

SONDERDRUCK

aus

3 | 2022

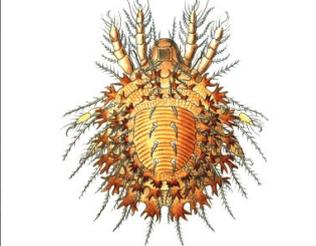
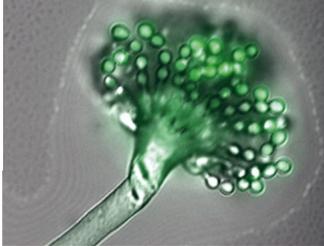
**VBio**

Verband | Biologie, Biowissenschaften  
& Biomedizin in Deutschland

**MYKOLOGIE**  
Lebensbedrohliche  
Pilzinfektionen

**BODEN-  
ORGANISMEN**  
Hornmilben

**ÖKOLOGIE**  
Chemodiversität  
bei Pflanzen



# BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

**Fleischproduktion 2.0**

## Produktion, Nachhaltigkeit und Akzeptanz von kultiviertem Fleisch

# Fleisch(r)evolution

FLORIAN FIEBELKORN | JACQUELINE DUPONT | LENA SZCZEPANSKI | NADINE FILKO



**Utopie oder Realität? Verpackung eines Rindfleischburgers aus Zellkulturen.**  
Abb. BOK+Gärtner und F. Fiebelkorn.

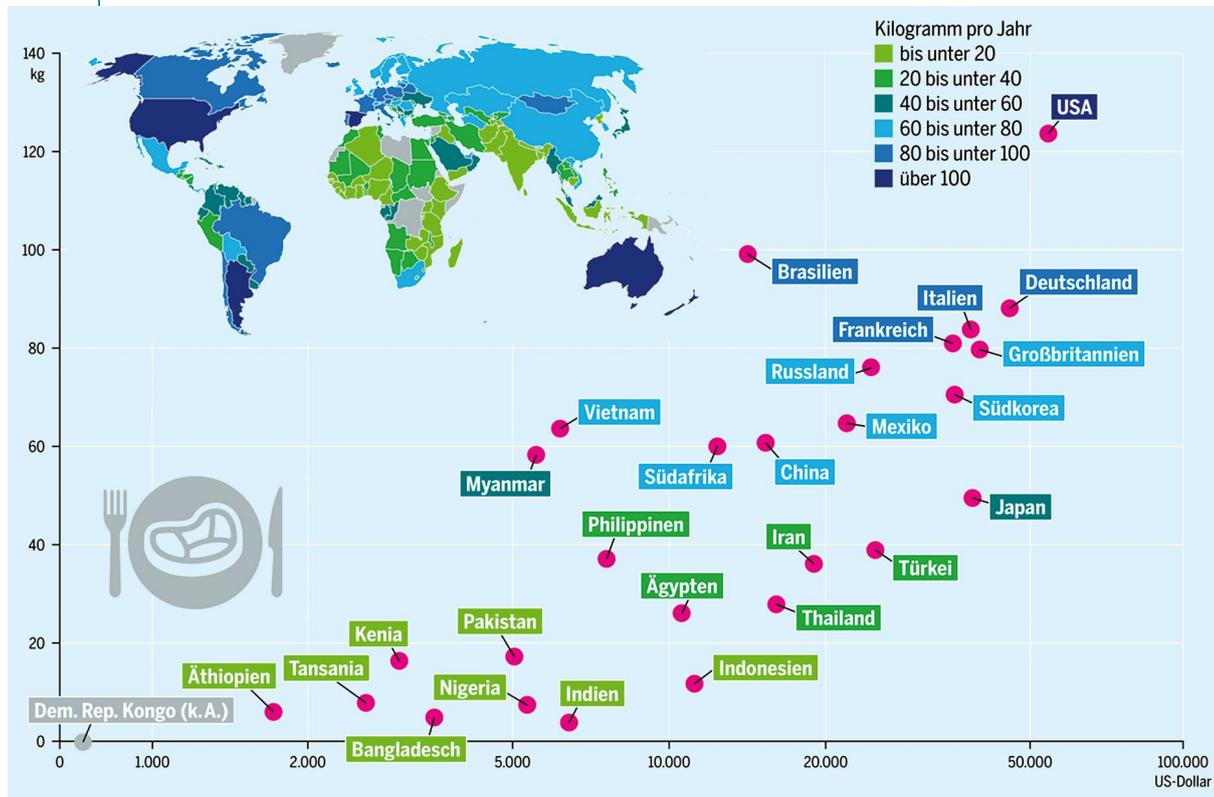
*Die derzeitige Produktion und der hohe Konsum von Fleisch in Industriestaaten wie Deutschland tragen in erheblichem Maße zum Klimawandel und Biodiversitätsverlust bei. Ansätze, die negativen Auswirkungen durch neue Technologien zu überwinden, gibt es viele. Einer davon ist kultiviertes Fleisch. Viele Wissenschaftler, Lebensmittelproduzenten und Start-ups sehen in kultiviertem Fleisch eine nachhaltige und tierethisch vertretbare Alternative zu der konventionellen Produktionsweise von Fleisch. Doch warum ist das mithilfe von Zell- und Gewebekulturtechniken produzierte Fleisch, dessen Herstellung (fast) ganz ohne die Tötung von Tieren auskommt, dann noch nicht auf dem deutschen Markt verfügbar? Der Artikel geht dieser Frage anhand von*

*Einblicken in die Geschichte und aktuelle Produktionsverfahren von kultiviertem Fleisch und dessen Nachhaltigkeitspotenzial nach. Zusätzliche Erklärungsansätze werden auf Basis ernährungspsychologischer Forschungen zur Akzeptanz und der aktuellen rechtlichen Situation zur Zulassung von kultiviertem Fleisch gegeben.*

**B**is 2050 wird die Weltbevölkerung voraussichtlich auf 9,7 Milliarden Menschen ansteigen – insbesondere durch einen Bevölkerungszuwachs in den Schwellen- und Entwicklungsländern [1S]. Der Fleischverbrauch ist in den meisten Industrieländern seit Jahrzehnten auf einem konstant hohen Niveau [2S]. In Deutschland beispielsweise haben die Menschen im Jahr 2017 über 80 kg pro Kopf verbraucht (Abbildung 1). In den Vereinigten Staaten von Amerika wurde im selben Jahr sogar ein Spitzenwert von über 120 kg pro Kopf erreicht [2S]. Mit steigendem Wohlstand der Mittelschicht in den Schwellen- und Entwick-

*Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 259 erklärt.*

ABB. 1 | PRO-KOPF-FLEISCHVERBRAUCH IM JAHR 2017



Abgebildet sind nur Länder mit über 50 Millionen Einwohnern nach Wirtschaftsleistung in US-Dollar und Fleischverbrauch in Kilogramm pro Jahr. Adaptiert aus [110S, S. 11]. Abb. Bartz/Stockmar (M), CC BY 4.0.

lungsländern ist davon auszugehen, dass auch hier die Nachfrage nach Fleischprodukten steigen wird [2S]. Laut Prognosen wird die weltweite Fleischnachfrage auf diese Weise bis 2050 um 70 Prozent ansteigen. Tritt dieses Szenario wirklich ein, werden die Ressourcen unseres Planeten nicht ausreichen, um die Weltbevölkerung mit ausreichend Fleisch zu versorgen [2S, 3].

Dabei ist die industrielle Nutztierhaltung neben dem Transport- und Energiesektor hauptverantwortlich für den Klimawandel und den Verlust von Biodiversität [4S–6S]. Die gesamte Wertschöpfungskette der Produktion von Fleisch – vom Futteranbau bis zum Vertrieb der Waren – verantwortet je nach Berechnungsgrundlage zwischen 18 und 50 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen [5S, 6S]. Zudem wirft die Haltung und Schlachtung von Nutztieren viele tierethische Fragen auf [7S, 8S].

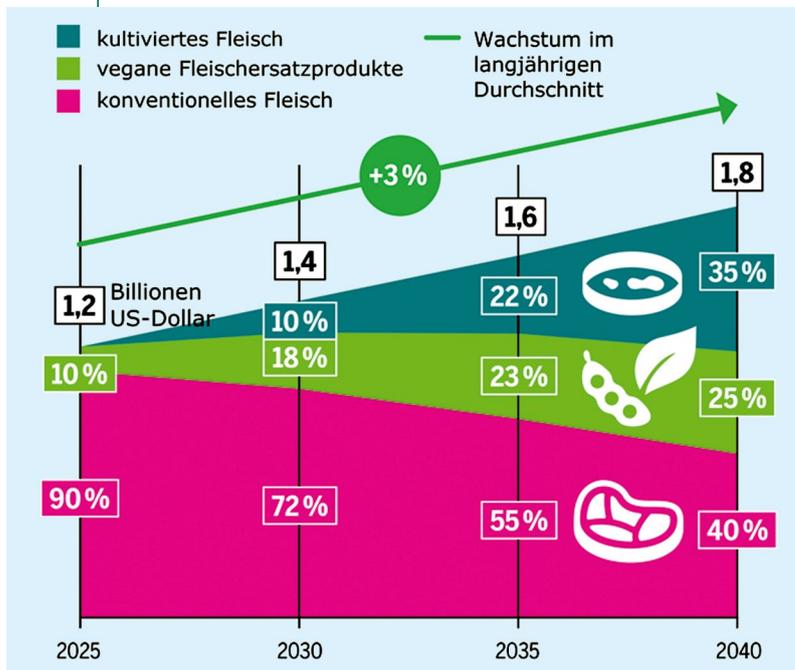
Bei dem reziproken Beziehungsgeflecht zwischen Fleischkonsum, tierischer und menschlicher Gesundheit sowie den daraus resultierenden Umweltbelastungen sprechen Tilman und Clark [9S] auch von einem „Ernährungs-Gesundheits-Umwelt-Trilemma“. Um dieses aufzulösen, ist laut dem Report der EAT-Lancet-Kommission über „Healthy Diets from Sustainable Food Systems“ neben einer Verbesserung der Produktionsbedingungen tierischer Nahrungsmittel eine grundlegende Veränderung unserer Ernährungsweise nötig [10S].

Neben den beiden Entwicklungen einer fortwährenden Intensivierung und Effizienzsteigerung von Produktionssystemen für tierische Nahrungsmittel und einer Reduzierung des Fleischkonsums wird in den letzten Jahren vermehrt das Potenzial nachhaltiger Fleischalternativen, wie beispielsweise von proteinreichen Pflanzen, Insekten und kultiviertem Fleisch, diskutiert [11S–13S]. Denn obwohl ein Großteil der Konsumenten noch nicht bereit ist, den Fleischkonsum zu verringern [14S], finden Fleischalterna-

#### IN KÜRZE

- Der globale Fleischkonsum soll laut Marktanalysen bis 2040 zu 35 Prozent mit kultiviertem Fleisch gedeckt werden.
- Im Dezember 2020 wurde in Singapur als erstem und einzigem Land der Welt kultiviertes Hühnerfleisch für den menschlichen Verzehr zugelassen.
- Eine Zulassung von kultiviertem Fleisch als „Novel Food“ in Europa steht bisher noch aus.
- Die Produktion von kultiviertem Fleisch ist im Vergleich mit der konventionellen Produktion von Fleisch in einigen Punkten nachhaltiger und aus tierethischer Sicht vertretbarer.
- Eine industrielle Produktion von kultiviertem Fleisch zur Versorgung des Lebensmitteleinzelhandels und der Gastronomie ist aus technischen und rechtlichen Gründen bisher (noch) nicht möglich.
- Informationskampagnen sind notwendig, um kultiviertes Fleisch in der deutschen Bevölkerung bekannter zu machen und deren Konsumbereitschaft zu steigern.

**ABB. 2 | PROGNOSE DER GLOBALEN MARKTANTEILE FÜR FLEISCH UND FLEISCHERSATZPRODUKTE**



Angegeben sind die prognostizierten globalen Marktanteile für kultiviertes Fleisch, vegane Fleischersatzprodukte und konventionelles Fleisch in Billionen US-Dollar sowie prozentuale Anteile und durchschnittliches jährliches Wachstum bis zum Jahr 2040. Adaptiert aus [110S, S. 11]. Abb. Bartz/Stockmar (M), CC BY 4.0.

tiven gerade bei jüngeren Konsumenten Anklang. Insbesondere diese zeigen auch eine Tendenz zur Reduzierung ihres Fleischkonsums [15S]. In den kommenden Jahren wird auf dem Fleischersatzmarkt vor allem ein Boom in der Herstellung von pflanzenbasierten Fleischalternativen und kultiviertem Fleisch erwartet [16S]. So wird laut einer Marktanalyse der Unternehmensberatung A.T. Kearney der globale Fleischkonsum in 20 Jahren nur noch zu 40 Prozent mit Fleisch aus konventioneller Nutztierhaltung gedeckt [16S, Abbildung 2]. Insgesamt sollen 35 Prozent der ursprünglichen Marktanteile von konventionellem Fleisch bis 2040 von kultiviertem Fleisch übernommen werden, was einem Finanzvolumen von umgerechnet 0,63 Billionen US-Dollar entspricht – 10 Prozent mehr als für pflanzenbasierte Fleischalternativen prognostiziert werden (Abbildung 2).

### Moderne Fleischalternative mit Geschichte

Im Dezember 2020 hat Singapur als erstes Land der Welt kultiviertes Fleisch in Form von kultiviertem Hühnerfleisch für den menschlichen Verzehr zugelassen [17]. Die Idee, Fleisch aus Zellkulturen herzustellen, ist allerdings schon fast 100 Jahre alt (Abbildung 3). Die Idee von kultiviertem Fleisch wurde wahrscheinlich erstmals 1897 in einem Science-Fiction-Roman mit dem Titel „Auf Zwei Planeten“ von Kurd Laßwitz aufgegriffen [17]. Auch der ehemalige britische Premierminister Winston Churchill hat

bereits 1931 darüber geschrieben, Fleisch aus Zellkulturen herzustellen: „Wir werden von dem Aberwitz abkommen, ein ganzes Huhn zu züchten, um die Brust oder den Flügel zu essen, und jene Teile getrennt in einem geeigneten Medium züchten“ [18S: S. 66]. Bei Winston Churchill ist davon auszugehen, dass er durch gemeinsame Gespräche mit seinem Bekannten Alexis Carrel zu diesem Gedanken angeregt wurde. Alexis Carrel war zu seiner Zeit Pionier und Experte auf dem Gebiet der Organtransplantation und entwickelte wegweisende Techniken zur Kultivierung von Zellen [19S, 20S].

In den frühen 1950er Jahren hatte der Niederländer Willem van Eelen die Idee, Gewebekulturen für die Herstellung von Fleischprodukten zu verwenden [21S]. Aus seinen Erfahrungen als Kriegsgefangener während des zweiten Weltkrieges wuchs van Eelens Interesse an Lebensmitteln und seine Intention, sich für mehr Tierwohl einzusetzen. Darauf folgend studierte er in den Niederlanden Psychologie und Medizin und wurde Zeuge medizinischer Experimente, die sein Interesse an kultiviertem Fleisch weckten [22S]. Anfang der 1960er Jahre gelang es, Zellen mithilfe von Gewebekulturtechniken bereits in einem größeren Maßstab zu züchten, als dies noch zur Zeit von Alexis Carrel möglich war [23S]. Im Jahr 1997 meldete van Eelen zusammen mit seinen beiden Kollegen Willem van Kooten und Wiete Westerhof das erste Patent zur industriellen Herstellung von kultiviertem Fleisch an, das ihnen 1999 erteilt wurde [24S].

Das erste *Proof-of-Concept* eines kultivierten Burger-Patties aus Rindfleisch wurde 2013 von Mark Post, einem niederländischen Forscher und Mitgründer des Unternehmens Mosa Meat, in einer Pressekonferenz geliefert [17, 25S]. Nachdem der Nachweis durch Post erbracht war, dass sich kultiviertes Rindfleisch für den menschlichen Verzehr herstellen lässt, begann die Start-up-Szene der Branche rasant zu wachsen. Im Jahr 2020 gab es bereits mehr als 50 Unternehmen, die sich auf die Herstellung von kultiviertem Fleisch aus Zellen vom Rind, Schwein, Huhn oder Fisch, aber auch auf Fette, Gelatine, ► Nährmedien und Trägermaterialien (engl. *scaffolds*) spezialisiert haben [26S]. Neben Großbritannien (9 Unternehmen) zählen vor allem Israel (10 Unternehmen) und die USA (24 Unternehmen) die meisten Start-ups mit einem Fokus auf kultiviertem Fleisch [26S, 27S].

In Deutschland gibt es derzeit vier Unternehmen, die sich auf die Produktion von kultiviertem Fleisch fokussiert haben. Dazu gehören Bluu Seafood, die zellbasierten Fisch herstellen, und Innocent Meat, die modulare Lösungen für den *Business-2-Business*-Markt zur Bereitstellung von Zelllinien, Nährmedien und Trägergerüsten sowie von Soft- und Hardware anbieten [27S]. Ob Deutschland im globalen Vergleich bezüglich der Produktion von kultiviertem Fleisch wirklich „auf ganzer Linie pennt“, wie es Richard David Precht einmal formuliert hat, bleibt abzuwarten [28S, Minute 08:14 im Vortrag]. Mittlerweile haben auch viele nationale und internationale Großkonzerne der Tech-

Das Original-Patent von Willem van Eelen mit dem Titel „Industrial scale production of meat from in vitro cell cultures“ können Sie unter <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=W01999031223> herunterladen.

Eine ausführliche Übersicht über die Geschichte von kultiviertem Fleisch finden Sie unter [https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline\\_of\\_cellular\\_agriculture](https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_cellular_agriculture).

Pharma- und Food-Branche wie Google, Merck, Nestlé oder Cargill in die Kulturfleisch-Szene investiert [29S]. Auch einige deutsche Fleischunternehmen haben bereits millienschwere Investments abgeschlossen. So hat beispielsweise die PHW-Gruppe als größter deutscher Geflügelzüchter und -verarbeiter bereits 2018 in das Start-up-Unternehmen SuperMeat aus Israel investiert, das sich auf die Produktion von kultiviertem Hühnerfleisch spezialisiert hat [30S].

### Moderne Produktion von kultiviertem Fleisch

Zur Produktion von kultiviertem Fleisch werden Technologien der Zell- und Gewebekultur genutzt, die ursprünglich vor allem für medizinische Zwecke entwickelt wurden [31]. Diese Form der Fleischproduktion ist Teil eines innovativen Zweigs der Nahrungsmittelindustrie, der auch als „Zelluläre Landwirtschaft“ bezeichnet wird. Erklärtes Ziel von Stakeholdern der Zellulären Landwirtschaft ist es, mithilfe von zellbasierten, biotechnologischen Herstellungsverfahren traditionelle tierische Produkte wie Fleisch, Milch, Fisch, Meeresfrüchte und Leder zu substituieren [3]. Fleisch von Rindern, Schweinen, Hühnern, aber auch von Schafen, Truthähnen und Fischen konnte bereits im Labormaßstab *in vitro* (in vitro = lat. im Glas) produziert werden [32]. Auch wenn sich die Herstellungsverfahren für die verschiedenen Fleischsorten leicht voneinander unterscheiden, ist das Grundprinzip bei allen sehr ähnlich [31]. Die vier wichtigsten Schritte bei der Herstellung von kultiviertem Fleisch sind: (1) Zellentnahme, (2) Zellvermehrung (Zellproliferation), (3) Muskelentstehung (Zelldifferenzierung), (4) Weiterverarbeitung (Abbildung 4). Die wichtigsten „Zutaten“ zur Herstellung von kultiviertem Fleisch sind ► Stammzellen, Nährmedien, Trägermaterialien und ► Bioreaktoren. Im Folgenden wird sich – wenn nicht anders erwähnt – auf die Produktion von kultiviertem Rindfleisch bezogen.

### Starterzellen – Zelltypen, Gewinnung, Proliferation und Differenzierung

Fleisch ist ein komplexes Gewebe, welches neben verschiedenen Gefäßen zur Nährstoffversorgung je nach Fleischart bis zu 90 Prozent Muskelfasern und 10 Prozent Fett- und Bindegewebe aufweist [33]. Um es wachsen zu lassen, braucht es in einem ersten Schritt eine Zelle des Muskel- oder Fettgewebes – die Starterzelle [3]. Dabei können als Starterkultur sowohl homogene Proben, die beispielsweise ausschließlich Muskelzellen enthalten, als auch heterogene Proben, die mehrere Zelltypen enthalten, verwendet werden. Im Folgenden fokussieren wir uns auf die Selektion homogener Proben und die Produktion von Muskelzellen, da diese den größten Anteil des Fleisches ausmachen, und gehen nur am Rande auf die Produktion von Fettgewebe ein. Die Prozesse zur Produktion beider Gewebe-



**ABB. 3 Wichtige Persönlichkeiten in der Geschichte von kultiviertem Fleisch: a) Winston Churchill (\*1874–†1965), b) Alexis Carell (\*1873–†1944), c) Willem van Eelen (\*1923–†2015), d) Mark Post (\*1957).** Fotos: a) Yousuf Karsh, CC BY 2.0; b) Library of Congress, Prints & Photographs Division; c) One Idea at a Time – Judith Warringa Fotografie; d) Mosa Meat.

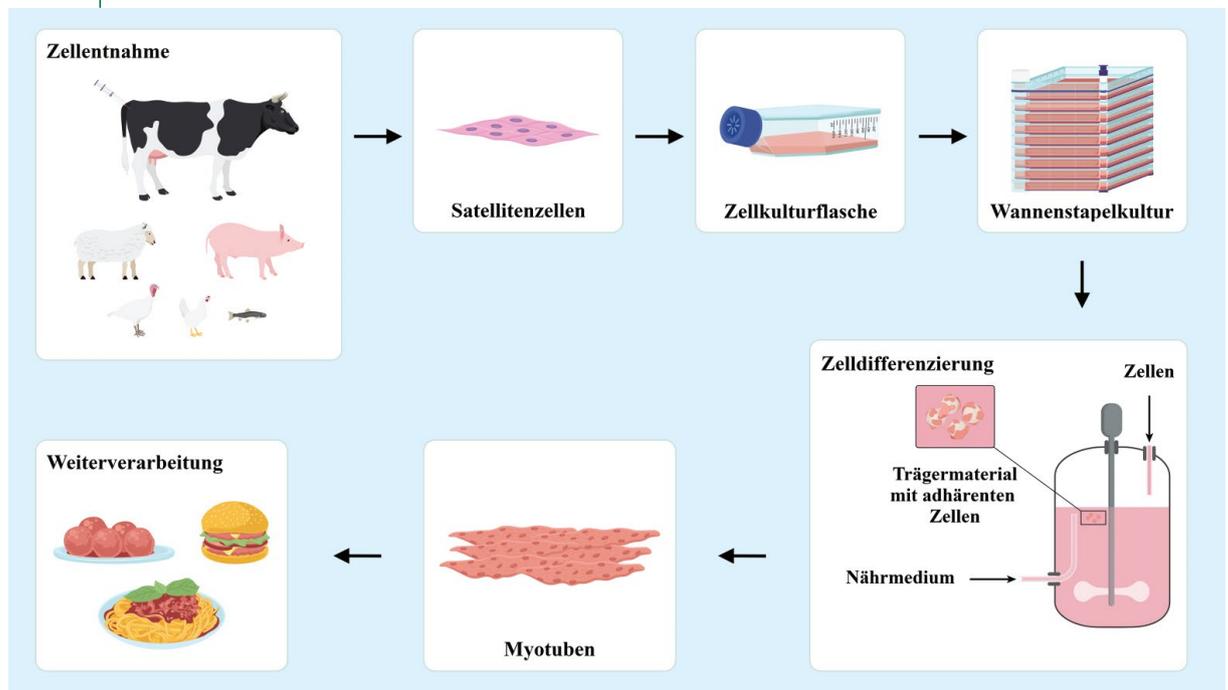
typen sind allerdings in ihren Grundsätzen relativ ähnlich, wenn auch nicht 1:1 übertragbar [34].

Wie lassen sich die entsprechenden Starterzellen gewinnen? Die gängigste Methode stellt die Entnahme von Muskelgewebe durch eine Biopsie dar – alternativ kann aber auch postmortales Muskelgewebe der entsprechenden Tierart verwendet werden [31]. Aus der Gewebeprobe werden ► adulte Stammzellen isoliert, die als Starterzellen dienen. Eine 0,5-Gramm-Biopsie ergibt eine Ausbeute von circa 10.000 adulten Stammzellen. Zur effektiven Skalierung der Produktion von kultiviertem Fleisch müssen sich diese Zellen mindestens 30- bis 40-mal verdoppeln [3].

Neben adulten Stammzellen können auch pluripotente Zellen, wie zum Beispiel ► embryonale (engl. *embryonic stem cells*; ESC) ► oder induzierte pluripotente Stammzellen (engl. *induced pluripotent stem cells*, iPSCs) als Starterzellen verwendet werden [34; Kasten „Die wichtigsten Zelltypen zur Herstellung von kultiviertem Fleisch“]. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Zelltypen, die für die Produktion von kultiviertem Fleisch als Starterzellen verwendet werden. Jeder Zelltyp bietet bezüglich seiner Gewinnungsmethode, Proliferationskapazität und seinen Differenzierungsmöglichkeiten spezifische Vor- und Nachteile für die Produktion von kultiviertem Fleisch (Tabelle 1).

Wie könnte ein Restaurant für kultiviertes Fleisch aussehen? Werfen Sie unter <https://www.youtube.com/watch?v=baF22S1Yg2c> einen Blick in das Restaurant und die Produktionsanlage von SuperMeat in Tel Aviv, Israel.

**ABB. 4 | HERSTELLUNG VON KULTIVIERTEM FLEISCH AUS ADULTEN STAMMZELLEN**



Schematisch dargestellt wird die Herstellung von kultiviertem Fleisch aus adulten Stammzellen. Adaptiert aus [111S, S. 2].

Satellitenzellen sind die am leichtesten zugänglichen myogenen Vorläuferzellen im Skelettmuskelgewebe (Kasten „Die wichtigsten Zelltypen zur Herstellung von kultiviertem Fleisch“). Die Nachkommen von Satellitenzellen, die sogenannten Myoblasten, vermehren sich schnell und verlassen den Zellzyklus als spindelförmige Myozyten, die in ihrer weiteren Entwicklung zu Myofasern verschmelzen [3, 40S]. Ein Vorteil der Nutzung von Satellitenzellen ist, dass sie ihre Tendenz, sich zu Skelettmuskelfasern zu entwickeln, von ihrem Ursprungsgewebe erben und nicht (um)programmiert werden müssen [41S]. Ein Nachteil ist, dass Myoblasten nur eine begrenzte Anzahl von Zellteilungen durchlaufen und allmählich ihre Differenzierungsfähigkeit verlieren [3]. Protokolle und Techniken für die Kultivierung von Satellitenzellen müssen daher noch erheblich optimiert werden, um ihre Proliferationskapazität zu erhöhen, damit sie letztendlich für die industrielle Herstellung von kultiviertem Fleisch geeignet sind [31].

Auch wenn die Differenzierung von embryonalen Stammzellen zu Muskelzellen weniger effektiv verläuft als bei Satellitenzellen [42], eignen sich diese unter anderem aufgrund ihrer unbegrenzten Proliferationskapazität zur Produktion von kultiviertem Fleisch [32]. Ein weiterer Zelltyp, der genutzt werden kann, sind induzierte pluripotente Stammzellen [32; Kasten „Die wichtigsten Zelltypen zur Herstellung von kultiviertem Fleisch“]. Analog zu den embryonalen Stammzellen und gegensätzlich zu den Satellitenzellen weisen die induzierten pluripotenten Stammzellen eine unbegrenzte Proliferationskapazität auf, da eine frühe Festlegung auf bestimmte Gewebelinien gehemmt ist [3]. Während gegenwärtig induzierte pluripotente

Stammzellen insbesondere für Forschungszwecke und medizinische Anwendungen erzeugt und verwendet werden, ist ihre Erzeugung in einem Umfang, der für die Produktion von kultiviertem Fleisch benötigt wird, derzeit nicht möglich [34]. Außerdem müssten die rechtlichen Aspekte von gentechnischer Veränderung im Lebensmittelbereich berücksichtigt werden.

### Zellvermehrung und -differenzierung – Nährmedien, Trägermaterialien und Bioreaktoren

Sind die Zellen erst einmal gewonnen, wird zur Vermehrung ein Medium benötigt, das die notwendigen Nährstoffe wie anorganische Salze, Aminosäuren, Kohlenhydrate, Vitamine, Proteine, Lipide und Fettsäuren enthält [43, 44]. Aktuell wird oftmals ► fetales Kälberserum als Zusatz im ► Nährmedium verwendet, welches nach der Schlachtung eines trächtigen Tiers aus dem Blut des Rinderfötus zwischen dem 3. und 7. Trächtigkeitsmonat gewonnen wird [45]. Dazu wird dem Fötus mit einer Spritze das Blut aus dem schlagenden Herzen entnommen, wodurch der Fötus stirbt. Weltweit werden jährlich etwa 800.000 Liter fetales Kälberserum für Forschung, Biotechnologie und pharmazeutische Zwecke produziert, was einer Menge von ungefähr zwei Millionen Rinderföten entspricht [46S]. Neben den ethischen Bedenken in Bezug auf den Stress und die Schmerzen des Fötus können tierische Seren je nach Qualität Endotoxine enthalten oder viral kontaminiert sein, was zu erheblichen Sicherheitsbedenken führt [45]. Fetales Kälberserum enthält unter anderem Wachstumsfaktoren, Cytokine und Hormone, die das Wachstum der Zellen op-

TAB. 1 ZELLTYPEN ZUR HERSTELLUNG VON KULTIVIERTEM FLEISCH UND IHRE EIGENSCHAFTEN

Zelltypen	relevante Zellen	Lokalisierung (in vivo)	Gewinnungsmethode	Proliferationskapazität	Differenzierungsmöglichkeiten	Isolierungsmöglichkeiten
adulte Stammzellen	Satellitenzellen	unterhalb der Basalmembran der Myozyten	Muskelbiopsie	limitiert	Myozyten	Rinder, Schweine, Schafe, Hühner, Fische
	fibro-adipogene Vorläuferzellen	interstitieller Raum der Skelettmuskeln	Muskelbiopsie	limitiert	Adipozyten Fibroblasten	Rinder, Schweine
	mesenchymale Stammzellen	zahlreiche Orte, z. B. Knochenmark, Nabelschnur, Skelettmuskeln, Fettgewebe	Gewebebiopsie	limitiert	Adipozyten Chondrozyten Fibroblasten Myozyten Osteozyten	Rinder, Schweine, Schafe, Hühner
pluripotente Stammzellen	embryonale Stammzellen	innere Zellmasse der Blastocyste	Isolation aus der inneren Zellmasse	unbegrenzt	beliebig	Rinder, Schweine, Schafe, Hühner, Fische
	induzierte pluripotente Stammzellen	somatisches Gewebe (Gewinnung der Ausgangszellen)	Reprogrammierung somatischer Zellen durch z. B. Überexpression von pluripotenten Transkriptionsfaktoren	unbegrenzt	beliebig	Rinder, Schweine, Schafe, Hühner

Adaptiert aus [34, S. 4]

timal fördern [45]. Insgesamt enthält fetales Kälberserum zwischen 200–400 verschiedene Proteine und tausende molekulare Stoffwechselprodukte in undefinierten Konzentrationen, so dass ein vollständiger Ersatz durch chemisch definierte Komponenten nur mit hohem Kostenaufwand erreicht werden kann. Neben den materiellen Kosten für die Komponenten von Nährmedien – insbesondere die Kosten für Wachstumsfaktoren – sind personelle Ressourcen für ihre Entwicklung und technische Optimierung für die Herstellung von kultiviertem Fleisch notwendig [47S]. Die Ausgaben für Nährmedien und deren technische Optimierung haben sich daher als einer der Hauptkostentreiber bei der Skalierung der Stammzellproduktion erwiesen [48S]. Hinzu kommt, dass Zellen in der Proliferationsphase ein anderes Nährmedium als in der Differenzierungsphase benötigen, da die Stoffwechselaktivität von der Energie- und Nährstoffnutzung zur hochspezialisierten Proteinproduktion übergeht [3]. Es gibt bereits erste tierfreie Serumalternativen, die erfolgreich zur Proliferation tierischer Stammzellen eingesetzt wurden [44, 49S]. Um kultiviertes Fleisch zukünftig ohne den Zusatz von tierischem Serum im Nährmedium kultivieren zu können, wird an der Entwicklung geeigneter Nährmedien auf der Grundlage von Bakterien, Hefen, Pilzen oder Mikroalgen geforscht [46S]. Das Unternehmen Mosa Meat vermeldet auf seiner Webseite, ein ► serumfreies Nährmedium zur Differenzierung entwickelt zu haben, welches für die Herstellung von kultiviertem Rindfleisch geeignet ist [50S, 51].

Zusätzlich zum Nährmedium brauchen die Zellen zur Vermehrung und Differenzierung einen festen Untergrund [35], weshalb sogenannte Träger- oder Gerüststrukturen benötigt werden [42, 52S, 53S]. Idealerweise sollte das Gerüst eine möglichst große Oberfläche bieten, wodurch die Diffusionsrate maximiert werden kann. Weiterhin sollte das verwendete Gerüst Bewegungsfreiheit für die Zellen bie-

ten, da so deren Wachstum und Differenzierung unterstützt werden kann [35]. Trägergerüste gibt es in unterschiedlichen Formen und Materialien. Je nach Einsatzgebiet kommen zum Beispiel ► *Microcarrier*-Perlen [44], Maschennetze [24S], Hydrogele [33], große elastische Platten oder dünne Filamente zum Einsatz [35]. Trägergerüste tierischer Herkunft, wie zum Beispiel Kollagen, werden für die Produktion von kultiviertem Fleisch mittlerweile eher vermieden, da für ihre Herstellung immer noch eine beträchtliche Anzahl von Nutztieren erforderlich wäre. Vielversprechendere essbare Materialien aus nicht-tierischen Quellen, die aktuell zum Einsatz kommen, sind Stärke, Chitin/Chitosan, Alginate, Agarose und Hyaluronsäure [3, 33, 54S]. Wenn das verwendete Gerüst nicht essbar ist, muss es vor der weiteren Verarbeitung von den Muskelfasern getrennt werden [44]. Dabei können mechanisch oder enzymatisch induzierte Trennverfahren verwendet werden [35, 55S], was neben einem immensen Mehraufwand auch Kosten verursacht.

Die Vermehrung und Differenzierung der Zellen findet in Bioreaktoren statt. Die Zellvermehrung beginnt meist in kleinen Kultursystemen wie beispielsweise in einfachen Zellkulturflaschen. Danach folgt eine schrittweise, volumetrische Expansion des Kultursystems und eine sich daran anschließende Zelldifferenzierung sowie Produktreifung in großen Bioreaktoren mit Volumen von bis zu mehreren 100 Litern [56S, 57S]. In Bioreaktoren können alle Umweltbedingungen wie beispielsweise die Temperatur und der pH-Wert exakt kontrolliert und konstant gehalten werden, so dass optimale Bedingungen für die Vermehrung und Differenzierung der Zellen vorliegen. Außerdem kann durch einen Bioreaktor eine ausreichende Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen garantiert werden.

Für die Produktion von kultiviertem Fleisch können viele verschiedene Typen von Bioreaktoren verwendet

## DIE WICHTIGSTEN ZELLTYPEN ZUR HERSTELLUNG VON KULTIVIERTEM FLEISCH

### Adulte Stammzellen (Satellitenzellen):

In den meisten Fällen werden für die Produktion von kultiviertem Fleisch adulte Stammzellen genutzt, die im Falle von Muskelgewebe auch als Satellitenzellen bezeichnet werden. Diese sind beispielsweise für die Regeneration der Muskulatur nach einer Verletzung verantwortlich [35, 36S]. Satellitenzellen differenzieren sich mit hoher Effizienz zu Muskelzellen (Myozyten), sind jedoch in geringer Anzahl im Gewebe vorhanden und besitzen eine relativ limitierte Proliferationskapazität [37S].

### Embryonale Stammzellen:

Embryonale Stammzellen (engl. embryonic stem cells; ESC) können sich in jedes beliebige Gewebe differenzieren und werden deshalb auch als pluripotente Stammzellen bezeichnet [38S]. In ihrer Entwicklung verlieren sie allerdings ihre Pluripotenz. So können sich ► mesenchymale Stammzellen (engl. mesenchymal stem cells; MSCs) beispielsweise nur noch in Knochenzellen (Osteozyten), Knorpelzellen (Chondrozyten), Muskelzellen (Myozyten) und Fettzellen (Adipozyten) differenzieren.

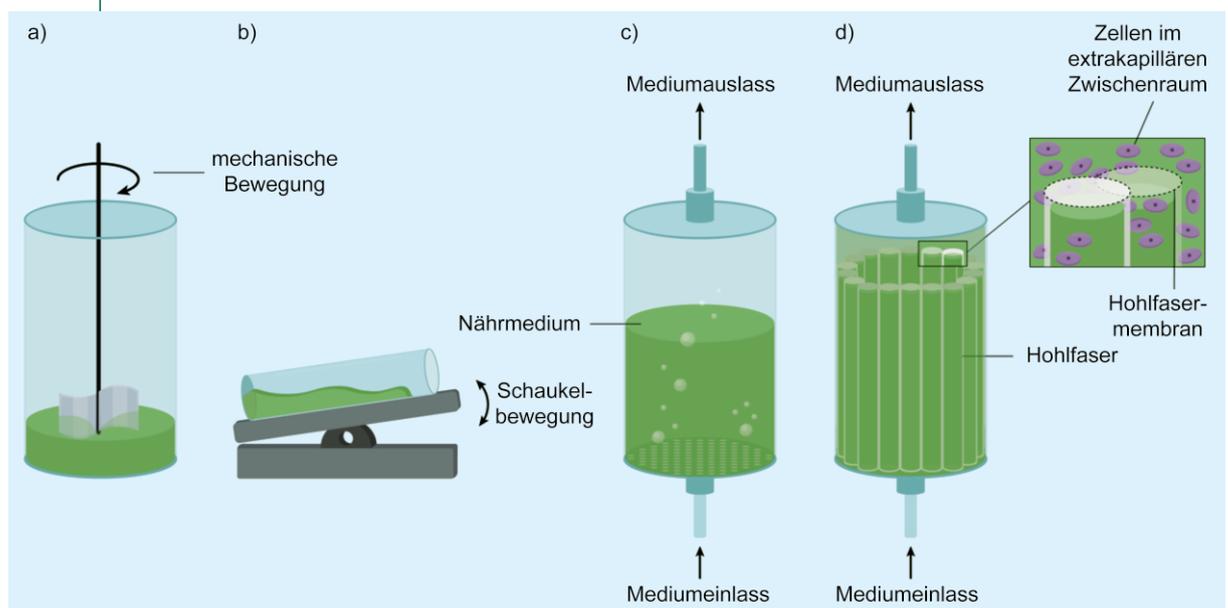
### Induzierte pluripotente Stammzellen:

Induzierte pluripotente Stammzellen (engl. induced pluripotent stem cells, iPSCs) werden durch Reprogrammierung von nicht-pluripotenten somatischen Zellen gewonnen. Zur Reprogrammierung werden die nicht-pluripotenten somatischen Zellen gentechnisch verändert, indem über Transfektion/Transduktion stammzellenspezifische Transkriptionsfaktoren in die Zellen eingeschleust werden [34]. Die Reprogrammierung erfolgt über die gezielte Expression einer Kombination unterschiedlicher Transkriptionsfaktoren [39S].

werden [58, Abbildung 5]. Bei der großindustriellen Produktion von kultiviertem Fleisch werden zukünftig hauptsächlich Rührkesselbioreaktoren mit mechanischen, hydraulischen oder pneumatischen Rührwerken zum Einsatz kommen [3]. Wellenbioreaktoren, Fließbettbioreaktoren und Hohlfaserbioreaktoren könnten ebenfalls für die Herstellung von kultiviertem Fleisch verwendet werden, sind aber je nach Zelltyp und Trägermaterial aufwändiger in der Handhabung [58]. Die Wahl des Reaktortypen und der Reaktorgröße hängt neben den verwendeten Zelltypen und Trägermaterialien auch von weiteren Aspekten im Produktionsprozess ab. Ausgehend vom definierten Endprodukt muss eine passende, kontrollierte Umgebung zur Proliferation der Stammzellen im Bioreaktor gegeben sein. Die Expansion der Zellproliferation in großem Maßstab in Bioreaktoren stellt gleichzeitig eine große Herausforderung für die industrielle Produktion von kultiviertem Fleisch dar [58].

Werden beispielsweise *Microcarrier*-Perlen als Trägermaterial verwendet, werden die Starterzellen vorab an die Perlen gebunden und mit dem Nährmedium in einen Bioreaktor mit mechanischem Rührsystem gegeben, so dass sie sich maximal vermehren [45]. Entscheidet man sich zur Verwendung eines Hohlfaserbioreaktors, dienen die Hohlfasern als Trägermaterial. Die Starterzellen müssen bei diesem Vorgehen vor der Zugabe in den Bioreaktor nicht an das Trägermaterial gebunden werden [45]. Sobald die Kultur mit den Starterzellen in einen Hohlfaserreaktor überführt wird, lagern sich die Starterzellen zu Beginn der Proliferation selbstständig an den Hohlfasern an. In der anschließenden Differenzierungsphase verschmelzen mehrere Satellitenzellen zu Myotuben [31], die sich dann

ABB. 5 | KULTURSYSTEME ZUR VERMEHRUNG UND DIFFERENZIERUNG GROSSER ZELLMENGEN



Dargestellt sind Kultursysteme zur Vermehrung und Differenzierung großer Zellmengen in einem Rührkesselreaktor (a), Wellenbioreaktor (b), Fließbettbioreaktor (c) und Hohlfaserbioreaktor (d). Adaptiert aus [3, S. 406].

TAB. 2 POTENZIALE UND HERAUSFORDERUNGEN IM PRODUKTIONSPROZESS VON KULTIVIERTEM FLEISCH

Komponente der Produktion	Potenziale	Herausforderungen
Zelltypen	+ adulte und pluripotente Stammzellen als Quelle verwendbar + Isolierungs- und Sortierungsprotokolle zur Gewinnung von Stammzellen landwirtschaftlich relevanter Tierarten bereits vorhanden	– Kosten und Leichtigkeit der Gewinnung eines Zelltyps stehen im umgekehrten Verhältnis zur Proliferationsfähigkeit – geringe Ausbeute bei der Reprogrammierung von iPSCs inklusive phänotypischen Nebenwirkungen (Endprodukt entspricht nicht der antizipierten Reprogrammierung)
Kulturmedien	+ hochentwickelte Medien zur Expansion und Differenzierung relevanter Zelltypen bereits verfügbar + mehrere serumfreie Kulturmedien bereits entwickelt	– Wirksamkeit serumfreier Kulturmedien noch gering – Wachstumsfaktoren für Medien sehr kostspielig
Bioreaktoren	+ Möglichkeit zur dynamischen Kultivierung von Zellen + Verbesserung der Zellkultivierung und -differenzierung + Möglichkeit der Kultivierung deutlich höherer Zellmengen	– potenzielle Schädigung der Zellen durch die dynamische Kultivierung – relativ hoher Energieverbrauch – Anpassung von Prozessparametern durch Hochskalierung notwendig
Trägermaterial	+ große Diversität an Biomaterialien für Trägergerüste + Verteilung und Lokalisation der Zellen kann bestimmt werden + <i>Microcarrier</i> -Perlen können zur Verbesserung des Geschmacks und der Textur des Endproduktes beitragen	– Auswahl der Biomaterialien für das Trägergerüst begrenzt durch die Anforderungen an Biokompatibilität, Essbarkeit und Weiterverarbeitung – Einschränkungen in der Nährstoff- und Sauerstoffdiffusion bei größeren 3D-Gerüststrukturen

Adaptiert aus [34, S. 5]

zu Muskelfasern entwickeln [42]. Die Muskelfasern fangen an zu wachsen und können schließlich zu einem Endprodukt weiterverarbeitet werden [42].

Andere Gewebetypen wie Fettgewebe können unabhängig vom Muskel kultiviert und während der Verarbeitung des Muskelgewebes zum Endprodukt mit diesem kombiniert werden [31]. Mit dem hier vorgestellten Produktionsverfahren ist es daher nur möglich, verarbeitete Produkte wie Burger-Patties oder Würstchen herzustellen [44]. Bei der Produktion von kultiviertem Fleisch können nicht nur Trägergerüste zur Zellkultivierung in Bioreaktoren verwendet werden, sondern auch trägerfreie Suspensionen [59]. Ein Zellwachstum in einer trägerfreien Suspension erfordert einen Wechsel des Nährmediums im Bioreaktor und/oder eine Modifizierung der Zellen [3]. Durch die Verwendung von Zellsuspensionen können höhere Zelldichten erreicht und technisch einfacher entnommen werden. Allerdings ist das Zellwachstum bei dieser Methode schwer zu kontrollieren, wodurch die Zellausbeute relativ ungenau vorhersehbar ist [3, 59].

Die Produktionsverfahren entwickeln sich aber stetig weiter: So konnte 2021 erstmals steakähnliches Gewebe bestehend aus Skelettmuskeln, Fett- und Blutkapillarfasern mithilfe einer Ko-Kultivierung von Satellitenzellen und Stammzellen aus Rinderfett sowie durch ► Bioprinting hergestellt werden [60]. Damit das Endprodukt qualitativ mit den sensorischen Eigenschaften von Fleisch in Farbe, Geschmack und Textur möglichst übereinstimmt, muss die biochemische und strukturelle Zusammensetzung des gezüchteten Gewebes ähnlich der des natürlichen Produktes sein [61].

Wie die eben beschriebene Herstellung von kultiviertem Fleisch verdeutlicht, befindet sich das Verfahren in einem Entwicklungsprozess. Es müssen noch einige Herausforderungen zur Skalierung überwunden werden, da

mit kultiviertes Fleisch zu einem konkurrenzfähigen Preis in Restaurants und Supermärkten angeboten werden kann [42]. Für Unternehmen in Deutschland besteht die Möglichkeit einer finanziellen Förderung bei der Entwicklung und Optimierung von Verfahren sowie Technologien zur Herstellung von kultiviertem Fleisch (oder anderen alternativen Proteinquellen) durch spezifische Förderprogramme, unter anderem vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [62S]. Eine Übersicht der Potenziale und Herausforderungen im Produktionsprozess von kultiviertem Fleisch, an denen derzeit noch intensiv geforscht wird [3, 34], gibt Tabelle 2.

### Wie nachhaltig ist die Produktion von kultiviertem Fleisch?

Inwieweit die Produktion von kultiviertem Fleisch nachhaltiger als die von konventionellem Fleisch ist, wird derzeit kontrovers diskutiert [61, 63S, 64]. Je nach Herstellungsmethode und Fleischsorte können Angaben zu ausgewählten Nachhaltigkeitsindikatoren stark schwanken. Zudem gibt es viele verschiedene Indikatoren für die Bewertung der Nachhaltigkeit eines Nahrungsmittels. Im Folgenden werden der Flächenverbrauch, Wasserverbrauch, Energieverbrauch und das Treibhauspotenzial genauer betrachtet. Wenn nicht anders angegeben, wird sich auf die derzeit aktuelle und umfassendste ► Lebenszyklusanalyse (engl. *life cycle assessment*, LCA) von Sinke und Oedegard [65] bezogen (Tabelle 3).

Während für die Produktion von kultiviertem Fleisch deutlich weniger Fläche benötigt wird als für die Produktion von Rind-, Schweine- oder Hühnerfleisch [64–67S, Tabelle 3], verhält es sich beim Indikator Wasserverbrauch mit dem Nachhaltigkeitspotenzial nicht eindeutig. Die neusten LCA's zeigen, dass der Wasserverbrauch bei der Herstellung von kultiviertem Fleisch ähnlich dem bei der

Die ausführliche LCA-Analyse zum Nachhaltigkeitspotenzial von kultiviertem Fleisch können Sie unter <https://cedelft.eu/publications/rapport-lca-of-cultivated-meat-future-projections-for-different-scenarios/> einsehen.

**TAB. 3 VERGLEICH AUSGEWÄHLTER NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN FÜR DIE PRODUKTION VON RIND-, SCHWEINE-, HÜHNER- UND KULTIVIERTEM FLEISCH**

	Kultiviertes Fleisch	Rindfleisch	Schweinefleisch	Hühnerfleisch
Flächenverbrauch <sup>1</sup> [m <sup>2</sup> pro kg essbare Tiermasse]	1,8 (konv.) 1,7 (nach.)	31,6	6	4,6
Wasserverbrauch <sup>1</sup> [Liter pro kg essbare Tiermasse]	42 (konv.) 56 (nach.)	258	40	46
Energieverbrauch <sup>2</sup> [MJ pro kg essbare Tiermasse]	106	85,6	17,8	26,6
Treibhauspotential <sup>1</sup> [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent pro kg essbare Tiermasse]	13,6 (konv.) 2,5 (nach.)	100	14	11

<sup>1</sup> Daten adaptiert aus [65, S. 23, 27–29]. Für Rind-, Schweine- und Hühnerfleisch sind derzeitige globale Durchschnittswerte angegeben.

<sup>2</sup> Daten adaptiert aus [64, S. 34]. Für Rind-, Schweine- und Hühnerfleisch sind Durchschnittswerte für die USA angegeben.

Die Daten für das kultivierte Fleisch beziehen sich aufgrund der begrenzten Datenmenge nicht spezifisch auf eine Art kultiviertes Fleisch wie beispielsweise kultiviertes Rindfleisch. Alle Angaben für Rind-, Schweine- und Hühnerfleisch beziehen sich auf die Verwendung konventioneller Energiequellen. Bei kultiviertem Fleisch wird bei den Angaben zwischen der Verwendung konventioneller (konv.) und nachhaltiger Energiequellen (nach.) unterschieden. Je nach Haltungs- und Zuchtform der Tiere beziehungsweise der Herstellung des kultivierten Fleisches können die Werte schwanken.

Produktion von Schweine- und Hühnerfleisch ist. Verglichen mit der Produktion von Rindfleisch hingegen ist der Wasserverbrauch für kultiviertes Fleisch deutlich geringer [67S, Tabelle 3]. Anders ist es bei der Betrachtung des Energieverbrauchs. Die bei kultiviertem Fleisch verwendeten Bioreaktoren benötigen sehr viel Energie, mehr als zur Produktion aller zuvor genannten Fleischsorten [64, 67, Tabelle 3]. Und wie verhält es sich dann mit dem Treibhauspotential? Nach Tuomisto und Teixeira de Mattos [66S] sowie Tuomisto et al. [67] werden bei der Produktion von kultiviertem Fleisch weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalente freigesetzt, so dass es ein geringeres Treibhauspotential als konventionelle Fleischprodukte aufweist. Im Gegensatz zu den eben genannten Studien betrachtet Mattick [64] das Treibhauspotential der Produktion von kultiviertem Fleisch kritischer. Zwar soll es verglichen mit Rindfleisch ein geringeres Treibhauspotential haben, bei Schweine- und Hühnerfleisch hingegen soll der hohe Energieverbrauch letztlich zu einem ähnlichen Treibhauspotential führen. Sinke und Oedegrad [65] bestätigen mit ihren neuesten Analysen die Annahmen von Mattick [64] und betonen, dass die Verwendung nachhaltiger Energiequellen der Schlüssel zur Senkung des Treibhauspotentials von kultiviertem Fleisch ist.

### Wie gesund ist kultiviertes Fleisch?

Neben den oben untersuchten Indikatoren spielen weitere Faktoren bei der Betrachtung der Nachhaltigkeit von kultiviertem Fleisch eine große Rolle. Dazu zählt beispielsweise die Verwendung von Antibiotika. Weltweit werden diese in der industriellen Tierhaltung vermehrt routinemäßig zur Wachstumsförderung und Krankheitsvorbeugung eingesetzt, obgleich in Deutschland der medizinisch begründete Einsatz von Antibiotika bei der intensiven Nutztierhaltung von jedem Tierhalter gemeldet werden muss [68S–71S]. Durch einen vermehrten Antibiotikaeinsatz steigt auch die Wahrscheinlichkeit der Bildung von Antibiotikaresistenzen bei Bakterien. Diese können bei-

spielsweise über Kontakt mit dem Tier oder über kontaminiertes Fleisch auf den Menschen übertragen werden [71S, 72S]. Bei der Produktion von kultiviertem Fleisch werden laut Aussagen der meisten Produzenten keine Antibiotika eingesetzt, da dieses in sterilen Nährmedien kultiviert wird. Dadurch wird die Gefahr der Bildung von Antibiotikaresistenzen beim Menschen als ernsthafte Bedrohung der öffentlichen Gesundheit minimiert [73S, 74S].

Zur Nährstoffzusammensetzung von kultiviertem Fleisch liegen derzeit noch keine Analysen vor. Da man diese aber über die Auswahl und Zusammensetzung des Nährmediums gut kontrollieren kann, geht man davon aus, dass die potenzielle Nährstoffzusammensetzung vom im Handel erhältlichen kultiviertem Fleisch der von konventionellem Filetfleisch (ohne Binde- und Fettgewebe) ähneln wird [61]. Bezogen auf die Nährstoffzusammensetzung könnte kultiviertes Fleisch als ein funktionales Lebensmittel zur Förderung der menschlichen Gesundheit genutzt werden, indem das Fleisch gezielt mit Nährstoffen wie Omega 3-Fettsäuren, Vitamin B12 oder Vitamin D angereichert wird [75S, 76S].

### Bioethische Argumente pro und contra kultiviertes Fleisch

Nach Beck [77] nutzen Befürworter von kultiviertem Fleisch im Allgemeinen drei Argumente, um dessen Vorteile darzustellen: (1) die Steigerung menschlicher Gesundheit und Nahrungssicherheit, (2) die höhere Nachhaltigkeit und bessere Ökobilanz im Vergleich mit der konventionellen Fleischproduktion und (3) die Reduktion von Tierleid. Die ersten beiden Argumente wurden soeben schon ausführlich dargelegt, so dass im Folgenden auf das dritte Argument fokussiert wird.

Die Produktion von kultiviertem Fleisch bietet eine große Chance, das Tierleid als Folge der aktuellen Produktionsbedingungen von konventionellem Fleisch zu reduzieren [77], weil eine geringere Anzahl von Nutztieren unter artgerechten Haltungsbedingungen lediglich als

## FLEISCH ODER NICHT FLEISCH? DAS IST HIER DIE FRAGE!

Nach den Leitsätzen des Deutschen Lebensmittelhandbuchs für Fleisch und Fleischerzeugnisse wird Fleisch definiert als „[...] Teile von geschlachteten oder erlegten warmblütigen Tieren, die zum Genuss für Menschen bestimmt sind“ [85S, S. 1]. Im engeren Sinne werden unter Fleisch lediglich die Skelettmuskeln von Säugetieren und Vögeln verstanden, die für den menschlichen Verzehr geeignet gelten, mitsamt dem darin eingebetteten oder damit verbundenen Fett- und Bindegewebe sowie den Gefäßen zur Nährstoffversorgung. Nach der Verordnung für die Erzeugung und Überwachung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs (Verordnung (EG) Nr. 853/2004) bezeichnet der Ausdruck „Fleisch“ alle genießbaren Teile, einschließlich Blut, von Huftieren, Geflügel, Hasentieren, freilebendem Wild, Farm-, Klein- und Großwild [86S]. Da kultiviertes Fleisch nur teilweise unter diese Definitionen von „Fleisch“ fällt, stellt sich die Frage, ob Fleisch, welches mit Methoden der Zellulären Landwirtschaft hergestellt wurde, überhaupt als solches bezeichnet werden darf [87S].

Der europäische Agrarausschuss hat sich im April 2019 unter dem alten EU-Parlament dagegen ausgesprochen, dass In-vitro-Produkte als „Fleisch“ bezeichnet und konventionelle Begriffe von Fleischprodukten wie Wurst zur Beschreibung dieser verwendet werden dürfen [87S]. In den USA hat die National Cattlemen's Beef Association bereits einen Antrag an das Landwirtschaftsministerium gestellt, dass die Definition von Fleisch abgeändert werden soll, so dass Produkte aus Zellulärer Landwirtschaft nicht als „Fleisch“ bezeichnet werden dürfen [88S]. Zudem gibt es bereits in einigen Staaten der USA Gesetze, beziehungsweise Gesetzesvorlagen, die die Bezeichnung von In-vitro-Produkten als „Fleisch“ auf Verpackungen strafbar macht [89S]. Es bleibt also abzuwarten, welche Bezeichnung kultiviertes Fleisch im Lebensmittel-einzelhandel und in der Gastronomie in Zukunft letztendlich tragen wird.

„Zellspender“ fungieren müsste. Biopsien zur Gewinnung von Stammzellen könnten im Zuge von obligatorischen veterinärmedizinischen Untersuchungen schmerzfrei durchgeführt werden [77–79S]. So könnte es auf lange Sicht sogar möglich sein, die intensive Nutztierhaltung einzudämmen, beziehungsweise ganz auf sie zu verzichten [77]. Zudem könnten gefährdete Tierarten wie beispielsweise viele Meeresfische besser geschützt werden, da es prinzipiell möglich ist, von allen Tierarten Muskelzellen für die Produktion von kultiviertem Fleisch zu entnehmen, ohne diese dafür zu töten [77]. Auf diese Weise könnten sowohl exotische Speisewünsche auf ethisch und rechtlich unproblematischem Wege erfüllt als auch das Problem der Überfischung und Überjagung von Wildbeständen gefährdeter Tierarten eingedämmt werden [66S, 77, 80S].

Es gibt aber auch einige Argumente, die gegen eine Nutzung von kultiviertem Fleisch sprechen (vgl. auch Beck [77] für eine ausführliche Darstellung von Pro- und Contra-Argumenten zur Nutzung von kultiviertem Fleisch). Neben den wissenschaftlich-technischen Herausforderun-

gen inklusive der Nutzung von fetalem Kälberserum (vgl. Starterzellen – Zelltypen, Gewinnung, Proliferation und Differenzierung) gibt Beck [77] aus umwelt- und tierethischer Perspektive zu bedenken, dass die Instrumentalisierung der Mensch-Tier-Beziehung durch die Produktion von kultiviertem Fleisch weiter vorangetrieben werden könnte. Van der Weele und Driessen [81S] sprechen diesbezüglich vom „Pig-in-the-backyard“-Phänomen: So könnte jeder Konsument seine „Lieblingsfleisch-Haustiere“ halten und diesen von Zeit zu Zeit Stammzellen entnehmen, wenn der Hunger nach Fleisch kommt – und dies ohne schlechtes Gewissen, weil die Tiere ein artgerechtes und unbeeinträchtigt Leben führen können. Einige Autoren gehen sogar so weit, dass es zu einer Entwicklung von gewaltfreiem Kannibalismus kommen könnte, da für die Produktion von kultiviertem Fleisch theoretisch auch Muskelzellen von Menschen kultiviert werden könnten [77, 79S, 82S]. So wahnsinnig und utopisch der Gedanke auch erscheinen mag, gibt es dazu schon einen ersten Rezeptvorschlag in einem Kulturfleisch-Kochbuch vom „Bistro In Vitro“ in Form von „Celebrity Cubes“: Man nehme ein paar Stammzellen seines Lieblingsstars, züchte diese in quadratischen Eiswürfelformen in einem Heimbioreaktor und biete sie seinen Gästen als exklusive Eiswürfel in Fusion-Food-Cocktails an [83S]. Ein weiteres Argument gegen die Nutzung von kultiviertem Fleisch zielt auf die Verletzung der Integrität der Natur ab [77]. Der massive Einsatz von Technik zur Naturbeherrschung und zur Produktion von Fleisch entfremde Menschen allmählich von der Natur [77]. Damit einher geht auch die Vorstellung, dass der Konsum von Fleisch „natürlich“ ist und die Produktion und der Konsum von kultiviertem Fleisch dagegen „unnatürlich“ [84].

## Rechtliche Einordnung und Zulassung von kultiviertem Fleisch als ► Novel Food

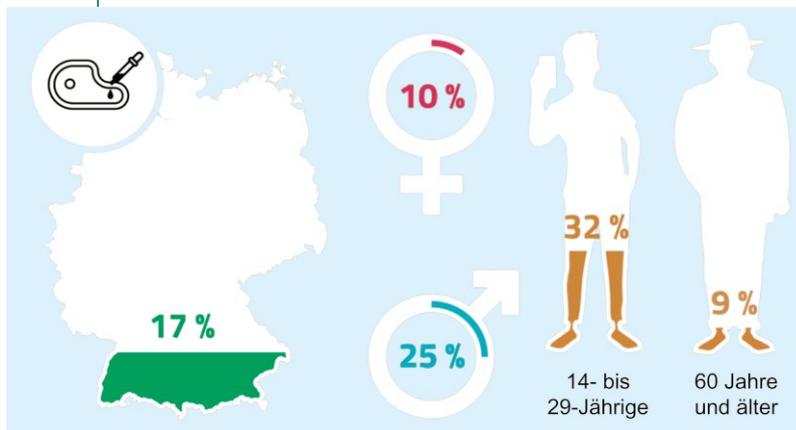
Neben den Herausforderungen bei der Produktion von kultiviertem Fleisch sind die rechtlichen Rahmenbedingungen ausschlaggebend für eine Markteinführung [43; Kasten „Fleisch oder nicht Fleisch? Das ist hier die Frage!“]. In der Europäischen Union gelten „Lebensmittel, die aus von Tieren, Pflanzen, Mikroorganismen, Pilzen oder Algen gewonnenen Zell- oder Gewebekulturen bestehen oder daraus isoliert oder erzeugt wurden“ (NFV-EU 2015/2283, Art. 3 Abs. 2) als neuartige Lebensmittel. Es ist davon auszugehen, dass kultiviertes Fleisch mit dieser Definition als neuartiges Lebensmittel gilt [43]. Zuständig für die Zulassung von neuartigen Lebensmitteln in Europa sind die Europäische Kommission und die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA). Die wissenschaftliche Bewertung und Zulassung von kultiviertem Fleisch erfolgt – abhängig von den Ausgangszellen – auf Basis der Novel-Food-Verordnung (NFV-EU 2015/2283) [3, 87S].

Gemäß der Verordnung muss für die Zulassung von kultiviertem Fleisch ein Antrag bei der Europäischen Kommission gestellt werden. Dieser Antrag muss ernährungs-

Besuchen Sie unter <https://bistro-inviro.com/en/welcome-to-bistro-in-vitro/> das fiktive „Bistro In Vitro“-Restaurant und stellen Sie Ihr eigenes Kulturfleisch-Menü zusammen.

Die aktuelle Novel-Food-Verordnung können Sie unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32015R2283> einsehen.

**ABB. 6 | WER WÜRD KULTIVIERTES FLEISCH KAUFEN?**



Angegeben ist die Bereitschaft der deutschen Bevölkerung zum Kauf von kultiviertem Fleisch als Alternative zu konventionellem Fleisch; insgesamt (links), aufgeteilt nach Geschlecht (Mitte) und den beiden angegebenen Altersgruppen (rechts). Adaptiert aus [109S, Minute 0:33]. Abb.: FWU Institut für Film und Bild.

physiologische Informationen über die Zusammensetzung des Produktes und den antizipierten Verwendungszweck sowie technische Informationen zum Herstellungsprozess des Produktes enthalten. Zur Bewertung der Sicherheit des Produktes beantragt die Europäische Kommission bei der EFSA die Anfertigung eines Sicherheitsgutachtens. Der Antrag wird im Anschluss allen EU-Mitgliedstaaten zur Verfügung gestellt [3]. Bislang ist bei der Europäischen Union allerdings noch kein Antrag auf Zulassung von kultiviertem Fleisch als Novel Food gestellt worden [87S].

### Akzeptanz von kultiviertem Fleisch in der deutschen Bevölkerung und anderswo

Obwohl die Produktion von kultiviertem Fleisch im Vergleich zu der von konventionellem Fleisch viele Vorteile

aufweist, wird der Erfolg einer Markteinführung stark von der Akzeptanz der Konsumenten abhängen. Laut einer Forsa-Umfrage, beauftragt durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), sehen 29 Prozent der Deutschen kultiviertes Fleisch als eine angemessene Maßnahme an, um einen Beitrag zur Ernährungssicherheit der Weltbevölkerung zu leisten [90S]. Allerdings würden nur 17 Prozent der Befragten kultiviertes Fleisch als eine Alternative zu konventionellem Fleisch im Supermarkt kaufen [90S, 91S; (Abbildung 6)]. Im Gegensatz dazu ist die Bereitschaft der deutschen Bevölkerung kultiviertes Fleisch zu probieren sehr hoch. Sie liegt zwischen 57 und 76 Prozent [92S, 93S]. In den USA [94S], Italien [95S] und in den Niederlanden [96S] wurden ähnliche Ergebnisse erhalten (Tabelle 4). Für die Bevölkerung in den USA konnte sogar gezeigt werden, dass diese im Vergleich zur europäischen Bevölkerung eine höhere Konsumbereitschaft gegenüber kultiviertem Fleisch aufweist [3, 97].

Die Hauptunterschiede in den Befragungsergebnissen – teilweise auch innerhalb eines Landes – scheinen im Wesentlichen auf den Informationen über kultiviertes Fleisch zu beruhen, die den Teilnehmern gegeben wurden [3]. So konnte bereits gezeigt werden, dass kultiviertes Fleisch deutlich weniger attraktiv ist, wenn es als technologische Innovation dargestellt wird, als wenn der Schwerpunkt der Informationen auf der Ähnlichkeit mit konventionellem Fleisch oder den ökologischen Vorteilen liegt [98S]. Ebenso sind Namensgebungen wie „Laborfleisch“ (engl. *lab grown meat/lab meat*) oder „Fleisch aus dem Reagenzglas“, die an Wissenschaft und Unnatürlichkeit erinnern, deutlich weniger ansprechend als Bezeichnungen wie „Kultiviertes Fleisch“ (engl. *cultivated meat*) oder „Sauberes Fleisch“ (engl. *clean meat*), die die Vorteile gegenüber konventionellem Fleisch hervorheben [84]. Ge-

**TAB. 4 AKZEPTANZ VON KULTIVIERTEM FLEISCH BEI ERWACHSENEN (PERSONEN ÜBER 18 JAHREN)**

Studie	Land	Frage	Zustimmung in Prozent
Bryant et al. [112S]	USA, Indien, China	Wie wahrscheinlich ist, dass Sie Sauberes Fleisch essen? Antwort: äußert wahrscheinlich	USA: 29,8%, Indien: 48,7%, China: 59,3%
Bryant & Dillard [98S]	USA	Würden Sie Kulturfleisch probieren? Würden Sie Kulturfleisch regelmäßig kaufen? Würden Sie Kulturfleisch anstelle von konventionellem Fleisch essen?	64,6% 24,5% 48,5%
Dupont et al. [113]	Deutschland	Würden Sie einen In-vitro-Fleisch-Burger konsumieren?	58,4%
Gomez Luciano et al. [114S]	England, Spanien, Brasilien, Dom. Republik	Würden Sie Kulturfleisch kaufen?	England: 20,0%, Spanien: 42,0%, Brasilien: 11,5%, Dom. Rep.: 15,0%
Mancini & Antonioli [95S]	Italien	Würden Sie Kulturfleisch probieren? Würden Sie Kulturfleisch kaufen?	54,0% 44,0%
Weinreich et al. [93S]	Deutschland	Würden Sie In-vitro-Fleisch probieren? Würden Sie In-vitro-Fleisch kaufen?	57,0% 30,0%
Wilks & Phillips [94S]	USA	Würden Sie In-vitro-Fleisch probieren?	65,0%

Adaptiert aus [97, S. 9] sowie [103S, 104]

rade im angloamerikanischen Raum gibt es eine Vielzahl weiterer alternativer Bezeichnungen, die alle unterschiedliche Konnotationen tragen, wie beispielsweise „Kulturfleisch“ (engl. *cultured meat/cultivated meat*), „Zellbasiertes Fleisch“ (engl. *cell-based meat*), „Kunstfleisch“ (engl. *fake meat*) oder „Frankenstein-Fleisch“ (engl. *frankenmeat*) [26S, 93S, 99S, 100S]. Da Studien zur Wirkung verschiedener Bezeichnungen von kultiviertem Fleisch weitestgehend im englischen Sprachraum durchgeführt wurden [99S, 101S], wäre eine Replikation in der deutschen Bevölkerung sinnvoll, um konkrete Hinweise für eine Vermarktung von kultiviertem Fleisch in Deutschland zu erhalten. Eine erste Studie hierzu zeigte, dass die Bezeichnung „Sauberes Fleisch“ am positivsten von deutschen Konsumenten wahrgenommen wird. „Laborfleisch“ und „In-vitro-Fleisch“ waren eindeutig negativ konnotiert, „Kultiviertes Fleisch“ lag im Mittelfeld und rief je nach Ernährungsweise unterschiedliche Assoziationen hervor [102S].

### Welche Faktoren beeinflussen die Konsumbereitschaft von kultiviertem Fleisch?

Die öffentliche Meinung über kultiviertes Fleisch ist gemischt. Viele potenzielle Konsumenten nehmen kultiviertes Fleisch als „unnatürlich“ wahr [84, 103S]. Die Bewer-

tung der Unnatürlichkeit scheint vor allem auf affektiven Mechanismen wie Angst und Ekel zu beruhen, die sich wiederum negativ auf die Konsumbereitschaft auswirken [84, 103S, 104]. So konnte bereits nachgewiesen werden, dass die Angst vor neuartigen Lebensmitteln (engl. *food neophobia*), die Angst vor deren neuartigen und meist unbekanntem Herstellungsverfahren (engl. *food technology neophobia*) sowie der Ekel vor Lebensmitteln (engl. *food disgust*) einen negativen Einfluss auf die Konsumbereitschaft und auf die Einstellung gegenüber kultiviertem Fleisch haben [104]. Die Einstellung selbst konnte ebenfalls als wichtiger Einflussfaktor für die Konsumbereitschaft von kultiviertem Fleisch identifiziert werden. Dabei zeigten Probanden mit einer positiveren Einstellung gegenüber kultiviertem Fleisch auch eine höhere Bereitschaft, es zu konsumieren [93S, 104]. Zudem deuten viele Studien darauf hin, dass zukünftige Konsumenten von kultiviertem Fleisch eher jünger als älter, eher männlich als weiblich sind [3, 105S, 106S] sowie einen eher hohen Fleischkonsum aufweisen und nicht vegetarisch sind [104]. Weiterführend konnte in experimentellen Studien nachgewiesen werden, dass die Bereitstellung von Informationen über die ökologischen und gesundheitlichen Vorteile von kultiviertem Fleisch einen positiven Einfluss auf die Konsumbereitschaft hat [97].

## GLOSSAR

**Adulte Stammzellen:** Gewebestammzellen, die für die Erneuerung des Gewebes zuständig sind. Man bezeichnet sie als multipotent, weil sie zwar unterschiedliche Gewebetypen, aber nicht jeden Zelltyp bilden können.

**Bioprinting:** Technologie, bei der mithilfe eines 3D-Druckers 3D-Strukturen wie Gerüste, Gewebe oder Organe hergestellt werden können. Zur Bildung einer 3D-Struktur wird Biotinte, die aus lebenden Zellen, Biomaterialien oder aktiven Biomolekülen besteht, vom Biodrucker schichtweise aufgetragen.

**Bioreaktor:** Behälter, in dem Zellen oder Mikroorganismen unter kontrollierten und regulierten Bedingungen (u. a. Temperatur, pH-Wert) in einem Nährmedium optimal kultiviert werden können.

**Embryonale Stammzellen:** Zellen eines tierischen Frühembryos aus der inneren Zellmasse der Blastocyste vor dem Einsetzen einer sichtbaren Differenzierung in unterschiedliche Zelltypen. Man bezeichnet sie als pluripotent, weil sie sich zu jedem Zelltyp des Organismus differenzieren können.

**Fetales Kälberserum:** Serum aus dem Blut von Rinderföten, das zwischen dem 3. und 7. Trächtigkeitsmonat nach der Schlachtung gewonnen wird.

**Induzierte pluripotente Stammzellen (iPSCs):** Reprogrammierte, somatische Zellen, die sich ähnlich verhalten wie embryonale Stammzellen. Die Reprogrammierung erfolgt über stammzellenspezifische Transkriptionsfaktoren, die über Transduktion/Transfektion in die somatischen Zellen eingeschleust werden. Das Epigenom der somatischen Zellen wird in einen embryonalen Zustand zurückversetzt, so dass die iPSC genetisch identisch mit ihren Ursprungszellen sind.

**Lebenszyklusanalyse (LCA, engl. life cycle assessment):** Modellierung und Analyse der Gesamtmweltwirkungen eines Produkts oder Verfahrens entlang eines Lebenszyklus.

**Mesenchymale Stammzellen (MSCs):** Stammzellen des Bindegewebes, die sich u. a. zu Adipozyten und Myozyten differenzieren können.

**Microcarrier (Mikroträger):** Partikel, meistens kleine Perlen, mit einer elektrisch geladenen Oberfläche, auf denen sich Zellen anheften und wachsen können. Die Kultivierung der Zellen erfolgt unter ständigem Rühren des Nährmediums in Bioreaktoren.

**Nährmedium (auch Medium):** Eine Nährlösung, die Nährstoffe sowie anorganische Salze zur Aufrechterhaltung von Osmolarität und pH-Wert enthält. Man unterscheidet zwischen Erhaltungsmedien, die das Überleben von Zellen ermöglichen und Proliferationsmedien, die die Nähr- und Wachstumsstoffe für die Proliferation der Zellen enthalten.

**Novel Foods:** Lebensmittel, die vor dem 15. Mai 1997 nicht in nennenswertem Umfang in der europäischen Union für den menschlichen Verzehr verwendet wurden. Dazu gehören beispielsweise Lebensmittel aus Zell- und Gewebekulturen.

**Serumfreie Nährmedien:** Medien, die nicht mit tierischem Serum supplementiert sind, aber spezielle Proteine oder Proteinfractionen wie Pflanzenextrakte enthalten können.

**Stammzellen:** Undifferenzierte Zellen, die die Fähigkeit besitzen, sich in alle Zelltypen eines Organismus weiterzuentwickeln. Man unterscheidet zwischen embryonalen und adulten Stammzellen.

**Zelluläre Landwirtschaft:** Transformativer Zweig der Industrie zur Herstellung von biologisch äquivalenten Lebensmitteln aus traditioneller Landwirtschaft und Tierhaltung, wie z. B. Fleisch, Fisch, Milchprodukte oder Leder, mithilfe von Einzellern sowie Zell- und Gewebekulturtechniken.

Falls Sie als Lehrperson die Produktion, Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit oder bioethische Betrachtung von kultiviertem Fleisch in Ihrem Unterricht thematisieren möchten, stehen Ihnen Bildungsmaterialien hierfür zur Verfügung [107S, 109S].

## Ausblick

Kultiviertes Fleisch weist als eine nachhaltigere Alternative zu konventionellem Fleisch ein hohes Potenzial auf, Anteile des globalen Fleischkonsums und der steigenden Nachfrage nach Fleisch zu bedienen [108]. Für das Jahr 2040 wird prognostiziert, dass kultiviertes Fleisch 35 Prozent der Marktanteile von konventionellem Fleisch übernehmen wird [16S]. Wissenschaftliche Fortschritte in der Produktion von kultiviertem Fleisch und finanzielle Investitionen unterstützen das Wachstum der kultivierten Fleisch-Branche [51, 60, 108]. Obgleich technische und ökonomische Fortschritte zu beobachten sind, lassen sich weder aus technischer sowie ökonomischer noch aus rechtlicher und konsumentenpsychologischer Sicht klare Aussagen zur Zulassung sowie zum Markteintritt von kultiviertem Fleisch in Europa tätigen. Allerdings kann aufgrund einer Bearbeitungsdauer der Zulassungsanträge bei der Europäischen Kommission und EFSA von circa 18 Monaten, einer Revisionschleife von sechs Monaten und einem weiteren Jahr für organisatorische Aspekte wohl frühestens ab 2025 mit einem Markteintritt von kultiviertem Fleisch in Europa zu rechnen sein. Ob kultiviertes Fleisch 2025 in deutschen Supermärkten erhältlich sein wird und bis 2040 den globalen Markt als Alternative zu konventionellem Fleisch erobert hat, bleibt spannend zu beobachten.

## Zusammenfassung

Kultiviertes Fleisch ist mithilfe von Zell- und Gewebekulturtechniken hergestelltes Fleisch, welches ein großes Potenzial aufweist, als nachhaltigere und tierethisch vertretbare Alternative zu konventionell produziertem Fleisch den Proteinmarkt zu erobern. Neben Herausforderungen bei der Hochskalierung ist kultiviertes Fleisch derzeit noch nicht als „Novel Food“ auf dem europäischen Markt zugelassen. Regierungen anderer Regionen der Welt zeigen sich offener für das neuartige Fleisch. So kam es im Dezember 2020 in Singapur zur ersten Zulassung von kultiviertem Hühnerfleisch für den menschlichen Verzehr. Indes arbeiten Akteure weltweit unter Hochdruck an der Weiterentwicklung von Nährmedien, Trägermaterialien, Bioreaktoren und anderen Parametern im Produktionsprozess, um beispielsweise die Effektivität serumfreier Nährmedien für eine großindustrielle Produktion zu verbessern. Im Januar 2022 erreichten Wissenschaftler aus den Niederlanden einen weiteren Meilenstein bei der Entwicklung eines serumfreien Mediums, welches die Differenzierung von Rindersatellitenzellen bei der Produktion von kultiviertem Fleisch unterstützt. Neben den technischen und rechtlichen Herausforderungen bei der Produktion ist die Akzeptanz der Konsumenten entscheidend für eine erfolgreiche Markteinführung. Auch wenn der Großteil der Konsumenten in Europa bereit wäre, das kultivierte Fleisch zu probieren, sind die Ausbildung von positiven Einstellungen und der Abbau von Angst und Ekel gegenüber kultiviertem Fleisch Schlüsselfaktoren zur Akzeptanz des neuartigen Lebensmittels.

## Summary

### Meat (r)evolution?

Cultured meat is meat produced with the help of cell and tissue culture techniques that has high potential to conquer the protein market as a more sustainable and animal-ethical alternative to conventionally produced meat. In addition to challenges with upscaling, cultured meat has not yet been approved as a “novel food” on the European market. Governments in other regions of the world are more open to novel meat. For example, the first approval of in vitro chicken meat for human consumption was granted in Singapore in December 2020. Meanwhile, stakeholders around world are working hard to further develop culture media, scaffolds, bioreactors and other parameters in the production process, for example, to improve the efficacy of serum-free culture media for large-scale industrial production. In January 2022, scientists from the Netherlands achieved another milestone in developing a serum-free medium that supports the differentiation of bovine satellite cells for cultured meat production. In addition to the technical and legal challenges in production, consumer acceptance is crucial for a successful market entry. Even if the majority of consumers in Europe would be willing to try cultured meat, the formation of positive attitudes and the reduction of fear and disgust towards it are key factors for the acceptance of this novel food.

## Schlagworte

Konventionelle Tierhaltung, Zelluläre Landwirtschaft, Zell- und Gewebekulturtechniken, In-vitro-Fleisch

## Literatur

Aufgrund der Vielzahl der Literaturangaben führen wir hier nur die nach Meinung der Verfassenenden wichtigsten Literaturstellen auf. Die vollständige Literaturliste finden Sie unter [www.biuz.de](http://www.biuz.de). Einfach den Artikel aufrufen und dort das entsprechende PDF-Dokument herunterladen. Literaturstellen, die nur online zur Verfügung stehen, sind im Text mit einem S für *Supplementary* gekennzeichnet.

- [3] M. J. Post et al. (2020). Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food*, 1, 403–415. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0112-z>
- [17] N. Treich (2021). Cultured Meat: Promises and Challenges. *Environmental and Resource Economics*, 79, 33–61. <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00551-3>
- [31] M. J. Post, C. van der Weele (2014). Principles of Tissue Engineering for Food. In: R. Lanza, R. Langer, R. Vacanti (Eds.). *Principles of Tissue Engineering*. Elsevier, 1647–1662. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398358-9.00078-1>
- [32] I. Kadim et al. (2015). Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *Journal of Integrative Agriculture*, 14, 222–233.
- [33] T. Ben-Arye, S. Levenberg (2019). Tissue Engineering for Clean Meat Production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00046>.
- [34] J. Reiss et al. (2021). Cell sources for cultivated meat: Applications and considerations throughout the production workflow. *International Journal of Molecular Sciences*, 22. <https://doi.org/10.3390/ijms22147513>

- [35] I. Datar, M. Betti (2010). Possibilities for an in vitro meat production system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.007>
- [42] M. K. Gaydhane et al. (2018). Cultured meat: state of the art and future. *Biomanufacturing Reviews*, 3, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s40898-018-0005-1>
- [43] Deutscher Bundestag (2019). *Ausarbeitung: Einzelfragen zu In-vitro-Fleisch*. WD 5-3000-151/18. <https://www.bundestag.de/resource/blob/592836/5d0ea08045a3e9baf92393495d754a2/WD-5-151-18-pdf-data.pdf>
- [44] P. D. Edelman et al. (2005). In Vitro-Cultured Meat Production. *Tissue Engineering*, 11.
- [45] G. Gstraunthaler, T. Lindl (2021). *Zell- und Gewebekultur. Allgemeine Grundlagen und spezielle Anwendungen*. 8. Auflage, Springer Spektrum, Berlin.
- [51] T. Messmer et al. (2022). A serum-free media formulation for cultured meat production supports bovine satellite cell differentiation in the absence of serum starvation. *Nature Food*, 3, 74–85. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00419-1>
- [58] S. J. Allan et al. (2019). Bioprocess Design Considerations for Cultured Meat Production With a Focus on the Expansion Bioreactor. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00044>
- [59] K. D. Fish et al. (2020). Prospects and challenges for cell-cultured fat as a novel food ingredient. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.005>
- [60] D. H. Kang et al. (2021). Engineered whole cut meat-like tissue by the assembly of cell fibers using tendon-gel integrated bioprinting. *Nature Communications*, 12, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25236-9>
- [61] M. J. Post, J.-F. Hocquette (2017). New Sources of Animal Proteins: Cultured Meat. In: P. P. Purslow. *New aspects of meat quality: From Genes to ethic*. Elsevier, 425–441.
- [64] C. S. Mattick (2018). Cellular agriculture: The coming revolution in food production. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 74, 32–35. <https://doi.org/10.1080/00963402.2017.1413059>
- [65] P. Sinke, I. Odegard (2021). *LCA of cultivated meat. Future projections for different scenarios*. [https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE\\_Delft\\_190107\\_LCA\\_of\\_cultivated\\_meat\\_Def.pdf](https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE_Delft_190107_LCA_of_cultivated_meat_Def.pdf)
- [67] H. L. Tuomisto et al. (2014). *Environmental impacts of cultured meat: alternative production scenarios*. Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, 1360–1366. <https://doi.org/10.1021/es202956u>
- [77] B. Beck (2019). *Ethische Argumente pro und contra In-vitro-Fleisch*. In: J. Rückert-John, M. Kröger (Hrsg.). *Fleisch – Vom Wohlstandssymbol zur Gefahr für die Zukunft*. 1. Auflage, Nomos, 293–322.
- [84] M. Siegrist et al. (2018). Perceived naturalness and evoked disgust influence acceptance of cultured meat. *Meat Science*, 139, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.02.007>
- [97] C. Bryant, J. Barnett (2020). Consumer acceptance of cultured meat: An updated review (2018–2020). *Applied Science*, 10, 1–25. <https://doi.org/10.3390/app1015201>
- [104] J. Dupont, F. Fiebelkorn (2020). Attitudes and acceptance of young people toward the consumption of insects and cultured meat in Germany. *Food Quality and Preference*, 85, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103983>
- [108] Good Food Institute (2020). *State of the Industry Report. Cultivated Meat*. <https://gfi.org/resource/cultivated-meat-eggs-and-dairy-state-of-the-industry-report>

### Verfasst von:



Florian Fiebelkorn, geb. 1980, absolvierte ein Doppelstudium der Biologie (Diplom) sowie der Biologie und Chemie (Lehramt an Gymnasien) an der Universität Hannover und der Universidad Nacional (Costa Rica). Anschließend forschte er an der Abteilung für Biologiedidaktik an der Universität Osnabrück und arbeitete als Projektleiter und Lehrer bei der High Seas High School® sowie an der Deutschen Schule in Santiago de Chile. Aktuell übernimmt er an der Abteilung Biologiedidaktik der Universität Osnabrück die Lehrstuhlvertretung für Prof. Dr. Susanne Menzel. Forschungsschwerpunkte: Wissen und Einstellungen von Schülern, Lehrern und der allgemeinen Bevölkerung zu verschiedenen Aspekten einer Nachhaltigen Ernährung und zum Schutz von Biodiversität.



Jacqueline Dupont, geb. 1993, hat an der Universität Osnabrück Biologie und Chemie auf Gymnasiallehramt studiert. Aktuell arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Biologiedidaktik an der Universität Osnabrück und forscht im Rahmen ihrer Promotion zum Thema „Akzeptanz von Kindern und Jugendlichen aus Deutschland gegenüber Nahrungsmitteln aus Insekten und In-vitro-Fleisch“.



Lena Szczepanski, geb. 1995, hat an der Universität Osnabrück Biologie und Physik auf Gymnasiallehramt studiert. Anschließend absolvierte sie ihren Vorbereitungsdienst am Zentrum für schulpraktische Lehrerausbildung in Münster. Aktuell arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Biologiedidaktik an der Universität Osnabrück und forscht im Rahmen ihrer Promotion zum Thema „Vorstellungen und Konsumbereitschaft von Kindern und Jugendlichen gegenüber neuartigen Lebensmitteln aus Zellulärer Landwirtschaft“.



Nadine Filko, geb. 1986, absolvierte ihr Studium der Politikwissenschaft und Philosophie an der Universität Bremen und der University of Copenhagen (Dänemark). Seither war sie unter anderem Redakteurin des Start-up-Magazins „Berlin Valley“ und hat das Management sowie Autorentätigkeiten für unterschiedliche Publikationen mit Technologiefokus übernommen. Aktuell lebt und arbeitet sie als freiberufliche Autorin sowie Projektmanagerin in Berlin und betreut u. a. das vom Deutschen Fachverlag ins Leben gerufene Magazin „New Meat“. Im Oktober 2019 hat sie ihr erstes Buch „Clean Meat. Fleisch aus dem Labor: Die Zukunft der Ernährung?“ veröffentlicht. Mit ihrem politikwissenschaftlichen Hintergrund liegt der Fokus ihrer Arbeit in der Analyse von technologischen Innovationen, die das Potenzial zu einer nachhaltigen gesellschaftlichen Transformation haben.

### Korrespondenz

Dr. Florian Fiebelkorn  
Universität Osnabrück  
Fachbereich Biologie/Chemie  
Abteilung Biologiedidaktik  
Barbarastrasse 11/Geb. 35  
49076 Osnabrück  
E-Mail: [florian.fiebelkorn@uos.de](mailto:florian.fiebelkorn@uos.de)



Verband | Biologie, Biowissenschaften  
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM  
FÜR DIE**

**BIEWISSENSCHAFTEN**

### **Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:**

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie



[www.vbio.de](http://www.vbio.de)

**Jetzt beitreten!**

