

# Bioökonomie für eine nachhaltige Ernährung

## Neue Ansätze 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



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

### Die Bedeutung von Proteinen in der menschlichen Ernährung

- 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>.

und Klima sowie mit einem hohen Ressourcenverbrauch verbunden. 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>. In Entwicklungsländern ist die oft unzureichende Proteinversorgung ein relevantes und dringend zu lösendes Problem<sup>[5]</sup>. Das vorliegende BÖRMEMO zielt 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. Dazu gehört in Industrieländern wie Deutschland vor allem eine Reduktion des Konsums

tierischer Nahrungsmittel<sup>[6,7,8,9]</sup>. Auch in der Produktion gibt es vielfältige Ansätze für mehr Nachhaltigkeit, auf die sich dieses BÖRMEMO fokussiert. Innovationen innerhalb des bestehenden Systems können zu einer weiteren Optimierung in der Herstellung und im Verbrauch landwirtschaftlicher Produkte beitragen<sup>[10,11]</sup>. Einer nachhaltigeren Proteinversorgung können in der Zukunft aber auch neuartige und ggf. effizienter erzeugte Proteinquellen dienen. Die effizientere Nutzung traditioneller Proteinquellen wie zum Beispiel Pflanzen und Fisch kann ebenfalls einen Beitrag leisten.

### Ansätze zur Optimierung der Nachhaltigkeit in der Nutztierhaltung

Die Tierproduktion ist in vielen Ländern die größte Einkommensquelle in der Landwirtschaft und durch ihre Vernetzung mit Vorleistungen und Wertschöpfungsketten ein wichtiger Teil der Bioökonomie. Um den Auswirkungen der Nutztierhaltung auf Umwelt und Klima sowie ihrem Verbrauch an Ressourcen entgegenzuwirken, sind Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit notwendig. Fortschritte in den Bereichen Digitalisierung, Automatisierung und Biotechnologie können die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion weiter steigern, Verluste verringern und negative Auswirkungen mindern. Der Bioökonomierat hat sich bereits in BÖRMEMOs und Hintergrundpapieren zur Rolle der Tierhaltung in der Bioökonomie und zur Produktion tierischer Lebensmittel geäußert<sup>[4,10,11]</sup>. Im vorliegenden BÖRMEMO stehen deshalb nicht die klassische Nutztierhaltung sondern neue Ansätze für eine nachhaltigere Proteinversorgung im Mittelpunkt.

### Neuartige Ansätze zur Erzeugung proteinreicher Lebensmittel 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 teilweisen Substitution des Konsums tierischer Produkte in den Industrieländern. Ein wachsendes Bewusstsein über die negativen Konsequenzen der Erzeugung tierischer Lebensmittel und das Aufkommen neuer, biotechnologischer Verfahren der Proteinerzeugung 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.

### Produktion tierischer Proteine: Nachhaltigkeit, Umwelt- und Klimarelevanz

- Global werden 30% der 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 7,3% der gesamten Treibhausgas-Emissionen verantwortlich<sup>[13]</sup>. Vorrangig werden Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) emittiert die vor allem durch die Verdauung bei Wiederkäuern und die Ausbringung von organischem Dünger in die Atmosphäre gelangen.
- Wiederkäuer tragen andererseits zur nachhaltigen Nutzung von Grünland bei und wandeln für die menschliche Ernährung wertloses Gras in hochwertiges Protein um. Sie sind zudem wichtige Einkommensquelle und Teil der gewachsenen Agrarkultur.
- 29% des in der Landwirtschaft verbrauchten Süßwassers werden für die Nutztierhaltung und für die Bewässerung von Futterpflanzen eingesetzt. Etwa ein Drittel des Wasserverbrauchs ist der Produktion von Rindfleisch zuzuschreiben<sup>[14]</sup>.
- Die Qualität fruchtbarer Böden kann durch einen wenig nachhaltigen Anbau von Futtermitteln beeinträchtigt werden. Der übermäßige Austrag von Stickstoff hat negative Auswirkungen auf das Grundwasser. Die Entstehung antibiotikaresistenter Keime in der Tierhaltung wird auch im Zusammenhang mit der Diskussion über „One Health“ als Risiko für die öffentliche Gesundheit eingeschätzt<sup>[15,16]</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 kritisch bewertet<sup>[17,18]</sup>.

### Proteinversorgung – zwischen Mangel und Überfluss

- Prognosen gehen davon aus, dass sich die Nachfrage der Weltbevölkerung nach proteinreichen tierischen Nahrungsmitteln zwischen 2000 und 2050 um ca. 80–100% steigern wird<sup>[25]</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 eine ausgewogene Kombination unterschiedlicher proteinreicher pflanzlicher Quellen tierisches Protein durchaus adäquat ersetzen<sup>[27]</sup>.
- 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 herrscht, konsumiert eine wachsende globale Mittelschicht immer größere Mengen, insbesondere aus tierischen Quellen. In Industrieländern liegt der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch an Protein bei etwa 100 g/Tag, in Entwicklungsländern oft bei nur etwa 70 g/Tag. In manchen Ländern Afrikas südlich der Sahara liegt er sogar unter 50 g/Tag<sup>[28]</sup>. Grund für eine Mangelernährung ist dabei häufig die Unterversorgung mit einzelnen essentiellen Aminosäuren.
- 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>[29]</sup>. Darüber hinaus wird ein hoher Verzehr von rotem und verarbeitetem Fleisch mit anderen Erkrankungen in Zusammenhang gebracht<sup>[30]</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 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 Treibhausgasemissionen einzusparen, besonders wenn die restlichen Bestandteile der Algen nach Proteinextraktion ebenfalls Verwendung finden (z. B. als Biokraftstoff). Auch an Gebäudefassaden und auf anderen bisher ungenutzten Flächen lassen sich diverse Süßwasser-Mikroalgen produzieren. Eine Herausforderung für eine nachhaltige Produktion im großen Maßstab stellt der hohe Nährstoffbedarf sowie die Bereitstellung von Energie für Belüftung, Temperierung und Durchmischung dar<sup>[22]</sup>. Dafür könnten jedoch z. B. nährstoffreiche Abwässer und regenerative Energiequellen genutzt werden<sup>[23]</sup>. Im Sinne einer möglichst nachhaltigen Produktion von Mikroalgen sind demnach Standorte, an denen Wasser, Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Nährstoffe (z. B. aus aufgereinigten Abwässern) und Elektrizität mit niedrigem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verfügbar sind, zu bevorzugen<sup>[24]</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 Nahrungs- und Futtermittel und für andere Nutzungsrichtungen wie Biokraftstoff könnte die Effizienz der Produktion weiter erhöhen; jedoch gibt es hier noch großen Forschungsbedarf.

**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>[31]</sup> und wichtiger Mineralstoffe wie Eisen, Kalzium und Zink<sup>[32]</sup>. Forschungs- und Studienbedarf besteht jedoch zur gesundheitlichen Unbedenklichkeit beim Verzehr größerer Mengen und über einen längeren Zeitraum<sup>[33,34]</sup>, insbesondere wenn die Fütterung der Insekten zum Beispiel mit Lebensmittelabfällen erfolgen sollte. Hier gibt es 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>[35]</sup>. Insekten fallen nach momentaner Deutung unter die Novel-Food-Regulierung der EU. Somit sind sie und aus ihnen hergestellte Produkte als neuartige Lebensmittel nur nach EFSA-Anerkennung in den Handel zu bringen. Auch ethische Aspekte der Haltung von Insekten sollten früh genug diskutiert werden.

**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>[36]</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>[36]</sup>. Hier könnten erneuerbare Energien oder die Verwertung von Reststoffen zum Einsatz kommen. Auch könnten entsprechend gefilterte industrielle Abgase als Kohlenstoffquelle genutzt werden. 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 deutlich 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>[37]</sup>. Doch erst seit Kurzem ist die Technologie so weit fortgeschritten, dass die Produktion von Fleisch in Form von Muskelfasern in vitro<sup>[38]</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. Die Schlachtung von Tieren wird damit überflüssig. Auch wird theoretisch die Effizienz der Produktion erhöht, da „minderwertige“ Teile des Tieres nicht mitproduziert werden. Somit könnten durch die Produktion von In-vitro-Fleisch 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>[39]</sup>. Dazu gehören der relativ hohe Energiebedarf sowie hohe Kosten für Kulturmedien und Wachstumsfaktoren. 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 sowie den beachtlichen Ressourceneinsatz. Es gibt aber auch kulturelle und soziale Aspekte, die bei der Wahrnehmung von In-vitro-Fleisch eine wichtige Rolle spielen.

**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 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>[40]</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 könnten dabei auch die effiziente Nutzung von bisher nicht domestizierten Arten ermöglichen.

**Alternative Futtermittel:** Auch eine Optimierung der Fütterung von Nutztieren stellt eine Möglichkeit zur Abschwächung des Proteinproblems dar<sup>[41]</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>[42]</sup>. Allerdings ist noch Optimierung in Zucht, Haltung und Verarbeitung nötig, um eine großtechnische Produktion zu ermöglichen und nachhaltig zu gestalten<sup>[43]</sup>. Es besteht Forschungsbedarf zur Unbedenklichkeit (toxikologisch und mikrobiologisch) sowie zur Akzeptanz bei Futtermittelverwendern. Auch sind legislative Anpassungen dringend erforderlich<sup>[44,45]</sup>. Im Dezember 2016 sprach die EU-Kommission die Erlaubnis zur Beimischung von Insektenproteinen in der Fischfütterung mit Wirksamkeit zum Juli 2017 aus<sup>[46]</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>[47]</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>[48]</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>[49]</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)<sup>[50]</sup>. 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. Einige Algenarten sind inzwischen im Katalog der Verordnung aufgeführt, Insekten werden hingegen bisher nicht spezifisch erwähnt, werden aber voraussichtlich ebenfalls als Novel Food klassifiziert werden. Für diese neuen Proteinquellen stellt die Novel-Food-Verordnung mit ihrem hohen Anspruch an die Lebensmittelsicherheit ein entsprechend hohes Hindernis für die Markteinführung 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 vorgeschriebene Verfahren, wie das Ausbluten von Schlachttieren, können auf Insekten zum Beispiel nicht angewendet werden<sup>[51]</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 nicht mit Bioabfällen ernährt werden, da sie selbst 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, Bohnen, Ackerbohnen und Lupinen liefern hochwertiges Protein und darauf basierende Produkte. Zahlreiche F&E-Projekte beschäftigen sich mit dem Ersatz tierischer Produkte bzw.

Proteine durch pflanzliche Quellen und haben neuartige Verfahren entwickelt. Dabei kann es ein Ansatz sein, die Eigenschaften von herkömmlichen tierischen Lebensmitteln hinsichtlich Sensorik (Geschmack, Geruch, Textur), aber auch Optik möglichst gut nachzustellen, um für Verbraucher ein zufriedenstellender Ersatz zu sein. Dabei finden zum Teil modernste biotechnologische Verfahren Einsatz, beispielsweise bei der Herstellung Häm-haltiger Proteine aus Wurzelknöllchen von Leguminosen<sup>[52]</sup>, die den Produkten fleischähnlichen Geschmack und Farbe verleihen. Solche Produkte zielen auf den Markt durchschnittlicher, Fleisch liebender Konsumenten, die sich aber nachhaltigere und tierfreundlichere Produkte wünschen. 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>[53]</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. Für die marine Aquakultur sind Nährstoffkreisläufe mit Algen, Muscheln und anderen Meeresfrüchten möglich. Kreislaufansätze wie dieser können die Effizienz der Produktion steigern und ihren negativen Einfluss auf die Umwelt minimieren. Bei diesen neuen Ansätzen werden auch Fragen des Tierwohls eine Rolle spielen.

### 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>[56]</sup>. Mikroorganismen hingegen werden oft mit Krankheiten in Verbindung gebracht<sup>[57]</sup>. In-vitro-Fleisch wird oft als unnatürlich wahrgenommen und Vorteile werden eher für die Gesellschaft und nicht für sich persönlich gesehen<sup>[58]</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 die prinzipielle Möglichkeit einer Marktdurchdringung<sup>[59,60]</sup>.

**Nutzbarmachung von Reststoffen:** Proteine, die zum Beispiel bei der Herstellung von Ölen aus Ölsaaten wie Sonnenblume oder Raps oder auch bei der Bioethanolherstellung<sup>[54]</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. Verbesserungen der Qualität des Rohstoffs hinsichtlich Farbe und Textur nötig und entsprechende Forschungsleistungen zu fordern. Neueste Technik und moderne Züchtungsverfahren können dabei auch die effiziente Nutzung von bisher nicht verwendbarem Eiweiß ermöglichen. Brauereiabfälle und andere organische Abfälle können dagegen als nährstoffreiche Substrate für Pilze, Insekten, Algen oder Mikroorganismen dienen<sup>[55]</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 und ihr teilweiser Ersatz durch nachhaltigere Proteinquellen kann die Nachhaltigkeit des Ernährungssystems steigern<sup>[61,62]</sup>. Studien zeigen, dass sich die Mehrzahl der Konsumenten nachhaltiger ernähren möchte, sich aber beim Kauf meist gegen diesen Vorsatz verhält<sup>[63]</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.

### 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>.

## Forschungsempfehlungen

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

Der Wandel zu einem nachhaltigeren Konsum spielt für die Ernährung der Zukunft eine zentrale Rolle. Der Bioökonomierat hat sich in früheren Papieren diesem Thema gewidmet und die Erforschung der Wirksamkeit von entsprechenden Ansätzen empfohlen (u. a. Nudging, Besteuerung, Bildung)<sup>[6]</sup>. Es sei aber auch auf die Empfehlungen anderer Gremien verwiesen<sup>[8,9]</sup>. Im vorliegenden BÖRMEMO liegt der Fokus auf neuen Ansätzen für eine nachhaltigere Produktion.

- **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 daher angepasst werden.
- **Kommunikation, Kennzeichnung und Verbraucherinformation:** Transparenz über die Verwendung neuartiger Proteinquellen in Produkten muss gewährleistet sein. Milch-, Fleisch- und Ei-Ersatzprodukte müssen deshalb als solche erkennbar gekennzeichnet werden.
- **Strategie für eine nachhaltige Eiweißversorgung entwickeln:** Die Förderung alternativer Proteinquellen mit vorteilhaften Eigenschaften hinsichtlich Ressourcenverbrauch, Umwelt- und Klimawirkung sollte in eine ganzheitliche Strategie für eine nachhaltige Eiweißversorgung einbezogen werden.

## Endnoten

- [1] Food and nutrition security, Definition: [https://ec.europa.eu/europeaid/sectors/food-and-agriculture/food-and-nutrition-security\\_en](https://ec.europa.eu/europeaid/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] Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim BMELV (2012). Ernährungssicherung und nachhaltige Produktivitätssteigerung. Stellungnahme. Verfügbar unter <http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Stellungnahme-Ern%C3%A4hrungssicherung.html>
- [9] Hightech Forum. Fachforum Nachhaltiges Wirtschaften. (2017) Innovation durch nachhaltiges Wirtschaften. Handlungsempfehlungen. Verfügbar unter [http://www.hightech-forum.de/fileadmin/PDF/hightech-forum\\_nachhaltiges\\_wirtschaften.pdf](http://www.hightech-forum.de/fileadmin/PDF/hightech-forum_nachhaltiges_wirtschaften.pdf)
- [10] 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)
- [11] 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>
- [12] 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.
- [13] 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)
- [14] Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415.
- [15] 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>
- [16] Gibbs, E. P. J. 2014. The evolution of One Health: a decade of progress and challenges for the future. *Veterinary Record*, 174(4), 85–91.
- [17] Fearnside, P. M. (2001). Soybean cultivation as a threat to the envi-

- ronment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28(01), 23–38.
- [18] Grau, H. R., Aide, M. (2008). Globalization and land-use transitions in Latin America. *Ecology and Society*, 13(2), 16.
- [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] 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.
- [23] Pittman, J. K., Dean, A. P., Osundeke, O. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology*, 102(1), 17–25.
- [24] 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.
- [25] MacEvilly C. (2000). Bugs in the system. *Nutrition Bulletin* 25: 267–268.
- [26] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2006). *World agriculture: towards 2030/2050. Interim Report*.
- [27] 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.
- [28] FAO Statistics Division (2010). *Food Balance Sheets*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- [29] Pesta, D. H., Samuel, V. T. (2014). A high-protein diet for reducing body fat: mechanisms and possible caveats. *Nutrition & Metabolism*, 11, 53.
- [30] 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].
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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)
- [34] EFSA Scientific Committee (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10).
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] „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.
- [38] in-vitro, lat. „im Glas“; mit diesem Begriff werden biologische Vorgänge bezeichnet, die außerhalb eines Organismus stattfinden.
- [39] Bhat, Z.F., Bhat, H., Pathak, V. (2014). *Prospects for In Vitro Cultured Meat – A Future Harvest: Principles of Tissue Engineering*, Fourth ed. Elsevier.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] EFSA Scientific Committee (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10).
- [45] 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)
- [46] 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)
- [47] 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.
- [48] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. (2006).

- Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(2), 87–96.
- [49] 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.
- [50] 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)
- [51] Nieuwland P. (2016). Insects - feasibility study for use as a human food source. TNO Reports. 2016 R11094. Utrecht. Niederlande.
- [52] 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.
- [53] 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>
- [54] <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.
- [55] 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)
- [56] Yen, A. L. (2009). Edible insects: Traditional knowledge or western phobia?. *Entomological Research*, 39(5), 289–298.
- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] 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.
- [61] 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.
- [62] 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>
- [63] 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)