KErn
Kompetenzzentrum
für Ernährung

ZUKUNFT ERNÄHRUNG

ALTER-NATIVE PROTEIN-QUELLEN

LITERATURSTUDIE ZUM AKTUELLEN FORSCHUNGSSTAND

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Cluster
Ernährung

Auswirkungen von künftigen Lebensmitteln auf die bayerische Land- und Ernährungswirtschaft – eine Übersichtsstudie des KErn

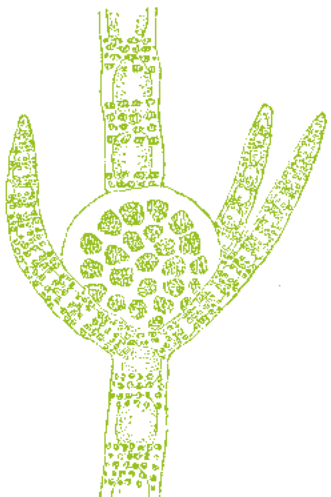
Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft gehen davon aus, dass auf die Land- und Ernährungswirtschaft in den nächsten Jahren und Jahrzehnten grundlegende Veränderungen zukommen werden. Dies bestätigt auch die Szenarienstudie des Cluster Ernährung am KErn. Die vielfältigen Ernährungstrends der letzten Jahre wie etwa vegane, flexitarische, glutenfreie oder klimaverträgliche Ernährung, sind aus dieser Sicht nur Vorboten größerer Disruptionen.

Derzeit gibt es viele neue Start-ups im Bereich alternativer Proteinquellen, die mit großen Summen von Unternehmen der Lebensmittel- und Agrarindustrie aber auch von Inverstoren aus der Finanz- und IT-Branche finanziell unterstützt werden. Der Wandel vollzieht sich in den unterschiedlichen Ländern unterschiedlich schnell. So ist Israel zum Beispiel auf dem Sektor der alternativen pflanzlichen Proteine sowohl in der Produktion als auch in der Vermarktung gegenüber den EU-Mitgliedstaaten weit voraus.

Die Gründe sind vielfältig, doch zeigt sich, dass die Akzeptanz von neuartigen Lebensmittel („Novel Food") in Gesellschaft und Politik in verschiedenen Ländern und Kulturen unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

An dieser Stelle sind besonders die Auswirkungen auf die Bayerische Land- und Ernährungswirtschaft von Interesse, die sich aufgrund der sich ändernden Verzehrsgewohnheiten und Marktverschiebungen ergeben.

Das Kompetenzzentrum für Ernährung (KErn) hat zu diesem Zweck eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, welche die aktuellen Daten im Bereich Konsumenten- und Marktforschung analysiert.



Inhaltsverzeichnis

Vorwort 05

Alternative Proteine, die das größte Zukunftspotenzial haben 08

1.1. Pflanzenbasierte Ersatzprodukte 09

1.2. Insektenproteine 12

1.3. In-vitro-Fleisch 14

1.4. Mikrobielle Proteine 17

Mykoproteine 17

Mikrobenprotein aus Bakterien und Hefen 18

Mikroalgen 20

1.5. Makroalgen 22

Status Quo und Auswirkungen auf die Lebensmittel-Wertschöpfungskette 24

2.1. Grundlage: Die Bayerische Land- und Ernährungswirtschaft 24

2.2. Markt und Produktion alternativer Proteine 25

2.3. Landwirtschaft 30

2.4. Verbraucherakzeptanz 34

2.5. Gesundheit 36

2.6. Umwelt 38

Mögliche Transformationspfade für die Ernährungswende 40

Executive Summary 42

Literaturverzeichnis 46

Vorgehen 48

Impressum 49

Vorwort

Guido Winter
Leitung
Kompetenzzentrum für Ernährung
(KErn)

Christine Röger
Bereichsleiterin Wissenschaft
Kompetenzzentrum für Ernährung
(KErn)

Egal ob vegan, vegetarisch oder flexitarisch: Immer mehr Menschen ernähren sich pflanzenbasiert oder haben das zumindest vor. Diesen Trend bestätigt auch der Report des Nutrition Hub in Zusammenarbeit mit dem Bundeszentrum für Ernährung.

Die Gründe für das Umdenken sind vielseitig: Tierwohl, Klimaschutz und Gesundheit sind die häufigsten Motive für den Ersatz konventioneller Lebensmittel durch vegane Ersatzprodukte (Statista 2021). Tatsächlich ist der Fleischkonsum der Deutschen insgesamt rückläufig, seit 1991 ist dieser um etwa 7 Prozent zurückgegangen. Gleichzeitig werden deutlich mehr vegetarische und vegane Lebensmittel verkauft: 2019 summierte sich der Umsatz im deutschen Handel auf 1,2 Milliarden Euro, Tendenz steigend (Statista 2020). Der Speiseplan der Zukunft zielt darauf ab, Ernährungsweisen noch gesünder, nachhaltiger und auch regionaler zu gestalten, frei nach dem Motto: Gut für mich, gut für den Planeten. So fordert die EAT-Lancet-Kommission den Fleisch- und Zuckerkonsum zu halbieren und die tägliche Menge an Obst, Gemüse, Hülsenfrüchten und Nüssen stattdessen zu verdoppeln. Doch was bedeutet dieser Wandel für die Landwirtschaft, für die Gesellschaft, Wirtschaft und die Forschung? Wo geht die Reise hin?

Die Zukunft könnten In-Vitro-Fleisch, Insekten und Algen sein, sie gehören zu den neueren Foodtrends auf dem Markt. Die bisherige Produktvielfalt könnte so durch innovative Produkte ergänzt werden und vor allem bei der Generation Z eine neue Esskultur anstoßen (Statista 2021). Das werden in Zukunft vermutlich sogenannte Real Omnivore sein. Davon geht Foodtrendforscherin Hanni Rützler aus: „Sie stehen für eine ausgewogene, nachhaltige Ernährung, deren Leitmotiv nicht Verzicht ist. Dabei haben sie keinerlei Berührungsängste mit Food-Tech-Innovationen oder außergewöhnlichen Zutaten oder Lebensmitteln – ganz im Gegenteil, sie werden von Neugier angetrieben, […].“

Das Kompetenzzentrum für Ernährung (KErn) im Bereich Wissenschaft widmet sich der aktuellen Studienlage zum Thema „Zukunft Ernährung“. Ziel des Forschungsvorhabens ist es wissensbasierte Aussagen über die Chancen und Barrieren alternativer Proteinquellen entlang der Wertschöpfungskette zu treffen. Gemeinsam mit Experten aus der Wissenschaft betrachtet das KErn jene alternativen Proteine, die laut Markt- und Trendanalysen das größte Zukunftspotential haben. Mittelpunkt der Betrachtung sind mögliche Auswirkungen auf die bayerische Ernährungsindustrie und Landwirtschaft – bei steigender Produktion alternativer Ersatzproteine. Aber auch die Anschlussfähigkeit der Landwirtschaft an visionäre Wege der Lebensmittelproduktion soll geprüft und aufgezeigt werden: Welche Produktionsfaktoren und Arbeitskräfte sind in Zukunft gefragt? Können die Lebensmittel in Bayern produziert werden und wie gesund und umweltfreundlich sind die Ersatzprodukte verglichen mit Fleisch, Milch und Eiern wirklich? Eine weitere Frage ist, inwiefern diese Produkte auf Akzeptanz bei Verbrauchern stoßen und welche Schritte notwendig sind, eine sozial verträgliche Transformation auf den Weg zu bringen.

Das KErn bedankt sich bei allen beteiligten Experten und Fachjournalisten für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

Ausgangslage

Derzeit zeigen verschiedene Studien, dass es immer mehr Veganer, Vegetarier und Flexitarier gibt, was die Nachfrage nach Alternativen für Fleisch- und Milchersatzprodukten ankurbelt. Vor allem auch die Corona-Pandemie hat laut neuesten Zahlen der Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) dafür gesorgt, dass die Verbraucher vermehrt auf Gesundheit, Nachhaltigkeit und Regionalität achten. Laut dem Thünen-Institut ist die Nachfrage nach Fleisch mit Ausnahme von Geflügelfleisch seit 2018 leicht aber stetig gesunken und wird sich vermutlich auch weiter reduzieren.

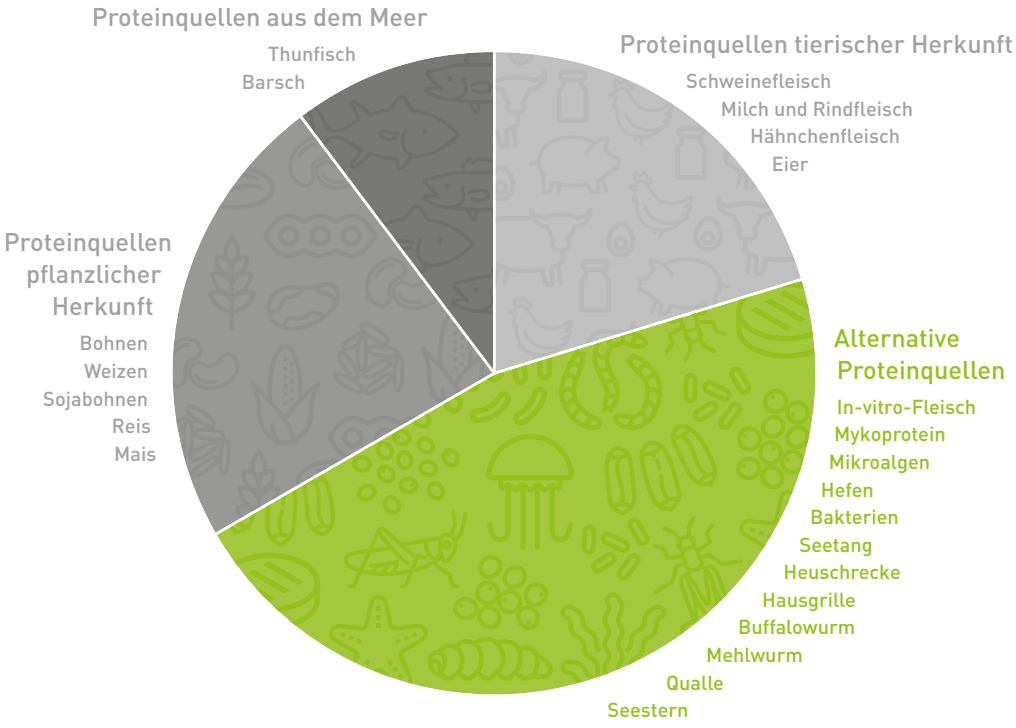
Gemessen an den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) ist die Ernährung in Deutschland noch von einem überhöhten Fleischkonsum gekennzeichnet, während die Deutschen Milch- und Milchprodukte etwa gemäß der allgemein empfohlenen Mengen verzehren. Eine „Proteinlücke" besteht darum nicht, auch wenn der derzeitige Proteinhype in der Werbung anderes vermuten lässt. Es ist im Gegenteil für Gesundheit, Umwelt und Tierwohl besser, wenn der Fleischkonsum in Deutschland weiter reduziert würde. Vor allem zu viel verarbeitetes Fleisch von Schwein und Rind erhöht laut dem 14. DGE-Ernährungsbericht das Risiko für Dickdarmkrebs, Diabetes und Herzkrankheiten. Und die Fleischproduktion verbraucht mehr Ressourcen wie Land, durch den Anbau von Futterpflanzen, Dünger, Pflanzenschutzmittel und Energie als die Erzeugung von pflanzlichen Lebensmitteln. Zugleich werden mehr Treibhausgase und Stickstoff emittiert. Der Beitrag der Ernährung etwa bei den Treibhausgasemissionen liegt weltweit bei 25 bis 30 Prozent. Die im Jahr 2019 publizierte „Planetary Health Diet" hat aufgezeigt, wie sich individuelle sowie die planetare Gesundheit ergänzen können. Auch die vielerorts praktizierte Haltung von Tieren gerät zunehmend in die Kritik, weswegen das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) eine Tierwohlkennzeichnung auf den Weg gebracht hat. Eine Reduzierung des Fleischkonsums in Deutschland ist also auf vielen Ebenen gefordert. Auch der Wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz (WBAE) hat im Jahr 2020 auf die Dringlichkeit einer Transformation zu mehr Gesundheit und Ressourcenschutz hingewiesen.

Global betrachtet, sieht es derzeit jedoch noch anders aus: So könnte sich die globale Nachfrage nach Fleisch laut Prognosen der Welternährungsorganisation FAO auf 455 Millionen Tonnen erhöhen, in 2020 waren es 338 Millionen Tonnen. Die Zunahme der Weltbevölkerung auf knapp 10 Milliarden Menschen bis zum Jahre 2050 könnte bei steigendem Wohlstand in Schwellen- und Entwicklungsländern eine Verdopplung der Nahrungsmittelproduktion erfordern. Ernährungssicherung, eine gesundheitsfördernde Ernährung sowie verantwortungsvolle Konsumstile und Produktionsprozesse gehören deshalb zu den „Global Goals for Sustainable Development" (SDGs) der Vereinten Nationen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten diesen drängenden Krisen etwas entgegen zu setzen: Dies wären nach Meinung von Wissenschaftlerinnen des Instituts für Technikfolgenabschätzung der Universität Karlsruhe neben der Reduzierung des Fleischkonsums in Industrieländern, die Abschaffung der Tierhaltung in großen Betrieben, die ökologische Umstellung der Landwirtschaft sowie die Förderung pflanzlicher Alternativen wie Hülsenfrüchte aber auch die technologische Innovation von Ersatzprodukten. Die große Herausforderung einer nachhaltigen Lebensmittelversorgung der Zukunft könne nur durch die Verfolgung verschiedener nachhaltiger Lösungen gemeistert werden. Die Entwicklung von innovativen Fleisch- und Milchersatzprodukten ist darum derzeit in vollem Gange. Neben pflanzlichen Ersatzprodukten kommen auch Insekten, In-vitro-Fleisch, Makroalgen (Seetang) oder Mikrobenproteine aus Mikroalgen, Mykoproteinen oder Bakterienproteinen als Alternativen in Frage (s. Abbildung 1). Diese wurden auch in diesem Bericht berücksichtigt.

Abbildung 1

Neben den herkömmlichen tierischen Proteinen gibt es zahlreiche innovative Proteine, die auf dem Speiseplan der Zukunft stehen könnten



Vor allem in den USA und Asien gibt es immer mehr Start-ups, die Kapital aus der Ernährungs- und Agrar-Industrie, aber auch aus der Finanz- und IT-Branche erhalten. Eine Studie des US-Think Tanks RethinkX aus dem Jahr 2019 prognostiziert, dass durch die zunehmende Bedeutung von „Fleischersatzprodukten" für die USA bis 2030 ein Nachfragerückgang nach Milch- und Fleischprodukten um 70 Prozent und bis 2035 um 80 bis 90 Prozent entstehen könnte. Zwar gibt es andere Prognosen (siehe Kapitel Markt), die solche drastischen Umwälzungen nicht bestätigen, aber viele Experten gehen davon aus, dass es früher oder später zu einem Umbau der traditionellen Landwirtschaft kommen wird. Erst das Wissen über verschiedene Szenarien ermöglicht es schließlich, sich darauf einzustellen.

Darum soll diese Studie folgende Fragen beantworten: Welche Auswirkungen auf die bayerische Ernährungsindustrie und Landwirtschaft hätte die steigende Produktion dieser Ersatzproteine? Welche Produktionsstätten wären notwendig, welche Arbeitskräfte gefragt? Könnten die Lebensmittel in Deutschland, beziehungsweise in Bayern, produziert werden? Wären die Ersatzprodukte auch gesund und wirklich umweltfreundlicher als Fleisch, Milch und Eier? Würde der Verbraucher diese Produkte auch essen? Und welche Schritte wären für eine sozial verträgliche Transformation hilfreich?

1. Alternative Proteine, die das größte Zukunftspotenzial haben

In dieser Literaturstudie betrachtet das KErn „alternative Proteine“ und weniger Ersatzstoffe wie innovative Kohlenhydrate oder Fette. Der Begriff „alternative Proteine“ ist bislang allerdings nicht definiert. Derzeit werden hierzu vor allem Ersatzprodukte für konventionelle tierische Proteine gezählt. Zudem gehören auch neue Quellen etwa Pflanzen, Pilze, Insekten oder Einzeller zu den alternativen Proteinen, die pflanzliche Rohstoffe, etwa Sojabohnen oder Getreide, ersetzen.

Die Einführung neuer Lebensmittel in der EU kann den Anforderungen der Verordnung über neuartige Lebensmittel, der Novel Food-Verordnung (VO (EU) 2015/2283), unterliegen, wenn diese nicht in erheblichem Maße vor dem Jahr 1997 konsumiert wurden. Diese EU-einheitlichen Regelungen dienen einerseits dazu, ein hohes Niveau beim Gesundheitsschutz zu erreichen. Andererseits soll die Verordnung ein reibungsloses Funktionieren des Binnenmarkts ermöglichen. Daher müssen neuartige Lebensmittel einer gesundheitlichen Bewertung unterzogen und zugelassen werden, bevor sie in Verkehr gebracht werden dürfen.

1.1. Pflanzenbasierte Ersatzprodukte

Bislang werden mehr als 70 Prozent der verfügbaren Ackerflächen für die Produktion von Futtermitteln benötigt. Eine Steigerung der Futtermittelproduktion bei wachsendem Fleischverbrauch ist deshalb kaum mehr möglich, zumal für die Produktion von einem Kilogramm Fleisch deutlich höhere Mengen an Pflanzenproteinen benötigt werden. Deshalb plädieren einige Wissenschaftler dafür, den Konsum an Fleisch zu senken und die zur Verfügung stehenden Ackerflächen für die Produktion pflanzlicher Proteine direkt für die menschliche Ernährung zu nutzen.

Die ersten auf dem deutschen Markt verfügbaren pflanzlichen Alternativprodukte wurden auf Basis von Sojaprotein, z. B. Tofu oder Soja-Granulat, und Weizengluten (Seitan) hergestellt. Denn Soja- und Weizenproteine haben mehrere Vorteile: Sie haben gute physikalisch-chemische und sensorische Eigenschaften und sind stets auf dem Markt verfügbar. Sojaproteine und Weizengluten nehmen noch immer eine Hauptrolle unter den Proteinzutaten ein, jedoch drängen weitere Proteine auf den Markt.

Der Anteil an Soja in Futtermitteln kommt zwar vorrangig aus Südamerika, jedoch werden pflanzliche Ersatzprodukte mittlerweile großteils aus in Europa angebauten Sojabohnen hergestellt. Dennoch haben Verbraucher Vorbehalte gegenüber Soja, insbesondere wegen den negativen Umweltauswirkungen beim Anbau in Südamerika sowie dem möglichen Einsatz gentechnisch veränderter Organismen. Dies führt zu einer verstärkten Nachfrage nach anderen proteinreichen Rohstoffen. Hier hat sich vor allem Erbsenprotein, aber auch Reisprotein als Innovationstreiber in den letzten drei bis fünf Jahren erwiesen. Vor allem auch deshalb, weil beide Proteine nicht als Allergene auf den Endprodukten gekennzeichnet werden müssen. Dennoch wird auch weiterhin eine wachsende Nachfrage nach Soja, Erbsen und auch Lupinen erwartet, verstärkt aus regionalem Anbau, da diese derzeit die wichtigsten Rohstoffe bei der Herstellung von Fleischersatzprodukten sind.

Mehr Diversität

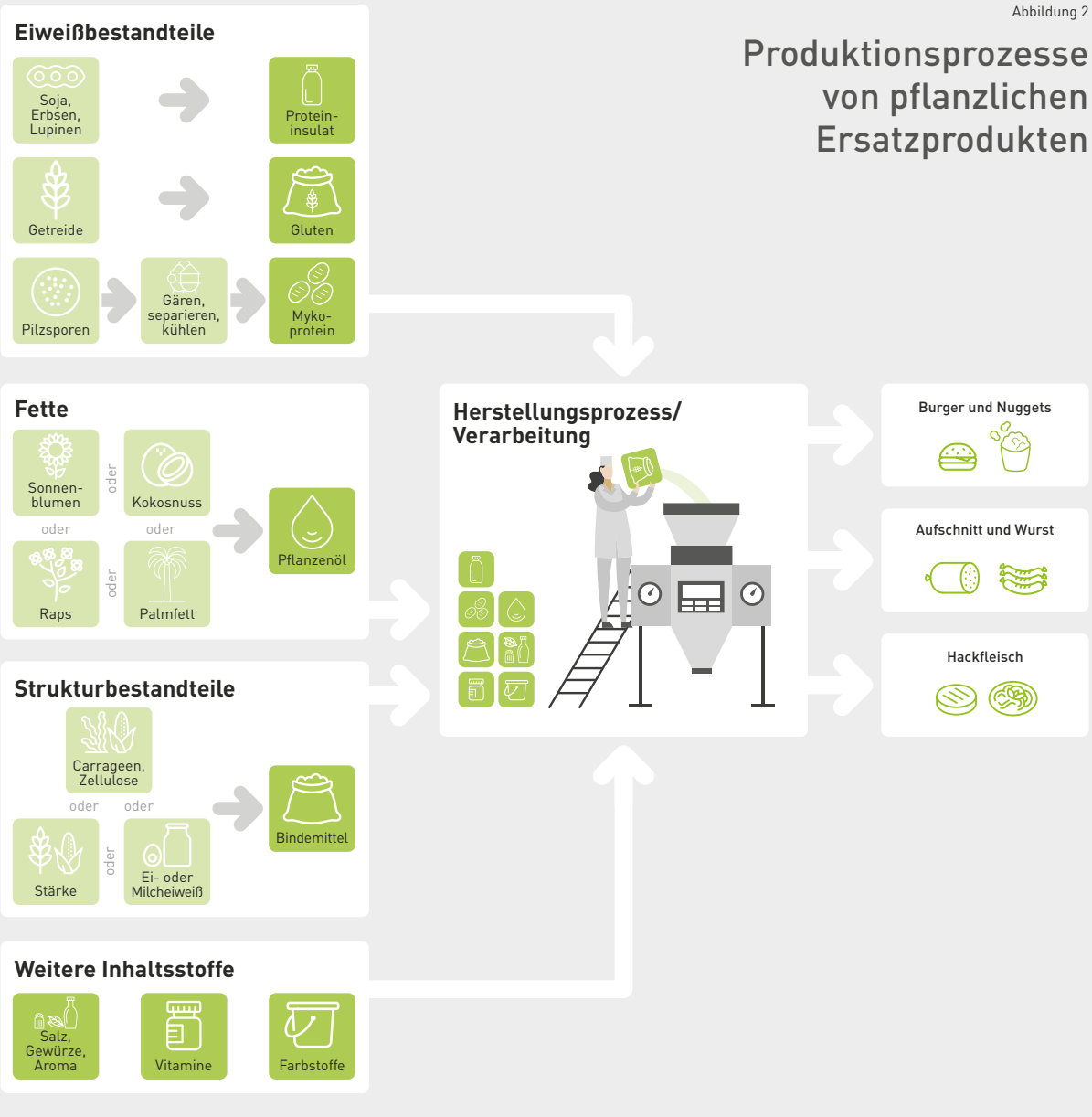
Aber auch andere Proteine, wie z.B. Ackerbohnenproteine oder Sonnenblumenproteine, werden folgen. Erste Versuche zeigen, dass auch das Eiweiß aus Gras hochwertig ist. Bei der Auswahl proteinreicher Rohstoffe muss jedoch beachtet werden, dass die Proteine in den jeweiligen Rohstoffen sehr unterschiedlich zugänglich sind. So können Speicherproteine aus Leguminosen deutlich einfacher aus den Rohstoffen gewonnen werden, als z.B. Proteine aus Algen oder Blättern und Gräsern. Dies ist auch ein Grund, dass insbesondere Leguminosen bei der Gewinnung von Proteinzutaten als Rohstoffe eingesetzt werden. Welche Proteinprodukte sich auf Dauer durchsetzen und welche Rohwaren verstärkt von der Lebensmittelindustrie nachgefragt werden, hängt von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Proteine ab: Ob sie gut löslich sind, ob sie Gele bilden, aber auch von ihrem Geschmack und ihrer Farbe, ihrer Verfügbarkeit sowie vom Preis.

Insgesamt werden den Rohstoffen für innovative Produkte im D-A-CH-Raum gute Wachstumschancen beigemessen. Eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen ist z.B. auch Ziel der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL. Insbesondere sollen die landwirtschaftlichen Netzwerke für Leguminosen ausgedehnt werden, denn neben landwirtschaftlicher Vorteile können Leguminosen auch als ganze Saat verzehrt werden und ein Kompromiss für verarbeitete Proteinprodukte sein. Allerdings werden Leguminosen teilweise immer noch als „Arme-Leute-Essen" bewertet. Hinzukommt, dass die Zubereitung von Leguminosen einen gewissen Aufwand mit sich bringt. Hier gilt es die Verbraucherakzeptanz und -Bildung zu stärken und über die gesundheitlichen Vorteile von Leguminosen aufzuklären.

Neben der zunehmenden Diversität an Proteinzutaten vergrößert sich auch das Spektrum der Produkte, in denen sie eingesetzt werden. So gibt es mittlerweile verschiedene pflanzliche Fleisch-, Milch-, Ei- und Fischersatzprodukte auf dem Markt und die Nachfrage nach diesen Produkten nimmt stetig zu. Der

Abbildung 2

Produktionsprozesse von pflanzlichen Ersatzprodukten



Umsatz an veganen und vegetarischen Lebensmitteln ist in Deutschland von 736 Millionen Euro in 2017 auf 1.219 Millionen im Jahr 2019 angestiegen.

Neue Technologien sind in der Entwicklung

Für die Produktion von pflanzlichen Fleischersatzprodukten wird eine Mischung aus Proteinen und weiteren Zutaten, wie etwa Fett, Hydrokolloide, Salz und Wasser verwendet. Diese Zutaten werden mit Hilfe der Trockenextrusion zu sogenanntem „Texturized Vegetable Protein" (TVP) verarbeitet. Das TVP wird anschließend getrocknet und mit weiteren Zutaten wie Methylcellulose, Vitaminen, Gewürzen, Salz sowie Aromen oder Geschmacksverstärkern zum Endprodukt verarbeitet. Alternativ können auch Produkte mit Hilfe der Nassextrusion gewonnen werden, die der Faserstruktur von Muskelfleisch näher kommen (s. Abbildung 2). Es werden derzeit noch weitere Verfahren entwickelt, wie z.B. die Scherzellentechnologie und der 3-D-Druck, mit denen die Faserstruktur von Fleisch besser imitiert werden kann. Es bedarf jedoch Zeit und Entwicklungsarbeit bis diese Technologien kosteneffizient auf industriellen Anlagen umgesetzt werden.

Der Markt boomt

Derzeit kann man einen deutlichen Anstieg bei Ausgründungen beobachten, die pflanzliche Alternativprodukte entwickeln. Burger von Impossible Foods oder Beyond Meat sind ausgiebig in den Medien besprochen worden. Aber auch große und bekannte Unternehmen sind am Markt für vegetarische Alter-

„Das Wichtigste ist: *Es muss schmecken!*“

Interviewfragen an **Frau Prof. Dr. Weisz**
Institut für Ernährungs- und Lebenmittelwissenschaften (IEL), Bonn

Wie sehen Sie den Markt der alternativen Proteinquellen ganz allgemein?

Zunächst vielleicht einmal kurz zur Begrifflichkeit der alternativen Proteinquellen. Eine wirkliche Definition für alternative Proteinquellen gibt es nicht und so muss man sich die Frage stellen „eine Alternative zu was“? Geht es darum Fleischprotein durch z.B. pflanzliche Proteine zu ersetzen oder auch pflanzliche Proteine durch „neuartige“ Proteine, wie z.B. Einzeller, Insekten- oder Pilzproteine oder geht es einfach nur darum der Weltbevölkerung ein möglichst breites Spektrum an Proteinquellen zur Verfügung zu stellen?

Was auch immer damit gemeint ist, Fakt ist, dass der Markt für alternative Proteinquellen rasant wächst und das Interesse von Seiten der Wirtschaft wie auch Wissenschaft an allen Themen rund um die alternativen Proteinquellen äußerst hoch ist. Gründe hierfür liegen unter anderem in einem höheren Bewusstsein und einer höheren Nachfrage von Seiten der Verbraucher nach nachhaltig erzeugten Lebensmitteln, aber auch von Regierungsseite her rücken vor dem Hintergrund der SDGs die Themenschwerpunkte „nachhaltige Landwirtschaft / nachhaltige Produktion von Lebensmitteln“ immer stärker in den Fokus.

Was wird sich aus Ihrer Sicht durchsetzen? Welche Auswirkungen wird dies auf die Landwirtschaft und Wirtschaft haben?

Welche alternativen Proteinquellen sich am Ende wirklich durchsetzen werden, bleibt abzuwarten. Wichtig dabei ist, dass die Proteinprodukte wirtschaftlich produziert werden und die Endprodukte einen Preis aufweisen, die von der breiten Masse und nicht nur von einer elitären Schicht bezahlt werden kann – zumal dann, wenn die Produkte mit Fleisch konkurrieren sollen! Das allerwichtigste Kriterium ist jedoch: *Es muss schmecken!* Nur wenn ein Produkt schmeckt, wird es wiedergekauft und kann so erfolgreich sein.

Was ist Ihre Einschätzung in Richtung Umwelt und Gesundheit?

Hier bedarf es weiterführender, vertiefter Studien, welche die verschiedenen Nachhaltigkeitskriterien quantitativ erfassen und dabei nicht nur die landwirtschaftliche Produktion mitberücksichtigen, sondern auch beispielsweise die hinter Proteinpräparaten steckenden Aufarbeitungsprozesse. Zudem sollten die Nachhaltigkeitsfaktoren mit verschiedenen Bezugsgrößen gerechnet werden, das heißt nicht nur auf kg Endprodukt oder kg Protein, sondern auch auf kg „verwertbarem Protein“. Nur dann kann eine richtige Einschätzung getroffen werden, wie eine zukünftig nachhaltige, aber auch effiziente Landwirtschaft aussehen kann.

nativen aktiv. Beispielhaft in Deutschland ist hier die Rügenwalder Mühle. Bereits 2015 schaffte die Rügenwalder Mühle als Neuling in diesem Marktsegment den Sprung auf den ersten Platz. Ihr mengenmäßiger Marktanteil bei vegetarischen Produkten lag bei rund 30 Prozent. Mittlerweile kann die Marke mit einem Marktanteil von fast 50 Prozent ihre Spitzenposition in diesem Segment behaupten. Laut einer Umfrage sind die drei bekanntesten Anbieter von Veggie-Produkten in Deutschland Alnatura (68 Prozent), Rügenwalder Mühle (67 Prozent) und Alpro (63 Prozent). Neben den verschiedenen Fleischersatzprodukten sind auch Alternativen zu Milch-, Ei-, und Fischprodukten vermehrt zu finden. So hat ein Marktcheck der Verbraucherzentrale im Jahr 2017 etwa folgende Produktgruppen an Ersatzprodukten untersucht: Frikadellen, Nuggets, Schnitzel, Steaks, Geschnetzeltes, Bratwurst, Wieder, Lyoner, Mortadella, Salami, Bierschinken, Joghurt, Frischkäse, Quark und Eis. In aktuelleren Marktanalysen werden zudem weitere vegane und vegetarische Produkte aufgelistet: Fleischsalat, Leberwurst, Fischstäbchen, Fischburger sowie verschiedene Käsesorten wie Scheibenkäse, Mozzarella, Feta, Camembert oder Parmesan.

1.2. Insektenproteine

Insekten stehen weltweit in vielen Kulturen seit Jahrhunderten auf dem Speiseplan. Vor allem in Afrika, Lateinamerika und Teilen Asiens sind sie auch heute noch Nahrungsmittel für rund zwei Milliarden Menschen. Im Jahr 2013 hat die Welternährungsorganisation FAO dazu aufgerufen, mehr Insekten zu essen, auch in westlichen Ländern, wo dies nicht oder nicht mehr üblich ist. Der Grund: Insekten gelten als nährstoffreich. Zudem werden Insekten als das tierische Lebensmittel gehandelt, das mit dem geringsten Ressourcenverbrauch produziert werden kann. Laut FAO gibt es mehr als 1.900 essbare Insektenarten, bekannt sind etwa Seidenraupen-Puppen (*Bombyx Mori pupae*), Mehlwürmer (*T. molitor* und *Zophobas morio*), die Schwarze Soldatenfliege (*H. illucens*) sowie Grillen (*Gryllus bimaculatus*). Das Essen von Insekten wird als „Entomophagie" bezeichnet.

Markt

Traditionellerweise werden Insekten wild gesammelt. In Asien werden aber beispielsweise Heuschrecken auch in Kleinfarmen produziert. Was die industrielle Insektenzucht betrifft, steigt weltweit nicht nur die Anzahl, sondern auch die Produktionskapazitäten der Unternehmen. Vor allem in Kanada gibt es mehrere Produktionsanlagen, die insgesamt bis zu 250 Tonnen Insekten jährlich produzieren können. Aber auch in Europa existieren industrielle Farmen für Insekten: So baut etwa das Unternehmen „Ynsect", das 320 Millionen Euro akquiriert hat, die größte Mehlwurmfarm der Welt in Frankreich. Die Zulassung von ersten Insekten als Lebensmittel durch die EU im Januar 2021 erhöht auch in Deutschland die Investitionen in die industrielle Produktion. 14 weitere Zulassungsverfahren für Insekten als neuartige Lebensmittel sind anhängig.

Der Markt für Insektenproteine wächst weltweit, wird aber auch diverser. So finden sich auf dem Markt immer mehr Produkte, in denen Bestandteile von Insekten wie Proteine, Lipide und Chitin verarbeitet wurden. Ein Marktcheck der Verbraucherzentrale aus dem Jahr 2020 zeigt, dass bereits viele Produkte auf dem deutschen Markt sind, wie etwa Insektenpasta oder -riegel. Bei einer Befragung von Verbrauchern und Experten erwartete die Mehrheit eine Zulassung von Insekten in Deutschland zur Lebensmittelproduktion in spätestens zehn Jahren. Sie erwarten aber auch, dass Insektenprotein kein ernstzunehmendes Konkurrenzprodukt zu Lebensmitteln allgemein und bei Milch oder Geflügel im Besonderen sein wird. „Gezüchtete Insekten für den Verzehr sind und bleiben also aller Voraussicht nach ein Nischenprodukt", sagt Prof. Alexander Vilcinskas von der Justus-Liebig-Universität Gießen. Auch auf Insektenprotein basierende Patties für Burger seien bei großen Supermarktketten wieder aus den Regalen verschwunden, weil sie die Kunden geschmacklich nicht überzeugen konnten. Vor allem die Sichtbarkeit ganzer Insekten erzeugt beim westlichen Verbraucher Abneigung und Ekel. Für isolierte Proteine, die aus industriell gezüchteten Insekten für die Herstellung von Lebens- und Futtermitteln gewonnen wurden, gibt es aber einen wachsenden Markt.

Produktionsprozess

„Schlachtreife" Tiere werden durch Hitze oder Kälte getötet und als Ganzes vermahlen oder zu einer Paste verarbeitet (s. Abbildung 3). Die Verarbeitungseigenschaften von Insekten für die Produktion, insbesondere von Insektenproteinen oder -mehl, werden als gut angesehen. Noch kann mit Insekten produziertes Protein in Deutschland nicht mit Import-Soja konkurrieren. „Es ist jedoch zu erwarten, dass die kommende CO_2-Bepreisung von Produkten alternative Produktionssysteme rentabel macht und zu einer Steigerung des Anteils von Insektenproteinen in Futter- und Lebensmitteln führt", sagt Vilcinskas. Einige Experten sind zwar kritisch, was die Produktion betrifft: Tierschutzfragen und Sicherheit seien bisher zu wenig geklärt. Dennoch gelten Insekten insgesamt betrachtet als sicheres Lebensmittel. Zum Thema Tierwohl wird mehr Forschung angemahnt.

Abbildung 3

Produktionsprozess von Insekten

Insekten sind reich an Proteinen, Fetten und weiteren Nährstoffen. In Deutschland werden sie als „Novel Food" behandelt und unterliegen EU-weit einheitlichen Regelungen, um ein hohes Niveau beim Schutz der Gesundheit des Menschen zu erreichen und ein reibungsloses Funktionieren des Binnenmarktes zu ermöglichen.

1.3. In-vitro-Fleisch

In-vitro-Fleisch ist Fleisch, das im Labor, genauer in Zellkulturen produziert wird. Im Gegensatz zu pflanzlichen oder mikrobiellen Ersatzprodukten handelt es sich hier „annähernd" um natürliches Fleischgewebe. Es besteht im Wesentlichen aus Muskel- und Fettgewebszellen, während in natürlichem Fleisch auch noch andere Zelltypen stecken. Derzeit wird In-vitro-Fleisch hauptsächlich aus Zellkulturen von Rind, Schwein oder Huhn gewonnen, jedoch gibt es auch Forschungsanstrengungen, um jede andere Fleischvarietät und um Fischfleisch in vitro zu erzeugen. In diesem Kapitel wird summarisch der Begriff „In-vitro-Fleisch" verwendet. Desweiteren gibt es Versuche, Eier, Meeresfrüchte, Kaviar, Insektenfleisch aber auch pflanzliche Produkte wie Stärke unter Verwendung von Kohlendioxid im Reagenzglas herzustellen – Stichwort: „Zelluläre Landwirtschaft".

Produktion

Bei den derzeitigen Methoden der In-vitro-Fleischzüchtung verwenden Wissenschaftler Stammzellen aus einer Muskelbiopsie, die dem Tier der Wahl entnommen wurden. Die Biopsie verläuft ohne Schmerzen für die Tiere. Diese Zellen werden in einem nährstoffreichen Medium zur Vermehrung und danach zur Differenzierung gebracht (s. Abbildung 4). Schätzungen gehen davon aus, dass bis zu zehn Zellen unter idealen Bedingungen in großen Bioreaktoren 50 Tonnen Fleisch produzieren könnten. Laut dem Unternehmen Mosa Meat aus den Niederlanden könnte eine Herde von 150 Rindern den globalen Bedarf an Rindfleisch abdecken.

Wissenschaftler in Forschungseinrichtungen und Unternehmen arbeiten weltweit an der Entwicklung von In-vitro-Fleisch, vor allem in den USA, Israel und den Niederlanden. In Deutschland beteiligen sich zum derzeitigen Stand fünf Unternehmen. Dazu zählen Planetary Foods, Innocent Meat, Alife Foods und Peace of Meat. Eine deutsche Firma, Bluu Biosciences, züchtet zudem Fischfleisch. Unternehmen wie Bayer, Merck und PHW, der Mutterkonzern des Fleischherstellers Wiesenhof, investieren in die In-vitro-Fleisch-Herstellung.

Wachstumsprognosen

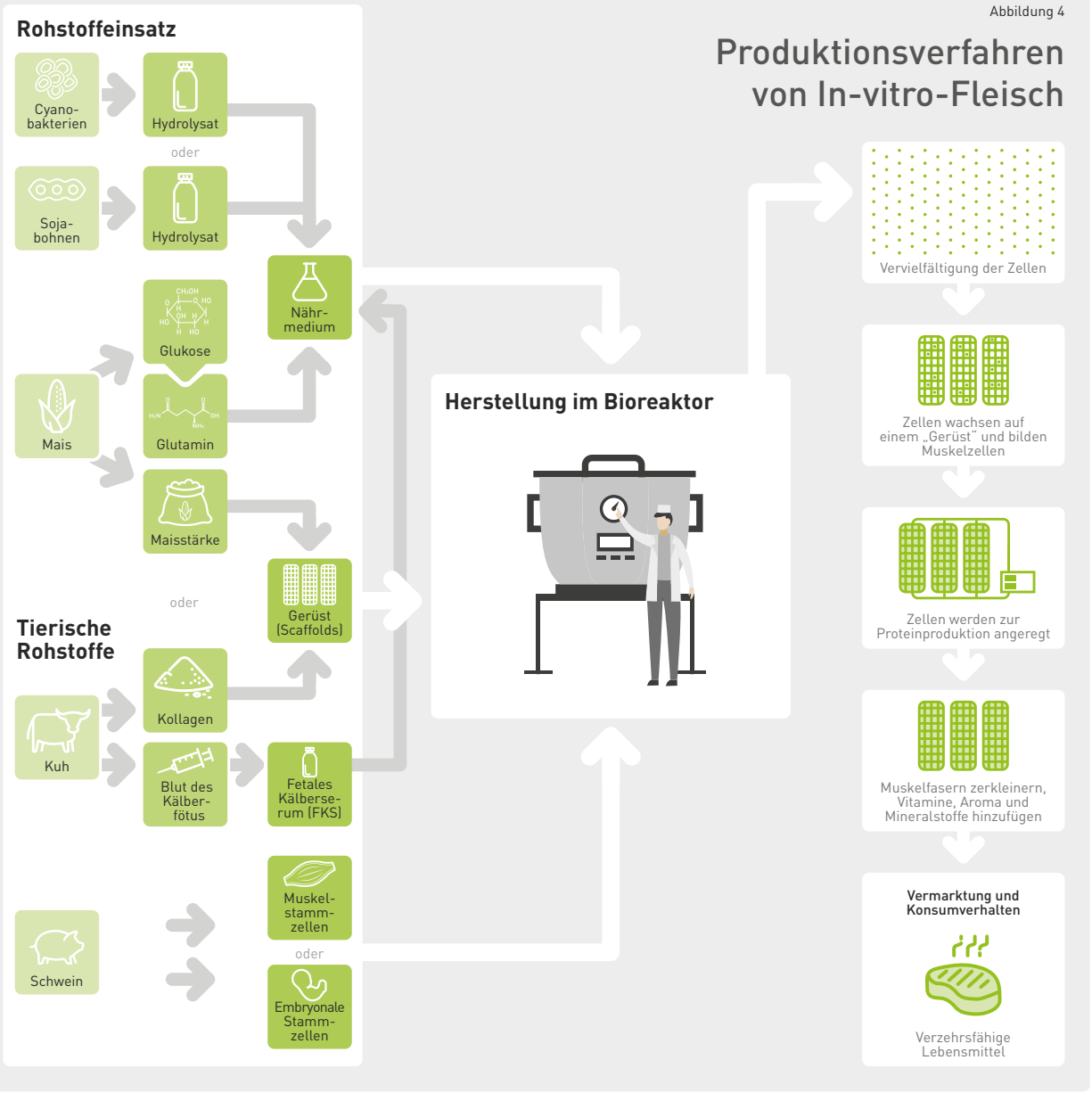
In-vitro-Fleisch wird mit anderen Fleischersatzprodukten konkurrieren, die bereits auf dem Markt sind und von den Verbrauchern bisher besser akzeptiert werden, wie etwa Produkte auf pflanzlicher Basis. Das Marktforschungsunternehmen Kearney prognostiziert dennoch bis 2040 auf globaler Ebene eine Abnahme des Anteils von konventionellem Fleisch auf 40 Prozent des Gesamtumsatzes sowie gleichzeitig eine Zunahme von In-vitro-Fleisch auf 35 Prozent und von pflanzlichen Fleischersatzprodukten auf 25 Prozent. „Vermutlich werden sich zunächst hybride Produkte durchsetzen, die aus In-vitro-Fleisch sowie pflanzlichen Zutaten bestehen", sagt Prof. em. Hannelore Daniel von der Technischen Universität München.

Hürden in der Produktion

Es gibt noch einige substanzielle Hindernisse bei der Produktion von Laborfleisch zu überwinden. So ist etwa die Herstellung von großen Zellmengen, wie sie etwa für einen Hamburger-Pattie gebraucht würden, noch immer schwierig. Darüber hinaus werden Wachstumsfaktoren benötigt, um das bislang genutzte fötale Kälberserum (FCS) zu ersetzen, das aus Tierwohlgründen umstritten ist. Dieses wird nun einerseits durch Wachstumsfaktoren ersetzt, die biotechnologisch in Bakterien, Pflanzen oder Hefen erzeugt wurden und darum ebenso kostspielig sind wie FCS. Zudem müssen Aminosäuren, Vitamine, Mengen- und Spurenelemente sowie Lipide dem Medium zugesetzt werden. Auch diese müssen steril sein und sind meist biotechnologisch erzeugt. Derzeit liegen die Produktionskosten für einen Hamburger bei etwa 4.000 Euro. Diese vergleichsweise hohen Summen sind derzeit nicht wettbewerbsfähig, werden in Zukunft aber sinken: Das Unternehmen Mosa Meat teilte kürzlich mit, dass ihre Burger in absehbarer

Abbildung 4

Produktionsverfahren von In-vitro-Fleisch



Zukunft etwa 10 Dollar (8,90 Euro) pro Stück kosten würden – 2025 sollen sie so viel wie der günstigste konventionelle Fleischburger auf dem Markt kosten.

Wenn fleischartige Strukturen wie Steak erzeugt werden sollen und nicht nur einzelne Fasern, muss man die Zellen auf essbaren Stützstrukturen, so genannten „Scaffolds", kultivieren, für die noch brauchbare Materialien gefunden werden müssen. Alternativ werden zunehmend auch mittels 3-D-Drucker Modellprodukte entwickelt, die unter Verwendung anderer Zellarten natürlich anmutende fleischartige Strukturen ergeben. Allerdings sind die verfügbaren Drucker für den großtechnischen Einsatz noch nicht geeignet.

Gesetzgeberische Hürden in der EU

In Europa fällt In-vitro-Fleisch unter die Novel Food-Verordnung – und auch unter die Verordnungen (EG) 1829/2003 und 1830/2003, wenn gentechnisch veränderte Zellen verwendet werden. Eine Marktzulassung in der EU braucht wahrscheinlich noch Jahre. In Singapur ist Hähnchenfleisch aus dem Labor der kalifornischen Firma Eat Just seit Ende 2020 zugelassen. 2017 soll das Unternehmen laut „Handelsblatt" bereits in den Niederlanden nach einer Zulassung gefragt, diese dann aber wieder zurückgezogen haben. Dennoch fördert die EU etwa im Forschungsprogramm Horizon 2020 auch Projekte wie „Meat4all", die sich mit der Entwicklung und Erforschung von Laborfleisch befassen.

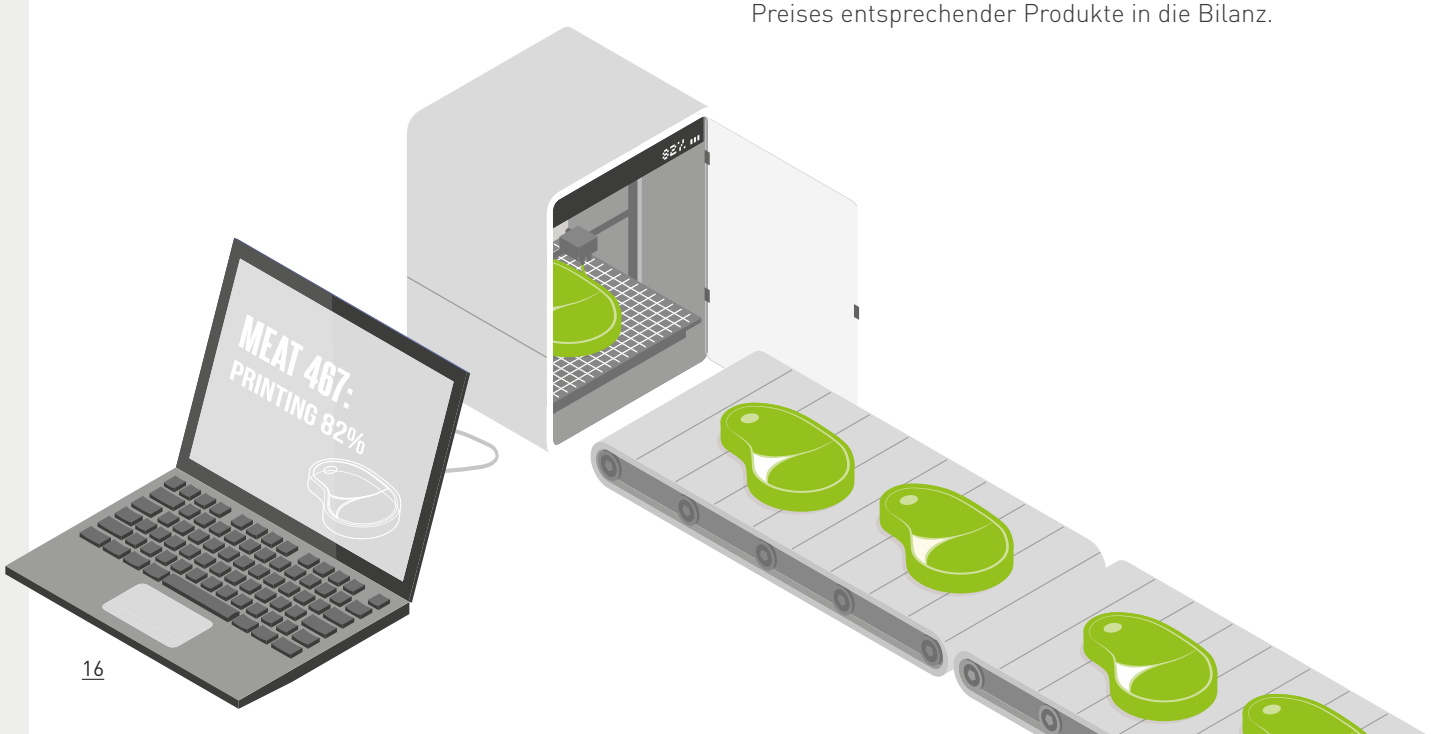
„Gegenwärtig fließen enorme Mengen an Risikokapital in Unternehmen, die sich der Erzeugung von In-vitro-Fleisch verschrieben haben.“

Interviewfragen an **Frau Prof. Dr. Hannelore Daniel**
Ehemalige Professorin an der Technischen Universität München

Würden Sie persönlich In-vitro-Fleisch essen oder haben Sie es schon mal probiert?
Ich würde Fleisch aus der Zellkultur ohne Bedenken verzehren. Leider hatte ich dazu noch keine Möglichkeit, zumal es weltweit bisher auch nur in Singapur ein Produkt gibt, das zugelassen ist, dort aber auch nur in einem Privatclub angeboten wird. Hierbei handelt es sich um ein Chicken-Nugget, was zu ca. 70 Prozent aus Huhn aus der Zellkultur besteht. Vermutlich sind jedoch diese frühen Produkte – ähnlich wie der erste von Mark Post aus Maastricht erzeugte Burger aus Zellkulturfleisch vom Rind – sensorisch auch noch nicht die Highlights, so dass hier wohl die Neugierde über dem Genuss steht.

Wie sehen Sie die Zukunft von In-vitro-Fleisch? Und wo liegen die Vor- bzw. Nachteile von Laborfleisch?
Auch wenn gegenwärtig wieder enorme Mengen an Risikokapital in die Unternehmen fliessen, die sich der Erzeugung solcher Fleisch- und Fischqualitäten verschrieben haben, so stehen der Produktion und dem Inverkehrbringen noch große Hürden entgegen. Dies betrifft sowohl biologische Begrenzungen in der Dimensionierung der Zellkulturen als auch dem Anlagenbau und natürlich auch dem Rechtsrahmen, dem die Produkte bei der Zulassung unterliegen. Längerfristig bleiben auch die Kosten für die Kulturmedien kritische Größen, die letztlich auch die Marktpreise maßgeblich bestimmen werden. Hier liegen die Probleme und Kosten einmal bei den Wachstums- und Differenzierungsfaktoren, die zum Ersatz von fötalem Kälberserum eingesetzt und wohl überwiegend rekombinant erzeugt werden müssen, als auch bei den Kosten der essentiellen Nährstoffe, allen voran der Aminosäuren.

Auch bei der Strukturierung der Produkte, sei es unter Hilfe von sog. Scaffolds (essbare Trägerstrukturen) oder mittels 3-D-Druck sind der Dimensionierung für reale Märkte noch enge Grenzen gesetzt. Von den Protagonisten der Technologien werden neben dem Tierwohl und dem geringen Landverbrauch vor allem auch die Vorteile für die Umwelt (u.a. klimawirksame Emissionen etc.) ausgelobt, doch sind hierfür belastbare Zahlen praktisch nicht verfügbar. Hier schreiben wir wohl die Hoffnung gegenüber dem auf absehbare Zeit sicherlich deutlich höheren Preises entsprechender Produkte in die Bilanz.



1.4. Mikrobielle Proteine

In der wissenschaftlichen Literatur werden Proteine aus Pilzen, Bakterien, Hefen und Mikroalgen zu den mikrobiellen Proteinen (auch „single cell protein" oder Mikrobenproteine) gezählt.

Mykoproteine

Mykoproteine sind Eiweiße aus Pilzen, „myco" ist das griechische Wort für „Pilz". Es handelt sich bei Mykoproteinen einerseits um für den Menschen ungefährliche Schimmelpilze und andererseits um essbare und teilweise bereits verzehrsübliche Ständerpilze, die in Nährlösungen Myzel, also Pilzfäden, bilden.

Markt

Die international vertriebene Marke QuornTM ist das bekannteste Beispiel für aus Mykoprotein produzierte Lebensmittel. Dieses Produkt kam bereits 1985 in England auf den Markt, in Deutschland wurde es 2012 eingeführt. QuornTM Mykoprotein enthält etwa 15 Gramm Protein pro 100 Gramm und ist fettarm und reich an Ballaststoffen. Industriell werden die QuornTM-Produkte aus Myzel des Schimmelpilzes *Fusarium venenatum* in Biotanks hergestellt. Pilze sind so genannte heterotrophe Organismen, das heißt, sie brauchen eine Kohlenstoffquelle zum Wachsen, aber kein Licht. Nach der Fermentation wird das Myzel meist mit Eiklar und Kartoffelextrakten versetzt, um eine fleischartige Textur zu erreichen. Derzeit sind die klassischen Fleischersatzprodukte wie Schnitzel, Hackfleisch oder Nuggets aus Mykoprotein im Handel erhältlich.

Im Jahr 2015 belief sich die Mykoproteinproduktion auf 25.000 Tonnen Trockenmasse pro Jahr, mit einem weltweiten Marktwert von etwa 214 Millionen Euro, wobei die Produkte hauptsächlich in den USA und Europa vertrieben werden. Der in Deutschland erzielte Umsatz mit Fleischersatzprodukten auf Pilz- und Algenbasis betrug laut Statista im Jahr 2017 4,8 Prozent am Gesamtumsatz mit Fleischersatzprodukten und stieg 2019 auf 7,5 Prozent an. Dies deutet auf einen wachsenden Markt hin, der weltweit nach Schätzungen in den kommenden Jahren um 20 Prozent jährlich zulegen könnte. Derzeit laufen verschiedene Zulassungsverfahren für Mykoproteine gemäß der Novel Food-Verordnung.

Hohe Herstellungskosten

Die Ausweitung auf andere Märkte wird entscheidend von der Senkung der Produktionskosten abhängen. Zwar handelt sich es bei den Rohstoffen für Fleischersatzprodukte auf Basis von Pilzen in der Regel um kohlenhydratreiche Medien, etwa aus Traubenzucker oder Malzextrakt, die weniger kostspielig sind als Rohstoffe für die klassische Fleischproduktion. Allerdings sind die Produktionskosten insgesamt und damit auch die Verkaufspreise momentan noch höher. Dies liegt einerseits daran, dass das Pilzgeflecht ein energieintensives Extrusionsverfahren durchlaufen muss, um die faserige Textur von Muskelfleisch zu erhalten. Andererseits ist auch die Fermentation mit einem hohen Steuer- und Regelbedarf und dadurch hohem Energieaufwand verbunden.

Ein Ersatz von Molkereiprodukten durch Mykoproteine bietet sich aufgrund der Textur und anderer sensorischer Eigenschaften nicht an und es wurden bisher auch keine Untersuchungen dazu veröffentlicht. Der Zusatz von Mykoproteinen in verarbeiteten Lebensmitteln ist jedoch möglich. So gibt es etwa am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) Anstrengungen, Snackprodukte, Teigwaren, Getränke, faserreiche Snacks, vegane Salami und veganes Jerky sowie proteinreiche Cracker für die Sportlerernährung aus Pilzmyzel zu entwickeln.

Mikrobenprotein aus Bakterien und Hefen

Produktion

Es benötigt eine gewisse Zeit bis Nutztiere aufgezogen sind und Pflanzen geerntet werden können. Mikroben wie Bakterien und Hefen hingegen verdoppeln ihre Biomasse innerhalb von Stunden, was ein Zeitvorteil für die Produktion bedeutet. Dagegen verdoppeln Mikroben wie Bakterien und Hefen ihre Biomasse innerhalb von Stunden. Mikroben können im Gegensatz zu höheren Pflanzen zudem Stickstoff in Proteine mit einer Effizienz von nahezu 100 Prozent umwandeln. Bakterielle Biomasse kann durch so genannte „autotrophe" Systeme unter der Nutzung von Kohlendioxid und Licht oder chemische Energie im Bioreaktor erzeugt werden. Sogenannte „heterotrophe" Bakterien nutzen hingegen andere Kohlenstoffquellen wie etwa Essigsäure, Methanol, Methan oder Ameisensäure.

Die in der „zellulären Landwirtschaft" erzeugte Biomasse kann geerntet und zu Lebensmitteln verarbeitet werden, ohne die Mikrobenzellen selber zu verwenden. Bei einem anderen Verfahren werden Proteine aus den Mikrobenzellen extrahiert, um ein reines Proteinisolat herzustellen. Durch die Extraktion kann es zu Veränderungen des Nährstoffgehalts kommen. Durch Kombination unterschiedlicher Bakterienstämme lässt sich jedoch der Proteingehalt erhöhen und ein günstigeres Aminosäure- und Fettsäureprofil erzeugen.

Mikrobenproteine können unter Umständen als neuartige Lebensmittel betrachtet werden. Einige Bakterien- und Hefekulturen, die für die Herstellung von oder als Lebensmittel verwendet werden, sind in der EU bereits als neuartige Lebensmittel zugelassen.

Ein mögliches Beispiel für ein neuartiges, von Bakterien produziertes mikrobielles, Proteinprodukt ist Solein, ein proteinreiches Pulver, das von der finnischen Firma „Solar Foods" hergestellt wird. Das Produkt ist noch nicht auf dem Markt, jedoch hat das Unternehmen im November 2021 eine Zulassung als neuartiges Lebensmittel beantragt. Eine kommerzielle Produktion soll in der ersten Hälfte des Jahres 2023 starten. Theoretisch könnte das Protein-Pulver in Zukunft bei der Herstellung etwa von Proteinshakes, Joghurt, Brot oder Gebäck eingesetzt werden. Aber auch als Nahrungsergänzungsmittel könnte es eine Zukunft haben.

Einsatz in Lebens- und Futtermitteln

Die meisten Unternehmen, die mikrobielles Protein mit Hilfe biotechnologischer Verfahren herstellen oder in die Produktion involviert sind, haben ihren Sitz in den USA, Großbritannien, Japan und China. Die geschätzte Hefeproduktion belief sich 2016 auf 3.000.000 Tonnen Trockenmasse pro Jahr – für verschiedene Verwendungszwecke, etwa als Bäckerhefe und für die Alkoholerzeugung. Hingegen betrug das Produktionsvolumen der mikrobiellen Proteine für Futtermittel 90.000 Tonnen Trockenmasse pro Jahr.

Konventionelle Futtermittel, wie Sojaschrot und Fischmehl, könnten durch mikrobielles Protein ersetzt werden. Gegenwärtig ist dies jedoch nur eine Marktnische. Vor allem in Vietnam wird die mikrobielle Fischmehlalternative von der Aquakulturindustrie nachgefragt. Zudem wächst dort das Bewusstsein der Verbraucher für die gesundheitlichen Vorteile von mikrobiellem Protein, daher wird Vietnam voraussichtlich auch das Land mit dem höchsten Wachstumspotenzial für mikrobielle Proteine als Futter- und Lebensmittel sein. Derzeit werden mikrobielle Proteine aber vor allem als Tierfutter, auch für Haustiere verwendet, weniger für den menschlichen Verzehr.

Wer produziert mikrobielles Protein?

Mikrobielles Protein wird sowohl von etablierten Lebensmittelherstellern als auch von Start-ups produziert. Die Start-ups „Superbrewed Food" sowie „Nature's Fynd" arbeiten in den USA etwa an Käse- und Fleischersatz. Große Player, wie Danone, Kellog's, Kraft Heinz und Mars, investieren viel Kapital in Tech-Unternehmen, die mikrobielles Protein herstellen.

Key Player auf dem Futtermittelmarkt expandieren in neue und potenzielle Regionen, um die Marktpräsenz zu erhöhen und den Aquakulturmarkt in China, Indien, Indonesien, Vietnam und Bangladesch verstärkt zu durchdringen. Für ein Scale-up müssen die

Weiter auf Seite 18 →

„Jetzt ist der Zeitpunkt, alternative Proteinquellen in Form ansprechender Produkten einzuführen.“

Interviewfragen an **Frau Dr. Isabel Muranyi**
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising – Abteilung Verfahrensentwicklung Lebensmittel

Wie sehen Sie den Markt der alternativen Proteinquellen ganz allgemein? Was wird sich aus Ihrer Sicht durchsetzen?

Insgesamt denke ich, dass der asiatische Raum offener für die Einführung alternativer Proteinquellen ist. Insbesondere der Marktanstieg alternativer Proteinquellen in Europa des letzten Jahres spiegelt jedoch wider, dass jetzt genau der richtige Zeitpunkt gekommen ist, alternative Proteinquellen in Form von ansprechenden Produkten auch hierzulande einzuführen. Der nach wie vor sehr beliebte Konsum von Fleisch, Fisch und tierischen Produkten spiegelt die Bedürfnisse der sogenannten „Reducer“ wider. Ich denke ein Großteil der Konsumenten möchte nicht komplett auf ihren gewohnten Verzehr tierischer Produkte verzichten, ist aber durchaus bereit dazu, aus Gründen der Nachhaltigkeit und Gesundheit, den Konsum tierischer Lebensmittel deutlich zu reduzieren. Aus meiner Sicht werden sich deshalb insbesondere originalnahe Ersatzprodukte (Analoga), Hybridprodukte (teils tierisch, teils alternativ zusammengesetzt) und Proteinpulver zum Beimengen in diverse Speisen durchsetzen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn diese Produkte nur sehr kurze Zutatenlisten aufweisen, frei von Geschmacks- und Konservierungsstoffen sind und die Verpackungen frei von Insektenbildern sind. Stattdessen werden die ernährungsphysiologischen Vorteile und Nachhaltigkeitsaspekte alternativer Proteinquellen hervorgehoben und detailliert beschrieben.

Was ist Ihre Einschätzung in Richtung Umwelt und Gesundheit?

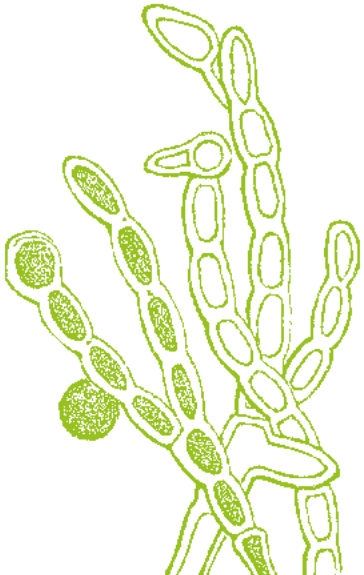
Umweltaspekt Mit der Wahl alternativer Proteinquellen unterstützt der Konsument das Einsparen klimaschädlicher Treibhausgase, welche insbesondere bei der Tierzucht entstehen. Viele Produktionsverfahren der alternativen Proteinquellen weisen jedoch noch Optimierungspotenzial hinsichtlich der Nachhaltigkeitspotentiale (z.B. Nutzung geeigneter Restströme für die Herstellung / Nutzung anfallender Restströme für weitere Anwendungen, Maschinenbetrieb mittels erneuerbarer Energie) und der Herstellungskosten auf. Diese sollten weiterverfolgt werden und könnten insbesondere bei der Skalierung der Produktionsvolumina effizienzorientierte Ergebnisse erzielen.

Gesundheitsaspekt Vorbehalte hinsichtlich gesundheitlicher Aspekte gibt es insbesondere bezüglich der Sicherheit der neuen Proteinquellen (z.B. frei von Pestiziden, Purinen, Toxinen), dem allergenen Potenzial und auch der ernährungsphysiologischen Qualität im Vergleich zu tierischen Proteinquellen. Hiervon sollte die Sicherheit der neuen Proteinquellen an oberster Stelle stehen, welche vor der Markteinführung unbedingt unabhängig und mehrfach bestätigt worden sein sollte. Beide letzteren Aspekte sind zum jetzigen Zeitpunkt schwer abzuschätzen. Jedes über die Nahrung zugeführte Protein kann theoretisch eine allergische Reaktion hervorrufen, die Ursachen dafür sind noch weitestgehend ungeklärt. Mit Sicherheit spielt die Differenzierung des Immunsystems hier eine wichtige Rolle. Heutzutage wird eine stark ertragsoptimierte Landwirtschaft betrieben und deutlich weniger Sortenvielfalt angeboten als noch vor 100 Jahren. Ich sehe es als große Chance an, dem Menschen eine breitere Vielfalt an Rohstoffen und Proteinquellen zur Verfügung zu stellen und damit das eigene Immunsystem auf verschiedenste Proteinstrukturen „vorzubereiten“. Bei der ernährungsphysiologischen Qualität eines Produkts spielt die biologische Wertigkeit eine wichtige Rolle. Für ein ausgewogenes Gleichgewicht der essenziellen Aminosäuren wird es von Vorteil sein, sich ergänzende alternative Proteinquellen mit unterschiedlichen limitierenden Aminosäuren geschickt zu kombinieren und dadurch auf eine maximale biologische Wertigkeit der Produkte zu kommen. Darüber hinaus stufe ich den Verzehr alternativer Proteinquellen als zielführend ein, um die Verbreitung immer häufiger werdender Volkserkrankungen entgegenzusteuern. Alternative Proteinquellen sind i.d.R. arm an Cholesterin und zeigen oftmals eine bessere Fettsäureverteilung als tierische Proteinquellen. Dadurch kann das Risiko der Entstehung von Übergewicht, Diabetes, Herzinfarkt und Darmkrebs verringert werden.

Hersteller jedoch kostengünstigere und effizientere Produktionssysteme entwickeln. Entwicklungen in der Biomasseverarbeitung, Gen-Editierungsmethoden und die Entdeckung neuartiger Produktionsorganismen beschleunigen die Forschung und das Geschäft in diesem Bereich.

Mikroben als Mini-Factory

Es gibt eine weitere Möglichkeit, Mikroben für die Herstellung alternativer Proteine zu nutzen. Und zwar indem man Bakterien und Hefen dazu bringt, tierische Proteine wie Kasein oder Molkeproteine zu produzieren. Trotzdem wäre diese mikrobielle „Milch" vegan. Es gibt derzeit ein Start-up in Deutschland, das sich diesem Thema widmet: „Legendairy Foods". Es ist jedoch fraglich, ob entsprechende Produkte unter die Novel Food-Verordnung fallen werden und damit einen langen Zulassungsprozess durchlaufen müssten. In den USA entwickelt das Start-up „Perfect Day" ebenfalls Milchprodukte. Das Unternehmen hat im Jahr 2019 tierfreies Speiseeis auf den US-Markt gebracht. Das ebenfalls in USA ansässige Start-up „Clara foods" arbeitet an Ei-Ersatz.



Mikroalgen

Mikroalgen sind mikroskopisch kleine, einzellige Organismen. In Gruppen zusammengelagert sind sie aber auch mit bloßem Auge sichtbar. Zu den Mikroalgen zählen Grün- und Kieselalgen. Die bekanntesten Mikroalgen sind *Chlorella* und *Arthrospira* (z.B. Chlorella), wobei es sich bei *Arthrospira* streng genommen um ein Cyanobakterium handelt.

Markt und Produktion

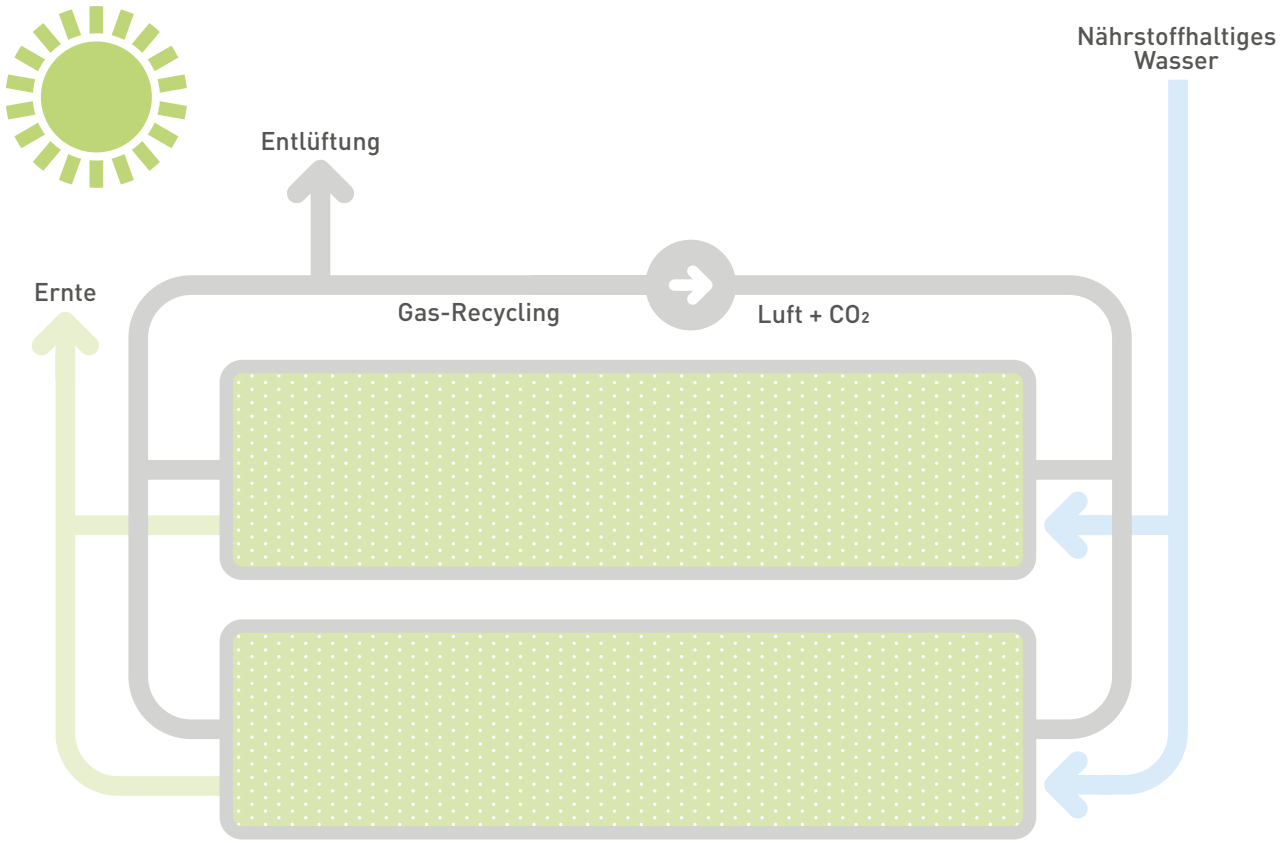
Mikroalgen sind wie Bakterien entweder autotroph, das heißt, sie bilden mittels Photosynthese organische Verbindungen aus Sonnenlicht und CO_2. Andere Mikroalgen sind heterotroph, sie benötigen organische Verbindungen für ihr Wachstum, wobei manche auch beide Fähigkeiten haben. Sie werden in der Pharma-, Kosmetik und Lebensmittelindustrie eingesetzt. Auch ihr Potenzial zur Biokraftstoffproduktion wird diskutiert. Im Lebensmittelbereich dienen sie bisher hauptsächlich als Zutat von Nahrungsergänzungsmitteln in Form von Pulvern, Kapseln und Tabletten. Aber sie kommen auch in Lebensmitteln wie Nudeln, Smoothies, Softdrinks, Schokolade und Eis zum Einsatz. In den USA sind sie auch für Säuglingsnahrung zugelassen.

Aus Mikroalgen werden Öle hergestellt, die reich an den lebenswichtigen, langkettigen, mehrfach ungesättigten Fettsäuren DHA und EPA sind (Omega-3-Fettsäuren), die auch in fettem Fisch enthalten sind. Daneben werden auch Proteine aus Mikroalgen produziert, die wegen hohem Preis, Mangel an effizienten Verarbeitungsprozessen und „unangenehmem" Geschmack aber derzeit keinen breiten Einsatz finden. Zudem können Mikroalgen samt Cyanobakterien für die kommerzielle Produktion von weiteren Biomolekülen wie Pigmenten, etwa Chlorophyll und Carotinoide, Kohlenhydraten, z. B Carrageen und Alginat, aber auch Vitaminen und Enzymen genutzt werden.

Das globale Marktvolumen von Mikroalgenprodukten lag 2018 bei 9,9 Milliarden US-Dollar. Bei einer vorhergesagten jährlichen Wachstumsrate von mehr als sieben Prozent könnte 2024 ein Marktvolumen von 14,9 Milliarden US-Dollar erreicht werden. Große Produktionsanlagen befinden sich z. B. in Israel, USA, Australien und China. In Deutschland produzieren mindestens 13 Anlagen Mikroalgen.

Abbildung 5

Mikroalgenproduktion in einem Photobioreaktor



Herausforderungen

Bisher werden nur wenige der über 200.000 Mikroalgenspezies in Lebensmitteln eingesetzt. Das liegt daran, dass die Verwendung als Lebensmittel oder -zutat in der EU laut Novel Food-Verordnung zulassungspflichtig ist. Nur Mikroalgenprodukte, die vor dem 15. Mai 1997 in der EU in einer signifikanten Menge konsumiert wurden, dürfen ohne Zulassungsverfahren in Verkehr gebracht werden. Dies trifft auf die als Spirulina-Algen vermarktete Cyanobakterien *Arthrospira platensis* und *Arthrospira maxima* sowie die Grünalgen *Chlorella luteoviridis*, *Chlorella pyrenoidosa* und *Chlorella vulgaris* zu. Als neuartiges Lebensmittel ist bisher die Mikroalge *Tetraselmis chuii* zugelassen und in Würzmitteln oder Nahrungsergänzungsmitteln auf dem Markt zu finden. Das Zulassungsverfahren stellt aufgrund des damit verbundenen finanziellen und zeitlichen Aufwands und unpräziser Regelungen eine Hürde für die künftige Produktion und Vermarktung von Produkten aus Mikroalgen dar. Initiativen wie die EABA (European Algae Biomass Association) setzen sich für gelockerte Zulassungsverfahren ein.

Eine der größten Herausforderungen besteht darin, energie- und kosteneffiziente Produktions- und Verwertungssysteme zu entwickeln. Die kommerzielle Produktion von Mikroalgen befindet sich in einem frühen Stadium und erfordert eine deutliche Senkung der Produktionskosten um den Faktor 10 bis 20 für Lebensmittel und 100 für Futtermittel. Außerdem ist die Prozessstabilität zu erhöhen, um die Produktion von Lebensmitteln wettbewerbsfähig zu machen.

In unseren Breiten sind wegen der geringen Sonnenscheinstunden heterotrophe Kultivierungssysteme bislang effizienter als autotrophe, die in der Regel im Freien kultiviert werden, weil sie Licht benötigen (s. Abbildung 5). Durch Entwicklung der LED-Technologie ist autotrophe Kultivierung jedoch auch in Deutschland zunehmend ganzjährig möglich. Außerdem sind heterotrophe Systeme weniger anfällig für mikrobielle Verunreinigungen, einfacher zu bauen, kostengünstiger und leichter in einem großen Maßstab zu betreiben.

1.5. Makroalgen

Makroalgen sind mehrzellige, wasserbewohnende Pflanzen, die Photosynthese betreiben. Teilweise werden sie wild geerntet, teilweise in Aquakultursystemen angebaut.

Produktion

Makroalgen als Lebensmittel sind in Asien von großer Bedeutung; 75 bis 85 Prozent der weltweiten Makroalgenproduktion werden dort für den direkten menschlichen Verzehr verwendet. Die zweite wichtige Anwendung ist die industrielle Herstellung von Verdickungsmitteln wie Alginat, Agar-Agar und Carrageen für Lebensmittel und Non Food-Produkte. Bioaktive Verbindungen aus Makroalgen werden als Farbstoffe und Antioxidanzien und bei biotechnologischen und industriellen Verfahren verwendet. Als klassisches Fleischersatzprodukt werden Makroalgen keine bedeutende Rolle erlangen, da durch ihre Verwendung Struktur und Geschmack von Fleisch nicht imitiert wird. Makroalgen kommen nicht nur im Lebensmittelbereich, sondern auch zur Herstellung von Futter-, Dünge-, Arzneimitteln, Biokunststoffen und Biokraftstoffen zum Einsatz.

Kultivierungssysteme

Die Kultivierung von Makroalgen ist technologisch ausgereift und seit Jahrhunderten etabliert. Es gibt dabei verschiedene Systeme. Die Aquakultur im küstennahen Meer ist die derzeit vorherrschende Produktionsmethode für Seetang. Die Offshore-Aquakultur in Anlagen auf hoher See macht hingegen noch immer eine Minderheit der Aquakulturanlagen aus. Derzeit wird an der Entwicklung neuer Technologien gearbeitet, die die Rentabilität dieser Produktionsmethode erhöhen, etwa indem man Windparks mit Aquakulturanlagen für Meeresalgen koppelt. Aquakultur auf dem Land kann einerseits in Küstennähe mit Meerwasser erfolgen oder abseits von Küsten in großen Becken mit Süßwasser. Bei landbasierten Systemen unterscheidet man reine Algensysteme und die so genannte „Integrierte multi-trophische Aquakultur" (IMTA). Die IMTA wird bereits von etwa 10 Prozent der europäischen Aquakulturbetriebe eingesetzt. Hier werden Algen mit Meerestieren wie Fischen und Krebstieren in Co-Kultur gehalten, um einen Nährstoffaustausch zu ermöglichen (s. Abbildung 6).

Algen-Branche

Weltweit ist die Produktion von Makroalgenbiomasse seit 1950 gestiegen und erreichte rund 33 Millionen Tonnen im Jahr 2016. Die globale Produktion basiert hauptsächlich auf Aquakulturen, im Jahr 2016 waren es 97 Prozent. Die Produktion in der EU trug 2016 nur 0,28 Prozent zur weltweiten Produktion bei. Im Gegensatz zum globalen Produktionsmuster liefert die Ernte von Wildbeständen den größten Teil der Makroalgenbiomasse in Europa, genauer: 98 Prozent im Jahr 2016. Der europäische Algensektor umfasst 225 Algenproduzenten, davon produzieren 67 Prozent Makroalgen, 33 Prozent haben sich auf die Mikroalgen-Produktion spezialisiert. 68 Prozent der Makroalgenproduzenten ernten aus Wildbeständen, 32 Prozent betreiben Aquakultur. Bereits seit 2006 existiert in Deutschland die Sylter Algenfarm GmbH, die heute unter dem Namen Meeresalgenland UG firmiert, Makroalgen auf Sylt produziert und die bis dato einzige landbasierte Makroalgen-Produktionsstätte in Deutschland ist.

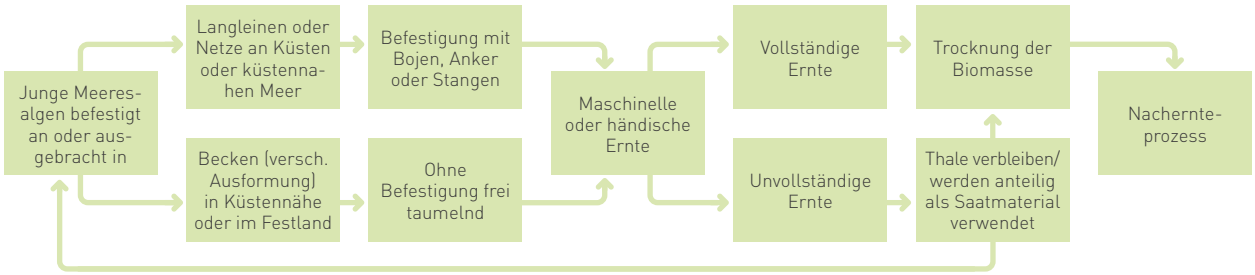
Der Sektor der Meeresalgen-Aquakultur wächst jedes Jahr in Größe und Wert. Es wird züchterisch versucht, Algen mit Krankheitsreistenzen sowie schnell wachsende Arten zu erzeugen. Auch an der Entwicklung von Technologien zur Konzentration gewünschter Inhaltsstoffe und robusteren, kostengünstigeren Aquakultursystemen wird gearbeitet. Das Interesse an ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Anbaumethoden wächst.

Regulatorische Hindernisse

Die Makroalgenproduktion in Europa hat vor allem noch mit regulatorischen Hindernissen zu kämpfen. Derzeit sind laut Novel Food-Katalog der EU-Kommission 25 Makroalgenarten zugelassen. Deutschland, Österreich und Schweiz arbeiten an einer Liste von Algenprodukten, die auf nationaler Ebene als neuartige Lebensmittel zugelassen werden sollen. In mehreren europäischen Ländern werden aber schon essbare Makroalgenarten für den direkten Verzehr verkauft. Sie werden als Gewürze oder Salz verwendet oder in andere Rezepturen eingearbeitet, etwa in Dressings, Meeresfrüchtekonserven, Brot, Nudeln, Mayonnaise, Käse, Biere, Spirituosen oder Burger.

Abbildung 6

Verschiedene Produktionsverfahren der Makroalgenzucht



Makroalgenzucht in Europa

Die Einführung neuer Lebens- und Futtermittelerzeugnisse auf Algenbasis bietet in der EU eine große Chance für die Entwicklung eines nachhaltigen Lebensmittelsektors. Die Europäische Kommission strebt ein starkes Wachstum der Aquakultur einschließlich der Makroalgen an und startet 2022 eine Algeninitiative zur Unterstützung der Algenindustrie.

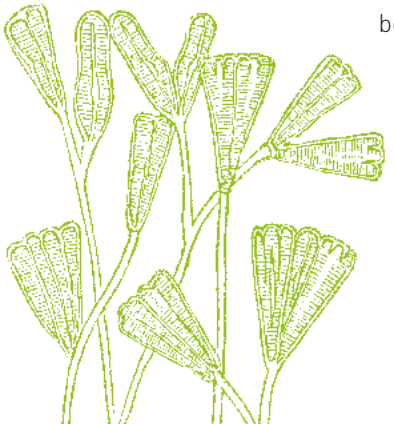
Die meisten Makroalgenunternehmen in Europa produzieren Biomasse für den Lebensmittelbereich, darunter auch Nahrungsergänzungsmittel oder Hydrokolloide. Das Interesse der Biokraftstoff- und Biotech-Industrie am Makroalgensektor eröffnet wahrscheinlich weitere Perspektiven für die Makroalgenzucht in Europa.

„Makroalgen werden als Rohstoff für den Lebensmittelbereich von wachsender Bedeutung sein."

Interviewfragen an **Herrn Dr. Stefan Sebök**
Institut für Pflanzenwissenschaften und Mikrobiologie – Aquatische Ökophysiologie und Phykologie, Universität Hamburg

Wie sehen Sie die Zukunft von Makroalgen?

Die globale Bedeutung mariner Makroalgen als Lebensmittel wird zunehmen. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass marine Makroalgen als Rohstoffbasis für den Lebensmittel- und insbesondere für den Pharmaziebereich von wachsender Bedeutung sein werden. Hingegen halte ich die aktuell geführte Diskussion, dass marine Makroalgen wesentlich zur Reduzierung anthropogener CO_2-Emissionen beitragen können, für nicht zielführend. Hier sehe ich die großen CO_2-Produzenten in der Pflicht zur Vermeidung und Reduzierung klimawirksamer Emissionen.



Wohin wird sich dieser Forschungsbereich bzw. der Markt entwickeln aus Ihrer Sicht?

Auch weiterhin werden die Forschungsanstrengungen auf die Optimierung der Kulturbedingungen abzielen. Insbesondere für den Lebensmittel- und Pharmaziebereich ist zu vermuten, dass die F&E-Anstrengungen einerseits auf die Verbesserung der Produktivität ausgewählter Makroalgen abzielen und sich andererseits auf die Anreicherung relevanter Inhaltsstoffe in marinen Makroalgen fokussieren.

Wo liegen die Vor- bzw. Nachteile von Makroalgen?

Vorteile der marinen Makroalgen sehe ich in ihrem umfangreichen Spektrum an nutrazeutischen Inhaltsstoffen, in dem Biomassepotential und in ihrem gewaltigen, industriellen Bedeutungsumfang. Der wesentliche Nachteil der Makroalgen ist meiner Meinung nach dem verfahrenstechnischen Aufwand zur Makroalgen-Kultivierung im Meer geschuldet. Als große Gefahr für Makroalgen erachte ich hingegen die auf ökonomische Maximierung und nicht auf ökologische Nachhaltigkeit ausgerichtete Bewirtschaftung.

2. Status Quo und Auswirkungen auf die Lebensmittel-Wertschöpfungskette

2.1. Deutsche und Bayerische Land- und Ernährungswirtschaft

Die deutsche Ernährungsindustrie ist mit einem jährlichen Umsatz von 185 Milliarden Euro der viertgrößte Industriezweig Deutschlands. Über 610.000 Beschäftigte in 6.100 Betrieben versorgen die Verbraucher mit Lebensmitteln. Dabei ist die Branche klein- und mittelständisch geprägt: 90 Prozent der Unternehmen der deutschen Ernährungsindustrie gehören dem Mittelstand an. Deutschland hat eine Lebensmittel-Exportquote von 33 Prozent [3]. Etwa die Hälfte der Fläche Deutschlands – rund 16,6 Millionen Hektar – wird landwirtschaftlich genutzt. Rund 266.550 landwirtschaftliche Betriebe erzeugen Nahrungs- und Futtermittel sowie nachwachsende Rohstoffe (vor allem Mais und Raps) [9].

In Bayern gab es im Jahr 2020 mehr als 105.000 Betriebe, drei von vier Betrieben praktizieren Viehhaltung. Das Agribusiness, die Land- und Ernährungswirtschaft, gehört zu den umsatzstärksten Branchen in Bayern. Zusammen mit den vor- und nachgelagerten Bereichen erwirtschaftete die bayerische Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2019 einen Umsatz von rund 177 Milliarden Euro. Etwa jeder vierte Arbeitsplatz in der bayerischen Landwirtschaft hängt vom Export bayerischer Agrarerzeugnisse ab. Dabei werden 80,8 Prozent in die EU-Mitgliedsstaaten exportiert [1].

Welche Auswirkungen auf diese Märkte könnte es nun haben, wenn zukünftig vermehrt alternative Proteine nachgefragt werden?

2.2. Markt und Produktion alternativer Proteine

Deutschland

Laut Thünen-Institut steht der Fleischmarkt schon heute auf der Nachfrageseite unter Druck, ausgelöst durch die Tierwohl- sowie Nachhaltigkeitsdebatten der letzten Jahre. Vor allem bei Rind- sowie Schweinefleisch, nicht aber bei Geflügelfleisch, ist die Nachfrage in Deutschland seit 2018 leicht rückgängig (s. Abbildung 7). Dieser Trend wird also auch die bayerische Landwirtschaft treffen.

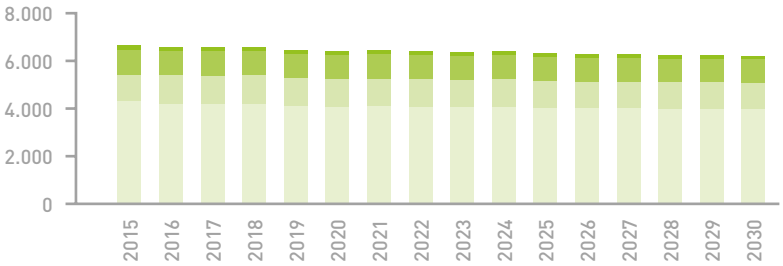


Abbildung 7

Entwicklung der Nachfrage nach tierischen Agrarprodukten in Deutschland im Zeitraum von 2015 bis 2030 (in 1.000 Tonnen) [13]

Auch in Zukunft könnte sich dieser Trend zu weniger Fleisch verstetigen. So könnte eine alternde Bevölkerung sowie ein wachsender Anteil von Vegetariern und Veganern zu einer weiteren Reduzierung des Fleischverbrauchs beitragen. Auch der Konsum von Frischmilcherzeugnissen wie Milch, Buttermilch, Sauermilch, Kefir, Joghurt sowie Sahne sinkt in Deutschland seit 2014 leicht, aber stetig (s. Abbildung 8).

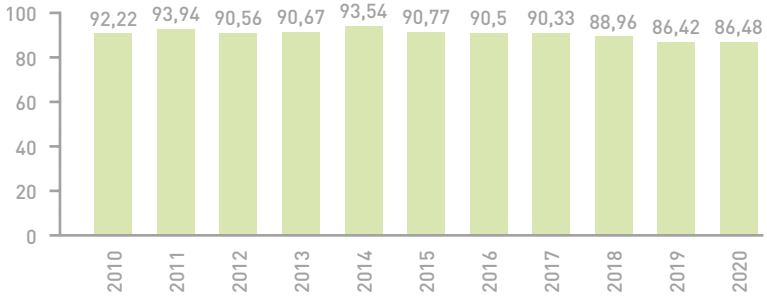


Abbildung 8

Pro-Kopf-Konsum von Frischmilcherzeugnissen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2020 (in Kilogramm)

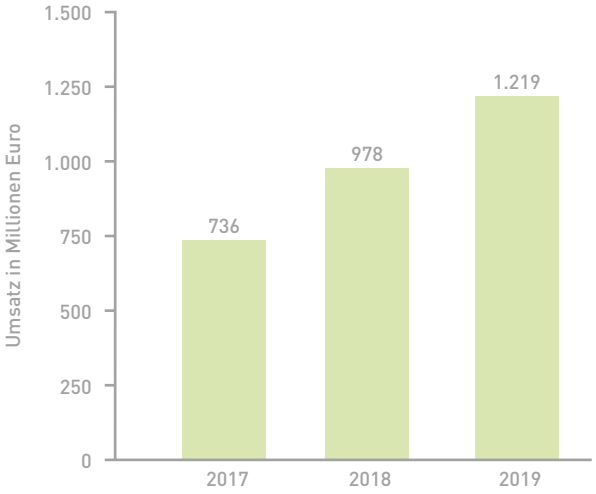


Abbildung 9

Umsatz mit vegetarischen und veganen Lebensmitteln in Deutschland in den Jahren 2017 bis 2019 (in Millionen Euro)

Die erhöhte Nachfrage nach vegetarischen und veganen Produkten wird ausgelöst durch eine steigende Zahl an Verbrauchern, die gar kein Fleisch essen oder nur noch selten zu Fleischprodukten greifen, sogenannte Flexitarier. Diese Verbrauchergruppen stützen auch die sinkende Nachfrage nach Fleisch [13]. Begonnen im Nischensegment der Reformhäuser, finden sich vegetarische und vegane Produkte mittlerweile in Supermärkten und Discountern und in einem immer breiteren Produktspektrum. So ist der Umsatz mit vegetarischen Produkten und veganen Lebensmitteln in Deutschland in den Jahren 2017 bis 2019 von 736 Millionen Euro auf 1.219 Millionen Euro, also um fast 100 Prozent angestiegen (s. Abbildung 9). Vor allem der Markt an Milchalternativen beschleunigte diesen Umsatzzuwachs in Deutschland. Hierzulande sind Haferdrinks vor Mandel- und Sojadrinks derzeit der Marktführer [4].

Laut der Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) hat sich dieser Trend alternativer Proteinquellen während der Corona-Pandemie verstärkt. So ist es bei Fleischersatzprodukten von 2019 auf 2020 zu einem Anstieg von 65,1 Prozent gekommen, bei pflanzenbasierten Molkereiprodukten um 47,6 Prozent [8]. Die GfK vermutet auch, dass der Trend zu gesunden und nachhaltigen Lebensmitteln anhalten wird. Im Übrigen wächst auch in der Gastronomie die Anzahl an Gaststätten, die vegetarische oder vegane Speisen anbieten [10].

Globaler Markt

Auf globaler Ebene sehen die Zahlen dagegen anders aus: Einerseits werden Prognosen geäußert, dass durch eine Zunahme der Weltbevölkerung auf knapp 10 Milliarden Menschen bis zum Jahre 2050 bei steigendem Wohlstand in Schwellen- und Entwicklungsländern die Nachfrage nach Fleisch von derzeit 338 Millionen Tonnen auf 455 Millionen Tonnen ansteigen wird [11,12]. Andere Prognosen sagen einen Transformationsprozess in den westlichen Ländern zugunsten von Fleischersatzprodukten voraus, allerdings nur, wenn Preis und Geschmack weiter optimiert werden. So schätzt das Marktforschungsunternehmen Kearney, dass auf globaler Ebene bis 2040 eine Abnahme des Anteils von konventionellem Fleisch auf 40 Prozent des Gesamtumsatzes sowie gleichzeitig eine Zunahme von In-vitro-Fleisch auf 35 Prozent und von pflanzlichen Fleischersatzprodukten auf 25 Prozent zu beobachten sein wird [5].

Laut einer Studie der Boston Consulting Group (BCG) wird der alternative Proteinmarkt, der momentan bei 2 Prozent des Gesamtmarktes für Proteine und 13 Millionen Tonnen liegt, bis 2035 auf 11 Prozent ansteigen. In dieser Analyse wurden Ersatzprodukte aus Pflanzen, Mikroben oder In-vitro-Herstellung berücksichtigt. Wenn der Verbraucher diese auch verstärkt nachfragt und der Gesetzgeber durch unterstützende Regularien wie eine CO_2-Steuer oder eine Veränderung der derzeitigen Subventionen Einfluss nimmt, könnten alternative Proteine sogar 22 Prozent des gesamten Proteinmarktes ausmachen [2].

Auf der anderen Seite wird der Proteinmarkt für tierische Produkte schrumpfen, wie dies ja auch die Thünen-Studie (s.o.) für Deutschland vorhersieht. Die Prognosen für die USA sind laut der RethinkX-Studie wesentlich drastischer. So könnte die US-Nachfrage nach Milch und Fleisch bis 2035 um 80 bis 90 Prozent sinken, während 2030 der US-Markt für Rindfleisch nur noch bei 30 Prozent liegen könnte, während innovative Fleischersatzprodukte 70 Prozent des Marktes einnehmen könnten. [14] Gewinne allein durch pflanzliche Ersatzprodukte sollen weltweit von 4,6 Milliarden US-Dollar in 2018 bis auf 85 Milliarden US-Dollar in 2030 anwachsen [15]. All dies sind zwar nur Schätzungen, dennoch zeigen sie verschiedene mögliche und teilweise disruptive Szenarien auf. Diese Entwicklungen sind auch nur möglich, wenn verschiedene Hürden abgebaut werden (siehe unten).

Welche Produkte und Produktgruppen an Lebensmitteln werden künftig durch welche Alternativen ersetzt?

- Der Markt an pflanzlichen Alternativen zu Fleischprodukten bietet ein breites Portfolio von Burgern über Nuggets oder Wurst-Ersatzprodukten. Bei den Milchproduktalternativen dominieren noch pflanzliche Drinks das Produktportfolio, gefolgt von Joghurtalternativen. Weitere Produkte, wie vegane Käsealternativen, bieten Forschungs- und Entwicklungsmöglichkeiten. Start-ups wie auch große Unternehmen widmen sich immer mehr Fisch- und Ei-Alternativprodukten. Mykoproteine werden ebenso zu Fleischersatzprodukten verarbeitet.

- Mikroalgen und andere Mikroben sowie Insekten können als Proteinpulver in Fertigprodukte, etwa Brot, Nudeln oder Proteinriegel, gemischt werden. Makroalgen werden derzeit als Gewürze oder Salz verwendet oder in andere Rezepturen eingearbeitet, etwa in Dressings, Meeresfrüchtekonserven, Brot, Nudeln, Mayonnaise, Käse, Bier, Spirituosen oder Burger.

- Mikroben können etwa Milch- oder Ei-Proteine naturgetreu nachbilden. Aus Mikrobenprotein selber könnten aber auch Käse- oder Fleischersatzprdukte entstehen.

- Insekten könnte man theoretisch auch als ganze Tiere vermarkten, wie in Asien seit Jahrhunderten praktiziert. Auch Seetang kann man als ganzes Produkt verzehren, wie dies in Küstenregionen in Europa üblich ist.

Abbildung 10

Status Quo Wertschöpfungskette in der Fleischproduktion

- Laut der BCG-Studie wird es im Jahr 2035 für 9 von 10 der globalen Lieblingsgerichte, wie etwa Spaghetti Bolognese, eine realistische Alternative auf dem Markt geben [2].

Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette

Konkrete Daten zu den Auswirkungen der landwirtschaftlichen Transformation aus Ländern, in denen etwa bereits Pflanzenproteine, Mykoproteine oder auch In-vitro-Fleisch zunehmend auf dem Markt zu finden sind, gibt es derzeit noch nicht, da die Marktanteile zu gering sind. Es gibt jedoch theoretische Überlegungen, was die Folgen einer stark sinkenden Nachfrage nach Fleisch- und Milchprodukten in der gesamten Wertschöpfungskette wären (s. Abbildung 10). So würde die Nachfrage nach den herkömmlichen Futtermitteln weltweit stark sinken. Es käme zu einem Anbau anderer Rohstoffpflanzen, allerdings in wesentlich geringeren Mengen. Es würde die Nachfrage nach Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln, Pflanzensaat und Landmaschinen sinken. Auch bei den Mühlen gäbe es weniger Nachfrage, sowie bei Veterinärmedizinern und Tierarzneien. Die Fleisch- und Milchverarbeitungsindustrie wäre ebenso betroffen. Einkünfte aus der Fleisch- und Milchproduktion könnten mindestens um 50 in 2030 und um 90 Prozent in 2035 gesunken sein (s. Kapitel Landwirtschaft). Die Schlachthöfe und fleischverarbeitenden Betriebe werden sich bis 2030 halbieren. Dennoch können fleischverarbeitende Betriebe auch Pflanzenrohstoffe zu entsprechenden Produkten verarbeiten, wie es bereits einige Betriebe in Deutschland vormachen. Es würden tierische Nebenprodukte wegfallen, die derzeit etwa in die Herstellung von Leder oder Tiernahrung wandern [14].

Welche Faktoren fördern oder hemmen die Nachfrage nach Lebensmittelalternativen?

- Es gibt zwar mittlerweile vor allem unter pflanzlichen Ersatzprodukten schon gute Imitate. Dennoch sind derzeit die mangelnden sensorischen Eigenschaften von Fleisch- und Milchersatzprodukten noch ein Hindernis. Auch Ekel (Insekten, In-vitro-Fleisch), mangelnde Vertrautheit (Seetang) oder das Gefühl, neue Lebensmittel seien ungesund und nicht sicher, stehen einer Nachfrage im Wege (siehe Kapitel Verbraucherakzeptanz).

- Überhöhte Preise für Ersatzprodukte können einem Kauf entgegenstehen. Fleischersatzprodukte können erst wettbewerbsfähig werden, wenn sie zu einem ähnlichen Preis zur Verfügung stehen wie die Originale. Derzeit kosten beispielsweise pflanzliche Fleischalternativen zwischen 13 und 20 Euro pro Kilogramm, während Fleisch derzeit durchschnittlich 6 bis 7 Euro für die gleiche Menge kostet. Ein Report des Good Food Institute (GFI) zeigt, dass sich die Preise bis 2030 angleichen könnten [6].

- Ein weiterer Hemmfaktor für die Unternehmen und deren Produktentwicklungen ist die europäische Novel Food-Verordnung. Eine Zulassung innovativer Produkte wie In-vitro-Fleisch braucht Jahre. Bei Insekten ist derzeit lediglich der Mehlwurm (*Tenebrio molitor*) als Lebensmittel zugelassen, 14 weitere Zulassungsverfahren für Insekten sind anhängig. Auch für Mikroben, Mikroalgen und Mykoproteine sind bei der EFSA Anträge eingereicht worden.

- Um Ersatzprodukte in größeren Mengen herzustellen, gilt es zudem technische Hürden zu überwinden: So bedarf es das Upscaling von In-vitro-Fleisch-Anlagen zu optimieren oder tierfreie Medien für Bioreaktoren zu finden.

Bei welchen Kunden- und Produktgruppen konkurrieren die alternativen Lebensmittel mit klassischen Lebensmitteln (Bio/Regio/Premium)?

- Alternative Proteine könnten praktisch in allen Produktgruppen zum Einsatz kommen. „Möglicherweise könnte man zukünftig ganz eigene Produktkategorien finden, die nicht zwingend dem tierischen Produkt gleich sind, sondern für sich stehende pflanzliche und gut schmeckende Lebensmittel sind", so Prof. Ute Weisz von der Universität Bonn.

- Sobald Alternativlebensmittel dem tierischen Produkt sehr ähnlich sind, entsteht eine Konkurrenzsituation. Vermutlich werden die innovativen Produkte stärker von Flexitariern und überzeugten Fleischesser nachgefragt, als bei Personen, die sich vegetarisch oder vegan ernähren. Solange bestimmte Produkte, wie In-vitro-Fleisch noch hochpreisig sind, werden sie auch eher von finanzkräftigeren Verbrauchern im Premium-Segment gekauft werden.

- Solange die innovativen Produkte nicht regional erzeugt werden, könnten sie eine Konkurrenz für andere regionale Lebensmittel darstellen, also z.B. könnte In-vitro-Fleisch aus Asien Schweinefleisch aus Bayern vorgezogen werden. Wenn die Produkte definitiv einen besseren ökologischen Fußabdruck hinterlassen würden, könnten sie auch mit Lebensmittel im Bio-Segment konkurrieren.

Werden die alternativen Lebensmittel von Start-ups oder von etablierten Lebensmittelherstellern produziert?

- Start-ups sind kürzlich gegründete Unternehmen, die basierend auf einer innovativen Geschäftsidee mit hohem Wachstumspotential schnell skalieren möchten. Sie sind in der Regel frühzeitig auf externe Geldgeber angewiesen, um auf dem Markt performen zu können. So gibt es vor allem in den USA und in Asien immer mehr Start-ups, die Kapital aus der Ernährungs- und Agrar-Industrie aber auch aus der Finanz- und IT-Branche erhalten, um alternative Lebensmittel herzustellen.

So waren es laut dem Marktforschungsunternehmen Pitchbook 2015 knapp 500 Millionen US-Dollar, die in Food-Start-ups zur Entwicklung von Proteinalternativen investiert wurden, 2020 war es mit 2,5 Milliarden Dollar das Fünffache [7]. Weltweit wurden 444 Millionen US-Dollar an Eigenkapitalfinanzierungen für das Jahr 2020 eingeworben. Das ist bereits ein Anstieg von 65 Millionen US-Dollar im Vergleich zu 2019 und mehr als das Fünffache der Finanzmittel, die Tech-Start-ups in diesem Bereich im Jahr 2016 erhalten haben [16]. Derzeit sollen 800 Firmen weltweit allein pflanzliche Ersatzprodukte herstellen [6]. Der große Vorteil dieser Unternehmen ist die Schnelligkeit in der Entscheidungsfindung und die Nähe zum Verbraucher, auch über Social Media. So werden viele Produkte gemeinsam mit dem Konsumenten entwickelt. Aber auch große Unternehmen, bezogen auf ihre Betriebsgröße, Beschäftigtenzahl oder Umsatzerlöse, sind am Markt aktiv. Ein bekanntes Beispiel in Deutschland ist hier die Rügenwalder Mühle. Laut Statista erwirtschaftete das Unternehmen im Jahr 2020 einen Umsatz von rund 233,7 Millionen Euro. Die Unternehmenssprecherin Claudia Hausschild lässt verlauten, dass die Rügenwalder Mühle mittlerweile mit Fleischalternativen mehr umsetzt als mit dem konventionellen Fleischsortiment.

- Einige altbekannte Lebensmittelhersteller investieren auch in Start-ups oder übernehmen diese. So hat Unilever etwa „Vegetarian Butcher" gekauft. Der US-Fleischproduzent Tyson Food sponsort „Beyond Meat". Die deutsche PHW-Gruppe ist der Mutterkonzern von Wiesenhof und hat eine Minderheitsbeteiligung an dem israelischen Start-up „SuperMeat" erworben, das In-vitro-Fleisch herstellt. Auch der Schweizer Konzern Nestlé ist in die Entwicklung von In-vitro-Fleisch eingestiegen. Das US-Unternehmen Cargill hat pflanzenbasierte Ersatzprodukte auf den Markt gebracht. Danone, Kellog's, Kraft Heinz und Mars investieren viel Kapital in Tech-Unternehmen, die mikrobielles Protein herstellen.

Literatur

[1] Bayerischer Bauernverband (2020) Steckbrief der bayerischen Landwirtschaft

[2] BCG (2019) Food for Thought. The-Protein-Transformation

[3] BVE Deutsche Ernährungsindustrie

[4] Europäische Kommission (2021) Plant-based foods in Europe: How big is the market? Smart Protein Plant-based Food Sector Report by Smart Protein Project, European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (No 862957)

[5] Gerhardt et al. (2019) How Will Cultured Meat and Meat Alternatives disrupt the Agricultural and Food Inustry

[6] Good Food Institute (2020) 2020 State of the Industry Report, Plant-based Meat, Eggs and Dairy

[7] Hartmann N (2021) Milchalternativen

[8] Kecskes R(G) (2021) IM AUGE DES STURMS

[9] LfL (2020) Agrarmärkte 2019

[10] ProVeg (2021) Immer mehr vegane Restaurants

[11] Rubio et al. (2020) Plant-based and cell-based approaches to meat production. Nat Commun 11(1): 6276

[12] Statista Der Fleischhunger der Welt

[13] Thünen-Institut (Oktober 2020) Thünen-Baseline 2020–2030: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig

[14] Tubb S (2019) Rethinking Food and Agriculture 2020–2030

[15] UBS Chief Investment Office GWM The food revolution –The future of food and the challenges we face

[16] Watson (2021) Dairy-free cheeses featuring novel fermented microbial protein to launch by year end, says Superbrewed Food

2.3. Landwirtschaft

Die Aufzucht und der Verkauf von tierischen Lebensmitteln sichert den Lebensunterhalt von Millionen von Menschen auf der ganzen Welt. Es wurde geschätzt, dass etwa 3 Prozent der globalen Bruttoproduktivität auf die Landwirtschaft entfallen, davon 40 Prozent auf die Viehzucht [17].

In Industrieländern wird heutzutage ein erheblicher Anteil der Nutztiere in der industriellen Tierhaltung aufgezogen. Diese Produktionsform ist hauptsächlich auf die Effizienz und nicht auf die Auswirkungen auf Umwelt, Klimawandel, auf den reduzierten Einsatz von Antibiotika, den Tierschutz oder die Nachhaltigkeit ausgerichtet [5]. Eine stärkere Fokussierung auf Nachhaltigkeitsaspekte wird jedoch zunehmend gefordert. Was hätte nun ein Rückgang der Tierhaltung und der vermehrte Konsum von alternativen Proteinen für Folgen für die Landwirte?

Weniger Tierhaltung und die Folgen auf das Einkommen

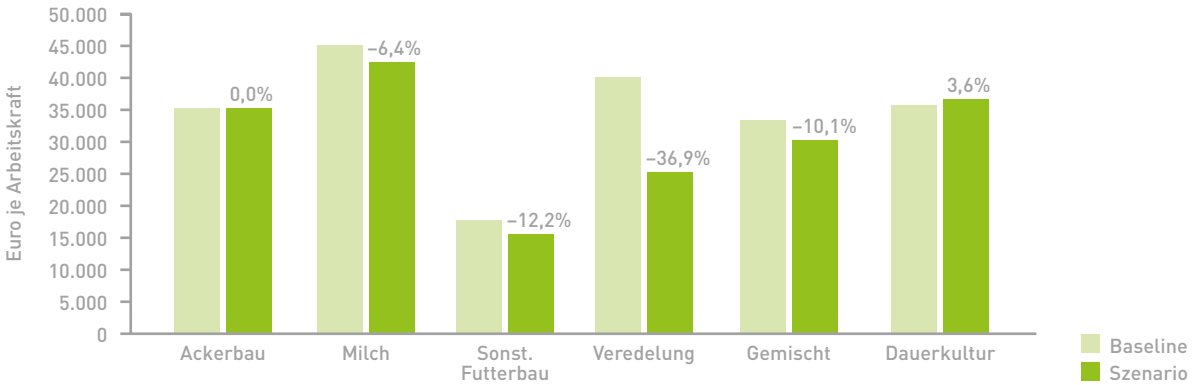
Es gibt zwar Studien, die sich damit beschäftigen, was eine Reduktion der Fleischnachfrage für Folgen hätte, wenige jedoch dazu, wie sich wachsende Märkte im Bereich innovativer Lebensmittel auswirken.

So sind etwa die Wissenschaftler des Thünen-Instituts der Frage nachgegangen, was eine reduzierte Nachfrage nach Fleisch in Europa für Folgen hätte. So wurde angenommen, dass sich bis 2030 der Fleischkonsum um 20 Prozent reduzieren würde und die Nachfrage nach Gemüse entsprechend anstiege. Das Ergebnis: Die Verbraucher-Nachfrage nach Fleisch würde in Deutschland in Abhängigkeit von der Fleischart um bis zu 14,1 Prozent sinken. Die Erzeugerpreise würden um 9 Prozent fallen, die Produktion würde um 10 Prozent zurück gehen. Das ist weniger als der Nachfragerückgang, lässt sich aber mit steigenden Exporten erklären. Durch die sinkenden Preise wäre vor allem die Schweinehaltung mit einem Einkommensrückgang von 37 Prozent betroffen, die Milchbauern mit 6 Prozent (s. Abbildung 11). Insgesamt wären dadurch die nördlichen Regionen mit einer hohen Spezialierung auf Schweinemast stärker betroffen als südliche Regionen wie Bayern. Dennoch wären auch hier Betriebsaufgaben zu befürchten [12].

Auch die Futtermittelindustrie wäre betroffen, so würden Produzentenpreise für Ölschrote oder Futter-Getreide um 2,6 und 1,4 Prozent in Deutschland sinken. Allerdings wird der Großteil der Futtermittel aus Übersee importiert, daher würde sich ein Rückgang der Fleischerzeugung in Europa drastischer auf die Märkte der entsprechenden Exportländer auswirken. Es wird erwartet, dass die Erzeugerpreise von Gemüse und Dauerkulturen für Fleischersatzprodukte aber um 3,4 Prozent in Deutschland zulegen und die Preise für die Pacht von Ackerland zurückgehen. Folglich hätten Ackerbaubetriebe kaum oder keine

Abbildung 11

Wirkung einer Reduzierung des Fleischkonsums auf betriebliche Einkommen nach Betriebstyp



finanziellen Einbußen zu fürchten und könnten ihr Einkommen stabil halten [12].

Weitere Folgen

Doch nicht nur das Einkommen der Landwirte wäre durch eine reduzierte Fleischnachfrage betroffen. Rinder, Schafe, Schweine und Geflügel liefern nicht nur Fleisch, Milch und Eier, sondern auch Wolle, Fasern und Leder. Vor allem Wiederkäuer bieten obendrein soziokulturelle Dienstleistungen einschließlich Landschaftspflege, touristischer Veranstaltungen wie Wandertierhaltung und Produkte mit lokalem Image, wie z.B. Käse mit geschützter Herkunftsbezeichnung [5]. Eine reduzierte Tierhaltung könnte auch den positiven Nebeneffekt haben, dass Landwirten und ihren Tieren wieder mehr Wertschätzung entgegen gebracht wird [16].

Ökologische und ökonomische Viehhaltung

Betrachtet man die Umweltauswirkungen von Tierhaltung muss man die Weidehaltung gesondert analysieren. Sie besitzt eine Schlüsselrolle beim Erhalt der Kohlenstoffmenge im Boden und der Bodenfruchtbarkeit, da der Dung der Tiere eine Quelle für organische Stoffe, Stickstoff und Phosphor ist [5]. Darüber hinaus können Rinder, nicht aber der Mensch, Grünfutter verwerten. Etwa zwei Drittel der weltweiten Agrarflächen stellen jedoch Grünland dar [14]. Es macht also ökolgisch Sinn, die Weidehaltung auf diesen Flächen auszuweiten, die Tierhaltung in Ställen jedoch zu reduzieren. Auch wenn Restströme als Futter eingesetzt werden, kann die Ökobilanz verbessert werden. Frei werdende Flächen sollten als Naturschutzgebiete oder als Wälder genutzt werden, so kann auch der Landwirt ökonomisch profitieren [8].

Um die weitere Rodung von Urwäldern für die Tierhaltung in USA und Brasilien zu minimieren, sollte auch der Anbau von eiweißhaltigen Futtermitteln in Europa weiter vorangetrieben werden, wie es der Bund mit seiner Eiweißpflanzenstrategie bereits verfolgt. Im Jahr 2021 werden laut dem BMEL auf 245.000 Hektar Fläche Körnerleguminosen wie Soja, Lupinen oder Erbsen angebaut, was einer Wachstumsrate von 9 Prozent gegenüber dem Vorjahr entspricht [3].

Auch für die Herstellung von In-vitro-Fleisch sind kleine Nutztierherden notwendig, um Stammzellen zu entnehmen. Dies könnte zumindest einem Teil der Landwirte ermöglichen weiterhin Tiere zu halten, zumal entsprechende Biopsien finanziell hochpreisig sein dürften und damit für den Landwirt finanziell interessant [10].

Änderungen beim Ackerbau

Eine weiter steigende Nachfrage nach pflanzlichen Ersatzprodukten wie Hülsenfrüchten, etwa Lupinen und Erbsen, Getreide oder auch Samen und Nüssen wird den Markt pflanzlicher Rohstoffe langfristig verändern. Landwirte müssten also entsprechend umdenken. Viele Landwirte empfinden dies laut einer Interviewstudie als positive Diversifizierung, zumal vor allem der Anbau von Leguminosen auch ökologische und ökonomische Vorteile bringt [10]. Allerdings ist die Suche nach dem „richtigen" Protein immer noch ein großes Thema der Branche. Denn Landwirte müssen die nötigen pflanzlichen Rohstoffe auch langfristig in entsprechenden Mengen an Hersteller verkaufen können. Sie brauchen für zusätzliche Investitionen in alternative Ackerpflanzen darum idealerweise längerfristige Verträge und Preisgarantien. Beispielsweise hat Eat Just, ein Produzent von Ei-Ersatz auf der Basis von Mungbohnen, mit Lieferantenorganisationen solche Verträge etabliert [2].

Auch die zelluläre Landwirtschaft benötigt Kohlenstoffquellen, die derzeit über pflanzliche Quellen, etwa Glukose aus Weizen oder Mais, gedeckt werden. Es wird jedoch nach Möglichkeiten gesucht, Nebenströme aus der Landwirtschaft oder Lebensmittelindustrie stärker zu nutzen, um die Umweltbilanzen zu verbessern. So könnten etwa Kartoffelstärke- oder Brauerei-Abwässer als Futter für Mikroben dienen. Auch bei der Fütterung von Insekten könnten Nebenströme zum Einsatz kommen, bei landbasierten Makroalgensystemen könnten Gärreste als Dünger dienen. Die Land- und Forstwirtschaft könnte also weiterhin Rohstoffe für die Produktion von innovativen Lebensmitteln liefern, wenn auch nicht in dem Maße, wie es derzeit die Futtermittel-Industrie verlangt.

Adaptationsfähigkeit von Landwirten

Die Entwicklungen zu weniger Tierhaltung und mehr alternativen Proteinen werden mehr oder weniger disruptiv ausfallen. Entscheidend wird sein, wie gut sich Landwirte anpassen können. Erste Studien dämpfen jedoch die Erwartung, dass vonseiten der Landwirte stärkere Innovationsdynamiken ausgehen. Sie adaptieren laut ersten Studien eher Innovationen von vorgelagerten Wertschöpfungsstufen, etwa aus der Futtermittelindustrie und übernehmen eine wichtige Funktion als Feedbackgeber. So scheinen viele Betriebe recht aufgeschlossen gegenüber neuen Futtermitteln aus Mikroalgen oder Insekten zu sein [6]. Es gibt zudem Hinweise, dass Viehhalter und Angestellte in der Fleischindustrie zunehmend auch selber moralische Bedenken hegen, diese aber nicht offen thematisieren, um eventuellen Anfeindungen zu entgehen. So äußerten sich französische und deutsche Viehwirte und Arbeiter der Fleischindustrie aufgeschlossener gegenüber In-vitro-Fleisch und auch aufgeschlossener, ihren Fleischkonsum zu reduzieren als Menschen, die nicht in der Fleischproduktion arbeiten [4].

Neue Beschäftigungsfelder

Ein Teil der Landwirte müsste in jedem Fall auf andere Produktionssysteme umsteigen und das bedarf mehr oder weniger großer Investitionen sowie Beratungen zu möglichen beruflichen Umorientierungen. Es gibt bereits einige Beispiele aus den USA, wo sich Landwirte umorientiert haben. So ist ein Milchbauer auf die Produktion von Hafer für Hafermilch umgestiegen, ein Geflügelwirt hat seine Ställe zu Pilz-Kultivierungen umgebaut. Vermutlich werden Vertrags-Landwirte schneller umsatteln, wenn sich die Wertschöpfungsketten ändern [10].

In Unternehmen zur Herstellung von Mikroalgen, Mykoprotein, Mikroben oder In-vitro-Fleisch wird es neuen Personalbedarf an Biotechnologen, Chemiker, Zellbiologen oder Pharmazeuten geben [11]. Im Fall von Insekten, Mikroalgen und Makroalgen wären die Anforderungen auch andere als in der herkömmlichen Landwirtschaft. So wären Algenbauern sowie Insektenwirte zunehmend gefragt. Ein positiver Effekt wäre, dass neue Arbeitsplätze auf dem ländlichen Raum entstehen könnten.

Diskutiert wird auch, ob Landwirte kleine Bioreaktoren wie Mikrobrauereien betreiben könnten, mit denen sie etwa Mikroben oder In-vitro-Fleisch auf ihren Höfen herstellen könnten. Allerdings ist fraglich, ob diese Unternehmen Zugang zu staatlichen Subventionen und zu dem notwendigen technologischen Know-How haben. So müsste geklärt werden, wer die Rechte an den Innovationen hat, schließlich wurden diese mit öffentlichen Geldern entwickelt [11]. Die Tendenz hin zu kleinen, regionalen Mikrobrauereien würde auch bedeuten, dass die Produktion weniger abhängig von Märkten, Preisen sowie Warentransporten wäre [13]. Hannelore Daniel, Prof. em. der TUM, sieht hier jedoch keine großen Chancen für Landwirte: „Für einen bäuerlichen Betrieb sind diese Technologien, da sie nahezu sterile Umgebungen benötigen, bis auf Weiteres keine Pespektive. Die Idee Einweg-Bioreaktoren zu entwickeln, würde dies zwar ermöglichen, jedoch wäre damit nahezu Jeder befähigt, entsprechende Produkte zu generieren."

Mit starken akademischen Technologiestandorten, wie sie in Bayern vorliegen, wäre laut Prof. Daniel ein Investment in das Upscaling etwa von In-vitro-Fleisch-Anlagen zu empfehlen.

Wo entstehen neue Märkte?

Insgesamt kann man zwar prognostizieren, wieviele Arbeitsplätze in der Viehhaltung sowie der Futtermittelindustrie verloren gingen (s. oben). Allerdings ist unklar, wie viele generiert würden und wo. So könnten Produktionseinheiten wie Mikrobrauereien auf dem Land aber auch in der Stadt entstehen, in der Stadt könnte sich zudem die vertikale Landwirtschaft ausweiten. Dies würde wiederum die Landflucht verschärfen und weiterhin ländliche Gemeinden zerstören. Es könnten sich auch Arbeitsplätze in Länder verlagern, die derzeit wenig Landwirtschaft betreiben.

Möglicherweise geht die Wertschöpfung weg von einer kapitalintensiven Landwirtschaft hin zu multinationalen Bio-Tech-Firmen, die Dominanz über Produktion und Verteilung ausüben [9,11]. So könnten Landwirte und Verbraucher zunehmend an Autonomie über die Nahrungsmittelproduktion verlieren. Wenn vor allem Unternehmen in Industrienationen einen Nutzen durch alternative Proteine haben, wird dies die

Ungleichheiten zwischen dem globalen Norden und Süden verschärfen. Vorstellbar ist aber auch, dass sich die Produktion in den Süden verlagert und dann hiesige Landwirte Nachteile beim Absatz ihrer Erzeugnisse wegen sinkender Nachfrage haben.

Sicher ist jedoch, dass enorme ökonomische und politische Spannungen zwischen Viehhaltern und Lebensmittelherstellern auftreten werden sowie zwischen denjenigen Landwirten, die von den skizzierten Entwicklungen profitieren werden und denjenigen, die ihre Höfe aufgeben müssen [15]. Einige Wissenschaftler weisen darum darauf hin, dass man besser erforschen muss, wie sich die Substitution von herkömmlichen tierischen Lebensmitteln durch alternative Proteine auswirkt, da Landwirte schon aktuell eine schlechte psychische Gesundheit und ein höheres Suizidrisiko im Vergleich zu anderen Berufstätigen aufweisen [11]. Das Verbundprojekt food4future – Nahrung der Zukunft (f4f), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms „Agrarsysteme der Zukunft", untersucht radikale Innovationen für eine nachhaltige und gesunde Lebensmittelversorgung, darunter alternative Proteinquellen. Auch soziologische und anthropologische Aspekte sind Teil der Studie [7].

Literatur

[1] AVECOM Bioproducts & Apps

[2] BCG (2019) Food for Thought. The-Protein-Transformation

[3] BMEL (2020) Ackerbohne, Erbse & Co.

[4] Bryant et al. (2021) The farmers dilemma: Meat, means, and morality. Appetite (167)

[5] Chriki S, Hocquette J-F (2020) The Myth of Cultured Meat: A Review. Front Nutr 7: 7

[6] Diekmann et al. (2020) Welches Potenzial haben Algen- und Insektenproteine als Futtermittelkomponente in Deutschland

[7] Food4Future (2021) Verbundprojekt food4future – Nahrung der Zukunft (f4f)

[8] Kirchweger g_2021_Tagungsband_21.Klimatag

[9] Lonkila A, Kaljonen M (2021) Promises of meat and milk alternatives: an integrative literature review on emergent research themes. Agric Hum Values 38(3): 625–639

[10] Newton et al. (2021) Social and Economic Opportunities and Challenges of Plant-Based and Cultured Meat for Rural Producers in the US. Front. Sustain. Food Syst. 5: 223

[11] Santo et al. (2020) Considering Plant-Based Meat Substitutes and Cell-Based Meats: A Public Health and Food Systems Perspective. Front. Sustain. Food Syst.

[12] Thünen-Institut (Oktober 2020) Thünen-Baseline 2020–2030: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig

[13] Tubb S (2019) Rethinking Food and Agriculture 2020–2030

[14] Umweltbundesamt (2013) Globale Landflächen und Biomasse

[15] van der Weele C, Feindt P, van der Jan Goot A et al. (2019) Meat alternatives: an integrative comparison. Trends in Food Science & Technology 88(2): 505–512

[16] Woll, Böhm (2017) In-vitro meat: A solution for problems of meat production and meat consumption? Ernährungsumschau

[17] World Economic Forum (2019) Meat: the Future series. Alternative Proteins Online verfügbar unter https://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Alternative_Proteins.pdf

2.4. Verbraucherakzeptanz

Vorbehalte gegen innovative Produkte

Bei allen Fleischersatzprodukten könnten die Hauptbarrieren für die Ablehnung von alternativen Proteinen die fehlende Vertrautheit mit diesen Produkten, eine allgemeine Technologie-Skepsis, mangelndes Vertrauen und die geringere sensorische Attraktivität bei Geschmack und Textur im Vergleich zu Fleisch sein [6]. Derzeit sind in Sachen Fleischersatz vor allem pflanzliche Produkte und hier Hack, Wurstwaren, Geschnetzeltes oder Nuggets auf dem Markt. Ob es jemals verschiedene Teilstücke, z.B. aus In-vitro-Produktion, geben wird oder von verschiedenen Tierarten, ist derzeit unklar [3]. Zudem wird Fleisch aus dem Bioreaktor wie Laborfleisch als „unnatürlich" tituliert [7], Insekten und Algen finden Menschen wenig akzeptabel, wenn diese nicht in ihrem Kulturkreis üblicherweise verzehrt werden. Denkbar ist daher, dass vorerst Proteinpulver aus Algen, Insekten oder Mikroben in Lebensmitteln, wie Backwaren, Dressings oder Proteinshakes, zur Anwendung kommen, wie das teilweise schon der Fall ist. Die Neophobie, also die Abneigung unbekannte Lebensmittel zu essen, ist ein natürliches Phänomen, das seinen Ursprung in der Furcht vor potenziell gesundheitsschädlichen Lebensmitteln hat. Innovativen Lebensmittel wird also erstmal mehr mit Ablehnung und weniger mit Neugier begegnet, was einen gewissen Konservatismus gegenüber innovativen Lebensmitteln erklärt [4].

Pflanzliche Ersatzprodukte werden zwar von 25 bis 30 Prozent der deutschen Verbraucher positiv bewertet. Bei diesen Ersatzprodukten liegt jedoch derzeit das Problem darin, dass diese mit diversen Zusatzstoffen versetzt werden, um die Textur zu verbessern, wie etwa Methylcellulose. Solche Zusatzstoffe stehen einem „Clean Label" entgegen und werden daher von einigen gesundheitsbewussten Verbrauchern als hochverarbeitete Fertigprodukte abgelehnt. Auch die Verwendung von gentechnologisch hergestellten Zutaten, wie Leghämoglobin, („Impossible Foods") könnte in Deutschland ein Hindernis für einen Marktdurchbruch darstellen. Vorausgesetzt, sie bestehen das Zulassungsverfahren der EFSA [8]. Insbesondere mitteleuropäische Verbraucher sind bekannt für ihre Vorsicht gegenüber neuartigen Lebensmitteln und Technologien. In Deutschland herrscht zudem ein allgemeines Misstrauen gegenüber der Lebensmittelindustrie. Stark prozessierten Lebensmitteln, wie den mittlerweile weit verbreiteten Fleischalternativen, begegnen Verbraucher darum teilweise mit Vorbehalt [4].

Umgekehrt werden jedoch von einer wachsenden Gruppe der Verbraucher auch tierische Produkte als „unnatürlich" wahrgenommen, wenn sie aus der Intensivmast stammen. Einerseits kommen auch hier Technologien und Chemikalien wie Antibiotika zum Einsatz. Zudem werden die Systeme als nicht artgerecht abgelehnt [2].

Preis, Gesundheit und Convenience spielen eine Rolle

Auch der Preis wird für die Nachfrage eine Rolle spielen. Solange neue Produkte wie In-vitro-Fleisch bei 15 Euro je Burger liegen, wird nur eine gut betuchtes Klientel zu diesen Produkten greifen [3,10,11]. Sobald mehr Produkte auf dem Markt sind, wird sich die Nachfrage und die Akzeptanz jedoch weiter verstärken [8]. Zudem wünschen Verbraucher Produkte, die leicht zuzubereiten sind und möglichst einen gesundheitlichen Nutzen versprechen. Neuartige Proteine mit einem Zusatznutzen könnten sich vermutlich leichter auf dem Markt durchsetzen.

Aufklärung über Vorteile ist wichtig

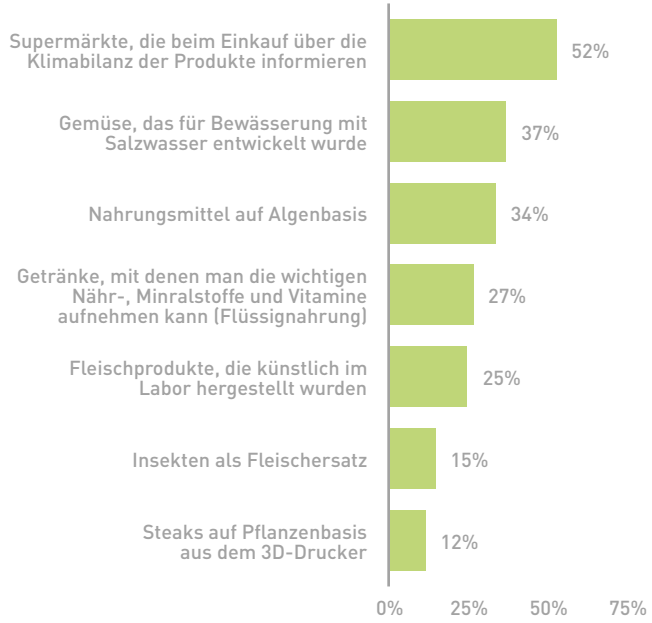
Deutsche Verbraucher sind aufgeschlossener, wenn die unbekannten Lebensmittel als nachhaltiger, gesünder und besser für das Tierwohl dargestellt werden. Die Aufklärung über die verschiedenen Vorteile sowie erschwingliche, verfügbare und attraktive Lebensmittel sind Voraussetzung. Auch die Namensgebung könnte eine Rolle spielen [7]. So würden Probanden Laborfleisch eher probieren, wenn dieses „clean meat" oder „animal free meat" genannt würde. Der Begriff „lab grown meat", also Laborfleisch, schreckt eher ab [1]. Vegetarier finden In-vitro-Fleisch zwar gut, sind aber weniger willig, dieses auch zu probieren als Mischköstler [7].

Generell sind jüngere Konsumenten aufgeschlossener, was neuartige Lebensmittel betrifft. Pflanzliche Ersatzprodukte werden derzeit hauptsächlich von jüngeren Verbrauchern mit höherem Bildungsstatus und höherem Einkommen sowie von Familien mit Kindern gekauft [5]. Vermutlich werden Hybridprodukte, die alternatives Protein sowie pflanzliche Zutaten enthalten, kurzfristig gesehen eine stärkere Akzeptanz erfahren.

Laut einer Befragung von IfD Allensbach aus dem Jahr 2021 sind 34 Prozent der Befragten bereit, Nahrungsmittel auf Algenbasis zu probieren, 25 Prozent Fleisch aus dem Labor, 15 Prozent Insekten und 12 Prozent Steaks auf Pflanzenbasis aus dem 3-D-Drucker [52]. (s. Abbildung 12)

Abbildung 12

Welche der folgenden Innovationen fänden Sie interessant bzw. würden sie eventuell ausprobieren wollen?



Literatur

[1] Bryant C, Barnett J (2018) Consumer acceptance of cultured meat: A systematic review. Meat Sci 143: 8–17

[2] Burton (2019) The potential impact of synthetic animal protein on livestock production: The new "war against agriculture"? Journal of Rural Studies (68): 33–45

[3] Chriki S, Hocquette J-F (2020) The Myth of Cultured Meat: A Review. Front Nutr 7: 7

[4] Diekmann, Theuvsen, Weinrich Sustainability Transitions in der Lebensmittelproduktion

[5] Good Food Institute (2020) 2020 State of the Industry Report, Plant-based Meat, Eggs and Dairy

[6] Hoek et al. (2011) Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person- and product-related factors in consumer acceptance. Appetite 56(3): 662–673

[7] Rubio et al. (2020) Plant-based and cell-based approaches to meat production. Nat Commun 11(1): 6276

[8] Santo et al. (2020) Considering Plant-Based Meat Substitutes and Cell-Based Meats: A Public Health and Food Systems Perspective. Front. Sustain. Food Syst.

[9] Statista Welche der folgenden Innovationen finden Sie interessant bzw. würden Sie eventuell ausprobieren wollen?

[10] Umweltbundesamt (2020) Nischen des Ernährungssystems: Bewertung des Nachhaltigkeits- und Transformationspotenzials innovativer Nischen des Ernährungssystems in Deutschland

[11] Woll, Böhm (2017) In-vitro meat: A solution for problems of meat production and meat consumption? Ernährungsumschau

2.5. Wie gesund und wie sicher sind die alternativen Proteine?

Eine Ernährung mit alternativen Proteinen kann sowohl negative als auch positive Folgen für die Nährstoffversorgung und Gesundheit haben. Dabei sind mögliche Auswirkungen sehr komplex. Sie hängen von der gesamten Ernährungsweise der Menschen sowie den teilweise sehr unterschiedlichen Eigenschaften alternativer Proteinprodukte und ihrer Herstellungsweise sowie Herkunft ab.

- **In-vitro-Fleisch** ist herkömmlichem Fleisch bezüglich der ernährungsphysiologischen Qualität und auch der gesundheitlichen Risiken am ähnlichsten, da es in Zellkultur in Anlehnung an das Ursprungs-Produkt produziert wird. Darüber hinaus bietet sich mit In-vitro-Fleisch die Möglichkeit, mit zusätzlichen Nährstoffen, wie Vitaminen oder Omega-3-Fettsäuren, anzureichern. Gleichzeitig sind aber auch mehr Zusatzstoffe erforderlich [14].

- **Pflanzliche Fleischersatzprodukte** liefern teils sehr unterschiedliche Nährstoffgehalte. Im Vergleich zu Fleisch sind sie im Allgemeinen jedoch ähnlich proteinreich, enthalten mehr Ballaststoffe und weniger Kalorien, weniger Gesamtfett und gesättigte Fettsäuren, aber mehr Zucker und viel Salz. Pflanzenmilchgetränke enthalten verglichen mit Kuhmilch teils weniger Protein, Vitamine und Mineralstoffe, wenn sie nicht angereichert wurden. Dafür sind sie kalorienärmer und z. B. Soja- und Hafermilch liefern gesundheitsförderliche sekundäre Pflanzenstoffe. Im Allgemeinen ist pflanzliches Protein weniger hochwertig als tierisches, da einige essenzielle Aminosäuren nur begrenzt vorkommen [6,13].

- **Insektenprotein** hat einen hohen Gehalt an essenziellen Aminosäuren. Viele essbare Insektenarten sind kalorien- und nährstoffreich und sie enthalten gesundheitsförderliche ungesättigte Fettsäuren. Je nach Art, Alter und Futtermittel liefern Insekten zudem reichlich Mineralstoffe wie Eisen, Zink, Mangan und Kupfer [3,5].

- **Mykoproteine** weisen auch eine sehr gute Proteinqualität auf. Entsprechende Produkte sind ballaststoffreich und fettarm [4]. Durch UV-Bestrahlung können Pilze auch hierzulande häufig fehlendes Vitamin D anreichern [8].

- **Bakterien** sind eine ausgezeichnete Proteinquelle [12], aber neuartige Bakterienproteine als Lebensmittelzutat sind derzeit in der EU nicht zugelassen.

- Von **Mikroben** hergestellte „Milch" könnte ohne Cholesterin oder Laktose produziert werden, hätte aber die gleichen ernährungsphysiologischen Eigenschaften, da sie Milchproteine enthält.

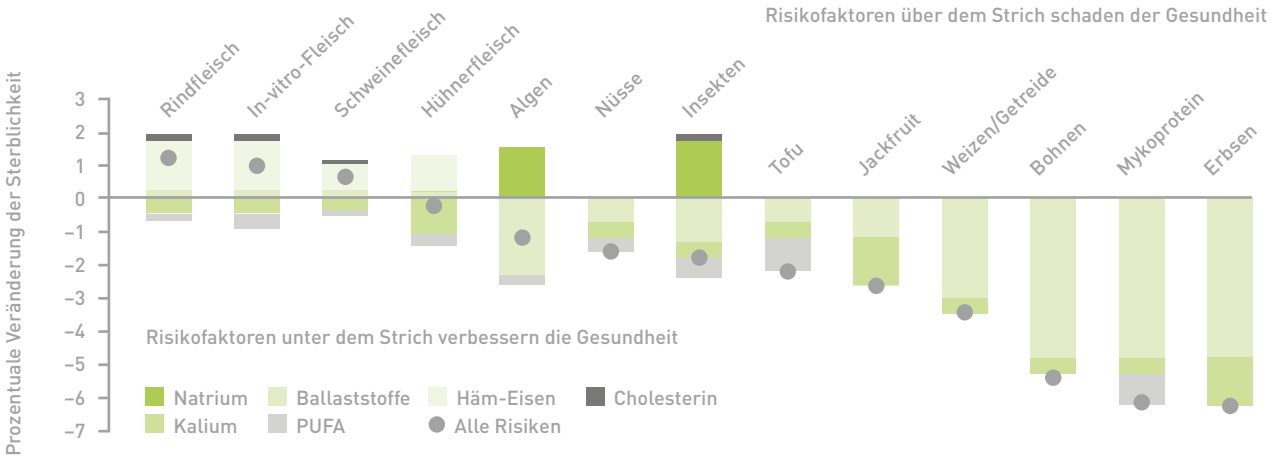
- **Mikroalgen und Makroalgen** sind reich an Proteinen mit hochwertigem Aminosäurenprofil. Sie enthalten viele weitere Nährstoffe wie Kohlenhydrate, Carotinoide, Vitamine, Mineralstoffe und lebenswichtige Fettsäuren [11]. Makroalgen liefern auch viele Ballaststoffe, darunter bioaktive Polysaccharide [1]. Allerdings ist noch unklar, wie gut die bioaktiven Substanzen und die Proteine aus Algen vom Körper aufgenommen werden.

Insgesamt sind laut Modellrechnungen der Universität Oxford beim Konsum alternativer Proteinquellen im Vergleich zu Fleisch gesundheitliche Vorteile zu erwarten, mit Ausnahme von In-vitro-Fleisch, das konventionellem Fleisch sehr ähnlich ist. Der Nutzen der anderen Proteinquellen wird insbesondere durch den damit verbundenen erhöhten Verzehr von Ballaststoffen erklärt [15] (s. Abbildung 13). Diese Ergebnisse sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Wie im vorliegenden Bericht dargelegt, gibt es zu den meisten Alternativen zwar vermehrt Hinweise auf mögliche positive Wirkungen. Allerdings sind aufgrund fehlender belastbarer epidemiologischer Studienergebnisse keine gesicherten Aussagen in Bezug auf die menschliche Gesundheit möglich.

Die Lebensmittelsicherheit bei den Proteinalternativen hängt wie allgemein in der Lebensmittelproduktion größtenteils von Qualitätssicherungssystemen ab, die entlang des Herstellungsprozesses

Abbildung 13

Der gesundheitliche Effekt einer zusätzlichen Portion verschiedener alternativer Proteine



etabliert sein müssen. Mögliche Kontaminanten, wie Schwermetalle, Pestizide und mikrobielle Verunreinigungen, können je nach Kultivierungssystem bei Mikro- und Makroalgen sowie Bakterien ein Sicherheitsrisiko sein [2,9]. Die Kontrolle auf Kontaminanten ist besonders wichtig, wenn etwa Abwässer als Substrat für die Produktion genutzt werden. Mykoproteine aus dem derzeit eingesetzten Pilz *Fusarium venenatum* werden auf Toxine kontrolliert; bei Mykoprotein aus Speisepilzen wie Champignons sind Toxine nicht zu erwarten.

Bei Bakterien und Mikroalgen als Proteinquelle besteht das Risiko, dass zu viele Purine aufgenommen werden, die im menschlichen Körper zu Harnsäure abgebaut werden und bei hoher Aufnahme das Risiko für Gicht erhöhen können [10,12]. Unter den Proteinalternativen bergen pflanzliches Protein aus Soja- und Lupinen und Bakterienprotein ein hohes Allergierisiko. Auch Insekten haben allergenes Potenzial, die Gefahr von Allergien ist bei verarbeiteten Insektenproteinen jedoch gering. Bei einigen Verbrauchern traten nach dem Verzehr von Mykoproteinen Schimmelpilzallergien und Überempfindlichkeitsreaktionen wie Erbrechen auf [7].

Literatur

[1] Araujo et al. (2021) Algae as food and food supplements in Europe

[2] Banach et al. (2020) Food safety hazards in the European seaweed chain. Compr Rev Food Sci Food Saf 19(2): 332–364

[3] BfR (2020) Insekten als Lebens- und Futtermittel

[4] Derbyshire & Ayoob (2019) Mycoprotein. Nutr Today 54(1): 7–15

[5] FAO (2013) Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Mol Nutr Food Res 57(5): 802–823

[6] Foterek (2020) Pflanzliche Milchalternativen. Ernährungsumschau

[7] Hadi, Brightwell (2021) Safety of Alternative Proteins: Technological, Environmental and Regulatory Aspects of Cultured Meat, Plant-Based Meat, Insect Protein and Single-Cell Protein. Foods 10(6)

[8] Jiang Q, Zhang M, Mujumdar AS (2020) UV induced conversion during drying of ergosterol to vitamin D in various mushrooms: Effect of different drying conditions. Trends in Food Science & Technology 105: 200–210

[9] Lopes da Silva T, Moniz P, Silva C et al. (2019) The Dark Side of Microalgae Biotechnology: A Heterotrophic Biorefinery Platform Directed to Omega-3 Rich Lipid Production. Microorganisms 7(12)

[10] Prüser et al. (2021) Mikroalgen als neuartige Lebensmittel. Ernährungsumschau 68(4)

[11] Rösch C, Roßmann M, Weickert S (2019) Microalgae for integrated food and fuel production. GCB Bioenergy 11(1): 326–334

[12] Smetana et al. (2017) Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment. Bioresour Technol 245(Pt A): 162–170

[13] Verbraucherzentrale (2017) Marktcheck-vegan-vegetarisch

[14] Woll & Böhm (2017) In-vitro meat: A solution for problems of meat production and meat consumption? Ernährungsumschau

[15] World Economic Forum (2019) Meat: the Future series. Alternative Proteins

2.6. Umwelt: Ist die Produktion alternativer Proteine wirklich nachhaltig?

Verschiedene Studien zeigen, dass die Fleischproduktion von Wiederkäuern im Jahr 2050, vor allem Rindfleisch, für etwa zwei Drittel und tierische Produkte für 80 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft verantwortlich sein könnten, wenn sich an der bisherigen Entwicklung der Ernährungsgewohnheiten nichts ändert [1]. Daher stellt die Etablierung von umweltfreundlichen und nachhaltigen Proteinquellen eine wichtige Herausforderung der modernen Lebensmittelproduktion dar. Wichtige, zu vergleichende Aspekte sind dabei der Land- und Wasserverbrauch, die entstehenden Treibhausgasemissionen sowie der Energieverbrauch bei der Produktion.

Süßwasserverbrauch

Pflanzliche Fleischalternativen bieten beim Wasserverbrauch deutliche Vorteile im Vergleich zur konventionellen Fleischproduktion. So weist die Ernährung mit viel pflanzlichen Lebensmitteln aber auch Fleischersatzprodukten einen um 29 Prozent geringeren Wasserfußabdruck auf als eine ketogene, fleischlastige Ernährung [18]. Hierbei wurde der gesamte Wasserfußabdruck, inbegriffen der Wasserkategorien grün, blau und grau, berücksichtigt. Der Wasserbedarf bei der Mykoproteinproduktion ist sogar noch geringer als bei pflanzlichen Ersatzprodukten, da im Bioreaktor weniger Wasser benötigt wird, als auf Agrarflächen [14]. Auch die Insektenproduktion benötigt weniger Wasser als die Produktion anderer tierischer Lebensmittel [3,11,19,24]. Dies kann unter anderem damit begründet werden, dass Insekten als wechselwarme Lebewesen bei gleicher Futtermenge mehr essbare Masse als Rinder, Schweine oder Hühner produzieren [19].

Makroalgen müssen in der Natur gar nicht bewässert werden und kommen zudem ohne zusätzlichen Dünger oder Pflanzenschutzmittel aus [22]. Die Verwendung von umweltfreundlichen Anbaumethoden wie beispielsweise der integrierten multitrophischen Aquakultur (IMTA), bei der auch Fische in einem Kreislaufsystem gehalten werden, verbessert die Wasserbilanz weiter. Das zirkulierende Wasser muss nur zu einem geringen Teil ausgetauscht werden [2,5]. Anders verhält es sich bei Mikroalgen. Der Wasserbedarf für eine hohe Algenproduktivität stellt derzeit noch eine Herausforderung dar [9].

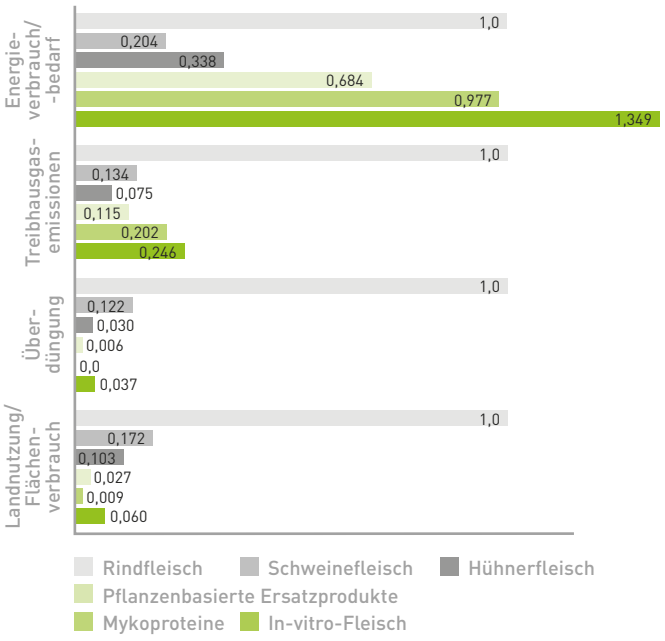
Laut einer aktuellen neuseeländischen Studie verbraucht die Produktion von Mikrobenprotein nur 0,0025 Kubikmeter Wasser pro Kilogramm Proteinpulver, beim Pflanzen-Burger von Impossible Foods sind es 0,11 Kubikmeter, bei Grillen sind es 0,43, bei Laborfleisch 0,36 bis 0,52, während Mikroalgen mit bis zu 3,3 Kubikmeter pro Kilogramm Proteinpulver am wasserintensivsten sind (s. Abbildung 14) [6].

Landverbrauch

Pflanzliche Alternativen weisen einen geringeren Landverbrauch auf als tierische Lebensmittel [4,12,21]. Auch bei Mykoproteinen ist der Flächenbedarf deutlich geringer als bei klassischen Fleischprodukten [7]. Gleiches gilt für Mikroalgen [9]. Makroalgen können teilweise im Meer produziert werden und tragen so nicht zur Flächenkonkurrenz bei. Aber auch landbasierte Anlagen brauchen deutlich weniger Fläche als die Produktion von Futtermitteln für tierische Lebensmittel.

Abbildung 14

Umweltwirkungen von Fleisch und Fleischersatz im Vergleich



Es fehlen industrielle Produktionsmethoden von In-vitro-Fleisch, sodass sich nur hypothetische Aussagen über Umweltauswirkungen treffen lassen [25]. Jedoch lassen erste Studien vermuten, dass die Herstellung von In-vitro-Fleisch zumindest im Vergleich zu Rindfleisch und pflanzlichen Ersatzprodukten weniger Land verbraucht [20]. Auch zum Landverbrauch der Insektenproduktion stehen bislang nur begrenzt Daten zur Verfügung [19]. Ein Großteil des Flächenbedarfs der Insektenproduktion steht in engem Zusammenhang mit der Futtermittelproduktion, weshalb eine effizientere Futterverwertung für Insekten sowie der Einsatz von Nebenströmen eine wichtige Rolle spielt. Insgesamt wird zur Futtermittelproduktion für Insekten aber weniger Fläche benötigt als für die konventionelle Produktion [19]. In Zahlen gesprochen benötigt man zur Produktion von 100 Gramm verzehrsfähiger Insektenmasse 0,15 bis 0,152 Quadratmeter Land, während für die Produktion von 100 Gramm Hühnerfleisch zwischen 0,385 und 0,389 Quadratmeter Land aufgebracht werden muss [13,19].

Treibhausgasemissionen

Die Produktion von Pflanzlichen Alternativen führt zu einer Verringerung von bis zu 84 Prozent im Vergleich zu Fleisch [16]. Bei der Produktion von einem 100 Gramm essbaren Insektenfleisches werden nur knapp 2 Kilogramm CO_2-Äquvalente emittiert, während Schweinefleisch bei etwa 5 Kilogramm und Rindfleisch bei 15 Kilogramm* liegt. Insekten können hier auch mit pflanzlichen Ersatzprodukten konkurrieren, während die Produktion von In-vitro-Fleisch im Schnitt 5 Kilogramm CO_2-Äquvalente pro 100 Gramm emittiert [8]. Einzig die Herstellung von Mikroalgenproteinen ist bis dato energieintensiver und emittiert mehr CO_2 als die Erzeugung anderer Proteinquellen, einschließlich kultiviertem Fleisch, Insekten, Hefen und Bakterien [6].

Energieverbrauch

Die Produktion von Mykoproteinen, Algen sowie In-vitro-Fleisch weist einen hohen Energieverbrauch auf [6,10,15,23]. Umweltauswirkungen von energieintensiven Systemen werden in Zukunft stark davon abhängen, inwiefern nachhaltige und CO_2-neutrale Energiesysteme verwendet werden [17].

Insgesamt lässt sich sagen, dass alternative Proteine umweltfreundlicher herzustellen sind, als herkömmliche tierische Lebensmittel.

* Die Kilogramm-Angaben der Treibhausgasemissionen unterliegen hierbei je nach Produktionsbedingungen Schwankungen.

Literatur

[1] Aleksandrowicz et al. (2016) The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. PLoS One 11(11): e0165797

[2] Araújo et al. (2021) Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. Front. Mar. Sci. 7: 353

[3] Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (2016) Fleisch 2.0

[4] Chen C, Chaudhary A, Mathys A (2019) Dietary Change Scenarios and Implications for Environmental, Nutrition, Human Health and Economic Dimensions of Food Sustainability. Nutrients 11(4)

[5] García-Poza et al. (2020) The Evolution Road of Seaweed Aquaculture: Cultivation Technologies and the Industry 4.0. Int J Environ Res Public Health 17(18)

[6] Hadi, Brightwell (2021) Safety of Alternative Proteins: Technological, Environmental and Regulatory Aspects of Cultured Meat, Plant-Based Meat, Insect Protein and Single-Cell Protein. Foods 10(6)

[7] Jungbluth et al. (2016) Untersuchungen zur umweltfreundlichen Eiweissversorgung

[8] Poore und Nemecek (2018) Reducing food's environmental impacts through producers and consumer. Science

[9] Rösch C, Roßmann M, Weickert S (2019) Microalgae for integrated food and fuel production. GCB Bioenergy 11(1): 326–334

[10] Rubio et al. (2020) Plant-based and cell-based approaches to meat production. Nat Commun 11(1): 6276

[11] Rühl (2019) Insekten: Ein Beitrag zur nachhaltigen Ernährung?

[12] Serra-Majem L, Tomaino L, Dernini S et al. (2020) Updating the Mediterranean Diet Pyramid towards Sustainability: Focus on Environmental Concerns. Int J Environ Res Public Health 17(23)

[13] Smetana et al. (2015) Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. Int J Life Cycle Assess 20(9): 1254–1267

[14] Smetana et al., Hrsg. Agri-Food Waste Streams Utilization for Development of More Sustainable Food Substitutes. Springer International Publishing, Cham

[15] Souza Filho et al. (2019) Mycoprotein: environmental impact and health aspects. World J Microbiol Biotechnol 35(10): 147

[16] Springmann M, Wiebe K, Mason-D'Croz D et al. (2018) Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with countrylevel detail. The Lancet Planetary Health 2(10): e451–e461

[17] Thünen-Institut (Oktober 2020) Thünen-Baseline 2020–2030: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig

[18] Tompa O, Lakner Z, Oláh J et al. (2020) Is the Sustainable Choice a Healthy Choice?-Water Footprint Consequence of Changing Dietary Patterns. Nutrients 12(9)

[19] Umweltbundesamt (2019) Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft – Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen von pflanzlichen Fleischersatzprodukten, essbaren Insekten und In-vitro-Fleisch

[20] Umweltbundesamt (2020) Nischen des Ernährungssystems: Bewertung des Nachhaltigkeits- und Transformationspotenzials innovativer Nischen des Ernährungssystems in Deutschland

[21] van de Kamp ME, Seves SM, Temme EHM (2018) Reducing GHG emissions while improving diet quality: exploring the potential of reduced meat, cheese and alcoholic and soft drinks consumption at specific moments during the day. BMC Public Health 18(1): 264

[22] van den Burg SWK, Dagevos H, Helmes RJK (2021) Towards sustainable European seaweed value chains: a triple P perspective. ICES Journal of Marine Science 78(1): 443–450

[23] van der Weele C, Feindt P, van der Jan Goot A et al. (2019) Meat alternatives: an integrative comparison. Trends in Food Science & Technology 88(2): 505–512

[24] van Huis A (2013) Edible insects. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

[25] Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2018) Sachstand In-vitro-Fleisch

3. Mögliche Transformationspfade für die Ernährungswende

Alternative Proteine bieten die Möglichkeit, als Ergänzung zu tierischen Produkten langfristig und umweltfreundlich die Welternährung zu sichern. Der Agrar- und Ernährungswirtschaft kommt beim Übergang von weniger tierischen Produkten zu mehr alternativen Proteinen eine wichtige Rolle zu. Landwirte müssen etwa lernen, die richtige Sorten der Kulturpflanzen optimiert für den menschlichen Verzehr anzubauen. Oder sie müssen auf andere Produktionsformen umsatteln. Dazu benötigen sie jedoch die richtigen Rahmenbedingungen, damit eine Transformation funktionieren kann. Auch die „Farm to Fork"-Strategie der Europäischen Kommission unterstützt einen Umbau der Ernährungssysteme zur Produktion von nachhaltigeren Lebensmitteln.

Unsicherheit in der Planung verhindert derzeit jedoch Umstrukturierungen bei landwirtschaftlichen Betrieben. So ist für Viehhalter schwer einschätzbar, was der kurzfristige Markt, die langfristige Industrielogik oder die teils unkalkulierbare Größe der Ökologie mit sich bringen. So kann an die Ökologie beispielsweise kein Preisschild gehängt werden, solange negative Kosten der Produktion weiterhin externalisiert werden können. Dies führt vor allem in der Schweinebranche derzeitig auch zu einem quasi „Stillstand", einem Ausharren im Status Quo als Strategie der Unsicherheitsbewältigung [15].

Was können also die verschiedenen Akteure wie die Wissenschaft, Politik, Nichtregierungsorganisationen sowie die Landwritschaft selber beitragen, damit die Transformationspfade gelingen?

Schlussfolgerung KErn

Transformationspfade: Was können die verschiedenen Akteure leisten?

Wissenschaft & Forschung	↗ Grundlagenforschung zu pflanzlichen Rohstoffen betreiben ↗ Technologien verstehen und verbessern ↗ Hürden der Verbraucherakzeptanz ermitteln ↗ Transistionskosten abschätzen („True Cost of Food“) ↗ Ziele und Strategien für die Transformation definieren
Politik	↗ Mehrwertsteuer auf tierische Produkte erhöhen ↗ Alternative Proteinquellen subventionieren ↗ Rechtliche Hürden für die Etablierung neuer Produkte abbauen ↗ Forschungsanstrengungen für die Weiterentwicklung von Produktionssystemen und Etablierung von Transistionsstrategien finanzieren ↗ Freiwerdende Flächen und deren Umbau zu Wäldern oder Naturschutzgebieten prämieren ↗ Nudging-Maßnahmen in der Gemeinschaftsverpflegung umsetzen ↗ Betriebe für ökologisches Engagement prämieren ↗ Nachhaltigkeitssiegel etablieren ↗ Informationskampagnen über die Vorteile der Produkte starten bzw. auch eine gesellschaftliche Diskussion und Offenheit gegenüber neuen Technologien fördern.
Nicht-Regierungs-Organisationen	↗ Mit Vertretern aus Politik, Wissenschaft, Industrie, Landwirtschaft sowie Verbrauchern in Dialog treten ↗ Umschulungsprogramme finanzieren ↗ Junge Menschen für die neuen Industrien begeistern ↗ Techologieoffene Debattte mit unterstützen ↗ Keine ideoligie-getriebene Technologiefeindlichkeit unterstützen
Landwirtschaft	↗ Einer möglichen Transformation offen gegenüberstehen ↗ Die Verbindung zu Verbrauchern stärken ↗ Chancen nutzen und erkennen

Executive Summary

Während immer mehr Menschen vegetarisch, vegan oder flexitarisch essen, wächst der Markt an innovativen Produktentwicklungen, die ohne Milch, Fleisch oder Eier auskommen. Derzeit im Handel finden sich vor allem pflanzliche Ersatzprodukte. Aber auch Produkte aus Mykoproteinen, Mikroalgen oder Seetang sind am Markt erhältlich, wobei Algen eher als Beigabe und nicht als Grundprotein zum Einsatz kommen. In Asien, genauer Singapur, wurde Ende 2020 erstmals weltweit Hühnerfleisch aus der In-vitro-Produktion zugelassen und soll laut Medienberichten dort in einem Restaurant angeboten werden. Mikrobielle Proteine befinden sich indes noch in der Entwicklungsphase, sie sind derzeit in Europa nur in Form von Bäckerhefe oder als Joghurtkulturen in Lebensmitteln auf dem Markt, während es in USA bereits einige Lebensmittel, wie Speiseeis, aus mikrobieller Produktion gibt.

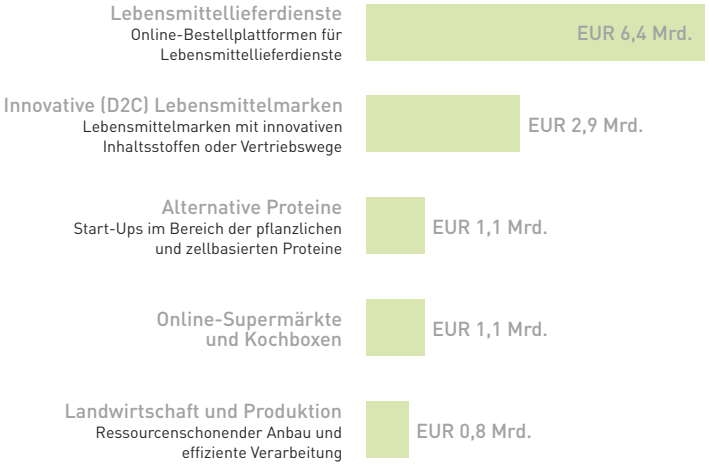
Derzeit halten alternative Proteine nur zwei Prozent am Gesamtmarkt für Proteine. Alle in der Studie gefundenen Prognosen weisen jedoch auf eine wachsende Branche in den Industrieländern hin. So stiegen die Investitionen in der deutschen Lebensmittelindustrie in den Jahren 2008 bis 2020 beispielweise von 3.260 Millionen Euro auf 5.270 Millionen Euro [44]. Bei den involvierten Produzenten von alternativen Proteinen finden sich große Lebensmittelhersteller aber auch kleine Start-ups. Die Branche erhält Investitionen aus der Ernährungsindustrie aber auch aus der Finanz- und IT-Branche. Start-ups im Bereich der pflanzlichen und zellbasierten Proteine können mit rund einer Milliarde Euro seit 2015 zu den fünf wichtigsten Investitionstrends neben Online-Bestellplattformen für Lebensmittel-Lieferdienste (6,4 Milliarden Euro) und Lebensmittelmarken mit innovativen Zutaten oder Vertriebskanälen (2,9 Milliarden Euro) in Europa gezählt werden [24].

Während der Markt an Ersatzprodukten wächst, plädieren auch Wissenschaftler und Politiker für eine Ernährungswende, hin zu einer umweltverträglichen und ressourcenschonenden Landwirtschaft. Die EU hat mit dem Programm „Farm-to-Fork" den Rahmen für einen Umbau vorgegeben. Da alternative Proteine alle umweltfreundlicher in der Herstellung sind, vor allem weniger Land nutzen aber meist auch weniger Süßwasser verbrauchen oder niedrigere Klimaemissionen pro Kilogramm Eiweiß aufweisen, könnten sie eine Rolle bei dieser Transformation spielen. Derzeit sind einige Herstellungsprozesse noch energieintensiv, wirklich nachhaltig werden diese Produkte also erst mit grüner Energie oder technischen Optimierungen beim Upscaling. Eine bessere Ökobilanz weisen die Produkte vor allem auch auf, wenn dabei Nebenströme aus der Industrie sowie der Landwirtschaft verwendet werden, um Nährmedien für Zellkulturen und mikrobielle Proteine oder Futtermittel für Insekten zu erzeugen.

Erste Studien weisen darauf hin, dass die so produzierten Proteine auch eine hohe Wertigkeit aufweisen, einige Produkte liefern zudem Ballaststoffe wie etwa Mykoproteine oder pflanzliche Ersatzprodukte. Zudem können Lebensmittel etwa aus dem Bioreaktor mit allen notwendigen Vitaminen und Mineralstoffen angereichert werden. Allerdings gibt es derzeit

Abbildung 15

In welche Trends im europäischen Tech-Food-Markt derzeit am meisten investiert wird



keine Humanstudien, die den Einfluss auf Gesundheit oder Krankheit entsprechend stützen könnten. Bei den neuen Herstellungsprozessen muss wie immer in der Lebensmittelerzeugung auf bestimmte mögliche Kontaminationen oder allergene Substanzen geachtet werden und mithilfe von gesetzlichen Vorgaben flankiert werden, damit die Produkte sicher für den menschlichen Verzehr sind.

Verbraucher stehen derzeit alternativen Proteinen noch skeptisch gegenüber. Vor allem sind Geschmack und Textur vieler pflanzlicher Ersatzprodukte noch nicht überzeugend: Fleischersatz fehlt es an Textur, Milchersatz ist wenig sämig. Einige pflanzliche Produkte werden auch als künstlich, technologisch zu stark bearbeitet und damit auch als ungesund eingestuft. Die Produkte enthalten oft nur Proteinisolate, zudem kommen Zusatzstoffe für die Herstellung zum Einsatz, weswegen sie auch den Ruf von „hoch-prozessierten" Lebensmitteln haben, die von gesundheitsbewussten Verbrauchern abgelehnt werden. Produkte wie Insekten oder Makroalgen sind dagegen im deutschen Kulturkreis ungewohnt und werden darum noch wenig nachgefragt. Dennoch sind Verbraucher bereit, Neues zu probieren, wenn die Vorteile wie Umwelt, Gesundheit oder Tierwohl klar kommuniziert werden. Auch sind vor allem junge Menschen aus urbanen Milieus aufgeschlossener gegenüber Ersatzprodukten. Voraussetzung für die Etablierung von alternativen Proteinen ist jedoch, dass die Preise ähnlich sind, wie die von traditionellen Eiweißquellen.

Eine große Hürde stellt derzeit die Novel-Food-Verordnung der EU dar, da eine Zulassung innovativer Produkte für die Hersteller zeitintensiv und teuer ist. Manche Unternehmen stellen also aus finanziellen Gründen keinen Antrag, andere müssen Jahre auf eine Zulassung warten. Viele Produkte werden darum vorerst auf anderen Märkten etabliert werden, wie dies der Fall von In-vitro-Geflügelfleisch war, das 2020 in Singapur zugelassen wurde. Europäische Hersteller könnten dann das Nachsehen haben, da Produktionsverfahren oder auch FuE-Einrichtungen an anderer Stelle etabliert werden.

Durch einen weiterwachsenden Markt an alternativen Proteinen wird der Markt für tierisches Eiweiß zwangsläufig schrumpfen. Was dies für die deutsche und bayerische Land- und Ernährungswirtschaft bedeutet, ist derzeit unklar. Es konnten keine Daten aus Ländern gefunden werden, die bereits eine größere Industrie an alternativen Proteinen beherbergen, zumal sich weltweit der Marktwert noch bei wenigen Prozent bewegt. Zahlreiche Studienautoren weisen darauf hin, dass die Implikationen einer Transformation nicht ausreichend untersucht wurden. Es gibt zwar erste Studien und Prognosen dazu, wie sich die Reduktion der Produktion tierischer Lebensmittel auf bestimmte Bereiche auswirkt. Klar ist, dass die Viehhaltung erheblich reduziert und dies Arbeitsplätze kosten würde, während in der fleischverarbeitenden Industrie Prozesse an andere Rohstoffe wie Pflanzen angepasst werden können. Unklar ist jedoch, wie viele und wo neue Arbeitsplätze entstehen würden. Es bräuchte z.B. mehr Biologen, Algenbauern oder Insektenwirte. Im Bereich der pflanzlichen Lebens- und Futtermittel würde sich vor allem eine Diversifizierung ergeben, langfristig aber auch ein Rückgang der Produktionsmengen. Im Bereich Futtermittel würden sich hier allerdings vor allem wirtschaftliche Einbußen in Übersee ergeben.

Sicher ist, dass die Transformation nur funktioniert, wenn mit Landwirten ein Dialog geführt wird, wie ein sozial verträglicher Umbau aussehen könnte. Die Transformation müsste zudem mit politischen Maßnahmen flankiert werden, um Landwirte zu beraten oder die verbleibende Viehhaltung, vor allem die Weidehaltung und andere Naturschutzmaßnahmen zu subventionieren.

Übersichtstabelle

Die Vor- und Nachteile von alternativen Proteinquellen und Fleisch im Vergleich

	Pflanzen	Mikroben	Mikroalgen
Rohstoffe	↗ Soja ↗ Erbse ↗ Lupine ↗ Mais ↗ Reis ↗ Weizen ↗ Gras ↗ Zusatzstoffe ↗ Öle aus Kokos oder Sonnenblumen ↗ Pflanzenschutzmittel ↗ Dünger ↗ Energie ↗ Wasser ↗ Sonnenblume ↗ Wasserlinse	↗ Nährmedien z.B. Glucose-Sirup aus Weizen oder aus Nebenströmen ↗ CO_2 oder Methan ↗ Stickstoffdünger	↗ Mikroalgen ↗ Heizenergie
Anbau – Wo?	in Deutschland möglich	in Deutschland möglich	in Deutschland möglich
Produktionsstätte	↗ Ackerbau ↗ verarbeitende Industrie	↗ Ackerbau ↗ Bioreaktor	↗ Open Ponds ↗ Schlauchsysteme
Arbeitskräfte	↗ Landwirte ↗ Industriearbeiter	↗ Chemiker ↗ Zellbiologen ↗ Werk- und Lagerarbeiter	↗ Chemiker ↗ Zellbiologen ↗ Werk- und Lagerarbeiter
Tierwohl	keine Tiere involviert	keine Tiere involviert	keine Tiere involviert
Umwelt	↗ geringer Wasserverbrauch ↗ geringe THG	↗ geringer Wasserverbrauch ↗ geringe THG	↗ geringer Land- und Energieverbrauch
Gesundheit	↗ hoher Proteingehalt ↗ weniger Fett (kaum Cholesterin) ↗ Ballaststoffe ↗ Hoher Verarbeitungsgrad (viele Zutaten und Zusatzstoffe)	↗ hoher Proteingehalt ↗ Hoher Puringehalt ↗ Möglicher Toxingehalt ↗ Mögliche Kontamination mit Bakterien ↗ Mögliche Allerginität	↗ hoher Proteingehalt ↗ Kohlenhydrate ↗ Carotinoide ↗ Vitamine ↗ Mineralstoffe ↗ Fettsäuren ↗ Mögliche Kontamination mit Schwermetallen, Bakterien oder Pilzen

THG = Treibhausgasemissionen FS = Fettsäuren

Makroalgen	In-vitro-Fleisch	Insekten	Fleisch und Milch
↗ Makroalgen ↗ Energie für die Trocknung ↗ keine Pestizide und Dünger notwendig	↗ Mais ↗ Soja ↗ Cyanobakterien ↗ Antibiotika ↗ Wasser ↗ Heizenergie	↗ Nahrungspflanzen ↗ Nebenströme	↗ Soja ↗ Mais ↗ Gras ↗ Pestizide ↗ Dünger ↗ Antibiotika
abhängig von Produktionslage anderer Länder	in Deutschland möglich	in Deutschland möglich	in Deutschland möglich
↗ Landbasierte Systeme ↗ Küsten ↗ Offshore ↗ Weiterverarbeitung (Trocknung etc.)	↗ Ackerbau ↗ Tierhaltung ↗ Bioreaktor	↗ Insektenfarmen ↗ Weiterverarbeitung (Einfrieren etc.)	↗ Landwirtschaft ↗ Milch- und Viehbetriebe ↗ Weiterverarbeitung
↗ Algenbauern ↗ Industriearbeiter	↗ Chemiker ↗ Zellbiologen ↗ Werk- und Lagerarbeiter	↗ Insektenwirte ↗ Industriearbeiter	↗ Landwirte ↗ Landarbeiter ↗ Schlachter ↗ Fleisch-Verarbeiter ↗ Veterinäre
keine Tiere involviert	Stammzellgewinnung vom Tier (extensive Tierhaltung möglich)	Tierwohl-Aspekte ungeklärt	Tierhaltung zunehmend in der Kritik
↗ geringer Wasserfußabdruck ↗ geringe THG ↗ hoher Energieverbrauch	↗ geringer Landverbrauch ↗ THG hängt von der Herstellung ab ↗ hoher Energie- und Wasserverbrauch	↗ geringer Land- und Wasserverbrauch ↗ geringe THG	↗ hoher Land- und Wasserverbrauch ↗ hoher Futtermittelverbrauch ↗ hohe THG
↗ hoher Proteingehalt ↗ Ballaststoffe ↗ Omega-3-FS ↗ Mineralstoffe ↗ Vitamine ↗ Carotinoide ↗ Gesamtfettgehalt ↗ zu hoher Jodgehalt ↗ Mögliche Kontamination mit Schwermetallen, Pestiziden und Pharmazeutika	↗ Anreicherung mit Vitaminen oder Omega-3-FS möglich ↗ Übertragung von Krankheiten/Keimen unklar ↗ Notwendigkeit von Antibiotika unklar ↗ Langzeitwirkungen bei hohem Konsum unklar	↗ hoher Proteingehalt ↗ Mineralstoffe ↗ Vitamine ↗ Spurenelemente ↗ Ballaststoffe ↗ Kalzium	↗ Hoher Proteingehalt ↗ Hohe biologische Wertigkeit und Verfügbarkeit für den Menschen ↗ Eisen, Zink, Selen, Vitamin A und B-Vitamine

Literaturverzeichnis

1. Aleksandrowicz et al. (2016) The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. PLoS One 11(11): e0165797
2. Araújo et al. (2021) Algae as food and food supplements in Europe
3. Araújo et al. (2021) Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. Front. Mar. Sci. 7: 353
4. Banach et al. (2020) Food safety hazards in the European seaweed chain. Compr Rev Food Sci Food Saf 19(2): 332–364
5. Bayerischer Bauernverband (2020) Steckbrief der bayerischen Landwirtschaft
6. BCG (2019) Food for Thought. The-Protein-Transformation
7. BfR (2020) Insekten als Lebens- und Futtermittel
8. BMEL (2020) Ackerbohne, Erbse & Co.
9. Bryant & Barnett (2018) Consumer acceptance of cultured meat: A systematic review. Meat Sci 143: 8–17
10. Bryant et al. (2021) The farmers dilemma: Meat, means, and morality. Appetite (167)
11. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (2016) Fleisch 2.0
12. Burton (2019) The potential impact of synthetic animal protein on livestock production: The new "war against agriculture"? Journal of Rural Studies (68): 33–45
13. BVE Deutsche Ernährungsindustrie
14. Chen et al. (2019) Dietary Change Scenarios and Implications for Environmental, Nutrition, Human Health and Economic Dimensions of Food Sustainability. Nutrients 11(4)
15. Chriki & Hocquette (2020) The Myth of Cultured Meat: A Review. Front Nutr 7: 7
16. Derbyshire & Ayoob (2019) Mycoprotein. Nutr Today 54(1): 7–15
17. Diekmann et al. Sustainability Transitions in der Lebensmittelproduktion
18. Diekmann et al. (2020) Welches Potenzial haben Algen- und Insektenproteine als Futtermittelkomponente in Deutschland
19. Europäische Kommission (2021) Plant-based foods in Europe: How big is the market? Smart Protein Plant-based Food Sector Report by Smart Protein Project, European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (No 862957)
20. FAO (2013) Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Mol Nutr Food Res 57(5): 802–823
21. Food4Future (2021) Verbundprojekt food4future – Nahrung der Zukunft (f4f)
22. Foterek (2020) Pflanzliche Milchalternativen. Ernährungsumschau
23. García-Poza et al. (2020) The Evolution Road of Seaweed Aquaculture: Cultivation Technologies and the Industry 4.0. Int J Environ Res Public Health 17(18)
24. Gerhardt et al. (2019) How Will Cultured Meat and Meat Alternatives disrupt the Agricultural and Food Inustry
25. Good Food Institute (2020) 2020 State of the Industry Report, Plant-based Meat, Eggs and Dairy
26. Hadi, Brightwell (2021) Safety of Alternative Proteins: Technological, Environmental and Regulatory Aspects of Cultured Meat, Plant-Based Meat, Insect Protein and Single-Cell Protein. Foods 10(6)
27. Hartmann N (2021) Milchalternativen
28. Hoek et al. (2011) Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person- and product-related factors in consumer acceptance. Appetite 56(3): 662–673
29. Hungry Ventures (2021) Food-Tech-Invest-Report. https://www-hungry-venturescom/wp-content/uploads/2021/03/2021_Food-Tech-Invest-Report_English.pdf
30. Jiang Q, Zhang M, Mujumdar AS (2020) UV induced conversion during drying of ergosterol to vitamin D in various mushrooms: Effect of different drying conditions. Trends in Food Science & Technology 105: 200–210
31. Jungbluth et al. (2016) Untersuchungen zur umweltfreundlichen Eiweissversorgung
32. Kecskes R(G) (2021) IM AUGE DES STURMS
33. Kirchweger g_2021_Tagungsband_21.Klimatag
34. LfL (2020) Agrarmärkte 2019
35. Lonkila A, Kaljonen M (2021) Promises of meat and milk alternatives: an integrative literature review on emergent research themes. Agric Hum Values 38(3): 625–639
36. Lopes da Silva T, Moniz P, Silva C et al. (2019) The Dark Side of Microalgae Biotechnology: A Heterotrophic Biorefinery Platform Directed to Omega-3 Rich Lipid Production. Microorganisms 7(12)
37. Newton et al. (2021) Social and Economic Opportunities and Challenges of Plant-Based and Cultured Meat for Rural Producers in the US. Front. Sustain. Food Syst. 5: 223
38. Poore & Nemecek (2018) Reducing food's environmental impacts through producers and consumer. Science
39. ProVeg (2021) Immer mehr vegane Restaurants
40. Prüser et al. (2021) Mikroalgen als neuartige Lebensmittel. Ernährungsumschau 68(4)
41. Rösch et al. (2019) Microalgae for integrated food and fuel production. GCB Bioenergy 11(1): 326–334
42. Rubio et al. (2020) Plant-based and cell-based approaches to meat production. Nat Commun 11(1): 6276
43. Rühl (2019) Insekten: Ein Beitrag zur nachhaltigen Ernährung?
44. Santo et al. (2020) Considering Plant-Based Meat Substitutes and Cell-Based Meats: A Public Health and Food Systems Perspective. Front. Sustain. Food Syst.
45. Serra-Majem et al. (2020) Updating the Mediterranean Diet Pyramid towards Sustainability: Focus on Environmental Concerns. Int J Environ Res Public Health 17(23)

46. Smetana et al. (2015) Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. Int J Life Cycle Assess 20(9): 1254–1267
47. Smetana et al. (2017) Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment. Bioresour Technol 245(Pt A): 162–170
48. Smetana et al., Hrsg. Agri-Food Waste Streams Utilization for Development of More Sustainable Food Substitutes. Springer International Publishing, Cham
49. Souza Filho et al. (2019) Mycoprotein: environmental impact and health aspects. World J Microbiol Biotechnol 35(10): 147
50. Springmann et al. (2018) Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail. The Lancet Planetary Health 2(10): e451–e461
51. Statista Der Fleischhunger der Welt
52. Statista Welche der folgenden Innovationen finden Sie interessant bzw. würden Sie eventuell ausprobieren wollen?
53. Statista (2021) Investitionen in der Lebensmittelindustrie in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2020 (in Millionen Euro)
54. Thünen-Institut (Oktober 2020) Thünen-Baseline 2020–2030: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
55. Tompa et al. (2020) Is the Sustainable Choice a Healthy Choice?-Water Footprint Consequence of Changing Dietary Patterns. Nutrients 12(9)
56. Tubb (2019) Rethinking Food and Agriculture 2020–2030
57. UBS Chief Investment Office GWM The food revolution – The future of food and the challenges we face
58. Umweltbundesamt (2013) Globale Landflächen und Biomasse
59. Umweltbundesamt (2019) Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft – Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen von pflanzlichen Fleischersatzprodukten, essbaren Insekten und In-vitro-Fleisch
60. Umweltbundesamt (2020) Nischen des Ernährungssystems: Bewertung des Nachhaltigkeits- und Transformations-potenzials innovativer Nischen des Ernährungssystems in Deutschland
61. van de Kamp et al. (2018) Reducing GHG emissions while improving diet quality: exploring the potential of reduced meat, cheese and alcoholic and soft drinks consumption at specific moments during the day. BMC Public Health 18(1): 264
62. van den Burg et al. (2021) Towards sustainable European seaweed value chains: a triple P perspective. ICES Journal of Marine Science 78(1): 443–450
63. van der Weele et al. (2019) Meat alternatives: an integrative comparison. Trends in Food Science & Technology 88(2): 505–512
64. van Huis A (2013) Edible insects. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
65. Verbraucherzentrale (2017) Marktcheck-vegan-vegetarisch
66. Watson (2021) Dairy-free cheeses featuring novel fermented microbial protein to launch by year end, says Superbrewed Food
67. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2018) Sachstand In-vitro-Fleisch
68. Woll & Böhm (2017) In-vitro meat: A solution for problems of meat production and meat consumption? Ernährungsumschau
69. World Economic Forum (2019) Meat: the Future series. Alternative Proteins

Vorgehen

Recherche & Redaktion
Recherche in wissenschaftlichen Datenbanken, Hintergrundpapiere von deutschen und europäischen Behörden sowie Fachgesellschaften. Es sollten die wichtigsten Studien zu den einzelnen Themen gesammelt werden, die maximal 5 Jahre alt sind, notfalls auch älter. Daraus wurde ein Fazittext erstellt.

KErn

- Dipl. oec. troph. Katrin Sedlmaier
- M.Sc. Ökotrophologie Lisa Himmelsbach

Diese Broschüre ist ein bereichsübergreifendes Projekt der beiden Bereiche Ernährungswissenschaft und Ernährungswirtschaft und Produktion am KErn.

Extern

- Dr. Karin Bergmann
  Insekten, pflanzliche Ersatzprodukte
- Dr. Steffen Jakobs
  In-vitro-Fleisch, Mikroben, Mykoprotein, Mikroalgen
- Dr. Angela Bechthold
  Makroalgen, Gesundheit

Reviews
Die Rechercheergebnisse und Fazittexte wurden von Wissenschaftlern geprüft, durch wichtige Studien ergänzt und entsprechend kommentiert.

- Dr. Miriam Sowa (Mykoprotein)
- Dr. Isabel Muranyi (Mikroben)
- Dr. Sebastian Weickert (Mikroalgen)
- Dr. Stefan Sebök (Makroalgen)
- Prof. Ute Weisz (Pflanzliche Ersatzstoffe)
- Prof. em. Hannelore Daniel (In-vitro-Fleisch)
- Prof. Alexander Vilcinskas (Insekten)

Keywords
Alternative Proteine, Transformation, Technikfolgenabschätzung, Landwirtschaft, Ernährungswirtschaft, Proteinlücke, Wertschöpfungsketten, Eiweißstrategie, Innovationen, Food systems, food security, future foods, impact, Strukturwandel, meat analogs, economic implications, rural communities, disruption, plant protein, edible insects, entomophagia, mycoprotein; fung(h)i, Mykoprotein(e), Myzel, essbare Pilze, Basidiomyceten, mycel, Mikroalgen: Mikroalgen, microalgae, Chlorella, Spirulina, Arthospira platensis, Microbial protein, single cell protein, precision fermentation, cultured dairy, Cultured meat, Laborfleisch, clean meat, cell based meat, in vitro meat, macro algae, seaweed.

Impressum

Herausgeber	KErn – Kompetenzzentrum für Ernährung
	An der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Hofer Straße 20, 95326 Kulmbach
	Am Gereuth 4, 85354 Freising
	poststelle@kern.bayern.de
Stand:	1. Auflage, Januar 2022
Bildnachweis:	Seiten 04, 41: iStock/alvarez Seite 05: KErn/Diana Rauh Seite 31: iStock/GetYourPic Seite 33: iStock/ollo
Gestaltung:	CUBE Kommunikationsagentur GmbH, München

Dieser Code bringt Sie direkt zur Internetseite:
www.kern.bayern.de

Das Kompetenzzentrum für Ernährung (KErn) bündelt das Wissen rund um Ernährung in Bayern und gehört zum Bayrischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF).

Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft davon aus, dass auf die Land- und Ernährungswirtschaft in den nächsten Jahren und Jahrzehnten grundlegende Veränderungen zukommen werden. Dies bestätigt auch die Szenarienstudie des Cluster Ernährung am KErn. Die vielfältigen Ernährungstrends der letzten Jahre wie etwa vegane, flexitarische, glutenfreie oder klimaverträgliche Ernährung, sind aus dieser Sicht nur Vorboten größerer Disruptionen.