

# Bioökonomie für eine nachhaltige Ernährung – Lösungsansätze für die Proteinversorgung der Zukunft

## Vorbemerkung

Eine zentrale Aufgabe der Bioökonomie ist die Sicherung der Ernährung (food and nutrition security<sup>[1]</sup>) einer wachsenden Weltbevölkerung. Dies bedeutet, ausreichend nahrhafte, gesunde, schmackhafte und nachhaltig produzierte Nahrungsmittel bereitzustellen. Die Proteinversorgung spielt dabei eine Schlüsselrolle. Während großen Teilen der Weltbevölkerung weiterhin keine adäquate Versorgung mit hochwertigen, proteinreichen Nahrungsmitteln zuteil wird, konsumieren in den wachsenden Mittelschichten der Industrie- und Schwellenländer bereits viele Menschen zu viel Protein – mit negativen Folgen für Umwelt und Gesundheit. Vor allem der übermäßige Verzehr von tierischen Nahrungsmitteln ist mit erheblichen negativen Auswirkungen auf Umwelt und Klima sowie mit einem hohen Ressourcenverbrauch verbunden.

## Proteinversorgung – zwischen Mangel und Überfluss

- Proteine sind aus Ketten von bis zu 20 verschiedenen Aminosäuren aufgebaut, deren genaue Abfolge (aus der DNA-Sequenz resultierend) die Struktur und damit die Funktion des Proteins bestimmt. Es wird geschätzt, dass im menschlichen Körper über 100.000 verschiedene Proteine vorkommen. Darüber hinaus besitzt nahezu jede der 20 Aminosäuren auch noch ganz spezifische andere Funktionen im Stoffwechsel.
- Von den 20 für die Proteinsynthese benötigten Aminosäuren können 11 im Körper von gesunden, erwachsenen Menschen selbst synthetisiert werden; alle anderen sind essentiell und müssen somit durch die Ernährung zugeführt werden. Die Wertigkeit eines Proteins für die Ernährung von Mensch und Tier wird vom Gehalt bzw. Muster dieser essentiellen Aminosäuren bestimmt.
- Besonders in den ersten Lebensjahren sind für Wachstum und Entwicklung neben einer ausreichenden Energiezufuhr die Menge und Qualität der Proteinzufuhr von übergeordneter Bedeutung<sup>[5]</sup>.



Erzeugung und Verbrauch proteinhaltiger Lebensmittel haben sehr unterschiedliche Auswirkungen auf Umwelt, Klima und Gesundheit.

Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) charakterisiert daher eine nachhaltige Ernährungsweise („sustainable diets“) als eine, die kaum negativen Einfluss auf die Umwelt hat und einen positiven Beitrag zur Ernährungssicherung und einem gesunden Leben für jetzige und kommende Generationen liefert<sup>[2]</sup>. Der Bioökonomierat hat sich bereits eingehend in Hintergrundpapieren mit dem Thema der Nachhaltigkeit der Produktion tierischer Nahrungsmittel bei steigender globaler Nachfrage (besonders der wachsenden Mittelschicht in Schwellenländern) beschäftigt<sup>[3,4]</sup>. Es bleibt aber auch die oft unzureichende Proteinversorgung in Entwicklungsländern weiterhin ein relevantes und dringend zu lösendes Problem<sup>[5]</sup>. Das vorliegende BÖRMEMO zielt allerdings vorrangig auf die Situation in Deutschland und anderen Industrieländern ab.

In seinen Empfehlungen betonte der Bioökonomierat wiederholt die Notwendigkeit, mit Hilfe von Forschung und verhaltensbasierten Ansätzen einen ressourcenschonenden Lebensmittelkonsum zu fördern<sup>[6,7]</sup>. Innovationen innerhalb des bestehenden Systems können zu einer weiteren Optimierung in der Herstellung und im Verbrauch landwirtschaftlicher Pro-

dukte beitragen<sup>[8,9]</sup>. Einer nachhaltigeren Proteinversorgung können in der Zukunft aber vor allem auch neuartige und ggf. effizienter erzeugte Proteinquellen dienen. Die effizientere Nutzung traditioneller Proteinquellen wie zum Beispiel Pflanzen und Fisch kann ebenfalls einen Beitrag leisten. Die Bioökonomie bietet hier vielfältige Ansätze, die in diesem BÖRMEMO aufgezeigt werden.

### Ansätze zur Optimierung der Nachhaltigkeit in der Genese tierischer Lebensmittel

Um den vielfältigen Auswirkungen einer industriellen Nutztierhaltung auf Umwelt und Klima sowie ihrem Verbrauch an Ressourcen entgegenzuwirken, sind Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit notwendig. Vor allem Fortschritte in den Bereichen der Digitalisierung, Automatisierung und Biotechnologie können die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion weiter steigern und ihre negativen Auswirkungen mindern. Der Bioökonomierat hat sich bereits mehrfach in BÖRMEMOS und Hintergrundpapieren zur Rolle der Tierhaltung in der Bioökonomie und zur Produktion tierischer Lebensmittel geäußert<sup>[4,9,10]</sup>. Im vorliegenden BÖRMEMO stehen alternative Ansätze für einen nachhaltigeren Konsum im Mittelpunkt. Da viele der alternativen Proteinquellen jedoch auch für die Tierfütterung relevant sind, wird diese miteinbezogen.

### Neuartige Ansätze zur Erzeugung proteinreicher Lebens- und Futtermittel

Zahlreiche öffentlich geförderte und kommerzielle Initiativen beschäftigen sich mit der quantitativ und qualitativ adäquaten Proteinversorgung der wachsenden Weltbevölkerung. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf einer besseren Versorgung in Entwicklungsländern und einer Reduktion und Substitution des Konsums tierischer Produkte in den Industrieländern. Ein wachsendes Bewusstsein über die negativen Konsequenzen in der Erzeugung tierischer Lebensmittel und das Aufkommen neuer, biotechnologischer Verfahren der Proteinherzeugung hat auch zu vermehrtem Investoreninteresse und insbesondere in den USA, Israel, Frankreich und den Niederlanden zu erheblichem Kapitaleinsatz geführt. Die neuen Ansätze zielen auf a) die Nutzbarmachung neuer Proteinquellen und b) die Entwicklung neuer Produkte auf Basis traditioneller Proteinquellen.

### Proteinversorgung – zwischen Mangel und Überfluss

- Prognosen gehen davon aus, dass sich die Nachfrage der Weltbevölkerung nach hochwertigem Protein bis 2050 um ca. 80–100% steigern wird<sup>[11]</sup>. Den größten Anstieg wird es dabei voraussichtlich in Schwellen- und Entwicklungsländern geben. Experten schätzen, dass sich parallel auch die globale Fleischproduktion verdoppeln wird<sup>[12]</sup>.
- Tierisches Protein hat allgemein eine höhere Wertigkeit für die menschliche Ernährung als pflanzliches. Vor allem die weltweit am meisten verzehrten Getreidesorten weisen einen Mangel an einzelnen essentiellen Aminosäuren auf. Allerdings kann bei gesunden Erwachsenen eine ausgewogene Kombination unterschiedlicher proteinreicher pflanzlicher Quellen tierisches Protein durchaus adäquat ersetzen.
- Die Versorgung mit hochwertigem Protein für die Ernährung ist auf der Welt sehr ungleich verteilt. Während in vielen Entwicklungsländern, vor allem in Afrika und Asien, weiterhin ein Mangel an hochwertigem Protein herrscht, konsumiert eine wachsende globale Mittelschicht immer größere Mengen, insbesondere aus tierischen Quellen. In Industrieländern liegt der Pro-Kopf-Verbrauch an Protein bei etwa 100 g/Tag, in Entwicklungsländern oft bei nur etwa 70 g/Tag. In Afrika südlich der Sahara liegt er sogar bei nur etwa 55 g/Tag<sup>[13]</sup>.
- Beide Extreme haben negative Folgen für die Gesundheit. Eine zu geringe Zufuhr an Protein führt zu verzögertem Wachstum und zum Teil irreversiblen Mangelerscheinungen<sup>[5]</sup>. Eine zu hohe Proteinzufuhr ist u. a. mit dem Auftreten von Stoffwechselkrankheiten assoziiert<sup>[14]</sup>. Darüber hinaus wird ein hoher Verzehr von rotem und verarbeitetem Fleisch mit anderen Erkrankungen in Zusammenhang gebracht<sup>[15]</sup>.

### a) Nutzbarmachung neuartiger, alternativer Proteinquellen

**Lebensmittel auf Algenbasis:** Algen werden unterteilt in marine Makroalgen (auch Seegrass oder Seetang) und einzellige Mikroalgen, zu denen meist auch die Cyanobakterien gezählt werden. In beiden Gruppen findet sich eine Reihe von genießbaren Arten mit einigen vorteilhaften Eigenschaften für die menschliche Ernährung. Sie enthalten neben hochwertigem Protein auch andere Nährstoffe wie ungesättigte Fettsäuren

### Produktion tierischer Nahrungsmittel: Umwelt- und Klimarelevanz

- Die „Veredelung“ von pflanzlichem in tierisches Protein verbraucht unterschiedlich große Mengen (je nach Tierart) an Energie, Wasser und Nahrung. So nimmt der Anbau von Futterpflanzen bereits heute einen Großteil der weltweiten Agrarflächen in Anspruch und global werden ca. 30% der gesamten Landflächen und 70% der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen für den Anbau von Futtermitteln und als Weideflächen genutzt<sup>[12]</sup>.
- In Deutschland war die Landwirtschaft 2014 für die Emission von ca. 66 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente verantwortlich, was 7,3% der gesamten Treibhausgas-Emissionen entspricht<sup>[16]</sup>. Dabei handelt es sich vorrangig um Emissionen von Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O), die bei der Produktion tierischer Lebensmittel anfallen. Diese Gase, die vor allem durch die Verdauung bei Wiederkäuern und die Ausbringung von organischem Dünger in die Atmosphäre gelangen, sind klimaschädlicher als CO<sub>2</sub>.
- Allerdings sollte beachtet werden, dass Wiederkäuer wie Kühe zur Erhaltung von Grünland beitragen und dabei für die menschliche Ernährung wertloses Gras in hochwertiges Protein umzuwandeln vermögen.
- 29% des in der Landwirtschaft verbrauchten Süßwassers werden allein für die Nutztierhaltung und Produktion tierischer Nahrungsmittel eingesetzt, vor allem für die Bewässerung von Futterpflanzen. Etwa ein Drittel des Wasserverbrauchs ist dabei der Produktion von Rindfleisch zuzuschreiben<sup>[17]</sup>.
- Da Verdrängung und Fragmentierung natürlicher Habitate Hauptursachen für das Aussterben von Arten sind, stellt der hohe Flächenbedarf in der Produktion tierischer Nahrungsmittel eine Bedrohung für die natürliche Biodiversität dar<sup>[18]</sup>.

und Vitamine, deren Konzentration durch Züchtung weiter erhöht werden kann. Der Proteingehalt vieler Arten liegt ähnlich hoch oder ist höher als der in Hülsenfrüchten oder tierischen Produkten wie Eiern<sup>[19, 20, 21]</sup>. Der Anbau von Algen benötigt weniger Fläche als der von Nutzpflanzen und hat das Potential, große Mengen Treibhausgas-Emissionen einzusparen, besonders wenn die Produktion mit der Erzeugung von Biokraftstoffen gekoppelt ist. Auch an Gebäudefassaden und auf anderen bisher nicht nutzbaren Flächen lassen sich diverse Süßwasser-Mikroalgen produzieren. Eine Herausforderung stellt der hohe Nährstoffbedarf für eine Produk-

tion im großen Maßstab dar<sup>[22]</sup>. Dafür könnten jedoch z. B. nährstoffreiche Abwässer genutzt werden<sup>[23]</sup>. Im Sinne einer möglichst nachhaltigen Produktion von Mikroalgen sind demnach Standorte, an denen Wasser, CO<sub>2</sub>, Nährstoffe (z. B. aus Abwässern) und Elektrizität mit niedrigem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verfügbar sind, zu bevorzugen<sup>[20]</sup>. Sowohl für Süßwasser- als auch für Salzwasseralgen stellen geschlossene Kreislaufsysteme eine gute Lösung dar, um Bedingungen optimal zu kontrollieren und negative Auswirkungen auf Ökosysteme mindern zu können. Eine kombinierte Produktion von Algen für Biokraftstoff, Nahrungs- und Futtermittel könnte die Effizienz der Produktion weiter erhöhen; jedoch gibt es hier noch großen Forschungsbedarf<sup>[24]</sup>.

**Lebensmittel auf Insektenbasis:** Eine alternative tierische Proteinquelle stellen Insekten dar. Etwa 1.500 bis 2.000 Insektenarten werden in mehr als 100 Ländern der Welt verzehrt<sup>[25]</sup>. Sie könnten auch in Europa zu einer nachhaltigeren Proteinproduktion beitragen, sind jedoch als Lebensmittel noch wenig akzeptiert und bisher (mit wenigen Ausnahmen in ausgewählten Ländern) auch nicht zum Verzehr in der EU zugelassen. Wie andere tierische Lebensmittel auch, haben Insekten einen hohen Proteingehalt mit einer hohen biologischen Wertigkeit. Auch der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren ist oft hoch sowie der an Ballaststoffen in Form von Chitin<sup>[26]</sup> und wichtiger Mineralstoffe wie Eisen, Kalzium und Zink<sup>[27]</sup>. Forschungs- und Studienbedarf besteht jedoch zur gesundheitlichen Unbedenklichkeit beim Verzehr größerer Mengen und über einen längeren Zeitraum<sup>[28, 29]</sup>, insbesondere wenn die Fütterung der Insekten zum Beispiel mit Lebensmittelabfällen erfolgen sollte. Hier bestehen durchaus mikrobiologische Risiken, da Insekten auch Überträger von Krankheiten sein können. Weiterhin besteht Forschungsbedarf zur Identifikation möglicher Allergene und zur Prozessierung von Insekten für die Isolierung von Protein und/oder anderen Bestandteilen. Bei größeren Produktionsanlagen könnte u. a. auch der Einsatz von Antibiotika notwendig werden, um Infektionen vorzubeugen. Hier braucht es Machbarkeitsstudien und Pilotprojekte, die das Potential und die Risiken einer Insektenproduktion im großen Maßstab in der Praxis testen<sup>[30]</sup>. Insekten fallen nach momentaner Deutung unter die Novel-Food-Regulierung der EU und somit sind sie und daraus hergestellte Produkte als neuartige Lebensmittel nur nach EFSA-Anerkennung in den Handel zu bringen.

**Mikrobielles Protein:** Neben Mikroalgen kann mikrobielles Protein auch aus Hefen, Pilzen und Bakterien gewonnen werden. Die biologische Wertigkeit der erhaltenen Proteine variiert je nach Organismus, ist allgemein jedoch relativ hoch<sup>[31]</sup>. Was den Verbrauch an Wasser, Fläche und anderen

Ressourcen betrifft, kann die Produktion von mikrobiellem Protein eine sehr sparsame bzw. effiziente Alternative sein. Die Produktion mit photosynthetischen Mikroorganismen (Mikroalgen und Cyanobakterien) hat den Vorteil, dass sie Sonnenstrahlung als Energiequelle nutzt, jedoch den Nachteil eines höheren Flächenanspruchs. Eine Produktion mit heterotrophen Bakterien oder einzelligen Pilzen hat hingegen einen sehr niedrigen Flächenanspruch, benötigt dafür aber die Zufuhr von Energie bzw. bedarf einer geeigneten Energiequelle<sup>[34]</sup>. Hier können erneuerbare Energien oder die Verwertung von Reststoffen Einsatz finden. Wenn industrielle Abgase als Kohlenstoffquelle genutzt werden können, kann die Produktion mikrobiellen Proteins sogar einen negativen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck erreichen. Ist nicht Fleisch das gewünschte Produkt, sondern sind es Proteine als funktionelle Inhaltsstoffe (zum Beispiel als Emulgator oder für die Schaumbildung), können diese ebenfalls mikrobiologisch hergestellt werden. Dazu werden vor allem genetisch veränderte Hefen genutzt, die jene Proteine gezielt produzieren, die für den jeweiligen Einsatz am besten geeignet sind. Dabei entstehen viel weniger Nebenprodukte, wodurch eine höhere Effizienz im Vergleich zur Produktion über Tiere erreicht werden kann.

**In-vitro-Fleisch:** Die Idee, nur die gewünschten Teile von Tieren in einem geeigneten Medium zu züchten, wurde in einem vielzitierten Ausspruch bereits von Winston Churchill 1932 angedacht<sup>[32]</sup>. Doch erst seit Kurzem ist die Technologie so weit fortgeschritten, dass die Produktion von Fleisch in Form von Muskelfasern *in vitro*<sup>[33]</sup> möglich wird. Ziel ist dabei in der Regel, proteinhaltiges Muskelfleisch aus entsprechenden Stammzellen zu generieren und damit die Produktion über ein Tier zu umgehen. Haltung und Schlachtung von Tieren werden damit überflüssig. Auch wird theoretisch die Effizienz der Produktion erhöht, da „minderwertige“ Teile des Tieres nicht mitproduziert werden und große Einsparungen bei Fläche, Wasser und Ressourcen möglich werden. Allerdings gibt es noch zahlreiche Herausforderungen und technologische Unsicherheiten für die nachhaltige In-vitro-Produktion von Fleisch oder Fisch in großem Maßstab<sup>[38]</sup>. Dazu gehören der relativ hohe Energiebedarf sowie hohe Kosten für die Kulturmedien und Wachstumsfaktoren (insbesondere wenn fötales Kälberserum durch rekombinante Alternativen ersetzt werden soll). Der hohe technische und infrastrukturelle Aufwand für entsprechend dimensionierte sterile Produktionsanlagen erfordert hohe Investitionen in Bau und Betrieb. Kritik an der Idee von in-vitro-Fleisch richtet sich vor allem gegen diesen Aufwand und den beachtlichen Ressourceneinsatz.

**Neuartige pflanzliche Quellen:** Seit einigen Jahren finden sich neue Pflanzenarten als Nahrungsmittel auch auf dem deutschen Markt. Manche davon weisen einen relativ hohen Proteingehalt auf, wie zum Beispiel Quinoa- und Chiasamen, die beide unter die Novel-Food-Verordnung fallen. Eine weitere mögliche, neuartige Proteinquelle pflanzlichen Ursprungs sind Wasserlinsen. Sie weisen einen hohen Proteingehalt auf und produzieren zudem schnell Biomasse. Da sie im Wasser wachsen, steht ihre Produktion (so wie die von Algen) nicht in Konkurrenz zu terrestrischen Pflanzen um fruchtbaren Boden<sup>[39]</sup>. Die Pflanzenforschung wird voraussichtlich weitere Pflanzen mit vorteilhaften Eigenschaften identifizieren, welche die Proteinversorgung ergänzen und tierische Produkte ersetzen können. Neueste Technik und moderne Züchtungsverfahren können dabei auch die effiziente Nutzung von bisher nicht domestizierten Arten ermöglichen.

#### Produktion tierischer Nahrungsmittel: Umwelt- und Klimarelevanz

- Die Qualität fruchtbarer Böden wird durch einen wenig nachhaltigen Anbau von Futtermitteln und durch übermäßige Ausbringung von Düngemitteln beeinträchtigt. Der Austrag von Stickstoff über Gülle führt zu negativen Auswirkungen auf das Grundwasser, bei der Verwendung von Gülle aus intensiven Mastbetrieben kann es zu Einträgen von Antibiotika und Hormonen kommen<sup>[34]</sup>. Die Entstehung antibiotikaresistenter Keime in der Tierhaltung stellt ein besonderes Risiko für die öffentliche Gesundheit dar<sup>[35]</sup>.
- Ein großer Teil des zur Deckung des Proteinbedarfs in der Fütterung benötigten Sojaschrots wird aus Südamerika importiert und die dortige Produktion wird hinsichtlich der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit sehr kritisch bewertet<sup>[36, 37]</sup>.
- Die heutige Proteinversorgung über tierische Nahrungsmittel gilt somit insgesamt als nicht nachhaltig. Mit Blick auf die weltweit steigende Nachfrage nach tierischem Protein und der damit einhergehenden Zunahme des Futtermittelanbaus, des Ressourcenverbrauchs und der ökologischen Folgen ergeben sich zahlreiche Konflikte, die in diesem MEMO und im dazugehörigen Hintergrundpapier unter dem Begriff „Proteinproblem“ zusammengefasst werden<sup>[4]</sup>.

**Alternative Futtermittel:** Auch eine Optimierung der Fütterung von Nutztieren stellt eine Möglichkeit zur Abschwächung des Proteinproblems dar<sup>[40]</sup>. Nicht nur für die menschliche Ernährung, sondern auch für die Fütterung können alternative Proteinquellen genutzt werden und somit u. a. Fischmehl und Sojaschrot ersetzen. Proteinreiches Rapsschrot fällt bei der Ölgewinnung sowie bei der Herstellung von Biokraftstoff als Reststoff an und wird bereits umfangreich als Futtermittel eingesetzt. Auch bei der Bioethanolherstellung anfallende Getreiderückstände (Trockenschlempe) können als Futtermittel genutzt werden. Als nachhaltiger und effizienter Ersatz für Fischmehl sind auch Insekten geeignet. Aufgrund der höheren Wertigkeit ihrer Proteine können sie auch pflanzliche Futtermittel gut ergänzen<sup>[41]</sup>. Allerdings ist noch Optimierung in Zucht, Haltung und Verarbeitung nötig, um eine großtechnische Produktion zu ermöglichen und nachhaltig zu gestalten<sup>[42]</sup>. Es besteht Forschungsbedarf zur Unbedenklichkeit (toxikologisch und mikrobiologisch) sowie zur Akzeptanz bei Futtermittelverwendern und Verbänden. Auch sind legislative Anpassungen dringend erforderlich<sup>[43, 44]</sup>. Im Dezember 2016 sprach die EU-Kommission die Erlaubnis zur Beimischung von Insektenproteinen in der Fischfütterung mit Wirksamkeit zum Juli 2017 aus<sup>[45]</sup>. Algen sind ebenfalls eine alternative Proteinquelle für die Fütterung<sup>[21]</sup>. Genau wie bei Fisch kann die Fütterung mit marinen Mikroalgen auch in Fleisch, Eiern und Milch zu einem erhöhten Gehalt an Omega-3-Fettsäuren<sup>[46]</sup> führen. Allerdings ist die Verwendung von Algen durch unerwünschte Nebeneffekte bisher auf einen Anteil von ca. 5% bis 10% an der Gesamtfütterung begrenzt<sup>[49]</sup>. Fast alle marinen Mikroalgen, die in Futter- und Lebensmitteln zum Einsatz kommen, sind bereits durch Züchtung optimierte Sorten (meist durch ungerichtete Mutagenese). Neuere biotechnologische Verfahren könnten die Eignung von Algen für den Einsatz als Futtermittel jedoch weiter verbessern.

Zwar mögen viele dieser Ansätze als sinnvolle Alternativen erscheinen, sie erfordern aber eine umfassende und sorgfältige Analyse hinsichtlich Effizienz und Nachhaltigkeit, die nicht *a priori* besser als für konventionelle Futtermittel ausfällt. So kommt eine vergleichende Bewertung beispielsweise zu dem Schluss, dass ein teilweiser Ersatz von Sojaschrot im Tierfutter durch Insekten oder Algen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eher erhöhen könnte<sup>[50]</sup>. Dies ist vor allem dem Energieaufwand für die Klimatisierung und der erforderlichen Trocknung nach der Ernte zuzuschreiben.

### Neue Proteinquellen: der rechtliche Rahmen des Inverkehrbringens

Neuartige Proteinquellen bzw. Lebensmittel fallen meist unter die Novel-Food-Verordnung der EU (Regulation 2015/2283). Diese verlangt für alle Nahrungsmittel, die vor dem Inkrafttreten der Verordnung 1997 in Europa nicht in nennenswertem Umfang verzehrt wurden, ein spezielles Zulassungsverfahren. Unter die Regelung fallen neuartige Nahrungsmittel selbst, aus ihnen hergestellte Produkte, neuartige Inhaltsstoffe sowie neuartige Verfahren und Technologien zur Verarbeitung. Entsprechende Produkte dürfen nach Zulassung (in Deutschland durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit; BVL) nur mit entsprechender Kennzeichnung in den Handel gebracht werden<sup>[46]</sup>. Einige Algenarten sind inzwischen im Katalog der Verordnung aufgeführt, Insekten werden hingegen bisher nicht spezifisch erwähnt, werden aber voraussichtlich ebenfalls als Novel Food klassifiziert. Für diese neuen Proteinquellen stellt die Novel-Food-Verordnung mit ihrem hohen Anspruch an die Lebensmittelsicherheit ein entsprechend hohes Hindernis für die Marktdurchdringung dar. Auch bestehen weiterhin Unklarheiten bezüglich Definitionen und Regulierung in der Haltung bzw. im Anbau und bei der Verarbeitung dieser neuartigen Proteinquellen und Lebensmittel. Manche vorgeschriebenen Verfahren, wie das Ausbluten von Schlachttieren, können auf Insekten zum Beispiel nicht angewendet werden<sup>[47]</sup>. Auch Herstellung und Verwendung von Futtermitteln sind in Deutschland und der EU rechtlich streng geregelt. Insekten dürfen bisher beispielsweise nach geltendem Futtermittelrecht nur lebend an Nutztiere verfüttert werden und dürfen umgekehrt selbst nicht mit Bioabfällen ernährt werden, da sie als Nutztiere gelten.

### b) Neue Produkte und Ansätze auf Basis traditioneller/ bestehender Proteinquellen

**Produktinnovationen aus pflanzlichen Proteinen:** Pflanzliche Nahrungsmittel als proteinreiche Alternativen zu Fleisch, Milch und Eiern gibt es bereits seit Längerem, zum Beispiel in Form von Tofu, Sojamilch oder Seitan (Weizenprotein). Diese und ähnliche Produkte finden vor allem bei Veganern Anklang und haben noch immer einen sehr geringen Marktanteil. Auch heimische Hülsenfrüchte wie Erbsen und Bohnen liefern hochwertiges Protein und darauf basierende Produkte. Zahlreiche F&E-Projekte beschäftigen sich mit dem Ersatz tierischer Produkte bzw. Proteine durch pflanzliche Quellen.

Dabei liegt die Herausforderung darin, die Eigenschaften von tierischen Lebensmitteln hinsichtlich Sensorik (Geschmack, Geruch, Textur), aber auch Aussehen möglichst gut zu imitieren, um für Verbraucher ein zufriedenstellender Ersatz zu sein. Dabei finden zum Teil modernste biotechnologische Verfahren Einsatz, beispielsweise bei der Herstellung Hämhaltiger Proteine aus Wurzelknöllchen von Leguminosen<sup>[51]</sup>, die den Produkten fleischähnlichen Geschmack und Farbe verleihen. Solche Produkte zielen auf den Markt durchschnittlicher, fleischliebender Konsumenten, die sich aber nachhaltigere und tierfreundlichere Produkte wünschen. Weitere Quellen für pflanzliches Protein sind Reis, Hafer oder Nüsse. Teilweise werden die gewonnenen Produkte einer Fermentation oder sonstiger Prozessierung unterzogen, um geschmackliche Eigenschaften zu verbessern. Der Markterfolg von Lebensmitteln, die auf pflanzlichen Proteinen basieren, wird vor allem von ihren sensorischen Qualitäten sowie den Zubereitungsmöglichkeiten und der Bereitschaft zur Umgewöhnung der Verbraucher abhängen.

**Nachhaltiger Ausbau der Aquakultur:** Fische liefern hochwertiges Protein, diverse Mikronährstoffe sowie bei den marinen Arten zusätzlich Omega-3-Fettsäuren. In Ländern mit relativ hohem Niederschlag, wie Deutschland, lässt die Wasserverfügbarkeit prinzipiell einen Ausbau der Süßwasser-Aquakultur zu. Süßwasserfisch stellt eine gute Alternative zu Fleisch dar und kann nachhaltiger als terrestrische Tierhaltung sein<sup>[52]</sup>, u. a. weil kein fruchtbarer Ackerboden benötigt wird und die Produktion auch in urbanen Gebieten möglich ist. Allerdings bestehen bei der Aquakultur im industriellen Maßstab noch häufig Probleme wie beispielsweise der Eintrag nährstoffreicher Abwässer in die Umwelt und die Entwicklung resistenter Erreger durch übermäßig eingesetzte Antibiotika. Nachhaltig betrieben, kann jedoch Aquakultur dazu dienen, einen Teil des Konsums anderer tierischer Produkte zu ersetzen. Einen neueren Ansatz bietet die Aquaponik, bei der die Produktion von Fisch in Aquakultur mit der Produktion von geeignetem Gemüse in hydroponischen Systemen kombiniert wird. Die von den Fischen abgegebenen Nährstoffe können dabei von den Pflanzen als Dünger genutzt werden. Kreislaufansätze wie dieser können die Effizienz der Produktion steigern und ihren negativen Einfluss auf die Umwelt minimieren.

**Nutzbarmachung von Reststoffen:** Proteine, die zum Beispiel bei der Herstellung von Ölen aus Ölsaaten wie Sonnenblume oder Raps oder auch bei der Bioethanolherstellung<sup>[53]</sup> anfallen und die bisher vorwiegend als Futtermittel Einsatz finden, generierten bei der direkten Verwendung in Lebensmitteln sicherlich eine höhere Wertschöpfung. Hier sind u. a. Ver-

## Verbraucherverhalten und Akzeptanz neuartiger Lebensmittel

Der Erfolg alternativer Lebensmittel im Markt wird letztlich durch die Art der Wahrnehmung und die Kaufentscheidung bestimmt. Neben Erschwinglichkeit sind heutzutage „gesund“ und „nachhaltig“ wichtige Attribute, die alternativen Proteinquellen Marktvorteile verschaffen können. Allerdings bestehen bei einigen der neuen Produkte auch soziokulturell bedingte Skepsis und Scheu. Beispielsweise werden Insekten in westlichen Kulturen u. a. mit schlechter Hygiene assoziiert und mit ihrem Verzehr geht häufig eine Phobie einher<sup>[53]</sup>. Mikroorganismen hingegen werden oft mit Krankheiten in Verbindung gebracht<sup>[54]</sup>. In-vitro-Fleisch wird oft als unnatürlich wahrgenommen und Vorteile werden eher für die Gesellschaft und nicht für sich persönlich gesehen<sup>[55]</sup>. Solchen Hemmnissen kann mit Blick auf Verbraucherbedürfnisse und -wünsche durch glaubwürdige Qualitätskontrolle, geeignete Kommunikation, transparente Kennzeichnung und sonstige Kaufanreize entgegengewirkt werden. Erste Studien zu alternativen Proteinquellen zeigen durchaus deren positive Wahrnehmung durch Verbraucher und dass eine Marktdurchdringung prinzipiell möglich ist<sup>[56, 57]</sup>.

besserungen der Qualität des Rohstoffs hinsichtlich Farbe und Textur nötig und entsprechende Forschungsleistungen zu fordern.

Brauereiabfälle und andere organische Abfälle können dagegen als nährstoffreiche Substrate für Pilze, Insekten, Algen oder Mikroorganismen dienen<sup>[59]</sup>. Dadurch werden die in den Reststoffen enthaltenen Proteine wieder in nutzbares Protein für die Ernährung umgewandelt. Gerade bei der Verarbeitung von Abfällen sind allerdings noch Fragen der Lebensmittelsicherheit zu klären sowie Anpassungen der gesetzlichen Regelungen zum Inverkehrbringen der Produkte notwendig.

## Chancen und Herausforderungen für neue Proteinquellen und daraus hergestellte Lebensmittel

Neuartige Ansätze und Technologien in der Bioökonomie sollten anhand eines adäquaten Bewertungsrahmens klassifiziert werden, um Chancen, aber auch mögliche nachteilige Wirkungen zu erkennen und ggf. auch quantifizieren zu können. Dieser Bewertungsrahmen umfasst die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, Umwelt, Böden und Klima, die Beanspruchung wichtiger Ressourcen sowie wirtschaftliche, strukturelle und soziale Leistbarkeit.

Neuartige Proteinquellen und daraus hergestellte Lebensmittel sollen eine Steigerung der Nachhaltigkeit in der zukünftigen Proteinversorgung erreichen. Dabei muss es nicht das Ziel sein, den Konsum tierischer Produkte vollständig zu ersetzen. Jede Reduzierung des Verzehrs konventioneller tierischer Produkte oder ihr teilweiser Ersatz kann die Nachhaltigkeit des Ernährungssystems steigern<sup>[60, 61]</sup>. Studien zeigen, dass sich die Mehrzahl der Konsumenten nachhaltiger ernähren möchte, sich aber beim Kauf meist gegen diesen Vorsatz verhält<sup>[62]</sup>. Neue Lebensmittel aus nachhaltigeren Proteinquellen müssen deshalb den Bedürfnissen der Verbraucher besser entsprechen; sie müssen gut schmecken, gesund sein, gleichzeitig aber auch erschwinglich und bedarfsgerecht verwertbar bzw. verfügbar sein. Bei fremdartigen Produkten sind dabei soziokulturelle Barrieren oft nur schwerlich zu überwinden.

### Forschungsempfehlungen

- **Die Erschließung alternativer Proteinquellen** und neuartiger Ansätze zur Nutzung traditioneller Proteinquellen bedürfen Forschungsanstrengungen, die sowohl grundlagenwissenschaftliche Fragen als auch anwendungsnahe Aspekte abdecken.
- **Auswirkungen einer hochskalierten Proteinproduktion** auf Umwelt, Klima und öffentliche Gesundheit müssen erforscht werden, auch unter Aspekten der Wirtschaftlichkeit, des Ressourcenverbrauchs und der

### Über dieses BÖRMEMO

BÖRMEMOS fassen in komprimierter Form Einschätzungen des Rates zu zentralen Aspekten der Bioökonomie zusammen. Sie erheben nicht den Anspruch, eine umfassende Abhandlung dieser Sachverhalte zu liefern. Vielmehr stellen sie eine fokussierte und allgemein verständliche Betrachtung des jeweiligen Gebietes und dessen Bezug zur Bioökonomie dar. BÖRMEMOS werden einem Peer-Review-Prozess unterzogen. Während dieses Prozesses werden sie als vorläufig gekennzeichnet. Nach der Begutachtung fließen sie in die Positionen des gesamten Rates ein. Sie sind Bestandteil einer Serie von Analysen, die der Bioökonomierat veröffentlicht. Als Basis des vorliegenden BÖRMEMOS dient das Hintergrundpapier „Bioökonomie für eine nachhaltige Proteinversorgung – Die Bedeutung tierischer Produkte und biobasierter Innovationen“, in dem der aktuelle Wissensstand zusammengefasst ist<sup>[4]</sup>.

notwendigen Infrastruktur. Dazu scheinen „proof of principle“-Projekte am besten geeignet. Hier können auch Computermodelle und -simulationen dienlich sein, die gegebenenfalls auch wissenschaftlich erweitert und optimiert werden müssen. Insbesondere scheint es sinnvoll, neue Produktionsverfahren und -anlagen für die Proteingewinnung unter Berücksichtigung von standortspezifischen Rahmenbedingungen zu entwickeln und zu bewerten.

- **Spezifischer Forschungsbedarf** besteht zu Effizienz (Energie, Wasser, Fläche, Emissionen) und Lebensmittelsicherheit (u. a. Analysen auf unerwünschte Inhaltsstoffe und mikrobiologische Kontaminanten). Ebenso ist eine Risikobewertung hinsichtlich der Übertragung von Krankheiten (ggf. ist bei einer Produktion im großen Maßstab ein weiterer Einsatz von Antibiotika nötig) und zu Einflüssen auf bereits bestehende Nutzungskaskaden für alle Bereiche neuartiger Proteinquellen vorzunehmen. Zu all diesen Parametern sollte ein geeignetes Monitoring entwickelt werden.
- **Verbraucherinteresse und -neugierde** sind wichtige Kriterien für eine Akzeptanz neuer Produkte, insbesondere bei Nahrungsmitteln. Verhaltenswissenschaftliche Ansätze zur Förderung von Verbraucherinteresse, -bewusstsein und Experimentierfreude, aber auch die Informationsvermittlung müssen deshalb zentrale Forschungsbereiche sein, um Konsumenten das Überführen eines, meist schon vorhandenen, Wunsches zu nachhaltigerem Konsum in praktisches Handeln zu ermöglichen bzw. zu erleichtern.

### Politikempfehlungen

- **Regulatorische Rahmenbedingungen:** Wo nötig, sollten regulatorische Rahmenbedingungen angepasst werden, um den Einsatz neuer Proteinquellen und daraus hergestellter Produkte zu ermöglichen oder zu erleichtern. Die vorhandenen rechtlichen Regelungen dienen vor allem der Sicherheit neuer Lebensmittel und dem Schutz des Verbrauchers vor Täuschung. Natürlich muss die Unbedenklichkeit neuartiger Produkte sichergestellt sein, doch scheinen einige der Maßgaben den Marktzugang unangemessen zu erschweren und sollten angepasst werden.
- **Kommunikation, Kennzeichnung und Verbraucherinformation:** Milch-, Fleisch- und Ei-Ersatzprodukte müssen als solche erkennbar gekennzeichnet werden. Transparenz über die Verwendung neuartiger Proteinquellen in den Produkten muss gewährleistet sein, es sollten aber

auch positive Anreize zum Kauf nachweislich nachhaltiger Proteinquellen (zum Beispiel durch spezifische Auslobung) entwickelt und ermöglicht werden.

- **Eiweißpflanzenstrategie der Bundesregierung überdenken:** Der Bioökonomierat hat in der Vergangenheit bereits empfohlen, die Eiweißpflanzenstrategie der Bundesregierung zu revidieren und internationale Strategien mit einem Fokus auf Agrobiodiversität zu verfolgen [8]. Da fruchtbarer Ackerboden nur begrenzt verfügbar ist, sollten Alternativen entwickelt werden und Proteinquellen, die ohne fruchtbaren Ackerboden auskommen (Insekten, Algen, environmentally controlled farming-Ansätze etc.). Sie sollten in einen ganzheitlichen Ansatz für eine nachhaltige Eiweißversorgung einbezogen werden.

## Endnoten

- [1] Food and nutrition security, Definition: [https://ec.europa.eu/euro-peaid/sectors/food-and-agriculture/food-and-nutrition-security\\_en](https://ec.europa.eu/euro-peaid/sectors/food-and-agriculture/food-and-nutrition-security_en)
- [2] Sustainable diets, Definition: <http://www.fao.org/nutrition/education/food-dietary-guidelines/background/sustainable-dietary-guidelines/en/>
- [3] Bioökonomierat (2015). Hintergrundpapier: Nachhaltige Bereitstellung von biobasierten agrarischen Rohstoffen. Verfügbar unter [http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/Hintergrundpapier\\_Rohstoffe\\_final.pdf](http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/Hintergrundpapier_Rohstoffe_final.pdf).
- [4] Bioökonomierat (2017). Hintergrundpapier: Bioökonomie für eine nachhaltige Proteinversorgung - Die Bedeutung tierischer Produkte und biobasierter Innovationen. Verfügbar unter <http://bioekonomierat.de/publikationen/>
- [5] Semba, R. D., Shardell, M., Ashour, F. A. S., Moaddel, R., Trehan, I. et al. 2016. Child stunting is associated with low circulating essential amino acids. *EBioMedicine*, 6, 246–252.
- [6] Bioökonomierat (2014). Förderkonzept des Bioökonomierates: Lebensmittelkonsum, Ernährung und Gesundheit. Verfügbar unter [http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/Empfehlungen\\_Ernaehrung.pdf](http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/Empfehlungen_Ernaehrung.pdf)
- [7] Bioökonomierat (2016). Weiterentwicklung der „Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030“. Empfehlungen des Bioökonomierates. Verfügbar unter [http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/181116\\_Ratsempfehlungen\\_fu\\_\\_r\\_die\\_Weiterentwicklung\\_der\\_Forschungsstrategie\\_final.pdf](http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/181116_Ratsempfehlungen_fu__r_die_Weiterentwicklung_der_Forschungsstrategie_final.pdf)
- [8] Bioökonomierat (2014). BÖRMEMO 01: Landwirtschaft in Deutschland – ihre Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit der Bioökonomie. Verfügbar unter [http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/BOER-MEMO\\_LW.pdf](http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/BOER-MEMO_LW.pdf)
- [9] Bioökonomierat (2010). Herausforderungen für eine zukunftsfähige Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft. Berichte aus dem Bioökonomierat. Schwerin, M. et al. Verfügbar unter <http://bioekonomierat.de/fileadmin/templates/publikationen/berichte/Berichte03-Tier.pdf>
- [10] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2006). *World agriculture: towards 2030/2050. Interim Report.*
- [11] Boland, M., Rae A.N., Vereijken J.M., Meeuwissen, M.P.M., Fischer, A.R.H. et al. (2013). The future supply of animal-derived protein for human consumption. *Trends in Food Science & Technology*, 29, 62–73.
- [12] Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options.* United Nations Food and Agriculture Organization: Rome, 2006; pp 1–408.
- [13] FAO Statistics Division (2010). *Food Balance Sheets,* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- [14] Pesta, D. H., Samuel, V. T. (2014). A high-protein diet for reducing body fat: mechanisms and possible caveats. *Nutrition & Metabolism*, 11, 53.
- [15] siehe u. a. Bouvard, V., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., Ghis-sassi, F. E. et al. (2015). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *The Lancet. Oncology*, 16, 1599–1600. Weitere Quellen in [4].
- [16] Umweltbundesamt (2016). *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2016.* Verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_23\\_2016\\_nir\\_2016\\_berichterstattung\\_unter\\_der\\_klimarahmenkonvention.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_23_2016_nir_2016_berichterstattung_unter_der_klimarahmenkonvention.pdf)
- [17] Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415.
- [18] Cafaro, P. J., Primack, R. B., Zimdahl, R. L. (2006). The fat of the land: Linking American food overconsumption, obesity, and biodiversity loss. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 19(6), 541–561.
- [19] Fleurence, J. (1999). Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science & Technology*, 10(1), 25–28.
- [20] Holdt, S. L., Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543–597.
- [21] Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2), 207–210.
- [22] Walsh, M. J., Van Doren, L. G., Sills, D. L., Archibald, I., Beal, C. M. et al. (2016). Algal food and fuel coproduction can mitigate greenhouse gas emissions while improving land and water-use efficiency. *Environmental Research Letters*, 11(11), 114006.
- [23] Pittman, J. K., Dean, A. P., Osundeko, O. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources.

- Bioresource Technology, 102(1), 17–25.
- [24] Gerber, L. N., Tester, J. W., Beal, C. M., Huntley, M. E., Sills, D. L. (2016). Target cultivation and financing parameters for sustainable production of fuel and feed from microalgae. *Environmental Science & Technology*, 50(7), 3333–3341.
- [25] MacEvilly C. (2000). Bugs in the system. *Nutrition Bulletin* 25: 267–268.
- [26] Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., Ricci, A. (2013). Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296–313.
- [27] Latunde-Dada, G. O., Yang, W., Vera Aviles, M. (2016). In vitro iron availability from insects and sirloin beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(44), 8420–8424.
- [28] European Parliamentary Research Service (2016). Insects - soon to be a regulated food? Verfügbar unter [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/583830/EPRS\\_ATA%282016%29583830\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/583830/EPRS_ATA%282016%29583830_EN.pdf)
- [29] EFSA Scientific Committee (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10).
- [30] 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.
- [31] Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., Verstraete, W. (2016). Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial Biotechnology*, 9(5), 568–575.
- [32] „We shall escape the absurdity of growing a whole chicken in order to eat the breast or wing, by growing these parts separately under a suitable medium“ schrieb Winston Churchill in seinem Essay „Fifty Years Hence“ von 1932.
- [33] in-vitro, lat. „im Glas“; mit diesem Begriff werden biologische Vorgänge bezeichnet, die außerhalb eines Organismus stattfinden.
- [34] FAO und ITPS (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- [35] FAO (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations. The FAO action plan on antimicrobial resistance. Rome: 2016. Verfügbar unter <http://www.fao.org/3/a-i5996e.pdf>
- [36] Fearnside, P. M. (2001). Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28(01), 23–38.
- [37] Grau, H. R., Aide, M. (2008). Globalization and land-use transitions in Latin America. *Ecology and Society*, 13(2), 16.
- [38] Bhat, Z.F., Bhat, H., Pathak, V. (2014). Prospects for In Vitro Cultured Meat – A Future Harvest: Principles of Tissue Engineering, Fourth ed. Elsevier.
- [39] Appenroth, K. J., Sree, K. S., Böhm, V., Hammann, S., Vetter, W., Leiterer, M., Jahreis, G. (2017). Nutritional value of duckweeds (*Lemnaceae*) as human food. *Food Chemistry*, 217, 266–273.
- [40] Buckwell, A., Capodieci, G.L., Dijkhuizen, A., De Graeff, R., Frabetti, E. et al. (2017). Ein nachhaltiger Nutztiersektor in Europa: Eine Frage von Ernährungssicherheit, Klima und Innovation.
- [41] Veldkamp T., van Duinkerken G., van Huis A., Lakemond C.M.M., Ottevanger E. et al. (2012). Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - a feasibility study. Wageningen UR Livestock Research. Niederlande.
- [42] Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33.
- [43] EFSA Scientific Committee (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10).
- [44] European Parliamentary Research Service (2016). Insects as a sustainable source of protein for animal feed. Verfügbar unter [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/586642/EPRS\\_ATA%282016%29586642\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/586642/EPRS_ATA%282016%29586642_EN.pdf)
- [45] Europäische Kommission (2016). Standing Committee on Plants, Animals, Food and Feed Section Biological Safety of the Food Chain. Verfügbar unter [http://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/reg-com\\_biosec\\_20161213\\_agenda.pdf](http://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/reg-com_biosec_20161213_agenda.pdf)
- [46] Novel Food Law: <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/novel-food>; [http://www.bvl.bund.de/DE/01\\_Lebensmittel/04\\_AntragstellerUnternehmen/13\\_FAQs/FAQ\\_NovelFood/FAQ\\_NovelFood\\_node.html](http://www.bvl.bund.de/DE/01_Lebensmittel/04_AntragstellerUnternehmen/13_FAQs/FAQ_NovelFood/FAQ_NovelFood_node.html)
- [47] Nieuwland P. (2016). Insects - feasibility study for use as a human food source. TNO Reports. 2016 R11094. Utrecht. Niederlande.
- [48] Rajesha, J., Madhusudhan, B., Mahadevaswamy, M., Rao, R.J., Ravishankar, G.A. et al. (2011). Flaxseed and Spirulina in designer eggs: A potent blended functional food and a smart food choice. In: Martirosyan, D.M. (ed.), *Functional foods in health and disease*. Food Science Publisher, Richardson (Dallas), TX. pp. 124–139.
- [49] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(2), 87–96.
- [50] De Boer, H. C., van Krimpen, M. M., Blonk, H., Tyszler, M. (2014). Replacement of soybean meal in compound feed by European protein sources: effects on carbon footprint (No. 819). Wageningen UR Livestock Research.
- [51] Leghämoglobin kommt in den Wurzeln der Sojabohne vor und ist dem Blutprotein Hämoglobin sehr ähnlich. So kann es vegetarischen Fleischalternativen Farbe und Geschmack von echtem Fleisch verleihen.
- [52] Bioökonomierat (2012). Berichte aus dem Bioökonomierat 05. Welchen Beitrag kann die Aquakultur in Deutschland zur Bioökonomie leisten? Verfügbar unter <http://biooekonomierat.de/fileadmin/templates/publikationen/berichte/Berichte05-Aquakultur.pdf>
- [53] Yen, A. L. (2009). Edible insects: Traditional knowledge or western

- phobia?. Entomological Research, 39(5), 289–298.
- [54] Nasser, A. T., Rasoul-Amini, S., Morowvat, M. H., Ghasemi, Y. (2011). Single cell protein: production and process. American Journal of Food Technology, 6(2), 103–116.
- [55] Verbeke, W., Marcu, A., Rutsaert, P., Gaspar, R., Seibt, B. et al. (2015). 'Would you eat cultured meat?': Consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. Meat Science, 102, 49–58.
- [56] Schouteten, J. J., De Steur, H., De Pelsmaeker, S., Lagast, S., Juvinat, J. G. et al. (2016). Emotional and sensory profiling of insect-, plant- and meat-based burgers under blind, expected and informed conditions. Food Quality and Preference, 52, 27–31.
- [57] Verbeke, W. (2015). Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. Food Quality and Preference, 39, 147–155.
- [58] <http://www.ufop.de/rapsoel-and-ernaehrung/ernaehrungsinfos-fuer-verbraucher/eiweiss-der-ernaehrung/>. Auch Rapskuchen fällt auch unter das „Novel Food Law“ und wurde 2014 in der EU zugelassen.
- [59] Urban Biocycles (Ellen MacArthur/WEF), [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Project\\_MainStream\\_Urban\\_Biocycles\\_2017.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Project_MainStream_Urban_Biocycles_2017.pdf)
- [60] Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Finnigan, J., Moran, D. et al. (2017). Losses, inefficiencies and waste in the global food system. Agricultural Systems, 153, 190–200.
- [61] Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Dias, C., Finnigan, J., Moran, D., Rounsevell, M. D. (2017). Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use?. Global Food Security. In press <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.04.001>
- [62] siehe u. a. eine Studie der imug Beratungsgesellschaft mbH. (2014): Nachhaltiger Konsum: Schon Mainstream oder noch Nische? Verfügbar unter [http://www.imug.de/images/stories/pdfs/verbraucher/imug\\_REWE-Studie\\_gesamt\\_2014\\_12\\_30.pdf](http://www.imug.de/images/stories/pdfs/verbraucher/imug_REWE-Studie_gesamt_2014_12_30.pdf)