

Potenziale und Herausforderungen einer zellkultur- basierten Fleischproduktion

Themenkurzprofil Nr. 62 | Tobias Jetzke • Katharina Dassel | Februar 2023

Eine zelluläre Landwirtschaft, insbesondere eine zellkulturbasierte Fleischproduktion, wird zunehmend im Kontext einer ökologisch orientierten Transformation des Ernährungssystems thematisiert.

Die Herstellung zellkulturbasierter Fleischprodukte basiert auf Tissue-Engineering-Verfahren. In einem Nährmedium werden Muskelzellen gezüchtet und zum Wachstum angeregt. Auf einem Trägergerüst kann eine gewebetypische Umgebung aus Muskelfasern wachsen. Noch muss dazu sowohl bei Gewinnung der Muskelstammzellen als auch bei der Nutzung von Trägergerüsten und der Zusammensetzung des Nährmediums auf tierische Bestandteile zurückgegriffen werden.

Obwohl Investitionen in die Entwicklungen und die Verbesserung der Herstellungsverfahren steigen und die negativen Umweltwirkungen herkömmlicher tierischer Produkte durch den Umstieg auf zellkulturbasierte Produkte zukünftig gesenkt werden können, bestehen noch viele Unsicherheiten hinsichtlich der künftigen Verbreitung zellkulturbasierter Fleischprodukte. Faktoren, wie der Verzicht auf fetales Kälberserum und der Einsatz erneuerbarer Energien in der Produktion sowie die Skalierung zur industriellen Fertigung, bestimmen die tatsächlichen Umweltwirkungen.

In Deutschland gibt es bislang nur vereinzelte Forschungsvorhaben und Start-ups, die einen Markteintritt anstreben. Ein Ausbau der Forschungsförderung sowie eine Gestaltung von Zulassungsanforderungen und Kennzeichnungspflichten können eine Rolle bei der Stärkung der nationalen Position im internationalen Vergleich spielen.

Hintergrund und Entwicklungsstand

Das etablierte Ernährungssystem, vor allem die industrielle Lebensmittelproduktion, kann als nicht nachhaltig angesehen werden. Insbesondere die Produktion tierischer Lebensmittel steht in der Kritik, besonders große negative Umweltwirkungen zu haben (Poore/Nemecek 2018, S.987). Landwirtschaft belegt große Mengen an Flächen und verbraucht erhebliche Mengen an Wasser. Besonders die Haltung von Nutztieren beansprucht etwa vier Fünftel der weltweit landwirtschaftlich nutzbaren Fläche (Poore/Nemecek 2018, S.990; Ritchie/Roser 2019), mit erheblichen ökologischen Folgen wie den Verlust von Biodiversität durch einseitige Nutzung (Chatham House 2021) sowie Wasser- und Bodenverschmutzung und Umweltbelastung durch hohe Treibhausgasemissionen.

Der Anteil der landwirtschaftlichen Emissionen an den Gesamtemissionen in Deutschland steigt seit 1990 leicht und lag 2021 bei rund 8 % (UBA 2022)¹. 66 % der Emissionen der Landwirtschaft und damit ca. 5 % der gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands lassen sich allein auf die Tierhaltung zurückführen (UBA 2022). Zusätzlich bestehen weitere negative Einflüsse, die mit Emissionen aus dem Anbau von Futter, der Verarbeitung in der Lebensmittelindustrie, dem Transport tierischer Lebensmittel und Lebensmittelabfällen einhergehen (WWF 2022). Zu den Treibern der ernährungsbedingten Treibhausgasemissionen zählen vornehmlich die Produktion von Fleisch, Fisch und die Weiterverarbeitung von Milchprodukten (WWF 2022).

Eine Transformation des Ernährungssystems und insbesondere der Fleischproduktion ist erforderlich, um die negativen Auswirkungen der aktuell etablierten Produktionsprozesse auf Umwelt und Klima zu reduzieren.

¹ Zum Vergleich: Der Verkehrssektor stößt mit 20 % mehr als doppelt so viel Emissionen aus; ähnlich hoch ist mit 8 % der Ausstoß aus Industrieprozessen.

Transformationshebel für eine nachhaltige Gestaltung des Ernährungssystems

Hebel für eine Transformation des Ernährungssystems können auf Produktions- und Verbrauchsebene sowie bei dem Ersatz von Fleischprodukten durch alternative Proteinquellen ansetzen. Erstere betrifft die nachhaltigere Gestaltung der bisherigen Produktion und Verarbeitung tierischer Produkte, z.B. durch die regionale Versorgung und das Vermeiden langer, emissionstreibender Transportwege oder die Reduktion schädlicher Pestizide und Düngemittel (UBA 2019b).

Der zweite maßgebliche Faktor, um eine Transformation im Ernährungssystem anzukurbeln, betrifft die Konsumseite der Ernährung. Der Pro-Kopf-Fleischkonsum in Deutschland lag 2021 bei 55 kg.² Zwar ist seit den 1990er Jahren ein leichter Rückgang (um insgesamt ca. 5 kg pro Kopf pro Jahr) zu beobachten, allerdings liegt der Verbrauch immer noch weit über der für eine gesunde, nachhaltige Ernährung von der EAT-Lancet Kommission empfohlenen Menge von ca. 15 kg pro Kopf pro Jahr (Willett 2019). Während der deutsche Trend leicht rückläufig scheint, ist der Fleischkonsum weltweit von 2000 bis 2020 allerdings um 45 % gestiegen (Destatis 2022) und soll auch künftig weiter ansteigen (OECD/FAO 2021).³

Als dritter Hebel kommt ein Ersatz von Fleischprodukten durch alternative, umweltfreundlichere Produkte infrage. Hier sind vor allem pflanzen- oder insektenbasierte Alternativprodukte zu nennen, von denen pflanzenbasierte Produkte bereits in großer Vielfalt am Markt verfügbar sind. Zusätzlich kann die zellkulturbasierte Fleischproduktion eine Rolle spielen, um tierischer Produkte nachhaltiger herzustellen (UBA 2019a).

Die Versprechen einer zellkulturbasierten Produktion tierischer Produkte sind vielfältig (Treich 2021): Durch die Verlagerung der Produktion weg von der traditionellen Viehzucht können Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzung reduziert und insbesondere der Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase minimiert werden. So ist der Einfluss zunächst ökologischer Natur, aber auch gesundheitliche Aspekte, die mit dem Verzehr tierischer Lebensmittel, vor allem von Fleisch, einhergehen, spielen eine Rolle. Durch sterile Laborbedingungen bei der Herstellung von Fleisch in Bioreaktoren könnten z. B. Krankheitserreger (Pathogene) eliminiert werden und das Risiko, infektiöse Krankheiten auf den Menschen zu übertragen, würde sinken.

Weiterhin ist die zelluläre Nahrungsmittelproduktion unabhängiger von Wetterbedingungen und könnte damit einen positiven Einfluss auf die Sicherung eines stabilen Ernährungssystems auch unter Starkwetterbedingungen haben.

Schlussendlich sind auch ethisch-moralische Aspekte zu berücksichtigen, da die Produktion zellulärer Tierprodukte nicht auf der Ausbeutung und Schlachtung von Lebewesen in Massentierhaltung beruht.

Herstellungsverfahren

Zur Herstellung zellkulturbasierter Fleischprodukte werden mithilfe von Tissue Engineering Muskelzellen gezüchtet. Dafür muss einem lebenden Spendertier Muskelgewebe entnommen werden, um daraus Stammzellen zu separieren. Diese werden in einem Nährmedium kultiviert und vermehrt, um anschließend in einem Bioreaktor unter optimalen Zuchtbedingungen die Myogenese, die Muskelzellentwicklung, zu vollziehen (UBA 2019a, S.47). Ein Bestandteil des Nährmediums ist fetales Kälberserum, das aus dem Blut von Kuhföten gewonnen wird. Forschungsvorhaben beschäftigen sich u. a. mit dem Ersatz des fetalen Kälberserums durch pflanzliche oder synthetische Alternativen. So hat das Unternehmen Mosa Meat beispielsweise ein neues Verfahren patentiert und Anfang 2022 wissenschaftlich publiziert, welches zeigt, dass sich ein synthetisch hergestelltes Wachstumsmedium vergleichbar zum fetalen Kälberserum verhält und zur Zellkultivierung geeignet ist (Messmer et al. 2022).

Im Bioreaktor wachsen und vermehren sich die Stammzellen in der Proliferationsphase und entwickeln sich in der Differenzierungsphase zu Muskelfasern. Um eine gewebetypische Umgebung abzubilden, wird ein Trägergerüst benötigt, auf dem die Fasern wachsen können. Hier wird bislang zumeist tierisches Kollagen verwendet. Forschungsvorhaben beschäftigen sich allerdings intensiv damit, pflanzliche Ersatzmöglichkeiten zu entwickeln (UBA 2019a, S.48 ff.). Aus den entstehenden Muskelfasern kann ein dem Hackfleisch ähnliches Produkt erzeugt werden.



2 <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/versorgungsbilanzen/fleisch> (14.12.2022)

3 Fleischkonsum korreliert mit dem Einkommen und erst wenn eine gewisse Einkommenssättigung erreicht ist, stagniert der Konsum. Diese ist vor allem in Entwicklungsländern noch lange nicht erreicht (Bonnet et al. 2020).



Historie und Status quo der zellkulturbasierten Fleischproduktion

Die zelluläre Fleischproduktion gewinnt spätestens seit der ersten Patentanmeldung im Jahr 2011 (UBA 2019a, S.50), der Gründung des ersten Start-ups ebenfalls im Jahr 2011 (GFI 2022, S.11) und der öffentlichkeitswirksamen Präsentation des ersten Burgerpattys aus In-vitro-Fleisch im Jahr 2013 an Bedeutung (Chriki/Hocquette 2020, S.2). Seitdem ist nicht nur ein wachsendes wissenschaftliches Interesse zu verzeichnen, das sich in einer steigenden Zahl der Publikationen insbesondere seit 2013 äußert (Chriki/Hocquette 2020, S.2), sondern auch ein zunehmendes wirtschaftliches Interesse. Die zelluläre Fleischproduktion steht dabei im öffentlichen und wissenschaftlichen Diskurs unter Stichwörtern wie Cultured Meat oder In-vitro-Fleisch im Vordergrund.

Die Zahl der Unternehmen, die sich auf Fleischprodukte aus Zellkultur spezialisieren, wächst und Investitionen sind für Risikokapitalgeber zunehmend interessanter geworden (Zulkosky 2022). So stieg 2021 das weltweite Investitionsvolumen auf 1,36 Mrd. US-Dollar und die Zahl der aktiven Investoren erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr um 62 % auf 258 (GFI 2022, S.9). Im Vergleich zu den Vorjahren sank die Anzahl der neu gegründeten Unternehmen 2021 auf 21 (2020: 25, 2019: 23)⁴. Insgesamt stieg die Zahl der Start-ups, die sich auf Input- oder Endprodukte zellkulturbasierter Fleischproduktion spezialisieren, im Jahr 2021 auf 107 weltweit (GFI 2022, S.11). Der Markt in Deutschland ist mit 6 spezialisierten Unternehmen⁵ und 6 weiteren Unternehmen mit Initiativen für zellkulturbasierte Produkte⁶ weit kleiner als in den USA (26), Israel (14) und Großbritannien (12) (GFI 2022, S.15), allerdings haben auch etablierte Fleischproduzenten Marktpotenziale erkannt. Das deutsche Unternehmen

Rügenwalder Mühle beteiligt sich beispielsweise an der deutsch-niederländischen Forschungskoopeation „Respect-Farms“, das sich zum Ziel gesetzt hat, der erste Landwirtschaftsbetrieb mit Fokus auf zellbasiertem Fleisch zu werden (Kapalschinski 2022), und die PHW Gruppe mit der Marke „Wiesenhof“ beteiligt sich an dem Start-up Super Meat⁷ aus Tel-Aviv, um die Entwicklung von Fleisch aus Zellkultur zu fördern (WIESENHOF Geflügel-Kontor GmbH 2018).

Weitere Akteure sind neben privaten Investoren vor allem Non-Profit-Organisationen, wie das spendenfinanzierte Forschungsinstitut New Harvest oder die Denkfabrik Good Food Institute, die neben Beratungsdienstleistungen auch Forschungsaktivitäten durchführt. In Deutschland spielen Interessensgruppen, wie z.B. der Verband für Alternative Proteinquellen, die international tätige Lobbyorganisation CellAg⁸ oder auch die Nichtregierungsorganisation ProVeg⁹, eine Rolle in der Auseinandersetzung mit zellkulturbasiereten Fleischprodukten. Europaweit sind insbesondere das Cultured Food Innovation Hub aus der Schweiz oder die Stiftung Cellular Agriculture Netherlands (CAN)¹⁰ nennenswert. Das Cultured Food Innovation Hub soll ab 2022 als eigenständiges Unternehmen die Entwicklung zellkulturbasierter Produkte voranbringen und Start-ups unterstützen (vegconomist 2021). Das CAN ist ein Forschungs- und Innovationsnetzwerk, das anstrebt, die zelluläre Landwirtschaft in den Niederlanden weiterzuentwickeln.

Auch öffentliche Investitionen in die Erforschung und Entwicklung spielen zunehmend eine Rolle: Die niederländische Regierung stellt im Rahmen eines Wachstumsfonds mit 60 Mio. Euro weltweit die größte Summe zur Förderung zellbasierter Produkte zur Verfügung (GFI Europe 2022), Norwegen plant, ab 2023 ein Projekt mit 2 Mio. Euro zu fördern (vegconomist 2022). Auf EU-Ebene flossen 2020 2,7 Mio. Euro in ein Forschungskonsortium, geleitet von dem spanischen Unternehmen BioTech Foods¹¹, und 2,5 Mio. Euro in ein Projekt, geleitet vom isländischen Unternehmen ORF Genetics (Lomas 2020), weitere 2 Mio. Euro fließen in ein Projekt der niederländischen Unternehmen Mosa Meat¹² und Nutreco¹³ (Macdonald 2022). In Deutschland förderte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit ca. 1,8 Mio. Euro den Forschungsverbund „CELLZERO Meat“ (Laufzeit Sondierungsphase: 1.10.2020–30.9.2021¹⁴; Kaufzeit Machbarkeitsstudie: 1.7.2022–30.6.2024; vegconomist 2023), das Herstellungsverfahren ohne den Einsatz von Antibiotika und fetalem Kälberserum erforschte.

7 <https://supermeat.com/> (14.12.2022)

8 <https://www.cellag.org/> (5.1.2023)

9 <https://proveg.com/de/> (5.1.2023)

10 <https://en.cellulaireagriculture.nl/> (5.1.2023)

11 <https://www.biotech-foods.com/> (14.12.2022)

12 <https://mosameat.com/> (14.12.2022)

13 <https://www.nutreco.com/> (14.12.2022)

14 <https://www.fbn-dummerstorf.de/forschung/projekte/0070/> (10.1.2023)

4 Dies kann mit dem Einfluss der COVID-19-Pandemie und den daraus resultierenden wirtschaftlichen Effekten zusammenhängen.

5 Alife Foods, Bluu Seafood, Cultimate Foods, denovoMATRIX, Innocent Meat und Peace of Meat

6 BPP GmbH, GEA Group AG, LAURA, Merck KGaA, NanoTemper Technologies, Ospin Modular Bioprocessing, Yokogawa Insilico Biotechnology

Wesentliche Herausforderungen bis zur Markteinführung

Bislang werden zellkulturbasierte Fleischprodukte noch nicht im industriellen Maßstab hergestellt oder im Handel angeboten. Bis zur Markteinführung ist eine Reihe von Herausforderungen zu lösen. Dazu zählen u.a. die hohen Produktionskosten sowie technische Herausforderungen.

Die Herstellungskosten (ca. 300.000 US-Dollar) sind seit der Entwicklung des ersten zellkulturbasierten Burgerpattys im Jahr 2013 durch das Mosa Meats zwar deutlich gesunken, aber immer noch nicht wettbewerbsfähig und liegen gegenwärtig bei rund 9 US-Dollar (Chriki/Hocquette 2020, S.4). Das Nähr- und Wachstumsmedium ist einer der stärksten Kostentreiber und baut durch die Notwendigkeit des fetalen Kälberserums bisher auf tierischer Herkunft auf. Die Entwicklungen in der Forschung weisen allerdings darauf hin, dass das Nährmedium zukünftig sehr kostengünstig und ohne tierische Bestandteile hergestellt werden kann, u.a. durch die Wiederaufbereitung der Nährmedien oder den Einsatz pflanzenbasierter Alternativen zum Kälberserum (Specht 2020). Weitere Kostenbestandteile sind die Energie- und Personalkosten, die durch die energieintensive Produktion im Bioreaktor und den erforderliche Einsatz von Arbeitskräften entstehen. Schätzungen, die über Kalkulationen von Herstellungskosten einen zukünftigen Preis projizieren, liegen oft weit auseinander. Dies ist auf unterschiedliche Annahmen und Szenarien zurückzuführen: Eine Studie, bei der unter Annahmen der Massenproduktion kalkuliert wurde, kommt so z.B. auf Kosten von 63 US Dollar/kg (Garrison et al. 2022, S.5), eine vom Good Food Institute beauftragte Studie auf Werte von 116 US-Dollar/kg bis hin zu 6,43 US-Dollar/kg, wenn die Kosten für Nähr- und Wachstumsmedien fallen, die Produktionszeit sinkt und erneuerbare Energien eingesetzt werden (Vergeer 2021).

Darüber hinaus ergeben sich technische Schwierigkeiten bei der Entwicklung, insbesondere hinsichtlich der Optimierung von Textur und Dichte der Produkte, der Farbe oder der Marmorierung, also den sichtbaren Fettstrukturen. Auch die Vielfalt an Fleischprodukten scheint bisher schwer reproduzierbar zu sein (Treich 2021, S. 39). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklungs- und Herstellungsverfahren noch deutlich weiterentwickelt und verbessert werden müssen, bevor eine Markteinführung realistisch erscheint. Die zellkulturbasierte Fleischproduktion muss daher derzeit noch als Technologie in einer frühen Umsetzungsphase angesehen werden (Chriki/Hocquette 2020).

Umwelteffekte zellkulturbasierter Fleischprodukte

Positive und negative Umweltwirkungen eines Produkts können anhand von Lebenszyklusanalysen ermittelt werden. Da bislang noch keine großskalige Produktion von zellkulturbasierten Fleischprodukten erfolgt ist, können die einzelnen Umweltwirkungen nur geschätzt werden. Ergebnisse von Lebenszyklusanalysen zellkulturbasierter Fleischprodukte sind daher mit einem hohen Grad an Unsicherheit verbunden.



Grundsätzlich sind die Ergebnisse von Lebenszyklusanalysen abhängig von den zugrundegelegten Systemgrenzen. Daher zeigen unterschiedliche Lebenszyklusanalysen auch abweichende Ergebnisse (Vural Gursel et al. 2022). Als Einflussfaktoren auf die Umweltbilanz sind, ähnlich wie bei den Herstellungskosten, maßgeblich die notwendigen Inputs, wie das Nährmedium, sowie die Energie für den Betrieb des Bioreaktors zu nennen. In einem Vergleich verschiedener Herstellungsverfahren anhand unterschiedlicher Szenarien zeigt sich, dass die Umweltwirkungen zellkulturbasierter Fleischproduktion in allen Kategorien deutlich geringer sind als bei der Produktion von Rindfleisch, aber vergleichbar mit der von Geflügel. In dem Vergleichsszenario wurde Windenergie für den Betrieb des Bioreaktors sowie für die Säuberung und Sterilisation von Wasser und für die Herstellung der für das Kulturmedium benötigten Aminosäuren genutzt. Ferner wurde in dem Szenario Seewasser für die Kühlung von Bioreaktoren eingesetzt und wiederverwendet sowie eine optimierte Zellteilung¹⁵ angenommen (Tuomisto et al. 2022, S. 10).¹⁶ Weitere Lebenszyklusanalysen zeigen ähnliche Ergebnisse. Verglichen mit pflanzlichen Alternativprodukten schneidet die zelluläre Fleischproduktion hingegen schlechter ab (Sinke/Odegard 2021; Vural Gursel et al. 2022).

Übereinstimmend legen zahlreiche Studien nahe, dass noch signifikante Verbesserungen der Kosteneffizienz und der Prozesse erzielt werden müssen, um die Produktion auf die Mengen zu skalieren und die Herstellungsverfahren zu

¹⁵ Verglichen mit zurzeit herkömmlichen Verfahren.

¹⁶ Untersucht wurden neun Kategorien: Landnutzung, Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Landverschmutzung, Frischwassereutrophierung, Feinstaub, Erderwärmung, Verbrauch fossiler Rohstoffe.

nutzen, die nötig wären, um positive Umweltwirkungen zu erzielen und die herkömmliche Fleischproduktion gänzlich abzulösen (Post et al. 2020).

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Die Nachfrage nach Fleischalternativen ist essenziell, um tatsächliche Effekte für die Ernährungswende zu realisieren (Poore/Nemecek 2018, S.991; Treich 2021, S.36). Für eine Erhöhung der Nachfrage spielen der Abbau gesellschaftlicher Vorbehalte und die Erhöhung der Akzeptanz eine entscheidende Rolle. Akzeptanz bzw. Vorbehalte hängen allerdings stärker von Ernährungsgewohnheiten als von normen- und kulturgeprägtem Verhalten ab, das sich nur langfristig beeinflussen und ändern lässt.

Die Akzeptanz von künstlichem Fleisch ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Negativ beeinflusst wird die Akzeptanz aktuell vom hohen Preis, der „Unnatürlichkeit“ des Produkts, Skepsis in Bezug auf den Geschmack und Bedenken hinsichtlich der Sicherheit und der Umweltauswirkungen der zugrundeliegenden Produktionsprozesse. Auch Ernährungspräferenzen spielen eine Rolle bei der Wahl von Nahrungsmitteln. Fehlende Vertrautheit mit zellkulturbasierten Fleischprodukten kann eine Änderung von Ernährungspräferenzen erschweren. Weiterhin ist noch unklar, ob zellkulturbasierte Fleischprodukte religiösen Traditionen wie Halal oder Kosher entsprechen (Chriki/Hocquette 2020, S.7).

Aktuell verfügbare Studien, die die Verbrauchersicht auf zelluläre Fleischprodukte untersuchen, zeigen zumeist eine geringe Akzeptanz und Offenheit zellkulturbasierten Produkten

gegenüber. Studien zur Verbraucherakzeptanz sind aufgrund methodischer Einschränkungen jedoch nur von begrenzter Aussagekraft. Insbesondere Fragen zur Zahlungsbereitschaft und den Ernährungspräferenzen sind hypothetischer Natur, da die Produkte nicht wie andere Fleischprodukte im Handel erhältlich sind und somit eine begrenzte Vertrautheit der Konsument/innen besteht (Treich 2021, S.42). Angesichts dieser wenig belastbaren empirischen Erkenntnisse ist aktuell schwer abschätzbar, wie groß die Nachfrage nach zellkulturbasierten Fleischprodukten sein wird.

Unklare Auswirkungen zellkulturbasierter Fleischprodukte

Für die Betrachtung wirtschaftlicher Aspekte der nachhaltigen Transformation des Ernährungssystems sind die Entwicklungen im Wettbewerb (Anzahl Wettbewerber, Preis- und Kostenentwicklung) und im Arbeitsmarkt zu berücksichtigen. Bisher sind Prognosen, die erforderliche Arbeitskräfte und Qualifikationen oder Standortfaktoren betreffen, kaum möglich. Auch Aussagen zur künftigen Zahl aktiver Unternehmen sind gegenwärtig nur schwer abschätzbar. Wie aufgezeigt, ist die zellkulturbasierte Produktion zurzeit noch nicht wirtschaftlich und wettbewerbsfähig realisierbar, was sich in mittelfristiger Zukunft durch verbesserte technische Möglichkeiten aber ändern könnte. Dieses Potenzial spiegelt sich in den zunehmenden Risikokapitalinvestitionen und dem wachsenden wirtschaftlichen Interesse großer Fleischproduzenten an Herstellungsverfahren mithilfe von Zellkulturen wider.

Die Entwicklung der zukünftigen Nachfrage und der Umfang möglicher Marktanteile beeinflussen auch die Einschätzung der Auswirkungen auf weitere gesellschaftlich relevante Themenfelder. So könnte die zelluläre Landwirtschaft als



Element einer gesunden Ernährung eine Rolle spielen, da eine Reduktion des Problems der Antibiotikaresistenzen und der Verbreitung von Zoonosen möglich ist, wenn ein geschlossenes Zellkultursystem genutzt wird und multiresistente Keime sich weniger verbreiten. Aus ernährungsphysiologischer Sicht ist zellkulturbasiertes Fleisch, abgesehen von der reineren Herstellungsmöglichkeit, allerdings nicht unbedingt gesünder als herkömmliches Fleisch. Gesundheitsrisiken, die mit dem Verzehr insbesondere von rotem Fleisch einhergehen, bleiben bestehen. Der Einfluss artifizell gezüchteter Zellen auf den menschlichen Organismus ist unter gesundheitlichen Aspekten zudem bisher schlecht erforscht.

Vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung spielt die globale Ernährungssicherheit eine zunehmend wichtige Rolle. Es ist vorstellbar, dass zellkulturbasierte Fleischprodukte dazu beitragen können, die Proteinversorgung von Menschen zu unterstützen. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen einer Erhöhung der globalen Ernährungssicherheit und einer Verbreitung zellkulturbasierter Fleischprodukte aufgrund vielfältiger Wechselwirkungen nicht klar prognostizierbar. Bisher ist z.B. nicht absehbar, welche Wertschöpfungs- und Lieferketten für zellkulturbasierte Fleischprodukte erforderlich sind und wie diese sich weltweit etablieren. Bei einer Verlagerung der Produktion tierischer Produkte ins Labor würden Flächen, die bislang für die Viehzucht und den Futtermittelanbau genutzt wurden, frei werden. Diese Flächen könnten dann für den Anbau proteinreicher Pflanzen verwendet werden.

Für die tatsächliche Realisierung eines Effekts auf die Ernährungssicherheit müssen allerdings globale Wirkmechanismen bei der Herstellung und dem Handel tierischer

Produkte betrachtet werden. So hängt es beispielsweise von den jeweiligen länderspezifischen Anreizstrukturen und regulatorischen Bedingungen ab, wie die Herstellung von und der Handel mit tierischen Produkten organisiert sind. Wenn nun die Hersteller tierischer Produkte dazu bewegt werden sollen, auf zellkulturbasierte Herstellungsverfahren umzustellen, so sind hierzu entsprechende Anreizstrukturen (z.B. Forschungsförderung, Subventionen, steuerliche Vorteile) zu schaffen. Gelingt es nicht, geeignete Anreizstrukturen und regulatorische Rahmenbedingungen zu schaffen, besteht die Gefahr, dass die Produkte aus der Nutztierhaltung in andere Länder mit entsprechender Nachfrage und ohne vergleichbare Anreizstrukturen und Regulierungen exportiert werden.

Ausbau von Forschungsförderung und Gestaltung von Zulassungsanforderungen

Um die etablierte Produktion tierischer Produkte mittel- bis langfristig durch zellkulturbasierte Produkte abzulösen, sind weitere Forschung und Entwicklung notwendig. Zwar ist Deutschland im Bereich der Biotechnologie grundsätzlich gut aufgestellt, investiert aber im internationalen Vergleich (z.B. mit den Niederlanden) in deutlich geringerem Umfang in die spezifische Entwicklung zellkulturbasierter Fleischprodukte. Eine gezielte und in entsprechendem finanziellen Umfang ausgestaltete Forschungsförderung und insbesondere eine Unterstützung des Transfers aus der Wissenschaft in die Praxis können dazu beitragen, die Position Deutschlands zu stärken.

Ein weiteres relevantes politisches Feld ist die Ausgestaltung von Zulassungsvoraussetzungen bzw. -anforderungen für die Inverkehrbringung zellkulturbasierter Produkte auf nationaler Ebene. Auf internationaler Ebene gibt es bereits



Länder, in denen zellkulturbasierte Produkte zugelassen sind: Singapur hat den Verkauf zellkulturbasierter Fleischprodukte bereits zugelassen (Hamzelou 2022) und in den USA wurde im November 2022 der erste Schritt für die Zulassung von Hühnerfleisch des Unternehmens Upside Foods¹⁷ erfolgreich absolviert (Reynolds 2022). Zellkulturbasiertes Fleisch unterliegt in der Europäischen Union der Verordnung (EU) 2015/2283 über neuartige Lebensmittel, die einen klaren Weg zur Genehmigung von neuartigen Produkten aufzeigt. In der EU bzw. auch in Deutschland ist eine Zulassung derartiger Produkte bislang nicht erfolgt. Es liegt auch kein Antrag auf Zulassung bei der zuständigen Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit vor. Ferner ist auf nationaler Ebene in Deutschland noch keine Entscheidung über die erforderliche Produktkennzeichnung erfolgt. Daher ist gegenwärtig unklar, ob zellkulturbasierte Fleischprodukte überhaupt als Fleisch bezeichnet werden und somit, wie eine Inverkehrbringung und eine Vermarktung erfolgen können.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Zellkulturbasierte Fleischproduktion ist bereits 2016 vom TAB in einem Themenkurzprofil bearbeitet worden (TAB 2016, S.8f.). Zum damaligen Zeitpunkt war eine vertiefte Bearbeitung vorgeschlagen worden. Diese umfasste neben der Analyse der Implikationen von zellkulturbasiertem Fleisch (In-vitro-Fleisch) auch andere Fleischalternativen auf Basis von Insekten und pflanzenbasierte Ersatzprodukte. Mittlerweile wurde eine vergleichbare Analyse im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA 2019a) durchgeführt. Der Fokus lag darin insbesondere auf den Umweltwirkungen der drei Alternativen. Mit nachgelagerter Priorität und in geringerem Umfang waren auch gesundheitliche Effekte von Fleischalternativen Gegenstand der Untersuchung.

Seit 2019 sind insbesondere im Bereich der Lebenszyklusanalysen von In-vitro-Fleisch neue Ergebnisse veröffentlicht worden. Grundsätzlich andere Einschätzungen hinsichtlich der Umweltwirkungen zeigen diese neueren Lebenszyklusanalysen jedoch nicht, sodass die wesentlichen Ergebnisse aus dem Trendbericht des UBA (2019a) weiterhin Bestand haben. Neuere Entwicklungen, wie die steigende Zahl an Start-ups sowie die Zunahme von Investorenengagements, verdeutlichen die ökonomischen Potenziale. Auch sind im internationalen Umfeld zunehmende Aktivitäten im Bereich der Forschungsförderung erfolgt.

Eine Bearbeitung durch das TAB könnte diese neuesten Erkenntnisse zu Akteuren, Forschungsförderung und Zulassungsanforderungen bündeln und vertiefen, sodass eine verbesserte Informationsgrundlage für die Gestaltung des innovationspolitischen Rahmens besteht. Als Format für eine vertiefte Bearbeitung durch das TAB bietet sich der Projekt-

und Berichtstyp „TA-Kompakt“ an, der auf eine konzentrierte Behandlung ausgewählter Teil- bzw. Leitfragen zu relevanten wissenschaftlich-technischen Entwicklungen und ihren gesellschaftlichen Auswirkungen abzielt. Zu den Leitfragen werden unterschiedliche wissenschaftliche Standpunkte und Differenzen, Kontroversen und Unsicherheiten aufgearbeitet und offengelegt.

Literatur

- ▶ Bonnet, C.; Bouamra-Mechemache, Z.; Réquillart, V.; Treich, N. (2020): Viewpoint: Regulating meat consumption to improve health, the environment and animal welfare. In: Food Policy 97, Art. 101847
- ▶ Chatham House (The Royal Institute of International Affairs Chatham House) (2021): Food system impacts on biodiversity loss. Three levers for food system transformation in support of nature. (Benton, T.; Bieg C.; Harwatt H.; Pudasaini R.; Wellesley L.) https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2021-02/2021-02-03-food-system-biodiversity-loss-benton-et-al_0.pdf (7.2.2023)
- ▶ Chriki, S.; Hocquette, J.-F. (2020): The Myth of Cultured Meat: A Review. In: Frontiers in nutrition 7, Art. 7
- ▶ Destatis (Statistisches Bundesamt) (2022): Globale Tierhaltung, Fleischproduktion und Fleischkonsum. 27.4.2022, https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Thema/landwirtschaft-fischerei/tierhaltung-fleischkonsum/_inhalt.html (14.12.2022)
- ▶ Garrison, G.; Biermacher, J.; Brorsen, B. (2022): How much will large-scale production of cell-cultured meat cost? In: Journal of Agriculture and Food Research 10, Art. 100358
- ▶ GFI Europe (Good Food Institute Europe) (2022): Netherlands to make biggest ever public investment in cellular agriculture. 14.4.2022, <https://gfi-europe.org/blog/netherlands-to-make-biggest-ever-public-investment-in-cellular-agriculture/> (13.12.2022)
- ▶ GFI (Good Food Institute) (2022): State of the Industry Report: Cultivated meat and seafood. (Cohen, M.; Ignaszewski, E.; Murray, S.; O'Donnell, M.; Maille, S.; Swartz, E.; Voss, S.; Weston, Z.) <https://gfi.org/resource/cultivated-meat-eggs-and-dairy-state-of-the-industry-report/> (13.12.2022)
- ▶ Hamzelou, J. (2022): Fleisch aus dem Labor: Warum Markt und Verbraucher noch nicht so weit sind. heise online, 7.11.2022, https://www.heise.de/hintergrund/Fleisch-aus-dem-Labor-Warum-Markt-und-Verbraucher-noch-nicht-so-weit-sind-7331842.html?wt_mc=rss.red.tr.tr.atom.beitrag.beitrag (16.11.2022)
- ▶ Kapalschinski, C. (2022): Rügenwalder finanziert Projekt für Kunstfleisch. Welt, 8.10.2022, <https://www.welt.de/wirtschaft/article241474213/Ruegenwalder-Wursthersteller-finanziert-Projekt-fuer-Kunstfleisch.html> (12.12.2022)
- ▶ Willett, W.; Rockström, J.; Loken, B.; Springmann, M.; Lang, T.; Vermeulen, S.; Garnett, T.; Tilman, D.; DeClerck, F.; Wood, A.; Jonell, M. et al. (2019): Food in the Anthropocene. The

17 Früher Memphis Meats, <https://upsidefoods.com/> (14.12.2022)

- EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. In: *The Lancet* 393(10170), S.447–492
- ▶ Lomas, N. (2020): Lab-grown meat projects gets first taste of EU public funds. *TechCrunch*, 14.10.2022, <https://techcrunch.com/2020/10/14/lab-grown-meat-project-gets-first-taste-of-eu-public-funds/> (12.12.2022)
 - ▶ Macdonald, C. (2022): New technologies are bringing cultivated meat closer to the mainstream. *Fi Global insights*, 14.7.2022, <https://insights.figlobal.com/innovation/new-technologies-are-bringing-cultivated-meat-closer-mainstream> (14.12.2022)
 - ▶ Messmer, T.; Klevernic, I.; Furquim, C.; Ovchinnikova, E.; Dogan, A.; Cruz, H.; Post, M.; Flack, J. (2022): A serum-free media formulation for cultured meat production supports bovine satellite cell differentiation in the absence of serum starvation. In: *Nature Food* 3(1), S.74–85
 - ▶ OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2021): *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. <https://www.oecd-ilibrary.org/deliver/19428846-en.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fpublication%2F19428846-en&mimeType=pdf> (14.12.2022)
 - ▶ Poore, J.; Nemecek, T. (2018): Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. In: *Science* 360(6392), S.987–992
 - ▶ Post, M.; Levenberg, S.; Kaplan, D.; Genovese, N.; Fu, J.; Bryant, C.; Negowetti, N.; Verzijden, K.; Moutsatsou, P. (2020): Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. In: *Nature Food* 1(7), S.403–415
 - ▶ Reynolds, M. (2022): A Lab-Grown-Meat Startup Gets the FDA’s Stamp of Approval. *WIRED*, 16.11.2022, <https://www.wired.co.uk/article/lab-grown-meat-approval> (14.12.2022)
 - ▶ Ritchie, H.; Roser, M. (2019): *Land Use. Our World in Data*, September 2019, <https://ourworldindata.org/land-use> (2.12.2022)
 - ▶ Sinke, P.; Odegard, I. (2021): LCA of cultivated meat. Future projections for different scenarios. CE Delft, Delft
 - ▶ Specht, L. (2020): An analysis of culture medium costs and production volumes for cultivated meat. *The Good Food Institute*, <https://gfi.org/wp-content/uploads/2021/01/clean-meat-production-volume-and-medium-cost.pdf> (14.12.2022)
 - ▶ TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2016): *Fleisch 2.0 – unkonventionelle Proteinquellen*. (Jetzke, T.; Bovenschulte, M.; Ehrenberg-Silies, S.) TAB-Themenkurzprofil Nr. 5, Berlin
 - ▶ Treich, N. (2021): Cultured Meat: Promises and Challenges. In: *Environmental and Resource Economics* 79, S.33–61
 - ▶ Tuomisto, H.; Allan, S.; Ellis, M. (2022): Prospective life cycle assessment of a bioprocess design for cultured meat production in hollow fiber bioreactors. In: *The Science of The Total Environment* 851(Part 1), Art.158051
 - ▶ UBA (Umweltbundesamt) (2019a): *Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft. Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen von pflanzlichen Fleischersatzprodukten, essbaren Insekten und In-vitro-Fleisch* (Jetzke, T.; Richter, S.; Keppner, B.; Domröse, L.; Wunder, S.; Ferrari, A.). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-25_trendanalyse_fleisch-der-zukunft_web_bf.pdf (23.3.2022)
 - ▶ UBA (2019b): *Transformation des Ernährungssystems: Grundlagen und Perspektiven*. (Schrode, A.; Mueller, L.; Wilke, A.; Fesenfeld, L.; Ernst, J.; Jacob, K.; Graaf, L.; Mahlkow, N.; Späth, P.; Peters, D.) Texte Nr.84/2019, Dessau-Roßlau
 - ▶ UBA (2022): *Treibhausgas-Emissionen in Deutschland*. 15.3.2022, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung> (6.12.2022)
 - ▶ Vegconomist (vegconomist – Das vegane Wirtschafts-magazin) (2021): Givaudan, Bühler und Migros weihen gemeinsam neuen Innovation Hub für kultiviertes Fleisch ein. 15.9.2021, <https://vegconomist.de/food-and-beverage/givaudan-buehler-und-migros-weihen-gemeinsam-neuen-innovation-hub-fuer-kultiviertes-fleisch-ein/> (5.1.2023)
 - ▶ Vegconomist (2022): Norwegen beschließt die Zelluläre Landwirtschaft voranzutreiben. 24.8.2022, <https://vegconomist.de/politik-gesellschaft/politik/norwegen-zellulaere-landwirtschaft/> (14.12.2022)
 - ▶ Vegconomist (2023): FBN-Wissenschaftlerin leitet erstes deutsches Forschungskonsortium für zellbasiertes Fleisch. 9.1.2023, <https://vegconomist.de/kultiviertes-fleisch-zellkultur-biotechnologie/fbn-zellbasiertes-fleisch/> (10.1.2023)
 - ▶ Vergeer, R.; Sinke, P.; Odegard, I. (2021): TEA of cultivated meat. Future projections of different scenarios – corrigendum. CE Delft, Delft
 - ▶ Vural Gursel, I.; Sturme, M.; Hugenholtz, J.; Bruins, M. (2022): Review and analysis of studies on sustainability of cultured meat. *Wageningen Food & Biobased Research, Wageningen*
 - ▶ WIESENHOF Geflügel-Kontor GmbH (2018): *Fleisch aus Zellkulturen: PWH beteiligt sich an Start-up SuperMeat*. Pressebericht, 5.1.2018)
 - ▶ WWF Deutschland (2022): *Essen wir das Klima auf?* 27.10.2022, <https://www.wwf.de/themen-projekte/landwirtschaft/ernaehrung-konsum/essen-wir-das-klima-auf> (14.12.2022)
 - ▶ Zulkosky, C. (2022): Investment in Lab-Grown Meat Intensifying. *The Food Institute*, 26.7.2022, <https://foodinstitute.com/focus/investment-in-lab-grown-meat-intensifying/> (13.12.2022)

Das Horizon-Scanning ist Teil des methodischen Spektrums der Technikfolgenabschätzung im TAB.

Horizon
SCANNING

Mittels Horizon-Scanning werden neue technologische Entwicklungen beobachtet und diese systematisch auf ihre Chancen und Risiken bewertet. So werden technologische, ökonomische, ökologische, soziale und politische Veränderungspotenziale möglichst früh erfasst und beschrieben. Ziel des Horizon-Scannings ist es, einen Beitrag zur forschungs- und innovationspolitischen Orientierung und Meinungsbildung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zu leisten.

In der praktischen Umsetzung werden im Horizon-Scanning softwaregestützte Such- und Analyseschritte mit expertenbasierten Validierungs- und Bewertungsprozessen kombiniert.

Herausgeber: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Gestaltung und Redaktion: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweise: anyivanova/iStock (S. 1), Smederevac/iStock (S. 2), Alex011973/iStock (S. 3), karandaev/iStock (S. 4), bonchan/iStock (S. 5), Rimma_Bondarenko/iStock (S. 6)

ISSN-Internet: 2629-2874