

Hintergrundpapier

Stand Oktober 2023

Neue Lebensmittel

Böcher, M.; Bronsema, V.; Brück, T.; Eck, J.; Heiden, S.; Pieschetsrieder, M.

Anmerkung

Dieses Hintergrundpapier fasst die wichtigen Kernaussagen und Diskussionspunkte verschiedener Workshops zu diesem Thema zusammen, die unter Federführung der o. g. Autor:innen im Zeitraum Mai 2022 bis September 2023 unter Beteiligung externer Stakeholder durchgeführt wurden. Es handelt sich nicht um ein Positionspapier des Bioökonomierats. Die Inhalte, Betrachtungsweisen und Schlussfolgerungen stellen keine Handlungsempfehlungen oder Ergebnisse des Bioökonomierats der Bundesregierung dar, sondern spiegeln ausschließlich die Inhalte der Expert:innengespräche wider.

Einleitung und Zusammenfassung

Es ist eine zentrale humanitäre Frage, anzustreben, die Menschheit mit ausreichend gesunder Nahrung zu versorgen. Hierzu hat sich die Weltgemeinschaft (UN) im Rahmen des Pariser Klimaschutzabkommens verabredet und konkrete Zielsetzungen (*Sustainable Development Goals - SDGs*) in ihrem Handlungsprogramm, der Agenda 2030, definiert. Ziel 2 (SDG 2) der 17 Ziele lautet:

„Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern“.

Dabei spielen entsprechende politische Rahmensetzungen auf den verschiedenen staatlichen Ebenen eine entscheidende Rolle. Die auskömmliche Ernährung aller Menschen gilt zudem als ein wichtiger Schlüssel zu Umwelt- und Klimaschutz.

Eine Arbeitseinheit (AE) innerhalb des Bioökonomierats hat die verschiedenen Aspekte der Lebensmittelproduktion im Lichte einer nachhaltigen Bioökonomie diskutiert. Die AE hat sich dabei explizit mit dem Thema (alternative) Proteine befasst und diese Aspekte in einem Workshop gemeinsam mit Expert:innen ausgelotet.

Den Autor:innen des Hintergrundpapiers ist bewusst, dass dieser (bio)technologisch fokussierte Blickwinkel nur einen Ausschnitt darstellt, dessen zukünftige Rolle in den Ernährungssystemen zum jetzigen Zeitpunkt lediglich skizziert werden kann. Angesichts des weltweit nach wie vor steigenden Konsums von Fleisch¹ gilt es, den bereits in Teilen Asiens und zunehmend auch in Europa und Deutschland erkennbaren Veränderungen im Konsumverhalten Rechnung zu tragen. Aufgabe wird es sein, eine Vorausschau zu entwickeln, die dieser Entwicklung im Sinne des SDG 2 den Weg ebnen könnte.

Während die Potenziale der Proteinzufuhr im Rahmen einer veganen und vegetarischen Ernährung in bestimmten Bevölkerungsgruppen in Asien schon lange bekannt² sind, gewinnen diese in Europa und Deutschland erst seit einiger Zeit stärker an Bedeutung³. Dieser Entwicklung folgend, sollen in diesem Hintergrundpapier daher insbesondere die neuen Proteinquellen betrachtet werden. Wohl wissend, dass in unseren Breiten ein Überangebot und einen Überkonsum von Proteinen in der Gesamtbevölkerung herrscht, wollen die Autor:innen beleuchten, durch welche Angebote Verbraucherinnen und Verbraucher für eine nachhaltigere und fleischärmere Ernährung überzeugt werden könnten oder wie Menschen mit Schluckstörungen (Dysphagie) eine ausgewogenere Nahrung garantiert werden kann. Nicht zuletzt kann ein erweitertes Proteinangebot in Regionen helfen, in denen Mangelernährung begegnet werden muss.

Neben den Anforderungen einer ausreichenden und gesunden Ernährung wurden durch Wissenschaftler:innen der EAT-Lancet Commission⁴ mit der Beleuchtung einer „*Planetary Health Diet*“ die Anforderungen einer nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion – insbesondere vor den Notwendigkeiten des Klimaschutzes – in verschiedenen Szenarien betrachtet. Selbst wenn es bis zum Jahr 2050 gelingt, 50 % des Nachernteverlustes von Nahrungsmitteln zu vermeiden, ist eine Reduktion der Produktion von Rind- und Schweinefleisch um rund 75% erforderlich. Entsprechend müsste die Produktion alternativer Proteinquellen, hier insbesondere aus pflanzlichen Proteinen und Fisch bis zum Jahr 2050 um jeweils rund 100 % gesteigert werden. Schon allein die steigende Konkurrenz um Flächen für eine nachhaltigere Landnutzung und die Limitation ökologisch sinnvoller Agrarflächenerträge bzw. Aquakulturen machen hier Überlegungen zu nachhaltigen Lebensmittelproduktionssystemen sowie zu *Novel Food* notwendig. Ziel muss es sein,

¹ Siehe Abbildung: Ahrens (2023b): Produktion von Fleisch weltweit in den Jahren 1961 bis 2023 (in Millionen Tonnen Schlachtgewicht). Statista GmbH. (<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28782/umfrage/die-globale-fleischerzeugung-seit-1990/>).

² Vgl. Bashir (2023): Länder mit dem höchsten Anteil von Vegetariern an der Bevölkerung weltweit im Jahr 2023. Statista GmbH. (<https://de.statista.com/prognosen/261627/anteil-von-vegetariern-und-veganern-an-der-bevoelkerung-ausgewaehlter-laender-weltweit>).

³ So ist der Pro-Kopf-Fleischverbrauch in Deutschland in den letzten Jahren kontinuierlich zurückgegangen (Vgl. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) 2023b) und die gewerbliche Fleischproduktion hat in Deutschland ebenfalls abgenommen (Vgl. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) 2023a).

⁴ Vgl. Willett, Rockström, Loken, Springmann, Lang, Vermeulen et al. (2019): Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. In: *Lancet* 393 (10170).

eine geringe Land- und Trinkwassernutzung sowie einen geringen CO₂-Fußabdruck zu erreichen.

Novel Food ist derzeit verstärkt in den Medien Thema, darum haben die Autor:innen darüber den Einstieg in die Diskussion gewählt. Viele der Ansätze, die den Verbraucher:innen in Zukunft eine nachhaltige und gesunde Ernährung schmackhaft machen könnten und so zur Transformation der Ernährung im Lichte von Klimawandel und Bevölkerungswachstum beitragen könnten, sind noch im Entwicklungsstadium. Ob und in welchem Umfang sie je für die Nahrung des Menschen eine Rolle spielen werden, ist noch nicht deutlich absehbar.

Die Autor:innen wollen mit diesem Hintergrundpapier einen Teil der neuen Ansätze vorstellen und zur Diskussion anregen, wie wünschenswerte nachhaltige Entwicklungen unterstützt werden können. Es sollen neuartige Lebensmittel und neue Proteinquellen vorgestellt werden. Ihre mögliche Rolle für Umwelt- und Klimaschutz und die technologischen Entwicklungen – aber auch das Thema Genuss – aufgezeigt werden. Ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, werden zum Schluss kommerzielle Chancen und Rahmenbedingungen für die Entwicklung neuer Märkte angesprochen.

1. Neuartige Lebensmittel - Novel Food - und innovative Produktion

Lebensmittel sind in der Regel frei verkehrsfähig, sofern sie allen lebensmittelrechtlichen Vorschriften und Qualitätsmerkmalen genügen. Das Inverkehrbringen sogenannter neuartiger Lebensmittel (Novel Food) bedarf jedoch einer Genehmigung nach Artikel 10 der Novel-Food-Verordnung (EU) 2015/2283⁵.

Unter neuartigen Lebensmitteln werden solche Lebensmittel verstanden, die vor dem Stichtag 15. Mai 1997 nicht in nennenswertem Umfang in der EU für den menschlichen Verzehr verwendet worden sind und bestimmten, in der genannten Verordnung aufgeführten Lebensmittelgruppen zugeordnet werden können⁶.

Genehmigungsverfahren nach der Novel Food Verordnung sind derzeit teilweise sehr aufwändig, kostenintensiv und langwierig. Zu Novel Food zählt die Europäische Union exotische Pflanzen, Samen und Früchte, Mikroalgen, Insekten und andere neuartige Lebensmittel, wie z. B. fermentativ generiertes Einzelzellprotein aus Pilzen und anderen mikrobiellen Quellen.

⁵ Europäische Union (EU) (2015): Verordnung (EU) 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2015. 2015/2283. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R2283>).

⁶ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2020): Neuartige Lebensmittel - Novel Food. (<https://www.bmel.de/DE/themen/verbraucherschutz/lebensmittelsicherheit/spezielle-lebensmittel/novel-food.html>).

Auf Basis dieser Regulierung lassen sich z. B. neue Nahrungspflanzen identifizieren und nutzen. So könnte z. B. das auf marginalen oder auch devastierten Böden kultivierbare Nachtschattengewächs *Jatropha Curcas* L. in Zukunft als Novel Food die Grundlage für eine neue pflanzenbasierte Käsealternative sein. Interessant ist dabei, dass die Pflanze komplett genutzt werden kann, da sowohl ihre Proteine als auch ihr Öl hochwertig veredelt und verwendet werden können. Im Sinne einer Circular Economy kann so die Entstehung von „Reststoffen“ von Anfang an vermieden werden.

In den letzten Jahrzehnten wird die seit Jahrtausenden im Grundsatz bekannte biologische Gärung (Fermentation) zunehmend für die Herstellung von Lebensmitteln optimiert. Zellen und Mikroorganismen wurden bis dahin vor allem dazu genutzt, Produkte herzustellen, die diese natürlicherweise als Teil ihres Stoffwechsels bilden. Vorrangiges Ziel der Forschung war es, den Anteil dieser Verbindungen weiter zu erhöhen, günstigere Substrate als Rohstoffe zu etablieren oder die Prozessbedingungen und die nachfolgenden Aufreinigungsschritte so zu optimieren, dass der Ertrag größer und die Qualität besser wurden.

Seit den 1980er Jahren haben gentechnische Methoden Einzug gehalten, mit deren Hilfe der Stoffwechsel der Produktionsorganismen so gelenkt wird, dass sie die gewünschten Produkte in großen Mengen herstellen und die Bildung unerwünschter Nebenprodukte verhindert wird. Seither hat sich die Werkzeugpalette der industriellen Biotechnologie stark erweitert, und Fachleute sprechen von Präzisionsfermentation⁷. So können heute vegetarische oder vegane Käsealternativen auch aus Lipid- und Proteinprodukten mit Präzisionsfermentation durch gentechnisch veränderter Organismen (GVO) oder konventionelle (klassisch) gezüchteten Mikroorganismen gewonnen werden.

Eine Ergänzung zu diesen Verfahren sind im Tank gezogene Zellen von Tieren. Aus diesen sogenannten Zellkulturen können Fleisch oder Fischgerichte hergestellt werden⁸. Diese neuartigen Produktionsquellen- und -verfahren führen im Ergebnis ebenfalls zu „neuartigen Lebensmitteln“.

⁷ Vgl. Lohmann und Graf (2022): Präzisionsfermentation: Maßgeschneiderte Bioproduktion. BIOCUM Interrelations GmbH. (<https://biooekonomie.de/themen/dossiers/praezisionsfermentation-massgeschneiderte-bioproduktion>).

⁸ Siehe Abbildung; Englbrecht und Höpner (2023): Positionspapier des BIO Deutschland. Biotechnologische Alternativprodukte zu Fleisch, Fischgerichten, Eiern und Milchprodukten. BIO Deutschland e. V. (<https://www.biodeutschland.org/de/positionspapiere/positionspapier-der-bio-deutschland-biotechnologische-alternativprodukte-zu-fleisch-fischgerichten-eiern-und-milchprodukten.html>).

2. Proteinversorgung in Deutschland und Ernährungstrends

Expert:innen auf dem Gebiet der Lebensmittelforschung und Humanernährung gehen davon aus, dass zur Umsetzung des SDG 2 nicht die Frage der grundsätzlichen Verfügbarkeit von Proteinen oder deren Mengen-Limitation von Bedeutung ist. Vielmehr führt die Verschärfung von Konflikten, Klimaextremen, wirtschaftlichen Schocks und wachsender Ungleichheit – die oft in Kombination auftreten – zu Schwierigkeiten dabei, ihre Quantität und Qualität sicherzustellen und damit Ernährungsunsicherheiten und Unterernährung vorzubeugen bzw. zu verhindern⁹. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt derzeit die Aufnahme von 0,8 Gramm Protein pro Kilogramm Körpergewicht und Tag für Erwachsene bis zu einem Alter von 64 Jahren sowie eine leicht höhere Zufuhr für Kinder, Schwangere und Ältere (z. B. ein Gramm Protein pro Kilogramm Körpergewicht und Tag ab 65 Jahre)¹⁰. In unseren Breiten werden diese Werte regelmäßig überschritten. Auch deshalb, weil der Fleischkonsum noch immer weit über den empfohlenen Mengen liegt, obwohl er leicht rückläufig ist¹¹.

Bei einer reduzierten Proteinzufuhr ist besonders auf die Ernährung mit hochwertigen Proteinen, die dem Bedarf des Menschen an essenziellen Aminosäuren gerecht werden, zu achten. Bei einer rein pflanzlichen Ernährung kann darum eine Mischung aus pflanzlichen Proteinen und neuen Proteinquellen wie „single cell proteins“ oder einzelnen essenziellen Aminosäuren aus Hefen, Mikroorganismen oder Zellkultur für die Versorgung sinnvoll sein¹². Insbesondere für ältere Menschen, von denen jeder zweite zu wenig hochwertige Proteine zu sich nimmt, sind neue Proteinquellen und -technologien (z. B. 3D-Druck) eine Chance auf eine gesündere altersangepasste Ernährung¹³.

⁹ Vgl. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) et. al. (2023): The State of Food Security and Nutrition in the World. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural-urban continuum. Rome.

¹⁰ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) (2023b): Leitlinie Protein. (<https://www.dge.de/wissenschaft/dge-leitlinien/leitlinie-protein/>).

¹¹ a) Vgl. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) (2023a): Wie beeinflusst die Proteinzufuhr unser Gewicht? (<https://www.dge.de/presse/meldungen/2023/wie-beeinflusst-die-proteinzufuhr-unser-gewicht/>); b) Vgl. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2023b): Fleischverzehr 2022 auf Tiefstand. (https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/230403_Fleischverzehr.html).

¹² a) Vgl. Hertzler, Lieblein-Boff, Weiler, Allgeier (2020): Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. In: *Nutrients* 12 (12); b) Vgl. Al-Mudhafr (2019): Microbiological Sources and Nutritional Value of Single Cell Protein (SCP). In: *JNFP* 2 (2).

¹³ a) Vgl. Hanke, Rittig, Simonis, Mohra, Füsgen, Riecker (2014): Konsensuspapier — Bedarfsgerechte Medikation bei neurologischen und geriatrischen Dysphagie-Patienten. In: *MMW - Fortschritte der Medizin* 156 (13); b) Vgl. Guo, Arslan, Li, Cen, Shi, Huang et al. (2022): Application of Protein in Extrusion-Based 3D Food Printing: Current Status and Prospectus. In: *Foods* 11 (13); c) Vgl. Nachal, Moses, Karthik, Anandharamakrishnan (2019): Applications of 3D Printing in Food Processing. In: *Food Engineering Reviews* 11 (3); d) Vgl. Liu, Zhang, Bhandari, Wang (2017): 3D printing: Printing precision and application in food sector. In: *Trends in Food Science & Technology* 69; e) Vgl. Rasouli, Valverde-Pérez, D'Este, Francisci, Angelidaki (2018): Nutrient recovery from industrial wastewater as single cell protein by a co-culture of green microalgae and methanotrophs. In: *Biochemical Engineering Journal* 134.

Eine altersangepasste Ernährung ist nicht nur für Senior:innen, die in einer Pflegeeinrichtung leben wichtig, sondern ggf. auch bei Personengruppen über 75 Jahren, die mitunter mental oder körperlich eingeschränkt sind. Der demografische Wandel in Deutschland erfordert auch für unser Ernährungssystem ein Umdenken¹⁴. Auch die Anzahl der Personen, die in Deutschland weitgehend auf Fleisch verzichten, nimmt im Übrigen seit etwa sieben Jahren zu.

Das globale Bild sieht anders aus und zeigt den Handlungsbedarf auf: Die Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) prognostizierte die weltweit produzierte Menge an Fleisch für das Jahr 2023 auf rund 364 Millionen Tonnen. Im Vergleich zum Jahr 2000 wuchs die produzierte Fleischmenge somit um mehr als 100 Millionen Tonnen an. In den vergangenen Jahren konnte ein Wandel in der globalen Landwirtschaft beobachtet werden. Die Produktionskosten von Fleisch wurden durch den ansteigenden Anbau von Futtermitteln wie Soja oder Mais geringer, dadurch vergrößerte sich das Fleischangebot in vielen Staaten. Vor allem in den bevölkerungsreichen Staaten Asiens stieg die Nachfrage nach verschiedenen Fleischsorten. Aus diesem Grund wird das meiste Fleisch – vornehmlich Schweine- und Geflügelfleisch – mittlerweile auf dem asiatischen Markt produziert.

3. Ernährung im Lichte von Umwelt- und Klimaschutz

Der Klimawandel wird in Zukunft die Nutzungsmöglichkeiten agrarischer Landflächen regional sehr unterschiedlich reduzieren. Gleichzeitig nehmen auch im Zuge klima- und biodiversitätspolitischer Erfordernisse der Flächenbedarf und der daraus folgende Flächendruck sowie die Nutzungskonflikte zu. Ursachen in Deutschland sind vor allem die nicht landwirtschaftliche Nutzung und das weltweite weitere Bevölkerungswachstum. So haben sich die Staaten im Zuge des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (CBD) auf der Weltnaturkonferenz in Montreal 2022 dazu verpflichtet, 30 % der Land- und Meeresfläche unter Schutz zu stellen. Deutschland will den Anteil erneuerbarer Energien am Strommix bis 2030 auf 80 % erhöhen. Dies gelingt nur mit mehr Flächen für Windkraft und Solarparks. All diese Ziele gleichzeitig zu verwirklichen, erhöht den Druck auf die klassische Agrarproduktion und die Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Flächen.

¹⁴ a) Vgl. The University of Sheffield (2020): More than half of older people don't consume enough protein to stay healthy. (<https://www.sheffield.ac.uk/healthy-lifespan/news/more-half-older-people-dont-consume-enough-protein-stay-healthy>); b) Vgl. Rogeri, Zanella, Martins, Garcia, Leite, Lugaresi et al. (2021): Strategies to Prevent Sarcopenia in the Aging Process: Role of Protein Intake and Exercise. In: *Nutrients* 14 (1); c) Vgl. Leung, Cheng, Tyrovolas, Tang, Liu, Tse et al. (2021): Magnitude, Temporal Trends, and Inequalities in the DALYs and YLDs of Nutritional Deficiency among Older Adults in the Western Pacific Region: Findings from the Global Burden of Disease Study 1990–2019. In: *Nutrients* 13 (12); d) World Health Organization (WHO) (2023): Supplemental nutrition with dietary advice for older people affected by undernutrition. (<https://www.who.int/tools/elena/interventions/nutrition-older-people>); e) Assisting Hands Home Care LLC. (2023): The Importance of Sufficient Protein Intake for the Elderly. (<https://www.assistinghands-il-wi.com/blog/importance-of-sufficient-protein-intake-for-the-elderly/>); f) Hadi und Brightwell (2021): Safety of Alternative Proteins: Technological, Environmental and Regulatory Aspects of Cultured Meat, Plant-Based Meat, Insect Protein and Single-Cell Protein. In: *Foods* 10 (6).

Der Ausstoß von Treibhausgasen (THG) ist einer der Umweltfaktoren, der stark von den Ernährungsgewohnheiten abhängt. Das hat eine Studie von 2018 gezeigt¹⁵ und wurde gerade erneut bestätigt¹⁶. Derzeit stellen die ernährungsbedingten THG-Emissionen (einschließlich Transport) ca. ein Viertel der Gesamtemissionen in Deutschland dar. Im Jahr 2021 sind rund 36 Millionen Tonnen CO₂-äquivalente THG-Emissionen allein auf die direkte Tierhaltung zurückzuführen. Das sind 66 % der Gesamtemissionen der Landwirtschaft. Die Veränderung von Ernährungsgewohnheiten in Entwicklungs- und Schwellenländern hin zu einer westlich orientierten Kost resultierten in eine stark ansteigende Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln (die FAO prognostiziert einen Bedarf von 160 % der derzeitigen Produktion). Dies führt zwangsläufig zu einem signifikanten Anstieg der THG-Emissionen. Um dieser weltweiten Entwicklung entgegenzuwirken, sollte es das Ziel sein, den Konsum von Fleisch, um wenigstens 75 % zu reduzieren.

Fermentative Prozesse haben das Potenzial, zur nachhaltigen Transformation der Lebensmittelherstellung und damit einer nachhaltigeren Ernährung beizutragen. So ließe sich der Flächenbedarf für die Lebensmittelproduktion deutlich zu reduzieren. Biotechnologie und sich daraus ergebende neuartige Lebensmittel haben laut Expert:innen das Potenzial – wenn sie Lebensmittel aus bzw. von lebenden Tieren in der Ernährung ersetzen – viele Umweltfolgen, um über 80 % zu reduzieren, ohne dabei Abstriche bei Nährhaftigkeit und Geschmack oder im praktischen Verzehr mit sich zu bringen (met nutrition and feasible consumption constraints). Besonders starke Effekte sehen Fachleute beim Flächen- und Wasserverbrauch¹⁷. Alternative Proteine, deren Herstellung keine oder deutlich weniger Anbauflächen benötigt, erscheinen hier besonders vorteilhaft. Hier sind besonders Einzellerproteine (single cell proteins) aus Mikroorganismen wie filamentösen Pilzen, Hefen und Mikroalgen zu nennen^{18, 19, 20}. Letztere bieten bei einer photoautotrophen Herstellung – also einer Herstellung mit Licht als Energiequelle – zusätzlich die Möglichkeit als aktive Senke für Treibhausgase wie CO₂ zu agieren^{21, 22, 23}. Auch die

¹⁵ Vgl. Springmann, Clark, Mason-D’Croz, Wiebe, Bodirsky, Lassaletta et al. (2018): Options for keeping the food system within environmental limits. In: Nature 562 (7728).

¹⁶ Vgl. Scarborough, Clark, Cobiac, Papier, Knuppel, Lynch et al. (2023): Vegans, vegetarians, fish-eaters and meat-eaters in the UK show discrepant environmental impacts. In: Nature Food 4 (7).

¹⁷ Vgl. Mazac, Meiniälä, Korkalo, Järviö, Jalava, Tuomisto (2022): Incorporation of novel foods in European diets can reduce global warming potential, water use and land use by over 80. In: Nature Food 3 (4).

¹⁸ Vgl. Pereira, Fraga-Corral, Garcia-Oliveira, Otero, Soria-Lopez, Cassani et al. (2022): Single-Cell Proteins Obtained by Circular Economy Intended as a Feed Ingredient in Aquaculture. In: Foods 11 (18).

¹⁹ Vgl. Nyssölä, Suhonen, Ritala, Oksman-Caldentey (2022): The role of single cell protein in cellular agriculture. In: Current Opinion in Biotechnology 75.

²⁰ Vgl. Bratosin, Darjan, Vodnar, (2021): Single Cell Protein: A Potential Substitute in Human and Animal Nutrition. In: Sustainability 13 (16).

²¹ Vgl. Janssen, Wijffels, Barbosa (2022): Microalgae based production of single-cell protein. In: Current Opinion in Biotechnology 75.

²² Vgl. Brune, Lundquist, Benemann (2009): Microalgal Biomass for Greenhouse Gas Reductions: Potential for Replacement of Fossil Fuels and Animal Feeds. In: Journal of Environmental Engineering 135 (11).

²³ Vgl. Zabochnicka, Krzywonos, Romanowska-Duda, Szufa, Darkalt, Mubashar (2022): Algal Biomass Utilization toward Circular Economy. In: Life 12.

Mikroalgenkultivierung benötigt keine landwirtschaftlichen Flächen. Sie kann ohne Süßwasserverbrauch durchgeführt werden und spart damit wertvolle Ressourcen für den konventionellen bzw. ökologischen Landbau. Die resultierende Mikroalgenbiomasse hat einen zehnfach höheren Hektar-Ertrag als jede Landpflanze und besitzt eine drei- bis fünffach höhere Ausbeute an proteinbasierten Nährstoffen bezogen auf die proteinhaltigen Pflanzenteile (z. B. Sojabohnen)²⁴.

Flächenschonend wäre auch die Nutzung von Nebenströmen der Agrar- und Lebensmittelproduktion als Substrate für die Produktion proteinreicher Lebens- und Futtermittel aus Pilzen und Insekten sowie als Grundlage für Aromen²⁵.

Die Herstellung alternativer Proteinquellen darf – ein gleichbleibendes Konsumverhalten vorausgesetzt – nicht zu einem zusätzlichen Flächenbedarf und einem weiteren Verlust der Biodiversität führen.

Fachleute sehen daher insbesondere im Bereich des Ausbaus biotechnologischer Verfahren unter Nutzung von heterotrophen und (photo)autotrophen Prozessen einen großen Hebel zur Einhaltung der Klimaschutzziele²⁶. Ihre Anwendung und Umsetzung im Bereich der Lebensmittelproduktion kann über Lösungsansätze für mehr Klimaschutz und Ressourcenschonung hinaus weitere Beiträge leisten. Hierbei ist besonders die Nutzung von Reststoffströmen der Lebensmittelindustrie zur fermentativen Produktion von Einzellerprotein ein Schritt, der maximal flächen- und ressourcenschonend durchführbar ist und in hochwertige und schmackhafte Produkte für die Verbraucher und Verbraucherinnen resultieren kann²⁷. Die Entwicklung und Markteinführung dieser neuen, innovativen (bio)technologischen Verfahren ermöglicht es auch, eine weltweite Vorreiterrolle in der Vermarktung innovativer Technologien für eine umwelt- und klimaschonende Lebensmittelversorgung einzunehmen und ggf. Technologie- bis hin zu Marktführerschaft zu erlangen²⁸.

²⁴ Vgl. Janssen, Wijffels, Barbosa (2022): Microalgae based production of single-cell protein. In: Current Opinion in Biotechnology 75.

²⁵ Vgl. Tian, Li, Meng, Li (2023): High-yield production of single-cell protein from starch processing wastewater using co-cultivation of yeasts. In: Bioresource Technology 370.

²⁶ a) Vgl. Zabochnicka, Krzywonos, Romanowska-Duda, Szufa, Darkalt, Mubashar (2022): Algal Biomass Utilization toward Circular Economy. In: Life 12; b) Vgl. Molitor, Mishra, Angenent (2019): Power-to-protein: converting renewable electric power and carbon dioxide into single cell protein with a two-stage bioprocess. In: Energy & Environmental Science 12 (12); c) Siehe Abbildung: Springmann, Clark, Mason-D'Croz, Wiebe, Bodirsky, Lassaletta et al. (2018): Options for keeping the food system within environmental limits. In: Nature 562 (7728).

²⁷ Vgl. Durkin, Guo, Wuertz, Stuckey (2022): Resource recovery from food-processing wastewaters in a circular economy: a methodology for the future. In: Current Opinion in Biotechnology 76.

²⁸ a) Vgl. Ritala, Häkkinen, Toivari, Wiebe (2017): Single Cell Protein-State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001-2016. In: Frontiers in microbiology 8; b) Vgl. Matassa, Papirio, Pikaar, Hülsen, Leijenhorst, Esposito et al. (2020): Upcycling of biowaste carbon and nutrients in line with consumer confidence: the "full gas" route to single cell protein. In: Green Chemistry 22 (15).

Alternative Proteinquellen können, wenn die Herstellungskosten – wie bei Insektenproteinen in Zukunft möglicherweise – es zulassen, bevorzugt als Bestandteil von Futtermitteln und die „eingesparten“ Hülsenfrüchte (Soja) für die Ernährung des Menschen verwendet werden. Hierzu wären entsprechende Quotierungsregelungen hilfreich, um die Marktdurchdringung zu befördern. Zudem lassen sich auch neue Nahrungspflanzen identifizieren und nutzen²⁹.

Proteine wie Casein oder Solein aus der Präzisionsfermentation können zukünftig zum Nahrungsmix gehören³⁰. Das Geschäftsmodell des deutschen Start-ups Formo, das Milchproteine fermentativ herstellt, fußt auf der Annahme, dass im Jahr 2030 10 % der Milchprodukte durch Produkte aus der Präzisionsfermentation ersetzt werden können.

Während durch Präzisionsfermentation hergestellte Proteine im Vergleich zu Sojaprotein einen 3- bis 8-fach geringeren Trinkwasserverbrauch sowie einen 35- bis 400-fach geringere Landnutzung benötigen³¹, ist der Energiebedarf abseits der Agrarfläche hoch und sollte durch erneuerbare Energien gedeckt werden. Für eine nachhaltige Produktion von alternativen Proteinen mit Präzisionsfermentation – aber auch von Fleisch in der Zellkultur – ist deshalb der beschleunigte Ausbau und die Bereitstellung erneuerbarer Energien, aus Solar- oder Windenergie und „grüner“ Wasserstoff zu fordern³².

4. Neue Lebensmittel, neue Anbaumethoden ohne landwirtschaftliche Umgebung

Neben Präzisionsfermentation sowie Fleisch und Fischgerichten aus der Zellkultur gibt es auch neue Anbaumethoden wie vertical oder urban farming. Die bodenunabhängige Anzucht von Champignons und anderen Pilzen auf sterilisierten Substraten³³ und vielversprechende Ansätze für sogenanntes indoor farming werden in Europa zunehmend angewendet³⁴. In (Acker)flächenland-armen Regionen Asiens wie z. B. Japan und Singapur setzt sich verstärkt der flächensparende Anbau von Salat und Gemüse in geschlossenen

²⁹ Vgl. Janssen, Wijffels, Barbosa (2022): Microalgae based production of single-cell protein. In: Current Opinion in Biotechnology 75.

³⁰ Vgl. Tian, Li, Meng, Li (2023): High-yield production of single-cell protein from starch processing wastewater using co-cultivation of yeasts. In: Bioresource Technology 370.

³¹ a) Vgl. Zabochnicka, Krzywonos, Romanowska-Duda, Szufa, Darkalt, Mubashar (2022): Algal Biomass Utilization toward Circular Economy. In: Life 12; b) Vgl. Molitor, Mishra, Angenent (2019): Power-to-protein: converting renewable electric power and carbon dioxide into single cell protein with a two-stage bioprocess. In: Energy & Environmental Science 12 (12); c) Siehe Abbildung: Springmann, Clark, Mason-D'Croz, Wiebe, Bodirsky, Lassaletta et al. (2018): Options for keeping the food system within environmental limits. In: Nature 562 (7728).

³² Vgl. Durkin, Guo, Wuertz, Stuckey (2022): Resource recovery from food-processing wastewaters in a circular economy: a methodology for the future. In: Current Opinion in Biotechnology 76.

³³ Vgl. Mushroom Research Center Austria GmbH (MRA) (o. J.): Pilzarten. (<https://gluckspilze.com/Pilzarten>).

³⁴ Vgl. Anand (2023): Die Vertical-Farming-Revolution gerät ins Stocken. Capital.de. (<https://www.capital.de/wirtschaft-politik/die-vertical-farming-revolution-geraet-ins-stocken-33064902.html>).

Räumen und steriler Atmosphäre durch³⁵. Obwohl in solchen Anzucht- und Anbau-Systemen in der Regel auf Pestizide und Fungizide verzichtet werden kann, wird das Fehlen der landwirtschaftlichen Umgebung auf dem Acker auch kritisch gesehen. Gleiches könnte auch auf die so genannte zelluläre Landwirtschaft³⁶ als Argument gegen Fleisch aus der Zellkultur ins Feld geführt werden.

Insbesondere Staaten und Regionen, die nicht ausschließlich von Import abhängig sein wollen oder können, nutzen die Vorteile, bei geringerem Wasserverbrauch durch gezielte Nährstoffzufuhr und Lichteinwirkung vergleichsweise hohe Erträge und optimierte Qualität zu erzielen. Die Energieoptimierung ist Gegenstand zukünftiger Wirtschaftlichkeit und steht bei Entwicklern und Herstellern im Fokus.

Vertical Farming ist nur ein Teilbereich (wenn auch ein bedeutender) des sogenannten Smart Farming. Das sind Verfahren, die auf Verknüpfung moderner flächenabhängiger oder unabhängiger landwirtschaftlicher Produktionstechnologie mit Informations- und Kommunikationstechnologien basieren und die Landwirtschaft ressourcen-, energieeffizienter und nachhaltiger gestalten. Dazu zählt auch die Einbindung von autonomen Landmaschinen, optimales Farm-Management, Nutzung von Sensor- und Drohnendaten zur Messung von Maschinen, Pflanzenzustand und Erntemenge. Auch Smart Crop, der wirtschaftlichere Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln im Sinne eines integrierten Pflanzenschutzes, zählt dazu. Es existieren bereits Anlagemodelle für Anleger im Bereich Smart Farming³⁷.

5. Neue Lebensmittel und Genuss

Der Konsum tierischer Produkte lässt sich signifikant durch eine pflanzliche Ernährung oder durch den Einsatz alternativer Proteinquellen reduzieren. Alternative Proteinquellen umfassen u. a. technologisch modifizierte pflanzliche Proteine, wie extrudierte Erbsenproteine in Fleischersatzprodukten und biotechnologisch produzierte Proteine. Biotechnologische Verfahren sind vor allem die in-vitro-Kultivierung von Tierzellen (cultured meat) oder Produkte einer Präzisionsfermentation. Alternative Proteinquellen leisten einen wichtigen Beitrag, da sie den Konsument:innen die Ernährungstransformation ermöglicht, ohne dabei auf das gewohnte Ernährungsverhalten verzichten zu müssen. Die Verbrauchewünsche können in diesen Produkten optimal und individuell berücksichtigt werden.

³⁵ Vgl. Spread Co. Ltd. (2015): Spread's Vertically Farmed Lettuce Sales Exceed 100 Million Servings in Japan. (https://spread.co.jp/en/news-release_20230515/).

³⁶ Vgl. Schnack (2022): Fischstäbchen aus dem Labor. Das ist zelluläre Landwirtschaft. DER SPIEGEL. (<https://www.spiegel.de/wissenschaft/fischstaebchen-aus-dem-labor-das-ist-zellulaere-landwirtschaft-a-2ec7bf55-05b3-46dd-abfa-d2e6e283915d>).

³⁷ Vgl. Eder (2023): Smart-Farming als Zukunftstrend – So verdienen Anleger damit. Börsenmedien AG. (<https://www.boerse-online.de/nachrichten/aktien/smart-farming-als-zukunftstrend-so-verdienen-anleger-damit-20326329.html>).

Beim Genuss von Lebensmitteln spielen Geschmack, Gesundheit, Vertrautheit, Einstellung, Angst vor Neuem oder Experimentierfreude, Ekel, soziale Normen und Preis eine große Rolle. Dabei sind Geschmack, Gesundheitswert und Preis die entscheidenden Barrieren oder Akzeptanzfaktoren. Werden Hülsenfrüchte, Algen, Insekten, pflanzenbasierte Fleisch-Alternativen und Zellkulturfleisch als Proteinquellen im Vergleich betrachtet, schneiden in unseren Breiten Hülsenfrüchte und pflanzliche Fleischalternativen bei den Verbraucher:innen am besten und Zellkulturfleisch und Insekten am schlechtesten ab. Algen liegen dazwischen.

Pescetarier:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen stehen Zellkulturfleisch positiver gegenüber als „Fleisshessende“³⁸. Bei über 50 % der Erstgenannten steht „in-vitro-Fleisch“ für „unter kontrollierten Bedingungen herstellbar“, „nachhaltig“ und „zukunftsweisend“ obwohl über 60 % „unnatürliche Prozesse oder Produktion“ annehmen. Generell bedarf es verschiedener politischer Instrumente, inklusive sogenannter Nudging-Maßnahmen, um den Konsum tierischer Proteine zu reduzieren³⁹.

Maßnahmen, die eine unmittelbare Reduzierung und Verknappung des Fleischangebots, z. B. durch Verbote, zur Folge hätten, würden vermutlich eine enorme Belastungsprobe für unsere Gesellschaft und für unsere Demokratie darstellen. Insbesondere die sozialen Aspekte aufgrund der Verteilungswirkungen einschneidender Maßnahmen dürfen zur Akzeptanzbeschaffung nicht außer Acht gelassen werden. Gleichwohl stehen dem Staat auch verschiedene Instrumente zur Verfügung, um die Marktdiffusion alternativer nachhaltigerer Proteine zu erleichtern oder zu befördern: Ökonomische Instrumente wie Umweltsteuern und Subventionen (ggf. auch über Emissionszertifikate) wären geeignet, nachhaltig produzierte Proteinquellen zu begünstigen und nicht oder weniger nachhaltige Produkte entsprechend zu verteuern. Nachhaltige produzierte Proteinquellen wären dann mit einem Preis ausgezeichnet, der die bei ihrer Produktion entstehenden Externalitäten besser abbildendet. Und natürlich stünde es dem Staat frei, über öffentliche Beschaffung, die auf net-zero-Kriterien und Zirkularität ausgerichtet wäre, eine Vorreiterrolle einzunehmen und entsprechend nachhaltigere Produkte bei der eigenen Beschaffung zu bevorzugen. Weiterhin müssen durch politische Maßnahmen die Entwicklung und Produktion von nachhaltigen Lebensmitteln unterstützt werden und entsprechende Forschung, Entwicklung und Innovation gefördert werden⁴⁰.

³⁸ Siehe Abbildung: Ahrens (2023a): Laborfleisch: Beurteilung der Eigenschaften nach Ernährungsstil 2020. Statista GmbH. (<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1186804/umfrage/beurteilung-der-eigenschaften-von-laborfleisch-nach-ernaehrungsstil/>).

³⁹ Das Konzept des „Nudging“ entstammt der Verhaltensökonomie und geht auf Richard Thaler und Cass Sunstein zurück. Es bezeichnet verschiedene Methoden, das Verhalten von Menschen zu beeinflussen, ohne dabei auf sichtbare Verbote und Gebote zurückgreifen zu müssen. Gerade im Bereich der Veränderung von Konsumverhalten erzielt man hiermit hoch wirksame Effekte.

⁴⁰ Vgl. Bioökonomierat (2023): Bioökonomie nachhaltig umsetzen! Erste Handlungsempfehlungen des Bioökonomierats zur Umsetzung der Nationalen Bioökonomiestrategie. (<https://www.biooekonomierat.de/media/pdf/stellungnahmen/biooekonomierat-broschuere-nachhaltig-umsetzen-DE.pdf?m=1684941445&>).

Ein Beispiel für eine aus Sicht der Politik- und Verbraucherberatung sinnvolle Kommunikationsmaßnahme ist, Verkostungen für neuartige Lebensmittel auch vor der breiten Zulassung zu erlauben. In den Niederlanden ist das aufgrund einer Entscheidung des Parlaments hinsichtlich einer Regelung zur Verkostung (Code of Practice⁴¹) bereits möglich. Genehmigungen für Verkostungen in den Niederlanden werden für maximal zehn ähnliche Verkostungen innerhalb einer Zeitspanne von maximal einem Jahr mit 30 Probanden pro Session erteilt. Auch für Verkostungen ist eine Risikobewertung – allerdings als „abgespeckte“ Variante – erforderlich.

Die Fachleute empfehlen bei Kommunikationsmaßnahmen, den Nutzen und insbesondere den Mehrwert im Vergleich zu konventionellen oder bekannten Produkten zu betonen (Gesundheit, Nachhaltigkeit) und Barrieren zu berücksichtigen, das heißt, z. B. nicht den großen technischen Aufwand bei „Cultured Meat“ (CM) zu beschreiben. Hier sind in bestimmten Teilen der Bevölkerung große Widerstände zu überwinden. Denn bei aller Notwendigkeit, die aktuellen Entwicklungen und Möglichkeiten mit dem Für und Wider offen darzustellen und zu besprechen, stehen beim Thema Lebensmittel vor allem Gefühle im Vordergrund: „Emotionale Faktoren sind vielleicht am wichtigsten – Bequemlichkeit, Gewohnheit, Verdrängung. Wir neigen zu Ausreden.“⁴².

6. Neue Lebensmittel als Geschäftsmodell

Werden Forschung und Entwicklung sowie Ausgründungen und Unternehmenswachstum im Bereich Novel Food auch von der öffentlichen Hand finanziell gefördert und kommunikativ unterstützt, kann das für Europa u. a. folgende Vorteile haben:

Landwirtschaftliche Betriebe und Start-ups, die die neuen Methoden zur Anzucht- und Lebensmittelherstellung zum Geschäftsmodell nehmen wollen, können innerhalb Europas Märkte aufbauen und müssen nicht die Erstzulassung in Asien oder den USA anstreben.

Resultate privat finanzierter Forschung und Entwicklung können als Geschäftsgeheimnisse behandelt werden. Ergebnisse und Erkenntnisse der öffentlichen Forschungsförderung müssen in der Regel veröffentlicht werden und können somit einem breiten Spektrum von Akteuren zugutekommen.

Die öffentliche Förderung spielt auch im Kontext der Biotechnologie weiterhin eine wichtige Rolle. So nimmt die biotechnologische Produktion beispielsweise in der Regel im kleinen Maßstab ihren Anfang und muss skaliert werden, um ökonomisch notwendige

⁴¹ Vgl. NDFR (2023): Code of Practice for Safely Conducting Tastings of Cultivated Foods Prior to EU Approval. (<https://www.ndfr.nl/content/blg-1108513>).

⁴² Kessen (2021): „Menschen neigen zu Ausreden. Und dazu, andere zum Sündenbock zu machen.“ Bethmann Bank. (<https://tenor.bethmannbank.de/gesellschaft/felix-ekardt-menschen-neigen-zu-Ausreden>).

und marktlich erforderliche Erträge zu erzielen. Diese Skalierungen sind deshalb von sehr großer Bedeutung, da allein durch diesen Schritt Produktionskosten realistischer abzuschätzen sein werden und damit für Investoren eine entsprechende Entscheidungsbasis geschaffen werden kann. Dies wiederum ist für die auf Wachstum angelegten Unternehmen überlebenswichtig. Hier sind im Bereich der Proteinalternativen noch einige Hürden zu nehmen, was am Ende dem Tierwohl (z. B. Biopsien anstelle von Massentierhaltungen, Ersatz von fötalem Kälberserum durch alternative Wachstumsfaktoren) und der Umwelt (z. B. Recycling von Anzuchtmedien) zugutekommt. Für die Präzisionsfermentation rechnen Expert:innen mit einer deutlichen Reduktion der Kosten bis 2030 und damit für konkurrenzfähige Marktchancen in der Lebensmittelindustrie⁴³.

7. Fazit

Die an den verschiedenen Workshops beteiligten Expert:innen stimmen darin überein, dass der Staat eine Kombination verschiedener politischer Instrumente einsetzen sollte, um den bereits in Deutschland tendenziell rückläufigen Fleischkonsum weiter zu verringern. Dazu gehören informationelle Instrumente (z. B. Verkostungen, Labeling), aber auch verhaltensökonomische (Nudging) sowie industriepolitische und ökonomische Instrumente. Darüber hinaus sollte die Forschungsförderung im Bereich nachhaltiger alternativer Proteine ausgeweitet werden und dabei auch gesellschaftswissenschaftliche Perspektiven (z. B. zu Verständnis und Akzeptanz bestimmter ernährungspolitischer Instrumente und alternativer Proteinquellen überhaupt) einbezogen werden. Konkrete Ansätze werden von den beteiligten Expert:innen u. a. in den nachfolgenden Punkten gesehen:

Allgemeinwissen über neue Lebensmittel fördern: Der Staat sollte hier eine Kombination verschiedener Instrumente (finanzielle und ökonomische Instrumente, Aufklärung, Information, Nudging etc.) einsetzen, um das Wissen und die Akzeptanz zu steigern.

Forschungsförderung: Der Staat sollte Programme zur Förderung von Grundlagenforschung und Skalierung weiter ausbauen. Auf Länderebene müssten Studium und (Weiter) Bildung so ausgerichtet werden, dass im öffentlichen und im privaten Sektor Fachleute für die entsprechenden Technologien verfügbar sind.

Vorbereitung der Markteinführung: Die Bundesregierung sollte unbürokratisches Upscaling von Laboranlagen⁴⁴ ermöglichen. Auf Länderebene sollten Business Campusmodelle etabliert werden. Politik und Wirtschaft sollten Demonstrationsanlagen mittels Private Public Partnerships installieren.

⁴³ Vgl. Seba und Tubb (2020): The Roadmap to Disruption and Market Opportunities - Rethink Disruption. RethinkX. (<https://rethinkdisruption.com/the-roadmap-to-disruption/>).

⁴⁴ Gebraucht werden spezialisierte Demoanlagen für phototrophe und heterotrophe Prozesse sowie spezialisierte Downstream Processing-Anlagen, wenn Produkte confluent oder filamentös sind.

Verkostungen im Rahmen der Entwicklung neuartiger Lebensmittel: Dem Vorbild der Niederlande folgend, sollte die Politik Verkostungen neuartiger Lebensmittel in Deutschland ermöglichen, um zum einen den Herstellern die Anpassung an die Kundenbedürfnisse und zum anderen den Konsumierenden das Sammeln von Erfahrungen mit neuen Angeboten zu ermöglichen.

Produktzulassung: Auf EU-Ebene sollte eine Leitlinie (Guidance) für die Produktzulassung neuer Lebensmittel in der Europäischen Union durch die zuständige Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) vorliegen. So können Betriebe und Unternehmen, die alternative Proteine oder eine alternative Proteinquelle entwickeln und vertreiben wollen, rasch erfassen, welche Informationen benötigt werden und was im Zulassungsantrag wie bewertet wird. Zudem sollte der Zulassungsprozess transparent gestaltet werden.

Produktbewertung und Kennzeichnung: Um die Frage zu beantworten, ob Lebensmittel basierend auf alternativen Proteinquellen wirklich nachhaltiger und klimafreundlicher sind, sollten diese Lebensmittelgruppen durch geeignete Bilanzierungsmodelle wie LCA oder Ökobilanzierung evaluiert werden. Im Vorfeld sollte bei staatlicher Unterstützung eine standardisierte Methode ausgewählt werden, die verbindlich für alle geförderten Ansätze umzusetzen ist, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Aus der Ökobilanzierung oder einer anderen Bewertung ergibt sich dann die entsprechende Kennzeichnung der Produkte (Eco-Score Labeling).

Finanzierungskonzepte: Die Entwicklung von neuen Produkten ist nicht per se förderwürdig. Eine Förderung sollte nur dann erfolgen, wenn die innovativen Produkte einen bedeutenden Vorteil und zugleich keinen gravierenden Nachteil gegenüber etablierten Produkten haben. Hierbei müssen sich die neuartigen Produkte nicht nur mit der aktuellen fleischintensiven Ernährung, sondern auch mit einer „normalen“ vegetarischen oder veganen Ernährung messen lassen. Kostenlücken zwischen etabliertem und neuentwickeltem Produkt lassen sich im Bedarfsfall über innovative Finanzierungskonzepte schließen. Für Start-ups bedarf es spezieller Finanzierungsmodelle für Innovationsträger z. B. durch eine dezidierte Förderung der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Quellenverzeichnis:

Ahrens, Sandra (2023a): Laborfleisch: Beurteilung der Eigenschaften nach Ernährungsstil 2020. Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1186804/umfrage/beurteilung-der-eigenschaften-von-laborfleisch-nach-ernaehrungsstil/>, zuletzt geprüft am 15.11.2023.

Ahrens, Sandra (2023b): Produktion von Fleisch weltweit in den Jahren 1961 bis 2023 (in Millionen Tonnen Schlachtgewicht). Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28782/umfrage/die-globale-fleischerzeugung-seit-1990/>, zuletzt geprüft am 15.11.2023.

Aidoo, Raphael; Kwofie, Ebenezer M.; Adewale, Peter; Lam, Edmond; Ngadi, Michael (2023): Overview of single cell protein: Production pathway, sustainability outlook, and digital twin potentials. In: Trends in Food Science & Technology 138. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.07.003.

Al-Mudhafr, Adnan (2019): Microbiological Sources and Nutritional Value of Single Cell Protein (SCP). In: JNFP 2 (2). DOI: 10.31579/2637-8914/013.

Anand, Priya (2023): Die Vertical-Farming-Revolution gerät ins Stocken. Hg. v. Capital. Online verfügbar unter <https://www.capital.de/wirtschaft-politik/die-vertical-farming-revolution-geraet-ins-stocken-33064902.html>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Assisting Hands Home Care LLC (Hg.) (2023): The Importance of Sufficient Protein Intake for the Elderly. Online verfügbar unter <https://www.assistinghands-il-wi.com/blog/importance-of-sufficient-protein-intake-for-the-elderly/>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Bashir, Umair (2023): Länder mit dem höchsten Anteil von Vegetariern an der Bevölkerung weltweit im Jahr 2023. Hg. v. Statista GmbH. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/prognosen/261627/anteil-von-vegetariern-und-veganern-an-der-bevoelkerung-ausgewaehlter-laender-weltweit>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Bioökonomierat (Hg.) (2023): Bioökonomie nachhaltig umsetzen! Erste Handlungsempfehlungen des Bioökonomierats zur Umsetzung der Nationalen Bioökonomiestrategie. Online verfügbar unter <https://www.biooekonomierat.de/media/pdf/stellungnahmen/biooekonomierat-broschuere-nachhaltig-umsetzen-DE.pdf?m=1684941445&>, zuletzt geprüft am 15.11.2023.

Bratosin, Bogdan Constantin; Darjan, Sorina; Vodnar, Dan Cristian (2021): Single Cell Protein: A Potential Substitute in Human and Animal Nutrition. In: Sustainability 13 (16). DOI: 10.3390/su13169284.

Brune, D. E.; Lundquist, T. J.; Benemann, J. R. (2009): Microalgal Biomass for Greenhouse Gas Reductions: Potential for Replacement of Fossil Fuels and Animal Feeds. In: Journal of Environmental Engineering 135 (11). DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000100.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2023a): Fleisch. Online verfügbar unter <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/versorgungsbilanzen/fleisch>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2023b): Fleischverzehr 2022 auf Tiefstand. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/230403_Fleischverzehr.html, zuletzt geprüft am 15.11.2023.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2020): Neuartige Lebensmittel - Novel Food. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/verbraucher-schutz/lebensmittelsicherheit/spezielle-lebensmittel/novel-food.html>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (Hg.) (2023a): Leitlinie Protein. Online verfügbar unter <https://www.dge.de/wissenschaft/dge-leitlinien/leitlinie-protein/>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (Hg.) (2023b): Wie beeinflusst die Proteinzufuhr unser Gewicht? Online verfügbar unter <https://www.dge.de/presse/meldungen/2023/wie-beeinflusst-die-proteinzufuhr-unser-gewicht/>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Durkin, Alex; Guo, Miao; Wuertz, Stefan; Stuckey, David C. (2022): Resource recovery from food-processing wastewaters in a circular economy: a methodology for the future. In: Current Opinion in Biotechnology 76. DOI: 10.1016/j.copbio.2022.102735.

Eder, Emmeran (2023): Smart-Farming als Zukunftstrend – So verdienen Anleger damit. Hg. v. Börsenmedien AG. Online verfügbar unter <https://www.boerse-online.de/nachrichten/aktien/smart-farming-als-zukunftstrend-so-verdienen-anleger-damit-20326329.html>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Englbrecht, Claudia; Höpner, Nils (2023): Positionspapier des BIO Deutschland. Biotechnologische Alternativprodukte zu Fleisch, Fischgerichten, Eiern und Milchprodukten. Hg. v. BIO Deutschland e. V. Online verfügbar unter <https://www.biodeutschland.org/de/positionspapiere/positionspapier-der-bio-deutschland-biotechnologische-alternativprodukte-zu-fleisch-fischgerichten-eiern-und-milchprodukten.html>, zuletzt geprüft am 15.11.2023.

Europäische Union (EU) (2015): Verordnung (EU) 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2015. 2015/2283. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R2283>, zuletzt geprüft am 21.11.2023.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO (2023): The State of Food Security and Nutrition in the World. 2023 : Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome: FAO.

Guo, Ziang; Arslan, Muhammad; Li, Zhihua; Cen, Shaoyi; Shi, Jiyong; Huang, Xiaowei et al. (2022): Application of Protein in Extrusion-Based 3D Food Printing: Current Status and Prospectus. In: *Foods* 11 (13). DOI: 10.3390/foods11131902.

Hadi, Joshua; Brightwell, Gale (2021): Safety of Alternative Proteins: Technological, Environmental and Regulatory Aspects of Cultured Meat, Plant-Based Meat, Insect Protein and Single-Cell Protein. In: *Foods* 10 (6). DOI: 10.3390/foods10061226.

Hanke, Frank; Rittig, Tanja; Simonis, Dirk; Mohra, Amira; Füsgen, Ingo; Riecker, Axel (2014): Konsensuspapier — Bedarfsgerechte Medikation bei neurologischen und geriatrischen Dysphagie-Patienten. In: *MMW - Fortschritte der Medizin* 156 (S13). DOI: 10.1007/s15006-014-3228-y.

Hertzler, Steven R.; Lieblein-Boff, Jacqueline C.; Weiler, Mary; Allgeier, Courtney (2020): Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. In: *Nutrients* 12 (12). DOI: 10.3390/nu12123704.

Janssen, Marcel; Wijffels, Rene H.; Barbosa, Maria J. (2022): Microalgae based production of single-cell protein. In: *Current Opinion in Biotechnology* 75. DOI: 10.1016/j.copbio.2022.102705.

Kessen, Maria (2021): „Menschen neigen zu Ausreden. Und dazu, andere zum Sündenbock zu machen.“. Hg. v. Bethmann Bank. Online verfügbar unter <https://tenor.bethmann-bank.de/gesellschaft/felix-ekardt-menschen-neigen-zu-Ausreden>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Leung, Doris Y. P.; Cheng, Hui-Lin; Tyrovolas, Stefanos; Tang, Angel S. K.; Liu, Justina Y. W.; Tse, Mimi M. Y. et al. (2021): Magnitude, Temporal Trends, and Inequalities in the DALYs and YLDs of Nutritional Deficiency among Older Adults in the Western Pacific Region: Findings from the Global Burden of Disease Study 1990-2019. In: *Nutrients* 13 (12). DOI: 10.3390/nu13124421.

Liu, Zhenbin; Zhang, Min; Bhandari, Bhesh; Wang, Yuchuan (2017): 3D printing: Printing precision and application in food sector. In: *Trends in Food Science & Technology* 69. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.08.018.

Lohmann, Björn; Graf, Philipp (2022): Präzisionsfermentation: Maßgeschneiderte Bioproduktion. Hg. v. BIOCOM Interrelations GmbH. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/themen/dossiers/praezisionsfermentation-massgeschneiderte-bioproduktion>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Matassa, Silvio; Papirio, Stefano; Pikaar, Ilje; Hülsen, Tim; Leijenhorst, Evert; Esposito, Giovanni et al. (2020): Upcycling of biowaste carbon and nutrients in line with consumer confidence: the "full gas" route to single cell protein. In: *Green Chemistry* 22 (15). DOI: 10.1039/D0GC01382J.

Mazac, Rachel; Meinilä, Jelena; Korkalo, Liisa; Järviö, Natasha; Jalava, Mika; Tuomisto, Hanna L. (2022): Incorporation of novel foods in European diets can reduce global warming potential, water use and land use by over 80. In: *Nature Food* 3 (4). DOI: 10.1038/s43016-022-00489-9.

Molitor, Bastian; Mishra, Akanksha; Angenent, LARGUS T. (2019): Power-to-protein: converting renewable electric power and carbon dioxide into single cell protein with a two-stage bioprocess. In: *EneEnergy & Environmental Science* 12 (12). DOI: 10.1039/C9EE02381J.

MRCA Mushroom Research Center Austria GmbH (Hg.) (o. J.): Pilzarten. Online verfügbar unter <https://gluckspilze.com/Pilzarten>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Nachal, N.; Moses, J. A.; Karthik, P.; Anandharamakrishnan, C. (2019): Applications of 3D Printing in Food Processing. In: *Food Engineering Reviews* 11 (3), S. 123–141. DOI: 10.1007/s12393-019-09199-8.

NDFR (Hg.) (2023): Code of Practice for Safely Conducting Tastings of Cultivated Foods Prior to EU Approval. Online verfügbar unter <https://www.ndfr.nl/content/blg-1108513>, zuletzt geprüft am 15.11.2023.

Nyysölä, Antti; Suhonen, Anniina; Ritala, Anneli; Oksman-Caldentey, Kirsi-Marja (2022): The role of single cell protein in cellular agriculture. In: *Current Opinion in Biotechnology* 75. DOI: 10.1016/j.copbio.2022.102686.

Pereira, Antia G.; Fraga-Corral, Maria; Garcia-Oliveira, Paula; Otero, Paz; Soria-Lopez, Anton; Cassani, Lucia et al. (2022): Single-Cell Proteins Obtained by Circular Economy Intended as a Feed Ingredient in Aquaculture. In: *Foods* 11 (18). DOI: 10.3390/foods11182831.

Rasouli, Zahra; Valverde-Pérez, Borja; D'Este, Martina; Francisci, Davide de; Angelidaki, Irini (2018): Nutrient recovery from industrial wastewater as single cell protein by a co-culture of green microalgae and methanotrophs. In: *Biochemical Engineering Journal* 134. DOI: 10.1016/j.bej.2018.03.010.

Ribeiro, Gislane Oliveira; Rodrigues, Leticia de Alencar Pereira; Dos Santos, Thiale Borges Silva; Alves, João Pedro Santos; Oliveira, Roseane Santos; Nery, Tatiana Barreto Rocha et al. (2022): Innovations and developments in single cell protein: Bibliometric review and patents analysis. In: *Frontiers in microbiology* 13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1093464.

Ritala, Anneli; Häkkinen, Suvi T.; Toivari, Mervi; Wiebe, Marilyn G. (2017): Single Cell Protein-State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001-2016. In: *Frontiers in microbiology* 8. DOI: 10.3389/fmicb.2017.02009.

Rogeri, Patricia S.; Zanella, Rudyard; Martins, Gabriel L.; Garcia, Matheus D. A.; Leite, Geovana; Lugaresi, Rebeca et al. (2021): Strategies to Prevent Sarcopenia in the Aging Process: Role of Protein Intake and Exercise. In: *Nutrients* 14 (1). DOI: 10.3390/nu14010052.

Scarborough, Peter; Clark, Michael; Cobiac, Linda; Papier, Keren; Knuppel, Anika; Lynch, John et al. (2023): Vegans, vegetarians, fish-eaters and meat-eaters in the UK show discrepant environmental impacts. In: *Nature Food* 4 (7). DOI: 10.1038/s43016-023-00795-w.

Schnack, Thies (2022): Fischstäbchen aus dem Labor. Das ist zelluläre Landwirtschaft. Hg. v. DER SPIEGEL. Online verfügbar unter <https://www.spiegel.de/wissenschaft/fischstaebchen-aus-dem-labor-das-ist-zellulaere-landwirtschaft-a-2ec7bf55-05b3-46dd-abfad2e6e283915d>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Seba, Tony; Tubb, Catherine (2020): The Roadmap to Disruption and Market Opportunities - Rethink Disruption. Hg. v. RethinkX. Online verfügbar unter <https://rethinkdisruption.com/the-roadmap-to-disruption/>, zuletzt aktualisiert am 30.03.2022, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Sillman, Jani; Nygren, Lauri; Kahiluoto, Helena; Ruuskanen, Vesa; Tamminen, Anu; Bajamundi, Cyril et al. (2019): Bacterial protein for food and feed generated via renewable energy and direct air capture of CO₂: Can it reduce land and water use? In: Global Food Security 22. DOI: 10.1016/j.gfs.2019.09.007.

Spread Co. Ltd. (Hg.) (2015): Spread's Vertically Farmed Lettuce Sales Exceed 100 Million Servings in Japan. Online verfügbar unter https://spread.co.jp/en/news-release_20230515/, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Springmann, Marco; Clark, Michael; Mason-D'Croz, Daniel; Wiebe, Keith; Bodirsky, Benjamin Leon; Lassaletta, Luis et al. (2018): Options for keeping the food system within environmental limits. In: Nature 562 (7728). DOI: 10.1038/s41586-018-0594-0.

The University of Sheffield (Hg.) (2020): More than half of older people don't consume enough protein to stay healthy. Online verfügbar unter <https://www.sheffield.ac.uk/healthy-lifespan/news/more-half-older-people-dont-consume-enough-protein-stay-healthy>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Tian, Yajie; Li, Jianzheng; Meng, Jia; Li, Jiuling (2023): High-yield production of single-cell protein from starch processing wastewater using co-cultivation of yeasts. In: Bioresource Technology 370. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.128527.

WHO (Hg.) (2023): Supplemental nutrition with dietary advice for older people affected by undernutrition. Online verfügbar unter <https://www.who.int/tools/elena/interventions/nutrition-older-people>, zuletzt geprüft am 14.11.2023.

Willett, Walter; Rockström, Johan; Loken, Brent; Springmann, Marco; Lang, Tim; Vermeulen, Sonja et al. (2019): Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. In: Lancet 393 (10170). DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31788-4.

Zabochnicka, Magdalena; Krzywonos, Małgorzata; Romanowska-Duda, Zdzisława; Szufa, Szymon; Darkalt, Ahmad; Mubashar, Muhammad (2022): Algal Biomass Utilization toward Circular Economy. In: Life 12. DOI: 10.3390/life12101480.