark-post-cultured-meat/>
- Ferrari, A. (2016). Envisioning the Futures of Animals through In Vitro Meat. In I. A. S. Olsson, S. d. M. Araújo & M. F. Vieira (Eds.), *Food futures: Ethics, science and culture* (pp. 265 – 270). Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Fiebelkorn, F. (2017). Entomophagie. Insekten als Nahrungsmittel der Zukunft. *Biologie in unserer Zeit*, 2(47), 104 – 110.
- Finke, M. D. & Oonincx, D. G. A. B. (2017). Nutrient Content of Insects. In A. van Huis & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed. From production to consumption* (pp. 291 – 316). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.

- FOCUS Online (Hrsg.). (2019). Lidl kommt mit Hype-Burger zurück – und einem großem Versprechen. Beyond Meat im Regal. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter [https://www.focus.de/finanzen/news/beyond-meat-lidl-kommt-mit-hype-burger-zurueck-und-einem-grossem-versprechen\\_id\\_10813762.html](https://www.focus.de/finanzen/news/beyond-meat-lidl-kommt-mit-hype-burger-zurueck-und-einem-grossem-versprechen_id_10813762.html)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.). (2014). Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets. Zugriff am 10.11.2017. Verfügbar unter <http://www.fao.org/3/I3751E/I3751E.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016a). Climate change, agriculture and food security (The state of food and agriculture, vol. 2016). Rome
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016b). A review of indicators and methods to assess biodiversity. Application to livestock production at global scale. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Hrsg.). Rom.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.). (2017). The future of food and agriculture. Trends and challenges. Rome. Zugriff am 18.07.2018. Verfügbar unter <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>
- Forbes. (2018). Meat the Future: Foodamentalisten. Tierisches Fleisch scheint ein Auslaufmodell zu sein. Doch essen wir bald Fleisch aus dem Reagenzglas? Zugriff am 08.06.2018. Verfügbar unter <https://www.forbes.at/artikel/meat-the-future-foodamentalisten.html>
- Forgacs, A. (2013). Andras Forgacs: Leder und Fleisch – ohne dafür zu töten: TED (27.09.2019). Verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=7gXq1ml6B1E>
- Frankfurter Allgemeine Zeitung (Hrsg.). (2016). Fleischersatzprodukte: Der neue Boom der vegetarischen Schnitzel. Zugriff am 27.04.2016. Verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/wie-unternehmen-mit-fleischersatzprodukten-geld-verdienen-14095803.html>
- Fresán, U., Mejia, M. A., Craig, W. J., Jaceldo-Siegl, K. & Sabaté, J. (2019). Meat Analogs from Different Protein Sources: A Comparison of Their Sustainability and Nutritional Content. *Sustainability*, 11(12), 3231. <https://doi.org/10.3390/su11123231>
- Galitsky, C., Martin, N., Worrell, E. & Lehmann, B. (2003). Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries: An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers.
- Garnett, E. E., Balmford, A., Sandbrook, C., Pilling, M. A. & Marateau, T. M. (2019). Impact of increasing vegetarian availability on meal selection and sales in cafeterias. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(42), 20923–20929. <https://doi.org/10.1073/pnas.1907207116>
- Gerhardt, C., Suhlmann, G., Ziemßen, F., Donnan, D., Warschun, M. & Kühnle, H.-J. (2019). How Will Cultured Meat and Meat Alternatives Disrupt the Agricultural and Food Industry? (A.T. Kearny, Hrsg.). Zugriff am 07.08.2019. Verfügbar unter <https://www.atkearney.com/retail/article/?/a/how-will-cultured-meat-and-meat-alternatives-disrupt-the-agricultural-and-food-industry>
- Girón-Calle, J., Vioque, J., Pedroche, J., Alaiz, M., Yust, M. M., Megías, C. et al. (2008). Chickpea protein hydrolysate as a substitute for serum in cell culture. *Cytotechnology*, 57(3), 263–272. <https://doi.org/10.1007/s10616-008-9170-z>
- Gjerris, M., Gamborg, C. & Röcklinsberg, H. (2016). Ethical aspects of insect production for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(2), 101–110. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0097>
- Gleisenberg, S. (2016). Ernährungsphysiologische Analyse und Optimierung vegetarischer Fleischersatzprodukte. Masterarbeit. Beuth Hochschule für Technik, Berlin.
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J. et al. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399). <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
- Gose, M., Heuer, T., Hoffmann, I. & Krems, C. (2018). Zum Ernährungsverhalten in Deutschland. In Bundeszentrale für politische Bildung (bpb) (Hrsg.), Essen. Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ). 68 (1-3), 13–19 [Themenheft].
- Grabowski, N. (2017). Speiseinsekten (1. Aufl.). Hamburg: Behr's Verlag.
- Groß, M. (2016). Mykoprotein als Fleischersatz. *Nachrichten aus der Chemie*, 64(4), 403–405. <https://doi.org/10.1002/nadc.20160406860>
- Grossarth, J. (Faz.net, Hrsg.). (2018). Schlachter Tönnies sagt der Veggie-Wurst adé, Frankfurter Allgemeine Zeitung. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/schlachter-toennies-sagt-der-veggie-wurst-adé-15546806.html#void>
- Gurk, C. (2018, 26. Mai). Krabbel-Kiste. *Süddeutsche Zeitung*, 119, S. 25.
- Haldane, J. B. S. (1927). Possible Worlds and Other Essays. London: CHATTO AND WINDUS.
- Halloran, A., Hanboonsong, Y., Roos, N. & Bruun, S. (2017). Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 156, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.017>
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A. & Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 57. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0392-8>
- Hanboonsong, Y., Jamjanya, T. & Durst, P. B. (2013). Six-legged livestock. Edible insect farming, collection and marketing in Thailand (RAP publication, 2013/03). Bangkok, Thailand: Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific.
- Hartmann, C., Shi, J., Giusto, A. & Siegrist, M. (2015). The psychology of eating insects. A cross-cultural comparison between Germany and China. *Food Quality and Preference*, 44, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.04.013>
- Hartmann, C. & Siegrist, M. (2017). Insects as food: Perception and acceptance. Findings from current research. *Ernährungs-Umschau*, 64 (3), 44–50.
- Head, M., Sevenster, M. & Croezen, H. (2011). Life Cycle Impacts of Protein-rich Foods for Superwijzer. Delft: CE Delft.
- Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland & Le Monde diplomatique (Hrsg.). (2014a). Fleischatlas 2013. Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel (8. Aufl.). Zugriff am 10.11.2017. Verfügbar unter [https://www.boell.de/sites/default/files/fleischatlas\\_1\\_1.pdf](https://www.boell.de/sites/default/files/fleischatlas_1_1.pdf)

- Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland & Le Monde diplomatique. (2014b). Fleischatlas 2014. Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel (Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) & Le Monde diplomatique, Hrsg.).
- Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland & Le Monde diplomatique (Hrsg.). (2018). Fleischatlas 2018. Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel.
- Heinze, A. (2011). Empfehlungen und Richtwerte zur Schweinefütterung (Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen 3). Jena. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter <http://www.tll.de/www/daten/nutztierhaltung/schweine/fuetterung/swfu0211.pdf>
- Heiss, R. (2013). Lebensmitteltechnologie. Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung (6., Softcover reprint of the original 6th ed. 2004). Berlin: Springer Berlin.
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M. & Tiwari, B. (2017). Future Protein Supply and Demand. Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. *Foods* (Basel, Switzerland), 6(7). <https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Heseker, H. & Heseker, B. (2015). Die Nährwerttabelle 2016/2017 (4. Aufl.). Neustadt an der Weinstraße: Neuer Umschau Buchverlag.
- Hinsch, B. & Tölle, K. (2019). Vegane Burger im Test. Jeder zweite Patty verunreinigt mit Mineralöl. Ökotest, (11), 28–34.
- Hirschfeld, J., Weiß, J., Preidl, M. & Korbun, T. (2008). Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland (Schriftenreihe des IÖW, Bd. 186). Berlin: IÖW.
- Hocquette, J.-F. (2016). Is in vitro meat the solution for the future? *Meat science*, 120, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.036>
- Hoekstra, A. Y. (2017). The water footprint of animal products. In J. D'Silva & J. Webster (Eds.), *The Meat Crisis. Developing more Sustainable and Ethical Production and Consumption* (2nd ed.). Milton: Taylor and Francis.
- Universität Hohenheim (Hohenheim Research Center for Global Food Security and Ecosystems, Hrsg.). (2018). TRAnsition paths to sUstainable legume based systems in Europe (TRUE), Universität Hohenheim. Zugriff am 05.02.2019. Verfügbar unter <https://www.true-project.eu/>
- Huang, T., Yang, B., Zheng, J., Li, G., Wahlqvist, M. L. & Li, D. (2012). Cardiovascular disease mortality and cancer incidence in vegetarians. A meta-analysis and systematic review. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 60(4), 233–240. <https://doi.org/10.1159/000337301>
- Huber, J. & Keller, M. (2017). Ernährungsphysiologische Bewertung von konventionell und ökologisch erzeugten vegetarischen und veganen Fleisch- und Wurstalternativen. S: Studie im Auftrag der Albert Schweizer Stiftung für unsere Mitwelt, Berlin. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter [https://files.albert-schweitzer-stiftung.de/1/fleischalternativenstudie\\_170320.pdf](https://files.albert-schweitzer-stiftung.de/1/fleischalternativenstudie_170320.pdf)
- Hughes, N. (2018, September). How Food Companies are Rethinking Meat for the Flexitarian Consumer, San Francisco. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <https://goodfoodconference.com/>
- IARC. (2015). IARC Monographs Evaluate Consumption of Red Meat and Processed Meat. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter [https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr240\\_E.pdf](https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr240_E.pdf)
- Impossible Foods (Hrsg.). (2018). Impossible Foods FAQ. Zugriff am 23.05.2018. Verfügbar unter <https://impossiblefoods.com/faq/>
- International Platform of Insects for Food and Feed. (2019). IPIFF Contribution Paper on EU organic certification of insect production activities. 29 March 2019. International Platform of Insects for Food & Feed. Verfügbar unter [https://ipiff.org/wp-content/uploads/2019/03/IPIFF\\_Contribution\\_Paper\\_on\\_EU\\_organic\\_certification\\_of\\_insect\\_production\\_activities\\_29-03-2019.pdf](https://ipiff.org/wp-content/uploads/2019/03/IPIFF_Contribution_Paper_on_EU_organic_certification_of_insect_production_activities_29-03-2019.pdf)
- Jensen, K., Kristensen, T. N., Heckmann, L.-H. L. & Sørensen, J. G. (2017). Breeding and maintaining high-quality insects. In A. van Huis & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed. From production to consumption* (pp. 174–198). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-849-0>
- Jochems, C. E. A., van der Valk, Jan B. F., Stafleu, F. R. & Baumans, V. (2002). The use of fetal bovine serum: ethical or scientific problem? *ATLA – Alternatives to Laboratory Animals*, 30(2), 219–227.
- Jongema, Y. (Wageningen University & Research, Hrsg.). (2017). List of edible insects of the world (April 1, 2017). Zugriff am 23.05.2018. Verfügbar unter <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>
- Jungbluth, N., Nowack, K., Eggenberger, S., König, A. & Keller, R. (2016). Untersuchungen zur umweltfreundlichen Eiweißversorgung. Pilotstudie (Bundesamt für Umwelt (BAFU), Hrsg.). Zürich.
- Kadim, I. T., Mahgoub, O., Baqir, S., Faye, B. & Purchas, R. (2015). Cultured meat from muscle stem cells. A review of challenges and prospects. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 222–233. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60881-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60881-9)
- Khan, S., Dettling, J., Loyola, C., Hester, J. & Moses, R. (2019). Comparative environmental LCA of the Impossible Burger with conventional ground beef burger. *Impossible Foods*.
- Kitzmann, M. (Lebensmittelzeitung, Hrsg.). (2018). Nestlé zielt mit Veggie-Burger gegen Beyond Meat. Fleischalternativen. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <https://www.lebensmittelzeitung.net/industrie/Fleischalternativen-Nestl-zielt-mit-eigem-Veggie-Burger-gegen-Beyond-Meat-138674?crefresh=1>
- Kok, R. (2017). Insect production and facility design. In A. van Huis & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed. From production to consumption*. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt. (2019). Landwirtschaft quo vadis? Agrar- und Ernährungssysteme der Zukunft – Vielfalt gewähren, Handlungsrahmen abstecken (Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU), Hrsg.). Zugriff am 06.12.2019. Verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190917\\_uba\\_kp\\_landwirtschaft\\_quovadis\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190917_uba_kp_landwirtschaft_quovadis_bf.pdf)
- Korbun, T. (2004). Was kostet ein Schnitzel wirklich? Ökologisch-ökonomischer Vergleich der konventionellen und der ökologischen Produktion von Schweinefleisch in Deutschland (Schriftenreihe des IÖW, Bd. 171). Studie im Auftrag von food-watch e.V., Berlin, gefördert durch die Stiftung für Bildung und Behindertenförderung GmbH (SBB), Stuttgart. Berlin: IÖW.
- Ksienzyk, L. (Gründerszene, Hrsg.). (2019). Steak aus dem Reagenzglas? Dieses israelische Start-up hat es geschafft. Interview von Lisa Ksienzyk mit Didier Touba von aleph farms im Magazin „Gründerszene“. Zugriff am 09.12.2019. Verfügbar unter <https://www.gruenderszene.de/food/aleph-farms-interview-steak-in-vitro>

- Kumm, K.-I. (2002). Sustainability of organic meat production under Swedish conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(1), 95 – 101. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(01\)00156-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(01)00156-6)
- Kurrer, C. & Lawrie, C. (Scientific Foresight Unit (STOA) & European Parliamentary Research Service (EPRS), Hrsg.). (2018). What if all our meat were grown in a lab?, Europäisches Parlament. At a glance.
- Landers, T. F., Cohen, B., Wittum, T. E. & Larson, E. L. (2012). A review of antibiotic use in food animals. Perspective, policy, and potential. *Public Health Reports* (Washington, D.C.: 1974), 127(1), 4 – 22. <https://doi.org/10.1177/003335491212700103>
- Lebensmittelzeitung (Hrsg.). (2019). GfK-Erhebung: Veggie-Trend stagniert bei Fleischalternativen. Zugriff am 22.01.2019. Verfügbar unter <https://www.lebensmittelzeitung.net/industrie/GfK-Erhebung-Veggie-Trend-stagniert-bei-Fleischalternativen-139126>
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S. et al. (2015). Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10(11), 115004. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/11/115004>
- Leitzmann, C. (2013). Fleischersatz rein pflanzlich. UGB-Forum, (6), 296 – 299.
- Liebrich, S. (2018, 19. April). Wiesenhof auf der Suche nach dem Fleisch der Zukunft. Süddeutsche Zeitung, 90, S. 20.
- Like Meat. (2019). Unser Sortiment auf einen Blick. Produkte, Like Meat. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://likemeat.com/de/produkte/>
- Lim, S. S., Vos, T. & Flaxman, A. D. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990 – 2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, 380(9859), 2224 – 2260. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8)
- Lippi, G., Mattiuzzi, C. & Sanchis-Gomar, F. (2015). Red meat consumption and ischemic heart disease. A systematic literature review. *Meat Science*, 108, 32 – 36. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.019>
- Luyckx, K., Bowman, M., Broeze, J. & Taillard, D.. The safety, environmental and economic aspects of feeding treated surplus food to omnivorous livestock. REFRESH Deliverable D6.7. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter <https://eu-refresh.org/sites/default/files/REFRESH%20D6.7%20Technical%20Guidelines%20Animal%20Feed%20Final.pdf>
- Lynch, J. & Pierrehumbert, R. (2019). Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 41. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00005>
- Maastricht University (Cultured Beef (YouTube), Hrsg.). (2013). Burger tasting London Aug 2013. Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter [https://www.youtube.com/watch?v=\\_Cy2x2QR968](https://www.youtube.com/watch?v=_Cy2x2QR968)
- March, S., Haager, D. & Brinkmann, J. (2019). Gesellschaftliche Leistungen der ökologischen Tierhaltung in Bezug auf das Tierwohl im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft. Ergebnisse einer systematischen Literaturstudie. In D. Mühlrat, J. Albrecht, M. R. Finckh, U. Hamm, J. Heß, U. Knierim et al. (Hrsg.), Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft. Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (S. 1 – 4). Kassel, 5. bis 8. März 2019,. Berlin: Dr. Köster. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter [https://orgprints.org/36229/1/Beitrag\\_305\\_final\\_a.pdf](https://orgprints.org/36229/1/Beitrag_305_final_a.pdf)
- Markets and Markets (Hrsg.). (2019). Cultured Meat Market worth \$593 million by 2032. Zugriff am 06.12.2019. Verfügbar unter <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/cultured-meat.asp>
- Marlow Foods Limited (Hrsg.). (2018a). Häufige Fragen FAQs. Quorn. Zugriff am 04.09.2018. Verfügbar unter <https://www.quorn.de/faqs>
- Marlow Foods Limited (Hrsg.). (2018b). Quorn Vegetarisches Hack. Zugriff am 04.09.2018. Verfügbar unter <https://www.quorn.de/produkte/vegetarisches-hack>
- Mattick, C. S. (2018). Cellular agriculture: The coming revolution in food production. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 74(1), 32 – 35. <https://doi.org/10.1080/00963402.2017.1413059>
- Mattick, C. S. & Allenby, B. R. (2013). The future of meat. *Issues in Science and Technology*, 30(1), 64 – 70.
- Mattick, C. S., Landis, A. E. & Allenby, B. R. (2015). A case for systemic environmental analysis of cultured meat. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 249 – 254. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60885-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60885-6)
- Mattick, C. S., Landis, A. E., Allenby, B. R. & Genovese, N. J. (2015a). Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States. *Environmental Science & Technology*, 49(19), 11941 – 11949. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01614>
- Mattick, C. S., Landis, A. E., Allenby, B. R. & Genovese, N. J. (2015b). Supporting Information; Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States.
- Mattick, C. S., Wetmore, J. M. & Allenby, B. R. (2015). An Anticipatory Social Assessment of Factory-Grown Meat. *IEEE Technology and Society Magazine*, 34(1), 56 – 64. <https://doi.org/10.1109/MTS.2015.2395967>
- Max Rubner-Institut (Hrsg.). (2019). Bundeslebensmittelschlüssel, BLS 3.01. Karlsruhe.
- Mayer, H. K., Flachmann, C., Balzer, F., Baumgarten, C., Bilharz, M., Friedrich, B. et al. (2015). Umwelt, Haushalte und Konsum (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.) (Daten zur Umwelt Ausgabe 2015). Umweltbundesamt (UBA). Zugriff am 26.02.2019. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/daten-zur-umwelt-umwelt-haushalte-konsum-0>
- Meijer, N. & van der Fels-Klerx, H. J. (2017). Health risks and EU regulatory framework. In A. van Huis & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed. From production to consumption* (pp. 347–362). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Mejia, A., Harwatt, H., Jaceldo-Siegl, K., Sranacharoenpong, K., Soret, S. & Sabaté, J. (2018). Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 13(1), 131 – 142. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19320248.2017.1315323>
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2010). The Green, Blue and Grey Water Footprint of Farm Animals and Animal Products. Volume 1: Main Report. Value of Water (UNESCO-IHE Institute for Water Education, Hrsg.) (Value of Water Research Report Series 48). Delft. Zugriff am 09.12.2019. Verfügbar unter <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/5146067/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>

- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2011). National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption: Volume 1: Main Report (Research Report Series 50).
- Memphis Meats (Hrsg.). (2016). The World's First Clean Meatball - Memphis Meats. Youtube. Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=Y027yLT2QY0>
- Memphis Meats (Hrsg.). (2017). Historic first: clean poultry tasting. Youtube. Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=b5ezRx23EMg>
- Memphis Meats (Hrsg.). (2019). Memphis Meats. Unternehmenswebseite. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://www.memphismeats.com/>
- Miglietta, P., Leo, F. d., Ruberti, M. & Massari, S. (2015). Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. *Water*, 7(11), 6190 – 6203. <https://doi.org/10.3390/w7116190>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being (The Millennium Ecosystem Assessment series, vol. 1-5). Washington D.C: The Island Press. Verfügbar unter [https://orgprints.org/36229/1/Beitrag\\_305\\_final\\_a.pdf](https://orgprints.org/36229/1/Beitrag_305_final_a.pdf)
- (2019). Mosa Meat. Unternehmenswebseite. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://www.mosameat.com/>
- Mucke, K. (Lebensmittelzeitung, Hrsg.). (2018, 22. November). Beyond Burger kommt nach Deutschland. Fleisch-Alternative. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <https://www.lebensmittelzeitung.net/handel/Fleisch-Alternative-Beyond-Burger-kommt-nach-Deutschland-138393>
- Mumme, T. (NGIN Food, Hrsg.). (2018). 114 Millionen Dollar für Fake-Fleisch von Impossible Foods. Zugriff am 23.05.2018. Verfügbar unter <https://www.gruenderszene.de/food/impossible-foods-millionen-dollar>
- Newmiwaka, J. & Mackensen, A. (2019). Bericht zur Markt- und Versorgungslage Fleisch 2019. (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Hrsg.). Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter <https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Fleisch/2019BerichtFleisch.pdf>
- Nier, H. (Statista GmbH, Hrsg.). (2016). Der Veggie-Boom. Ernährung. Zugriff am 03.12.2019. Verfügbar unter <https://de.statista.com/infografik/6761/der-veggie-boom/>
- Nischwitz, G. & Chojnowski, P. (2019). Verflechtungen und Interessen des Deutschen Bauernverbandes (DBV). Institut Arbeit und Wirtschaft, Universität Bremen. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/agrarreform/190429-studie-agrarlobby-iaw.pdf>
- O'Connor, L. E., Kim, J. E. & Campbell, W. W. (2017). Total red meat intake of  $\geq 0.5$  servings/d does not negatively influence cardiovascular disease risk factors. A systematically searched meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, 105(1), 57 – 69. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.142521>
- OECD & Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.). (2018). OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027. OECD-FAO Agricultural Outlook. Zugriff am 09.11.2018. Verfügbar unter <http://www.agri-outlook.org/Agricultural-Outlook-2018.pdf>
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (ökolandbau.de, Hrsg.). (2018). Sechs Gründe, warum der heimische (Bio-)Sojaanbau weiter zunehmen wird, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Zugriff am 11.12.2019. Verfügbar unter <https://www.ökolandbau.de/landwirtschaft/betrieb/marketing/maerkte/sechs-gruende-warum-der-heimische-bio-sojaanbau-weiter-zunehmen-wird/>
- Ökotest. (2016). 20 Vegetarische und vegane Fleischersatzprodukte im Test. Ökotest, (6), 53 – 59. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter [https://www.ökotest.de/essen-trinken/20-Vegetarische-und-vegane-Fleischersatzprodukte-im-Test\\_108326\\_1.html](https://www.ökotest.de/essen-trinken/20-Vegetarische-und-vegane-Fleischersatzprodukte-im-Test_108326_1.html)
- Oonincx, D. G. A. B. (2017). Environmental Impacts of Insect Production. In A. van Huis & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed. From production to consumption* (pp. 78 – 95). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Oonincx, D. G. A. B. & Boer, Imke J. M. de. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans – a life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12), e51145. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0051145>
- Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. J. A. & van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS ONE*, 5(12), 1 – 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>
- Osen, R. (o. A.). *Vegetarische Alternativen für Fleisch* (Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV), Hrsg.). Freising.
- Pabel, B. & Schiller, S. (2017). Basiswissen zu veganen Lebensmitteln in Theorie und Praxis (DLG e. V. Fachzentrum Lebensmittel, Hrsg.) (DLG-Expertenwissen 5). Zugriff am 03.09.2018. Verfügbar unter [https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen/lebensmitteltechnologie/2017\\_5\\_Expertenwissen\\_Vegane\\_Lebensmittel.pdf](https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen/lebensmitteltechnologie/2017_5_Expertenwissen_Vegane_Lebensmittel.pdf)
- Pali-Schöll, I., Binder, R., Moens, Y., Polesny, F. & Monsó, S. (2019). Edible insects - defining knowledge gaps in biological and ethical considerations of entomophagy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(17), 2760 – 2771. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1468731>
- Pall Corporation (Pall Corporation, Hrsg.). (2019). Ultroser™ Serum Substitute. Pall Shop, Pall Corporation. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://shop.pall.com/us/en/biotech/cell-culture/media/ultroser-serum-substitute-zidgr78m5m>
- Payne, C. L. R., Dobermann, D., Forkes, A., House, J., Josephs, J., McBride, A. et al. (2016). Insects as food and feed. European perspectives on recent research and future priorities. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(4), 269 – 276. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0011>
- Payne, C. L. R., 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 undernutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(3), 285 – 291. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.149>
- Pelletier, N. (2008). Environmental performance in the US broiler poultry sector. Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agricultural Systems*, 98(2), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.03.007>
- 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. *Agricultural Systems*, 103(9), 599 – 608. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.001>

- Pelletier, N., Pirog, R. & Rasmussen, R. (2010). Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, 103(6), 380 – 389. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.009>
- Peters, A. (Fast Company, Hrsg.). (2018). The Plant-Based Impossible Burger Is Now Available As A White Castle Slider. Zugriff am 13.04.2018. Verfügbar unter <https://www.fastcompany.com/40557463/the-plant-based-impossible-burger-is-now-available-as-a-white-castle-slider>
- Piofczyk, T. (Hrsg.). (2018). INSECTA 2018 International Conference. Book of Abstracts (Bd. 100). Bornimer Agratechnische Berichte.
- Popowska, M., Schwarz, J. (Mitarbeiter) (brand eins Medien AG, Hrsg.). (2016). Pionier, was nun?, brand eins Medien AG. Zugriff am 22.01.2019. Verfügbar unter <https://www.brandeins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2016/vorbilder/pionier-was-nun>
- Post, M. J. (2012). Cultured meat from stem cells. Challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297 – 301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>
- Post, M. J. (2014). An alternative animal protein source. Cultured beef. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1328(1), 29–33. <https://doi.org/10.1111/nyas.12569>
- ProVeg Deutschland e. V. (Hrsg.). (2018). Anzahl der Veganer und Vegetarier in Deutschland. Zugriff am 13.04.2018. Verfügbar unter <https://vebu.de/veggie-fakten/entwicklung-in-zahlen/anzahl-veganer-und-vegetarier-in-deutschland>
- ProVeg Deutschland e. V. (Hrsg.). (2019). Leitsatz für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs. Gemeinsame Stellungnahme von ProVeg e. V. und Herstellenden. Zugriff am 25.11.2019. Verfügbar unter [https://proveg.com/de/wp-content/uploads/sites/5/2019/06/06062019\\_Leitsatz\\_Statement.pdf](https://proveg.com/de/wp-content/uploads/sites/5/2019/06/06062019_Leitsatz_Statement.pdf)
- ProVeg International (Hrsg.). (2019). Stoppen sie das Veggie-Burger-Verbot! Petition. Zugriff am 12.12.2019. Verfügbar unter <https://proveg.com/de/veggie-burger-petition>
- Ramboer, E., Craene, B. de, Kock, J. de, Vanhaecke, T., Berx, G., Rogiers, V. et al. (2014). Strategies for immortalization of primary hepatocytes. *Journal of Hepatology*, 61(4), 925 – 943. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2014.05.046>
- Ramos-Elorduy, J. (2006). Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2, 51. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-51>
- Reeken, A. von, Holzäpfel, S. & Manthey, C. (2016). Verbraucherwartungen an vegetarische und vegane „Ersatzprodukte“. Umfrage der Verbraucherzentralen (Verbraucherzentrale Baden-Württemberg e. V., Hrsg.). Stuttgart.
- Reijnders, L. & Soret, S. (2003). Quantification of the environmental impact of different dietary protein choices. *American Journal of Clinical Nutrition*, (78), 664S – 668S.
- Rempe, C. (2014). Hui oder pfui: Insekten in der menschlichen Ernährung. *Ernährung im Fokus*, 14(07-08), 198 – 202.
- Research and Markets (Research and Markets, ed.). (2017). Plant Based Protein Market - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast (2017-2022). Accessed 02.07.2019. Retrieved from [https://www.researchandmarkets.com/research/zt3wbs/global\\_10\\_8?w=12](https://www.researchandmarkets.com/research/zt3wbs/global_10_8?w=12)
- Research and Markets (Ed.). (2018). Meat Substitutes Market by Type (Tofu & Tofu Ingredients, Tempeh, Textured Vegetable Protein (TVP), Seitan, and Quorn), Source (Soy, Wheat, and Mycoprotein), Category (Frozen, Refrigerated, and Shelf-Stable), and Region – Global Forecast to 2023. Accessed 02.07.2019.
- Ribeiro, J. C., Cunha, L. M., Sousa-Pinto, B. & Fonseca, J. (2018). Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(1). <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700030>
- Robert Koch-Institut. (2019). RKI-Ratgeber – Salmonellose (26.02.2019). Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter [https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber\\_Salmonellose.html](https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_Salmonellose.html)
- Rockström, J., Steffen, W. L., Noone, K., Persson, A. & Chapin, F. S. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). Zugriff am 05.03.2019. Verfügbar unter [https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1063&context=iss\\_pub](https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1063&context=iss_pub)
- Roos, N. & van Huis, A. (2017). Consuming insects: are there health benefits? *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(4), 225–229. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.x007>
- Röös, E., Bajželj, B., Smith, P., Patel, M., Little, D. & Garnett, T. (2017). Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. *Global Environmental Change*, 47, 1 – 12. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.09.001>
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N. et al. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1 – 10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>
- Rumpold, B. A., Bußler, S., Jäger, H. & Schlüter, O. K. (2017). Insect processing. In A. van Huis & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed. From production to consumption* (319 – 342). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Rumpold, B. A. & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802 – 823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Sanders, J. & Heß, J. (Hrsg.). (2019). Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft (Thünen-Report, Bd. 65). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- Schadwinkel, A. (2013). Einmal Kunstfleisch-Burger für 300.000 Euro, bitte! Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter <https://www.zeit.de/wissen/2013-08/kuenstliches-rindfleisch-in-vitro-burger>
- Schmidinger, K. (2012). Worldwide Alternatives to Animal Derived Foods. Overview and Evaluation Models. Dissertation. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Schmitt, S. (Lebensmittelzeitung, Hrsg.). (2017). Marktentwicklung: Preissenkung bleibt ohne Wirkung.
- Schneider, D. (vegannews.de, Hrsg.). (2016). Fleischalternativen im Überblick. Marktentwicklung und Hersteller. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <http://www.vegan-news.de/fleischalternativen-ueberblick-hersteller/>
- Schönherr, R. M. (2018). Thermische Trocknung von Feststoffen. Einstieg in 60 Minuten. Zugriff am 04.09.2018. Verfügbar unter <http://www.drying.de>

- Schrode, A. (2016). Nachhaltiger Konsum und Ernährung. Prioritäten sowie Design politischer Instrumente für nachhaltige Ernährungspolitik. In K. Jantke, F. Lottermoser & J. Reinhardt (Hrsg.), *Nachhaltiger Konsum. Institutionen, Instrumente, Initiativen* (1. Aufl., S. 287 – 310).
- Schuler, M. (ARD, Hrsg.). (2018). Echtes Fleisch - Nur künstlich. „Clean Meat“. Zugriff am 06.06.2018. Verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/ausland/clean-meat-101.html>
- Schumann, F. (ZEIT Online, Hrsg.). (2018). Freakadellen, bitte! Fleisch-Alternativen, ZEIT Online. Zugriff am 12.12.2019. Verfügbar unter <https://www.zeit.de/2018/09/fleisch-alternativen-pflanzenblut-in-vitro-insekten>
- Sexton, A. (Food Climate Research Network (FCRN), Hrsg.). (2019). Framing the future of food: The contested promises of alternative proteins. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://fcrn.org.uk/fcrn-blogs/framing-future-food>
- Shungham (Hrsg.). (2019, 3. Juli). Hygiene (Insects Intended for Human Consumption). Vote on Draft Measure Postponed (EU Issue Tracker).
- Shurtleff, W. & Aoyagi, A. (1986). Tempeh Production: A craft and technical manual (2. Auflage).
- Shurtleff, W. & Aoyagi, A. (2014). History of meat alternatives (965 CE to 2014). Extensively annotated bibliography and source-book. Lafayette, CA: Soyinfo Center.
- Sieler, S. (fleischwirtschaft.de, Hrsg.). (2017, 3. Oktober). Die Top-10-Gruppen. Ranking der Fleischwirtschaft 2017. Zugriff am 03.12.2019. Verfügbar unter <https://www.fleischwirtschaft.de/wirtschaft/charts/Ranking-der-Fleischwirtschaft-2017-Die-Top-10-Gruppen-35512?crefresh=1>
- Sinha, R., Cross, A. J., Graubard, B. I., Leitzmann, M. F. & Schatzkin, A. (2009). Meat intake and mortality. A prospective study of over half a million people. *Archives of Internal Medicine*, 169(6), 562 – 571. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.6>
- Slot, E., Zaaijer, H. L., Molier, M., van den Hurk, K., Prinsze, F., Hogema, B. M. et al. (2017). Meat consumption is a major risk factor for hepatitis E virus infection. *PLoS ONE*, 12(4), e0176414. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0176414>
- Smet, S. de & Vossen, E. (2016). Meat. The balance between nutrition and health. A review. *Meat science*, 120, 145 – 156. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.008>
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A. & Heinz, V. (2015a). Meat alternatives. Life cycle assessment of most known meat substitutes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(9), 1254 – 1267. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A. & Heinz, V. (Hrsg.). (2015b). *Sustainability of Meat Substitutes: a Path to Future Foods*.
- Snyman, C., Goetsch, K. P., Myburgh, K. H. & Niesler, C. U. (2013). Simple silicone chamber system for *in vitro* three-dimensional skeletal muscle tissue formation. *Frontiers in Physiology*, 4, 349. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00349>
- Statista GmbH (Hrsg.). (2017a). Entwicklung des Umsatzes mit Fleischersatzprodukten in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2020 (in Millionen US-Dollar). Zugriff am 15.11.2018. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/769415/umfrage/entwicklung-verkaufter-fleischersatzprodukte-in-deutschland/>
- Statista GmbH (2017b): Konsum von Fleisch in Deutschland. Statista-Dossier. Zugriff am 19.04.2018. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/studie/id/29857/dokument/konsum-von-fleisch-in-deutschland-statista-dossier/>.
- Statista GmbH (2017c): Umsatz im Einzelhandel mit Fleisch und Fleischwaren in Deutschland von 2009 bis 2014 und Prognose bis zum Jahr 2020 (in Millionen Euro). Zugriff am 19.04.2018. Verfügbar unter <https://de.statista.com/prognosen/400416/einzelhandel-mit-fleisch-und-fleischwaren-in-deutschland---umsatzprognose>.
- Statista GmbH (2017d): Vegetarier in Deutschland. Statista-Dossier. Zugriff am 19.04.2018. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/studie/id/48117/dokument/vegetarier-in-deutschland/>.
- Statista GmbH (2017e): Vegetarismus und Veganismus in Deutschland. Statista-Dossier. Zugriff am 19.04.2018. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/studie/id/27956/dokument/vegetarismus-und-veganismus-statista-dossier/>.
- Statista GmbH (2018a): Edible Insects. Statista-Dossier. Zugriff am 09.01.2019. Verfügbar unter <https://www.statista.com/study/56817/edible-insects/>.
- Statista GmbH (2018b): Global Meat Industry. Statista-Dossier. Zugriff am 09.01.2019. Verfügbar unter <https://www.statista.com/study/57758/global-meat-industry/>.
- Statista GmbH (2018c): Meat Substitutes Market in the U. S. Statista-Dossier. Zugriff am 09.01.2019. Verfügbar unter <https://www.statista.com/study/56646/meat-substitute-market/>.
- Statista GmbH (2018d): Produkteinführungen in der Kategorie Fleischalternativen in Deutschland und Europa in den Jahren 2002 bis 2016. Zugriff am 09.01.2019. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/830074/umfrage/produkteinfuehrungen-von-fleischalternativen-in-deutschland-und-europa/>.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2017). Bevölkerungsentwicklung bis 2060. Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Aktualisierte Rechnung auf Basis 2015. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2018). Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wachstum und Ernte – Feldfrüchte. 2017 (Fachserie 3 Reihe 3.2.1).
- Steinfeld, H. (2006). Livestock's long shadow. Environmental issues and options. Rom: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Stephan, A. (2017). Produktentwicklung von fleischähnlichen Produkten aus kokultivierten Pilzproteinen (Van Hees GmbH & Justus-Liebig-Universität Gießen, Hrsg.). Zugriff am 05.02.2019. Verfügbar unter [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwjR1\\_CUzqTgAh-XUQxU-IHSO2AKMQFjACegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.van-hees.com%2Fassets%2Ffiles%2Fpdf%2FPressemeldungen%2FLOE-WE\\_III.pdf&usg=A0VwAv3qNyzLtf1IDNLLeZLQjn82V](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwjR1_CUzqTgAh-XUQxU-IHSO2AKMQFjACegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.van-hees.com%2Fassets%2Ffiles%2Fpdf%2FPressemeldungen%2FLOE-WE_III.pdf&usg=A0VwAv3qNyzLtf1IDNLLeZLQjn82V)
- Stephens, N., Di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A. & Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 155 – 166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>
- Stewart, B. W. & Wild, C. P. (2014). World Cancer Report 2014 (EBL-Schweizer, Online-ausg). Lyon: International Agency for Research on Cancer/World Health Organization.

- Stiftung Warentest. (2016). Vegetarische Schnitzel & Co. Stiftung Warentest, (10), 20–29. Zugriff am 31.01.2020. Verfügbar unter <https://www.test.de/Veggie-Die-besten-vegetarischen-Schnitzel-Bratwuerste-Frikadellen-5074600-0/>
- Sung, Y. H., Lim, S. W., Chung, J. Y. & Lee, G. M. (2004). Yeast hydrolysate as a low-cost additive to serum-free medium for the production of human thrombopoietin in suspension cultures of Chinese hamster ovary cells. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63(5), 527–536. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1389-1>
- Sustainable Europe Research Institute (Hrsg.). (2011a). Seitan – wie nachhaltig ist es wirklich?
- Sustainable Europe Research Institute (Hrsg.). (2011b). Sojagranulat – wie nachhaltig ist es wirklich? Zugriff am 09.06.2020. Verfügbar unter [https://www.vegan.at/sites/default/files/seiri\\_sojagranulat.pdf](https://www.vegan.at/sites/default/files/seiri_sojagranulat.pdf)
- The Sustainable Trade Initiative & Dutch national committee of the International Union for the Conservation of Nature (Hrsg.). (2019). European Soy Monitor. Insights on the European supply chain and the use of responsible and deforestation-free soy in 2017. Zugriff am 11.12.2019. Verfügbar unter <https://www.idhsustainabletrade.com/uploaded/2019/04/European-Soy-Monitor.pdf>
- Sutton, M. A., Billen, G., Bleeker, A., Erisman, J. W., Grennfelt, P., van Grinsven, H. et al. (2011). Technical Summary. In M. A. Sutton (Ed.), *The European nitrogen assessment: Sources, effects, and policy perspectives* (pp. xxx–lii). Cambridge: Cambridge University Press.
- Szentpétery-Kessler, V. (2018). Update für unser Essen. *Technology Review*, (3), 52–57. Zugriff am 10.04.2018. Verfügbar unter <https://www.heise.de/tr/artikel/Update-fuer-unser-Essen-3966574.html>
- Taponen, I. (2018). Taponen's List. Zugriff am 09.01.2019. Verfügbar unter <https://ilkkataponen.com/entomology-company-database/>
- Tewes, W. (Lebensmittelzeitung, Hrsg.). (2017). Druck im Veggie-Markt steigt. Fleischersatz. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <https://www.lebensmittelzeitung.net/industrie/Fleischersatz-Druck-im-Veggie-Markt-steigt-128602>
- Tewes, W. (Lebensmittelzeitung, Hrsg.). (2018a). Veggie-Markt dreht auf Wachstum. Trendwende. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <https://www.lebensmittelzeitung.net/industrie/Trendwende-Veggie-Markt-dreht-auf-Wachstum-136695>
- Tewes, W. (Lebensmittelzeitung, Hrsg.). (2018b, 26. Juli). Quorn Deutschland rückt näher an den Handel. Fleischersatz. Zugriff am 14.12.2018. Verfügbar unter <https://www.lebensmittelzeitung.net/industrie/Fleischersatz-Quorn-Deutschland-rueckt-naeher-an-den-Handel-136592>
- Thermo Fisher Scientific (Hrsg.). (2019). AIM V Serum Free Medium. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://www.thermofisher.com/de/de/home/life-science/cell-culture/mammalian-cell-culture/specialty-media/t-cell-media/aim-v-medium.html>
- Thompson, N. (2016, 12. April). Insekten brutzeln in Kambodscha. Experten werben für proteinreiche Sattmacher. Frankfurter Rundschau, 85, S. 39.
- Thrane, U. (2007). Fungal protein for food. In J. Dijksterhuis & R. A. Samson (Eds.), *Food mycology. A multifaceted approach to fungi and food* (Mycology series, v. 25, pp. 353–360). Boca Raton: CRC Press.
- Tuomisto, H. L., Ellis, M. & Haastrup, P. (2014). Environmental impacts of cultured meat: alternative production scenarios.
- Tuomisto, H. L. & Roy, A. (2012). Could cultured meat reduce environmental impact of agriculture in Europe?
- Tuomisto, H. L. & Teixeira de Mattos, M. J. (2011). Environmental impacts of cultured meat production. *Environmental Science & Technology*, 45(14), 6117–6123. <https://doi.org/10.1021/es200130u>
- Umweltbundesamt (Hrsg.). (2017a). Quantifying the land footprint of Germany and the EU using a hybrid accounting model (Texte 78).
- Umweltbundesamt (Hrsg.). (2017b). Umweltschutz in der Landwirtschaft. Zugriff am 26.02.2019. Verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/170405\\_uba\\_fb\\_landwirtschaftumwelt\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/170405_uba_fb_landwirtschaftumwelt_bf.pdf)
- Umweltbundesamt (Hrsg.). (2018). Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. Zugriff am 26.02.2019. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#textpart-1>
- Umweltbundesamt (Hrsg.). (2019). Stickstoff. Zugriff am 26.02.2019. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/stickstoff#textpart-1>
- UN Environment. (2017). Hotspots Analysis. An overarching methodological framework and guidance for product and sector level application. Zugriff am 09.06.2020. Verfügbar unter <https://www.lifecycleinitiative.org/new-hotspots-analysis-methodological-framework-and-guidance/>
- United Nations. (2017). World Population Prospects. The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Hrsg.) (Working Paper ESA/P/WP/248). Zugriff am 13.04.2017. Verfügbar unter <https://esa.un.org/unpd/wpp/>
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563–583.
- Van Huis, A. (2016). The significance of edible insects as food and feed for world nutrition. BfR-Symposium „Insects as food and feed – food of the future?“. Zugriff am 09.01.2019. Verfügbar unter <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/the-significance-of-edible-insects-as-food-and-feed-for-world-nutrition.pdf>
- Van Huis, A. (2017). Edible insects and research needs. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(1), 3–5. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.x002>
- Van Huis, A. & Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), 1754. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- Van Huis, A. & Tomberlin, J. K. (2017a). Future prospects of insects as food and feed. In A. van Huis & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed. From production to consumption* (pp. 431–445). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Van Huis, A. & Tomberlin, J. K. (Eds.). (2017b). *Insects as food and feed. From production to consumption*. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-849-0>
- Van Huis, A. & Tomberlin, J. K. (2017c). The potential of insects as food and feed. In A. van Huis & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed. From production to consumption* (pp. 25–58). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.

- Van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. et al. (2013). Edible insects. Future prospects for food and feed security (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Hrsg.) (FAO forestry paper 171). Rome. Zugriff am 04.07.2018. Verfügbar unter <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>
- Van Itterbeeck, J. & van Huis, A. (2012). Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8, 1–7. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-8-3>
- Varshney, L. (2018, September). From Natural Flavors to Artificial Intelligence: Cross-Disciplinary R&D is advancing plant-based meat, San Francisco.
- Vegconomist (Hrsg.). (2018a). Marktbericht: Bio-Erbsenproteine dank Veganismus im Aufschwung. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://vegconomist.de/markt-und-trends/marktbericht-bio-erbsenproteine-dank-veganismus-im-aufschwung/>
- Vegconomist (Hrsg.). (2018b). Report: Die Entwicklung des Globalen Lupinen-Marktes 2018 bis 2022. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://vegconomist.de/studien-und-zahlen/report-die-entwicklung-des-globalen-lupinen-marktes-2018-bis-2022/>
- Vegconomist (Hrsg.). (2019). Smart Protein: neues EU-Projekt fördert innovative proteinreiche Alternativprodukte. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://vegconomist.de/international/smart-protein-neues-eu-projekt-foerdert-innovative-proteinreiche-alternativprodukte>
- Venator, S. (DasErste.de, Hrsg.). (2019). Pilzprodukte als Fleischersatz?, DasErste.de. Zugriff am 10.12.2019. Verfügbar unter <https://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/pilzprodukte-100.html>
- Verbraucherzentrale Bundesverband e. V. (2015). Meinungen zur Kennzeichnung von Lebensmitteln. Forsa-Umfrage im Auftrag vom Verbraucherzentrale Bundesverband e. V. Verfügbar unter [https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/2017/02/15/meinungen\\_zur\\_kennzeichnung\\_von\\_lebensmitteln\\_080615.pdf](https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/2017/02/15/meinungen_zur_kennzeichnung_von_lebensmitteln_080615.pdf)
- Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e. V. (Hrsg.). (2019). Getreide. 27.03.2019. Zugriff am 03.12.2019. Verfügbar unter <http://virtuelles-wasser.de/getreide.html>
- Volkhardt, I., Christen, O., Stangl, G. I., Braun, P. G., Lorkowski, S. & Meier, T. (2017). Rechtliche Aspekte bei Produktinnovationen im Lebensmittelbereich. *Ernährungs Umschau*, (64), 158–165.
- Vries, M. d. & Boer, Imke J. M. de. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 128(1-3), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007>
- Weigel, I. & Gensberger-Reigl, S. (2017). Proteine nicht tierischer Herkunft als Fleischersatz – eine aktuelle Literaturübersicht. Projektbericht (Lehrstuhl für Lebensmittelchemie, Hrsg.). Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg. Zugriff am 07.05.2018. Verfügbar unter [https://www.raps-stiftung.de/fileadmin/templates/default/dokumente/Projektbericht\\_Fleischersatz.pdf](https://www.raps-stiftung.de/fileadmin/templates/default/dokumente/Projektbericht_Fleischersatz.pdf)
- Westhoek, H., Lesschen, J. P., Leip, A., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A. et al. (2015). Nitrogen on the Table. The influence of food choices on nitrogen emissions and the European environment (Centre for Ecology & Hydrology, Hrsg.). Zugriff am 10.11.2017. Verfügbar unter [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/Nitrogen\\_on\\_the\\_Table\\_Report\\_WEB\\_1.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/Nitrogen_on_the_Table_Report_WEB_1.pdf)
- Wiebe, M. G. (2004). QuornTM Myco-protein – Overview of a successful fungal product. *Mycologist*, (18), 17–20. Verfügbar unter [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)
- Wild, F., Czerny, M., Janssen, A. M., Kole, A. P.W., Zunabovic, M. & Domig, K. J. (2014). The evolution of a plant-based alternative to meat. From niche markets to widely accepted meat alternatives. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 25(1), 45–49. Zugriff am 30.07.2018. Verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/261878915\\_The\\_evolution\\_of\\_a\\_plant-based\\_alternative\\_to\\_meat\\_From\\_niche\\_markets\\_to\\_widely\\_accepted\\_meat\\_alternatives](https://www.researchgate.net/publication/261878915_The_evolution_of_a_plant-based_alternative_to_meat_From_niche_markets_to_widely_accepted_meat_alternatives)
- 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. Zugriff am 18.01.2019. Verfügbar unter [https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(18\)31788-4.pdf?utm\\_campaign=treat19&utm\\_source=HubPage%20https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(18)31788-4.pdf?utm_campaign=treat19&utm_source=HubPage%20https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Wise, J. & Vennard, D. (2019). It's All in a Name: How to Boost the Sales of Plant-based Menu Items (BetterBuyingLab & World Resources Institute (WRI), Hrsg.). Zugriff am 09.06.2020. Verfügbar unter <https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/wri-commentary-its-all-in-name.pdf>
- Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL. (2016). Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin. Zugriff am 09.06.2020. Verfügbar unter [https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/\\_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten\\_2016.html](https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.html)
- Witzke, H. von, Noleppa, S. & Zhirkova, I. (2011). Fleisch frisst Land (4 Aufl.) (WWF Deutschland, Hrsg.). Berlin. Zugriff am 08.08.2019. Verfügbar unter [https://www.wwf.de/fileadmin/fmw-wwf/Publikationen-PDF/WWF\\_Fleischkonsum\\_web.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fmw-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Fleischkonsum_web.pdf)
- 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, Hrsg.). Verfügbar unter [www.dietandcancerreport.org](http://www.dietandcancerreport.org)
- World Resources Institute. (2019). Creating a sustainable food future: A menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050.
- Wunder, S., Antoni-Komar, I., Claupein, E., Dirksmeyer, W., Eberle, U., Friedrich, S. et al. (2018). Handlungssätze zur Förderung nachhaltiger Ernährungssysteme. Ergebnispapier von BMBF-Forschungsprojekten zum Thema Ernährung (Walz, R. & Gotsch, M., Hrsg.) (NaWiKo Synthese Working Paper 3). Zugriff am 09.06.2020. Verfügbar unter <https://nachhaltigeswirtschaften-soef.de/sites/default/files/NaWiKo%20Synthese%20Working%20Paper%20No%203.pdf>
- WWF International. (2014). The Growth Of Soy: Impacts and Solutions (WWF International, Hrsg.). Gland, Switzerland.
- Zaraska, M. (The Atlantic, Hrsg.). (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. Zugriff am 03.12.2019. Verfügbar unter <https://www.theatlantic.com/health/archive/2013/08/is-lab-grown-meat-good-for-us/278778/>

# A Anhang

## A.1.1 Suchbegriffe Google-Suche

Fleischalternative	Suchbegriffe
In-vitro-Fleisch	“cultur* meat”; “clean meat”; “in vitro meat”
Essbare Insekten	“edible insect*”; “entomophag*”
Pflanzenbasierte Fleischalternativen	“Fleischersatz”, “meat analogue”; “Fleischalternative”; “vegetarian meat alternative”; “Fleischersatzprodukt”; “meat substitutes”; “vegetarische Fleisch”; “meat alternates”; “Sojafleisch”; “meatless meats”; “meat replacers”; “simulated meat”; “meat analogs”; “meat-free meats”; “vegetable meats”; “vegetable substitutes for meat”; “soy meats”; “soya meat”; “soy-based meats”; “plant-based meat”

## A.1.2 Suchbegriffe Scopus-Analyse

Fleischalternative	Suchbegriffe
In-vitro-Fleisch	“cultur* meat”; “clean meat”; “in vitro meat”
Essbare Insekten	“edible insect*”; “entomophag*”
Pflanzenbasierte Fleischalternativen	“meat analogue*”; “meat analog*”; “meat alternative*”; “meat substitute*”; “meat alternate*”; “meat replacer*”; “simulated meat”; “vegetable meat”; “soy* meat”; “plant based meat”

### A.1.3 Interviewpartnerinnen und Interviewpartner

Name	Organisation
Christophe Derrien	Generalsekretär, IPIFF (International Platform of Insects for Food & Feed)
Prof. Dr. Jana Rückert-John	Professorin für „Soziologie des Essens“, Hochschule Fulda
Ronja Berthold	Referentin Politik, ProVeg
Prof. Dr. Hans-Wilhelm Windhorst	Wissenschafts- und Informationszentrum Nachhaltige Geflügelwirtschaft (WING), Universität Vechta
Laura Gertenbach	Co-Founder/CEO, Innocent Meat
Carina Millstone	Direktorin, Feedback Global
Dr. Niels Bandick	Leiter Fachgruppe 41 „Lebensmitteltechnologische Verfahren, Warenketten und Produktschutz“, BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung)
Martin Hofstetter	Political Advisor Biodiversität und Landwirtschaft, Greenpeace
Stefan Zwoll	Leiter DLG-Büro Berlin, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
Simone Schiller	Geschäftsführerin des DLG-Fachzentrums Lebensmittel
Marek Witkowski	Leitung Kommunikation, DIL (Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.)
Dr. Kerstin Anders	BMU
Dr. Peter Loosen	Geschäftsführer und Leiter des Büros Brüssel des BLL (Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V.)
Heinrich Katz	Hermetia Group und Aufsichtsratsvorsitzender der Katz Biotech AG

### A.1.4 Durchgeführte Workshops

Workshop-Titel	Datum und Ort	Teilnehmende
Expertenworkshop: „Fleisch der Zukunft“	18.10.2018 im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin, Stresemannstraße 128–130	28
Expertenworkshop: Umweltpolitische Handlungsoptionen für die Gestaltung von insektenbasierten, pflanzenbasierten und in-vitro produzierten Fleischersatzprodukten	17.09.2019; Design Offices am EUREF Campus   EUREF Campus 22   10829 Berlin	44



► **Unsere Broschüren als Download**  
Kurzlink: [bit.ly/2dowYYI](http://bit.ly/2dowYYI)

- [www.facebook.com/umweltbundesamt.de](http://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
- [www.twitter.com/umweltbundesamt](http://www.twitter.com/umweltbundesamt)
- [www.youtube.com/user/umweltbundesamt](http://www.youtube.com/user/umweltbundesamt)
- [www.instagram.com/umweltbundesamt/](http://www.instagram.com/umweltbundesamt/)