



White Paper

Fleischersatzprodukte



Einleitung

Das globale Lebensmittelsystem befindet sich in einem Wandel, der auf Grund wachsender Bedenken hinsichtlich Gesundheit, Nachhaltigkeit und Tierwohl angetrieben wird. In diesem Zusammenhang haben sich Fleischersatzprodukte als vielversprechende Lösung herausgestellt, um den ökologischen Fussabdruck der Lebensmittelproduktion zu verringern, die Proteinquellen zu diversifizieren und den Ernährungsgewohnheiten einer zunehmend flexitarischen Bevölkerung gerecht zu werden.

Fleischersatzprodukte umfassen ein breites Spektrum an Produkten – von traditionellen Soja- und Weizenprodukten über technologisch fortschrittliche Formulierungen bis hin zu im Labor gezüchtetem Fleisch, das direkt aus tierischen Zellen kultiviert wird. Mit der Expansion des Marktes und dem steigenden Verbraucherinteresse wird es immer wichtiger, die unterschiedlichen Arten von Fleischersatzprodukten, die zugrunde liegenden Rohstoffe und Technologien, ihre Nährwertprofile, ihre Umweltauswirkungen sowie ihr Marktpotenzial zu verstehen.

Dieser Bericht bietet einen umfassenden Überblick über die aktuelle Landschaft der Fleischersatzprodukte, gegliedert in Produkte der ersten, zweiten und neuesten Generation. Zudem werden Verbraucherwahrnehmungen, Produktionsprozesse und Nachhaltigkeitsherausforderungen thematisiert und damit eine ganzheitliche Perspektive auf die Zukunft von Fleischersatzprodukten in der globalen Lebensmittelindustrie eröffnet.

Impressum:**Veröffentlichungsdatum:** 20.10.2025**Veröffentlichungsort:** www.zhaw.ch/cirvalis**Autorenschaft:** Cirvalis, Forschungsgruppe Lebensmitteltechnologie, ZHAW**Kontakt:** knowledge-hub@zhaw.ch**Disclaimer:** Alle Inhalte wurden mit grösstmöglicher Sorgfalt erstellt. Texte, Abbildungen und Daten unterliegen dem Urheberrecht. Die Verwendung oder Vervielfältigung ist nur mit Quellenangabe gestattet.
Creative Commons CC-BY

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	2
1. Definitionen.....	4
1.1. Produkte der ersten Generation	4
1.2. Produkte der zweiten Generation	5
1.3. Neu aufkommende Produkte.....	5
2. Rohmaterialien.....	6
2.1. Tofu, Tempeh, Seitan und Quorn.....	6
2.2. TVP und HMMA.....	6
2.3. Kultiviertes Fleisch.....	6
3. Prozesseinblick.....	7
4. Umwelteinfluss.....	11
5. Ernährungsphysiologische Qualität	14
6. Markteinblick.....	17
7. Konsument:innenverhalten	20
8. Benchmarking.....	21
9. Schlussfolgerungen	22
10. Literaturliste.....	23

1. Definitionen

Für Fleischersatzprodukte werden verschiedene Bezeichnungen verwendet, darunter pflanzenbasiertes Fleisch, vegetarisches Fleisch, Imitatfleisch, Fleischalternative oder synthetisches Fleisch. Sie lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- 1) Fleischalternativen der ersten Generation [1-2], die traditionell konsumierte, eiweissreiche Produkte wie Tofu, Tempeh, Seitan oder Quorn umfassen.
- 2) Fleischalternativen der zweiten Generation [3], meist als pflanzenbasierte Fleischanaloga (PBMA) bezeichnet, zu denen trockene und feucht texturierte Produkte gehören.
- 3) Laborgezuchtetes Fleisch.

Mit wenigen Ausnahmen werden diese Produkte überwiegend als 1:1-Ersatz für Fleisch in Gerichten verwendet, die traditionell mit Fleisch zubereitet werden. Dies im Gegensatz zur Nutzung von eiweissreichen, unverarbeiteten oder nur gering verarbeiteten landwirtschaftlichen Produkten wie ganzen oder halbierten Hülsenfrüchten einsetzbar in diversen Gerichten.

Die Zielgruppen für Fleischalternativen sind daher sowohl Flexitarier als auch Vegetarier oder Veganer. Zunehmend kommen Produkte auf den Markt, die Fleisch so detailgetreu imitieren, dass im besten Fall sogar Fleischliebhaber motiviert werden könnten, auf alternative Produkte umzusteigen.

Folgende Produkttypen sind auf dem Markt erhältlich:

1.1. Produkte der ersten Generation

- **Tofu / Bohnenquark:** Sojabohnenbasierte, homogene Blöcke mit unterschiedlicher Festigkeit (Seidentofu, weich, fest, extra fest). Der Ursprung liegt in China, wo Tofu seit über 2000 Jahren verzehrt wird.
- **Tempeh:** Blockförmiges Produkt, das grössere Stücke des Rohmaterials, wie z. B. Sojabohnen, enthält, die mithilfe einer Pilzkultur der *Rhizopus*-Art zu einem festen Block zusammengefügt werden. Der Ursprung liegt in Indonesien.
- **Seitan:** Blockförmiges Produkt auf Basis von Weizen- oder Dinkelgluten (ein Proteinkomplex mit einzigartiger Netzwerkbildungsfähigkeit), das aus einem Teig extrahiert wird. Der Ursprung liegt in Japan.
- **Quorn:** Ein Mykoprotein, d. h. ein Protein mikrobiellen Ursprungs, das durch Umwandlung verschiedener Rohstoffe mit *Fusarium venenatum* [4] hergestellt wird. Quorn ist ein eingetragenes Warenzeichen [5].

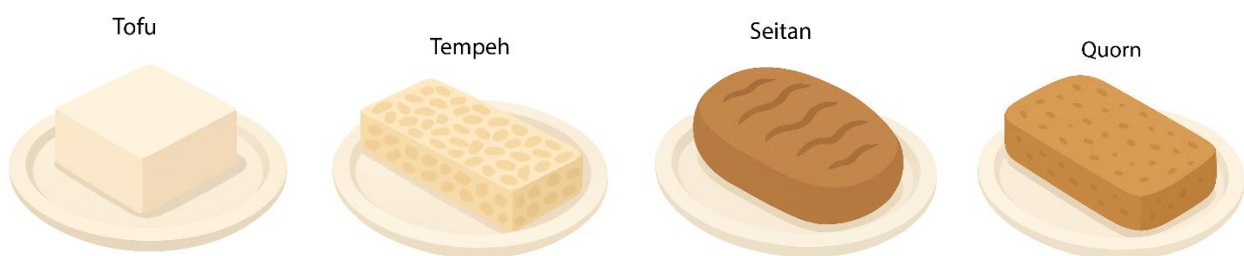


Abb. 1: Darstellungen von Fleischersatzprodukten der ersten Generation, generiert mit ChatGPT.

1.2. Produkte der zweiten Generation

- **TVP:** TVP steht für texturiertes Pflanzenprotein. Es wird durch Heissextrusion hergestellt, kann aus verschiedenen Rohstoffen gewonnen werden und ist in unterschiedlichen Formen erhältlich (von gehackt bis zu grösseren Stücken). TVP ist trocken und bei Raumtemperatur lagerfähig. Es wurde in den 1960er-Jahren entwickelt.
- **HMMA:** HMMA steht für High Moisture Meat Analogue (Fleischanalog mit hohem Feuchtigkeitsgehalt). HMMA wurde in den 1990er-Jahren entwickelt, wird ebenfalls durch Heissextrusion hergestellt, weist einen hohen Feuchtigkeitsgehalt ähnlich wie Fleisch auf, ist aus verschiedenen Rohstoffen in unterschiedlichen Formen verfügbar und muss gekühlt gelagert werden.

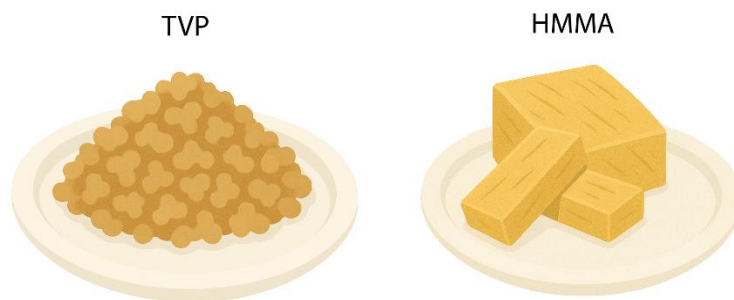


Abb. 2: Darstellungen von Fleischersatzprodukten der zweiten Generation, generiert mit ChatGPT. TVP = texturierte Pflanzenproteine, HMMA = Fleischanaloge mit hohem Feuchtigkeitsgehalt.

1.3. Neu aufkommende Produkte

- Laborgezuchtetes Fleisch (Synonyme: kultiviertes Fleisch, Clean Meat): neuartiges, tierbasiertes Fleisch, das durch die Kultivierung tierischer Zellen direkt erzeugt und in eine dem tierischen Gewebe ähnliche oder nahezu identische Struktur gebracht wird [6-9].

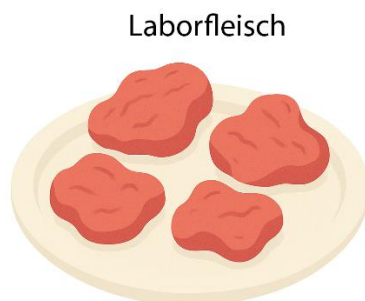


Abb. 3: Darstellung von laborgezuchtetem Fleisch, generiert mit ChatGPT.

2. Rohmaterialien

2.1. Tofu, Tempeh, Seitan und Quorn

Fleischalternativen der ersten Generation haben meist eine kurze Zutatenliste und basieren in erster Linie auf Weizen (Seitan) oder Soja (Tofu und traditionelles Tempeh). Für Tempeh sind auch andere Substrate möglich, wie z. B. Erdnüsse oder Erbsen. Mykoproteine, die häufig unter dem Markennamen Quorn verkauft werden, stellen insofern eine Ausnahme dar, als dass viele zuckerhaltige Substrate – einschliesslich Nebenprodukten der Agrar- und Lebensmittelindustrie wie etwa Erbsennebenströme – durch *Fusarium venenatum* umgewandelt werden können [10].

2.2. TVP und HMMA

Fleischalternativen der zweiten Generation sind oft komplexer aufgebaut, werden aus einer grösseren Vielfalt an Rohstoffen hergestellt und enthalten meist mehrere Zutaten.

TVP: Typischerweise basiert die Trockenfraktion texturierter Fleischalternativen (TVP) mit geringem Wassergehalt (15–30 %) auf eiweissreichen Mischungen wie Proteinkonzentraten oder -mehlen, ergänzt durch Ballaststoffe, Stärke, Fett und Aromastoffe. Typische Rohstoffe sind eiweissreiche Fraktionen aus Soja, Getreide wie Weizen und Reis, sowie Hülsenfrüchte wie Erbse und Lupine [11] aber auch Ölsaaten. Einige neuere Produkte basieren ausschliesslich auf eiweissreichen Extrakten aus Birtreber (<https://brewbee.ch/produkte/plant-based/>).

HMMA: Texturierte Nass-Fleischalternativen (HMMA) bestehen aus 50–80 % Wasser, 4–20 % nicht-texturierter Protein, 10–25 % texturierten Proteinen, 3–10 % Zusatzstoffen zur Geschmacksverstärkung, 0–15 % Fett, 0–5 % Farbstoffen und 1–15 % Bindemitteln. Proteine übernehmen dabei verschiedene Funktionen: Wasser- und Ölbindevermögen, Löslichkeit, Emulgierung, Gelbildung und Schäumbarkeit. Während ursprünglich häufig Soja und Weizen als Hauptrohstoffe dienten, werden heute zunehmend gelbe Erbsen, andere Hülsenfrüchte, Ölsaaten und Getreide in HMMA eingesetzt. Für eine gute faserige, fleischähnliche Struktur sind relativ reine Proteinkonzentrate (70–85 % Proteingehalt) oder Isolate (90–95 % Proteingehalt) notwendig. Stärke ist in kleinen Mengen vorteilhaft, wirkt sich jedoch in grösseren Mengen nachteilig auf das dreidimensionale Protein-Netzwerk aus. Amylose-reiche Stärken sind zu bevorzugen, da sie eine Amylose-Protein-Interaktion ermöglichen, die die Faserbildung fördert [12]. Als Folge des Bedarfs an relativ reinen Proteinen entstehen bei der Nutzung von Rohstoffen wie gelben Erbsen oder Sojabohnen grosse Mengen an Kohlenhydraten (und Ballaststoffen) als Nebenströme. Die Verwendung von eiweissreichen Nebenströmen wie Rapsextraktionsschrot oder Birtreber ist daher besonders interessant und nachhaltig, da die Menge an Nebenströmen, die bei der notwendigen Abtrennung der Protein- von der Stärkefraktion anfällt, hier deutlich geringer ist. Die Proteinqualität und damit die Eignung für die HMMA-Produktion hängt nicht nur von der Rohstoffqualität ab, sondern auch von der Art der Extraktion (Trocken- vs. Nassverfahren) sowie von der Art des eingesetzten Fällungsmittels (z. B. Salz, Säure) [13] und davon, ob die Proteine einen Trocknungsschritt durchlaufen haben. All diese Verarbeitungsschritte beeinflussen wichtige technofunktionelle Eigenschaften wie Löslichkeit, Wasser- und Ölaufnahme- und Rückhaltevermögen sowie Emulgierfähigkeit – Eigenschaften, die wiederum die Faserbildungsfähigkeit der Proteine bestimmen. In der Regel wirkt sich eine schonendere Verarbeitung positiv auf die Eignung der Proteine für die HMMA-Produktion aus [14]. Da Verarbeitungsdetails aus der Produktdeklaration meist nicht ersichtlich sind, empfiehlt es sich, Lieferanten gezielt zu fragen, ob ein bestimmtes Protein für die HMMA-Produktion geeignet ist.

2.3. Kultiviertes Fleisch

Kultiviertes Fleisch: Stammzellen werden durch eine Biopsie aus der frischen Skelettmuskulatur eines lebenden Tieres gewonnen. Zusätzlich sind Nährstoffe für das Wachstum der Zellen erforderlich, darunter Aminosäuren, Lipide, Mikronährstoffe und ein Nährmedium für Gewebekulturen.

3. Prozesseinblick

Im folgenden Kapitel werden die Herstellungsprozesse von Fleischersatzprodukten der ersten und zweiten Generation sowie von kultiviertem Laborfleisch beschrieben. In den Abbildungen 4 und 5 sind die Herstellungsschritte in einer Übersicht zusammengefasst.

3.1. Herstellungsprozess von Fleischalternativen der ersten Generation

Tofu

Tofu wird aus Sojabohnen hergestellt:

- Einweichen und Mahlen: Sojabohnen einweichen und nass vermahlen.
- Trennung: Sojamilch von Okara (festem Nebenstrom) abtrennen.
- Koagulation: Die Sojamilch mit einem Koagulieremittel versetzen – z. B. Salz (Magnesiumchlorid, Gips, Trimagnesiumcitrat), Säuren, seltener Enzyme oder Milchsäurebakterien.
- Pressen: Das geronnene Produkt pressen, um einen festen Block zu formen.
- Wärmebehandlung: Thermische Behandlung zur Sicherstellung der Lebensmittelsicherheit.
- Optionale Schritte: Tiefgefrieren oder Anwendung alternativer nicht-thermischer Verfahren [15].

Tempeh

Tempeh wird aus Sojabohnen durch Fermentation mit dem Schimmelpilz *Rhizopus* spp. hergestellt. Das Pilzwachstum führt durch die Ausbildung des Myzels zur Bildung eines kuchenartigen, festen Produkts. Gleichzeitig kommt es zu einem enzymatischen Abbau sowohl der Makronährstoffe als auch der antinutritiven Faktoren [16]. Das Produktionsprotokoll umfasst folgende Schritte:

- Einweichen der Bohnen in sauberem Wasser für 8–24 Stunden,
- manuelles Enthülsen und Waschen,
- Kochen für 30–40 Minuten, um verbleibende Schalen zu entfernen und die endogene Lipoxygenase zu inaktivieren,
- Abtropfen der Bohnen,
- Abkühlen auf 25–38 °C,
- Inokulation mit *Rhizopus* spp.,
- Verpackung in Bananenblätter oder perforierte Polyethylenbeutel,
- Inkubation bei 27–32 °C für 30–48 Stunden [16].

Seitan

Seitan wird aus Weizen- sowie anderen glutenhaltigen Materialien hergestellt:

- Teigherstellung Mehl wird mit Wasser gemischt, bis ein Feuchtigkeitsgehalt von 40–80 % (w/w) erreicht ist, um das Gluten zu aktivieren.
- Sheeting (Auswalzen): Der Teig wird ausgewalzt, wodurch die Stärke entfernt und gleichzeitig eine Faserrichtung erzeugt wird.
- Trocknung: Die Teigplatten werden bei 75–120 °C getrocknet.
- Zerkleinerung: Die getrockneten Platten werden zu Pulver vermahlen [17].

Quorn: Die Produktion erfolgt durch Fermentation mit dem fadenbildenden Pilz *Fusarium venenatum*.

- Fermentation: Möglich sind verschiedene aerobe Fermentationssysteme: Feststoff-, halb-feste oder Submersfermentation. Der höchste Ertrag wird bei Submersfermentation erzielt.
- Wachstumsphase: Das Myzel bildet während der Fermentation fadenartige Strukturen und akkumuliert Biomasse.

- Hitzebehandlung: Am Ende der Fermentation wird die Biomasse auf 65 °C für 20 Minuten erhitzt, um die Lebensmittelsicherheit zu gewährleisten und unerwünschte Stoffwechselprodukte zu inaktivieren.
- Abtrennung: Anschliessend erfolgt eine Zentrifugation oder Filtration, um überschüssiges Wasser zu entfernen.
- Endprodukt: Es entsteht eine dicke Paste mit teigähnlicher Konsistenz, die als Ausgangsmaterial für Quorn-Produkte dient.

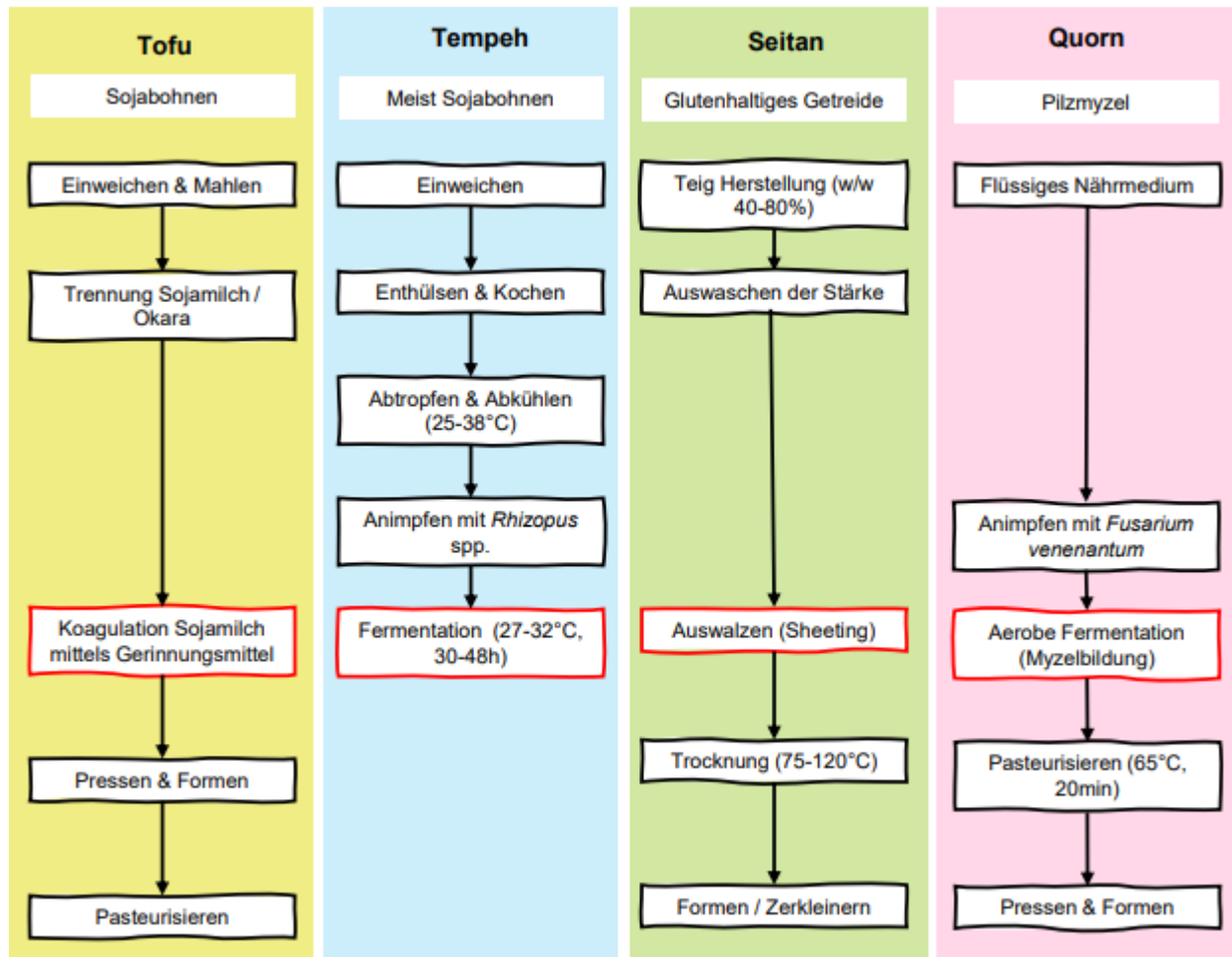


Abbildung 4: Darstellung der Herstellungsprozesse der ersten Generation von Fleischalternativen. Rot umrahmt die relevanten Schritte für die fleischähnliche Texturbildung.

3.2. Herstellungsprozesse der Fleischalternativen der zweiten Generation

TVP

TVP wird mittels Heissextrusion bei tiefen Wassergehalten (15-30 %) aus einer Mischung von Proteinen als Hauptbestandteil und Nahrungsfasern, Stärke und Fett als Nebenbestandteile hergestellt. TVP wird meist als Hackfleisch oder Fleischstücke produziert.

- Die Mischung wird unter hohem Druck sowie Scherung in einem Extruder verarbeitet, wobei Proteine denaturiert werden. Am Extruderausgang tritt das Produkt bei 120–200 °C und einem Druck von über 1 bar aus. Beim plötzlichen Druckabfall expandiert das Produkt, wodurch ein faseriges und poröses Material entsteht.

- Trocknung: Das expandierte Produkt wird getrocknet und ist dadurch bei Raumtemperatur lange haltbar.
- Endverarbeitung: Vor der Zubereitung einer Mahlzeit werden die trockenen Produkte in Wasser eingeweicht und anschliessend gekocht.

Die Proteinphase trägt durch Polymerisation und Vernetzung reorientierten Materials zur Strukturierung bei. Im Gegensatz zu HMMA ist ein gewisser Anteil an Stärke bei TVP erwünscht, da sie ebenfalls zur Strukturierung beitragen kann, indem sie während der Extrusion verkleistert, die Viskosität erhöht, die Expansion unterstützt und durch schnelles Abkühlen glasartig erstarrt [18-19]. Bis zu einem Stärkegehalt von ca. 10% wird die Textur positiv beeinflusst, indem sie die Härte, Elastizität und Gummigkeit verringert [20].

HMMA

HMMA ist ebenfalls extrusionsbasiert, aber basiert im Gegensatz zu TVP auf relativ reinen Proteinfractionen in Form von Isolaten oder Konzentraten sowie kleinen Mengen an Ballaststoffen und Fett und wird bei höheren Wassergehalten (40-70%) verarbeitet.

- Die Rohmaterialmischung wird im Extruder bei Temperaturen von 140–170 °C hydratisiert, gemischt, geknetet, aufgeschmolzen, abgekühlt und strukturiert. Dabei entfalten sich die nativen Proteine, denaturieren und richten sich in faseriger Form aus [21].
- Vor dem Austritt aus dem Extruder durchläuft das Produkt eine Kühldüse, die das Material auf <100 °C abkühlt, um eine Expansion zu verhindern und zugleich eine fasrige Struktur zu fixieren [22-23].
- Das Endprodukt hat eine dichte, faserige Struktur und muss auf Grund des hohen Wassergehalte kühlgelagert oder tiefgefroren aufbewahrt werden [18].

Fleischanaloga können alternativ auch mit einer Scherzellen-Technologie hergestellt werden. Diese kombiniert die Effektivität der Extrusion bei der Faserbildung mit einem besser definierten Scherprofil. Das Design dieser Scherzellen basiert auf Rheometern und wurde bereits erfolgreich bis in den Pilotmassstab hochskaliert [24-25]. Daneben wurden verschiedene andere Technologien entwickelt, die hier jedoch nicht weiter vertieft werden, z. B. 3D-Druck, Elektrosponning, Gefrier-Strukturierung [25-26].

Kultiviertes Fleisch

Als Ausgangsmaterial dient ein kleines Stück frisches Muskelgewebe, welches durch eine Biopsie vom jeweiligen Tier entnommen wird.

- Daraus werden Stammzellen isoliert.
- Die Zellen werden in einem Nährmedium kultiviert, das alle erforderlichen Nährstoffe enthält: Aminosäuren, Lipide, Mikronährstoffe. Je nach Stammzelltyp ist eine Differenzierung in Muskel- oder Fettzellen möglich [9].
- Gewebeformung: Nach ausreichender Zellvermehrung werden die Zellen auf ein Gerüst (Scaffold) übertragen, ausgerichtet und über mehrere Wochen gereift. Alternativ können die Zellen in ein Collagen-Gel übertragen werden, in welchem sich die Zellen durch elektrische Felder oder mechanische Kontraktion selbst zu muskelfaserähnlichen Strukturen organisieren.

Für eine industrielle Produktion sind grosstechnische Bioreaktoren notwendig [25, 27]. Bei grösseren Fleischstücken (> 1 cm Dicke) stellen die Diffusionsgrenzen für Sauerstoff und Nährstoffe eine grosse Herausforderung dar und machen Perfusionssysteme erforderlich. Während die Technologien für das medizinische Tissue-Engineering bereits etabliert sind, bestehen für die kommerzielle Lebensmittelproduktion noch zahlreiche Hürden [9].

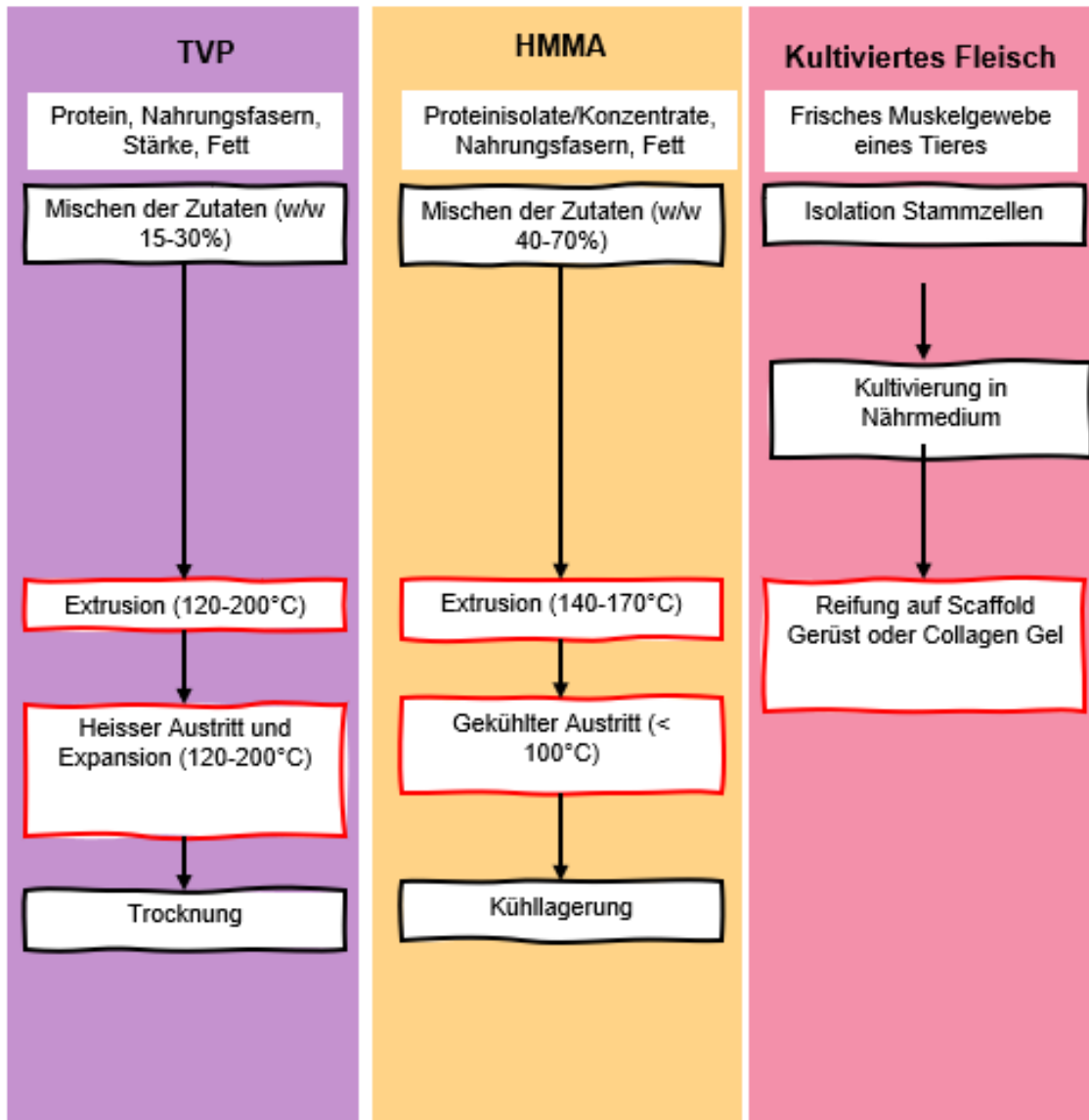


Abbildung 5: Darstellung der Herstellungsprozesse der zweiten Generation von Fleischalternativprodukten sowie kultiviertem Fleisch. Rot umrahmt die relevanten Schritte für die fleischähnliche Texturbildung.

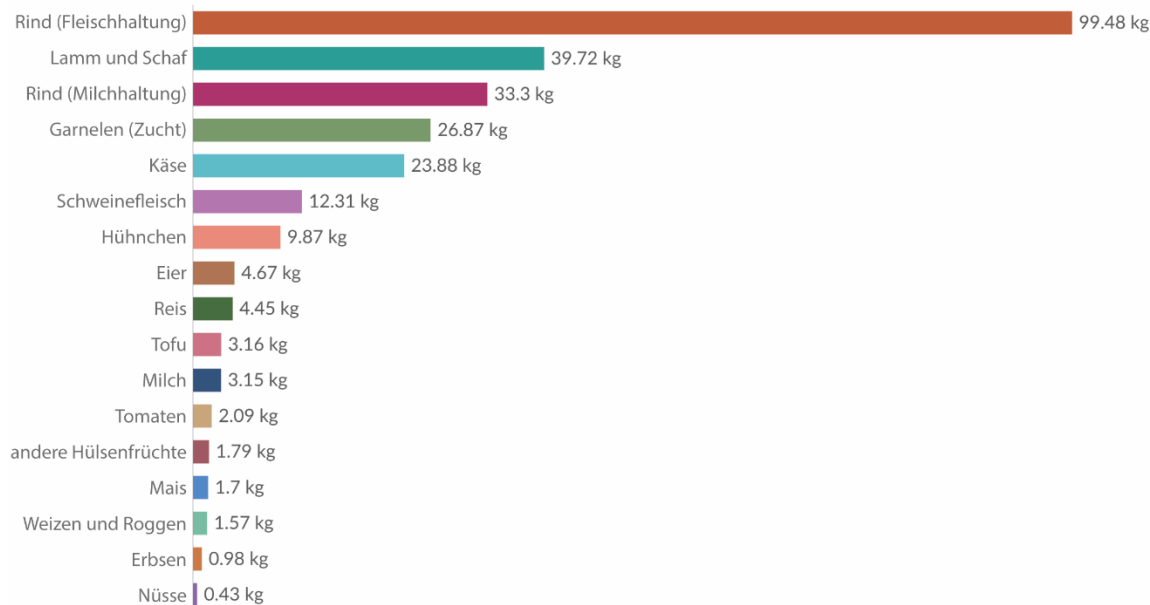
4. Umwelteinfluss

Ein Vergleich der Umweltauswirkungen mit Fokus auf Rohstoffe, d. h. Hülsenfrüchte im Vergleich zu Soja, Nüssen, Samen und tierischen Proteinen [28] zeigte, dass Hülsenfrüchte den geringsten Energiebedarf haben (gefolgt von Soja, Nüssen, Eiern, Schweinefleisch sowie Pute und Huhn) und die niedrigsten Treibhausgasemissionen verursachen (gefolgt von Soja, Nüssen, Pute und Fisch, Eiern und Huhn). Darüber hinaus gehören sie zu den kostengünstigsten Proteinquellen pro 100 g Protein (nach Schweinefleisch, Huhn, Eiern und Pute, aber vor Leber, Rindfleisch, Fisch, Lamm, Nüssen und Sojaprodukten). Ein Vergleich basierend auf „Our World in Data“ [29] zeigt, dass Erbsen den zweiten Platz in Bezug auf geringe Treibhausgasemissionen pro Kilogramm Produkt einnehmen, während andere Hülsenfrüchte auf Platz sechs rangieren und Tofu ungefähr die gleiche Menge an Treibhausgasen verursacht wie Milch (Abb. 6). Für Tofu variieren die Daten jedoch stark in Abhängigkeit von Herkunft, Transport und Verarbeitungseffizienz und werden von Mejia et al. [30] deutlich niedriger angegeben (0.98 kg CO₂-Äquivalente). Alle anderen tierischen Produkte verursachen signifikant höhere Mengen an Treibhausgasemissionen.

Treibhausgasemissionen pro kg Lebensmittelprodukt

Our World in Data

Treibhausgasemissionen werden in Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalenten gemessen. Das bedeutet, dass nicht-CO₂-Gase anhand der Menge an Erwärmung gewichtet werden, die sie über einen Zeitraum von 100 Jahren verursachen.



Data source: Poore and Nemecek (2018)

OurWorldinData.org/environmental-impacts-of-food | CC BY

Kohlendioxid ist das wichtigste Treibhausgas, aber nicht das einzige. Um alle Treibhausgasemissionen zu erfassen, drücken Wissenschaftler sie in „Kohlendioxid-Äquivalenten“ (CO₂eq) aus. Dabei werden alle Treibhausgase berücksichtigt, nicht nur CO₂.

Um alle Treibhausgase in Kohlendioxid-Äquivalente (CO₂eq) umzurechnen, wird jedes Gas mit seinem sogenannten „Treibhauspotenzial“ (Global Warming Potential, GWP) gewichtet. Das GWP gibt an, wie stark ein Gas im Vergleich zu CO₂ zur Erderwärmung beiträgt. CO₂ wird dabei ein GWP-Wert von eins zugewiesen. Wenn ein Gas ein GWP von 10 hat, würde ein Kilogramm dieses Gases zehnmal so viel zur Erwärmung beitragen wie ein Kilogramm CO₂.

Die Kohlendioxid-Äquivalente für jedes Gas werden berechnet, indem die Masse der Emissionen eines bestimmten Treibhausgases mit seinem GWP-Faktor multipliziert wird.

Diese Erwärmung kann über verschiedene Zeiträume hinweg betrachtet werden. Um CO₂eq über einen Zeitraum von 100 Jahren zu berechnen, multipliziert man jedes Gas mit seinem GWP über einen Zeitraum von 100 Jahren (GWP100).

Die gesamten Treibhausgasemissionen – gemessen in CO₂eq – ergeben sich dann durch die Summe der CO₂eq-Werte aller Gase.

Abb. 6: Treibhausgasemissionen pro Kilogramm Lebensmittel [29].

Eine detaillierte Studie aus dem Jahr 2023 [31] zeigte, dass pflanzliche Fleischersatzprodukte im Durchschnitt eine um 50 % geringere Umweltbelastung aufweisen als ihre tierischen Pendanten. Bei genauerer Betrachtung haben fleischbasierte Lebensmittel im Hinblick auf Treibhausgasemissionen und Flächenverbrauch einen höheren ökologischen Fussabdruck als die meisten pflanzlichen Fleischalternativen. Bei einigen Alternativen wie Mykoproteinen und erbsenbasierten Lebensmitteln überschneiden sich die Daten zu den Umweltauswirkungen jedoch mit Fleischarten, die weniger Ressourcen für die Produktion benötigen. In Bezug auf den Wasserverbrauch sind die Unterschiede weniger eindeutig, und in einigen Kategorien scheinen pflanzliche Optionen sogar ressourcenintensiver zu sein. Für Produkte wie mikrobielle Proteine, kultiviertes Fleisch, Erbsenprotein und Mikroalgen ist die Datenlage nicht ausreichend, um klare Schlussfolgerungen zu ziehen, und die Ergebnisse verschiedener Quellen variieren stark. Eine weiterführende Untersuchung der Umweltauswirkungen pflanzlicher Proteine scheint daher notwendig zu sein.

Der Vergleich zweier unterschiedlicher Ernährungsweisen (vegan versus mediterran) mit identischem Kalorien- und Proteingehalt zeigte jedoch, dass die vegane Ernährung (einschliesslich Hülsenfrüchte, Nüsse, Sojadrink, Seitan und Tofu als Hauptproteinquellen) insgesamt eine um 44 % geringere Umweltbelastung aufwies – trotz der Tatsache, dass die mediterrane Ernährung auf einem relativ geringen Anteil tierischer Produkte basierte (10,6 % der Gesamtkalorien, weshalb sie als „pflanzenbasierte Ernährung“ bezeichnet wurde) [32].

Tofu:

Soja gehört zu den Produkten mit den geringsten Treibhausgasemissionen (0.58 GHGE/50 g Protein) nach Hülsenfrüchten (0.44 GHGE/50 g) und Truthahn (0.55 GHGE/50 g). Die Kohlendioxidemissionen der Tofuproduktion werden mit Werten zwischen 0.8 CO₂-Äquivalenten [33] und 0.982 CO₂-Äquivalenten [34] angegeben. Eine Übersicht von Derosy und Ihsan [34] zeigte, dass mindestens 50 % der gesamten Kohlendioxidemissionen der Tofuproduktion auf den Transport und den Import von Sojabohnen zurückzuführen sind, da lokale Sojabohnen den Bedarf der Industrie häufig nicht decken können. Im Hinblick auf die Tofuproduktion haben sowohl der verwendete Energiemix als auch die Grösse des Verarbeitungsbetriebs einen erheblichen Einfluss auf die resultierende Umweltbilanz. Zudem fällt eine grosse Menge an Abwasser und Nebenströmen an. Während der Nebenstrom Okara verschiedene Anwendungen in Futtermitteln und Lebensmitteln findet, steht in vielen Verarbeitungsländern bislang keine Lösung für das Abwasser zur Verfügung. Mit zunehmender Nutzung des Nebenprodukts Okara ist zu erwarten, dass sich die Umweltbilanz von Tofu weiter verbessert.

Tempeh:

Ähnlich wie bei der Tofuproduktion liegt ein Haupttreiber der Umweltauswirkungen von Tempeh im Anbau (grösster Beitrag zur Landnutzung und Eutrophierung) sowie im Transport (grösster Beitrag zu Human- und Ökotoxizität, Ozonabbau, Klimawandel, photochemischer Oxidation und Versauerung). Insgesamt liegt die Auswirkung auf die globale Erwärmung durch 1 kg Tempeh zwischen 0.9 und 1.0 kg CO₂-Äquivalenten.

Seitan:

Zu den Umweltauswirkungen von Seitan wurden keine Studien gefunden, da sich die meisten Arbeiten auf eine weitere Veredelung des Produkts konzentrieren, wie etwa Seitan-Bacon oder getrocknetes Glutenpulver. Der gesamte CO₂-Fussabdruck von getrocknetem Weizengluten wurde mit 1.55 bis 1.7 kg CO₂-Äquivalenten angegeben [35]. Da Seitan nach der Proteingewinnung nicht zwingend einen Trocknungsschritt erfordert, könnte der CO₂-Äquivalentwert von Seitan selbst deutlich geringer ausfallen.

Quorn:

Eine Übersichtsarbeit von Shahid et al. [36] zeigte, dass die Treibhausgasemissionen von Mykoprotein bei 0.73 kg CO₂-Äquivalent liegen, was bereits niedriger ist als die Werte für z.B. Erbsenproteinkonzentrat (1.91 kg CO₂-Äqu.). Daraus ergibt sich, dass Quorn geringere CO₂-Emissionen verursacht als gewisse andere pflanzliche Fleischalternativen. Für einen Vergleich von Flächen- und Wasserverbrauch sind jedoch weitere Daten erforderlich. Hashempour-Baltork [4] verglich verschiedene Studien und stellte fest, dass Mykoprotein mit einem Wassereisabdruck von 777 l/kg Frischgewicht im Vergleich zu 15.415 L/kg bei traditionellem Fleisch sowie einer Flächennutzung von 0.00017 ha/kg für Mykoprotein gegenüber 0.0035–0.0049 ha/kg für traditionelles Fleisch eine effiziente Proteinquelle darstellt.

TVP und HMMA:

Der ökologische Fussabdruck von TVP und HMMA reicht je nach Rohstoffkombination und Art der Verarbeitung von 1.3 bis 22.4 kg CO₂-Äquivalent [31]. Wenn Protein-Isolate oder -Konzentrate als Rohstoffe verwendet werden, wirken sich grosse Nebenstromanteile (z. B. bestehen 60–70 % der Gelberbsenmasse aus Kohlenhydraten [37]) negativ auf die Umweltbilanz aus [31]. Insgesamt wurde gezeigt, dass verarbeitete pflanzliche Fleischersatzprodukte eine 1.6- bis 7-fach höhere Umweltbelastung verursachen als unverarbeitete Hülsenfrüchte und Erbsen sowie Tofu als weniger stark verarbeitete Formen pflanzlicher Proteine [31]. Dennoch wiesen tierische Proteine 34 % (Zuchtfisch) bis 93 % (Rindfleisch aus Mutterkuhhaltung) höhere Treibhausgasemissionen auf als pflanzliche Ersatzprodukte.

Eine Verwertung typischer Nebenströme der Proteinextraktion wie Erbsenstärke und -fasern, Okara und anderer Nebenprodukte könnte die ökologischen Vorteile pflanzlicher Fleischalternativen zusätzlich stärken. Ein weiterer Nutzen könnte möglicherweise durch die Anpassung von Produktionsprozessen erzielt werden, sodass proteinreiche Nebenströme wie Brauereitreiber trotz möglicher Reststärke und Nahrungsfaseranteilen für die Herstellung pflanzlicher Fleischersatzprodukte genutzt werden können.

Kultiviertes Fleisch: Da Daten zur grosstechnischen Herstellung von kultiviertem Fleisch kaum verfügbar sind, basieren die Schätzungen auf Modellierungen und Daten aus Labormassstab-Experimenten. Zentrale Aspekte zur Erreichung einer akzeptablen Umweltbilanz sind die Entwicklung energieeffizienter, grossskaliger Bioreaktorsysteme [9].

5. Ernährungsphysiologische Qualität

Generelle Bemerkungen:

- Hinsichtlich des Proteingehalts und der Aminosäurezusammensetzung stellen die verwendeten Rohstoffe sowie eine optionale Fraktionierung derselben den entscheidenden Faktor für den resultierenden Nährwert der verschiedenen pflanzlichen Fleischalternativen dar. Tab. 1 gibt einen Überblick über Energie-, Protein-, Ballaststoff- und Fettgehalt von Fleisch und Fleischalternativen. Die Werte sind lediglich beispielhaft, da die Nährstoffzusammensetzung von Fleischalternativen stark von den eingesetzten Rohstoffen abhängt, kultiviertes Fleisch gezielt in Bezug auf die Nährstoffzusammensetzung angepasst werden kann und die Werte für Fleisch stark vom jeweiligen Schnitt und der Fütterung abhängen.
- Hinsichtlich der Proteinverdaubarkeit würden in-vivo-Studien die genauesten Ergebnisse liefern. Da diese jedoch teuer und ethisch problematisch sind, wurden in-vitro-Methoden entwickelt, für die bei einigen Rohstoffen gute Korrelationen mit den in-vivo-Messungen festgestellt wurden. Die Korrelationen waren jedoch weniger zuverlässig für Proteine mit PDCAAS-Werten (protein digestibility corrected amino acid score) unter 85 %, wozu viele pflanzliche Proteinquellen zählen [38-39]. Daher empfehlen verschiedene Autoren den Einsatz von in-vivo-Methoden für exakte Ergebnisse, da in-vitro-Methoden teilweise zu hohe Verdaulichkeitswerte liefern.

Tab. 1: Beispielhafte Werte zum Energiegehalt sowie zum Protein-, Ballaststoff- und Fettgehalt von Fleischalternativen und Fleisch. Die Daten stammen aus Ložnjak Švarc et al. [40] für Tofu und Seitan, aus Ložnjak Švarc et al. [40] und Denny et al. [41] für Mykoprotein (Quorn), De Bie et al. [42] für Sojatempeh, Hong et al., 2022 [43] für TVP und HMMA – mit Ausnahme der Werte für Energie- und Nahrungsfasergehalt, die auf Angaben des kommerziell erhältlichen Produkts Sonnenblumen Hack (Sunflower Family GmbH) basieren, aus Lim et al. [44] für kultiviertes Fleisch und aus Yang et al. für Huhn und mageres Rindfleisch [45].

Produkt	Tofu	Soja tempeh	Seitan	Quorn / Mykoprotein	TVP*	HMMA	Laborfleisch	Hühnerbrust	Rind (mager)
Energiegehalt (kcal / 100 g Produkt)	120-130	186	183-233	86-112	108	131-225	n.a.	119	151
Protein (g/100g Produkt)	13.1 – 13.5	18.2	24-33	12-15	16.8 – 25.5	14-20	10.7-69.8	28.6	27.4
Nahrungsfasern (g/100g Produkt)	1.7-3.3	1.3	0.8-4.9	4.8-7.6	18.7	2.4-6.3	n.a.	0	0
Fett (g/100g Produkt)	7-8	9.0	4.9-11	2.0-2.9	0.7 - 2.8	4.1-12.4	0.1-4.5	1.0	4.1

* für TVP wurden die Literaturwerte und Packungsangaben auf Nassgewicht angepasst, indem die Annahme getroffen wurde, dass beim Einweichen das Verhältnis von TVP zu Wasser von 1:2 verwendet wird.

Tofu:

Tofu hat einen Energiegehalt von 120 – 130 kcal/100 g Produkt [40], ist allgemein reich an Protein (32–65 % in der Trockenmasse, 13,1–13,5 g/100 g Produkt), arm an Ballaststoffen [40], und enthält nennenswerte Mengen an Fett mit 8–35 % bezogen auf die Trockenmasse [46] bzw. 7–8 g/100 g [40], jedoch kein Cholesterin [22]. Darüber hinaus liefert Tofu Mineralstoffe wie Calcium und Eisen sowie bioaktive

Verbindungen (Isoflavone, Saponine, Phytosterole) und essenzielle Fettsäuren (Linolsäure und Linolensäure) [47]. Allerdings können auch Antinährstoffe wie Oxalat (steht in Verbindung mit Nierensteinen) und Phytinsäure (vermindert die Bioverfügbarkeit von Mikronährstoffen) enthalten sein.

Tempeh:

Tempeh gilt als gesunde Option aufgrund seines hohen Gehalts an Protein (18.2 %) und essenziellen Aminosäuren, des hohen Gehalts an Fettsäuren, Folsäure, Isoflavonen und Vitaminen (B12 und Tocopherol) sowie weiterer gesundheitsfördernder Eigenschaften wie einem reduzierten Gehalt an antinutritiven Faktoren im Produkt [48-49]. Die Fermentation mit *Rhizopus* spp. baut Proteine und andere Nährstoffe in einfachere Formen mit höherer Bioverfügbarkeit ab [16]. Ein in-vitro-Proteomik- und Peptidomik-Ansatz von Wu et al. [50] zeigte eine verbesserte Verdaulichkeit der Proteine sowie einen Abbau von Allergenen und antinutritiven Faktoren und bestätigte damit erneut die gesundheitlichen Vorteile einer Tempeh-Fermentation. Es werden vielfältige gesundheitsfördernde Wirkungen berichtet, wie z. B. antidiabetische, krebshemmende, anti-aging- sowie cholesterinsenkende Eigenschaften [16].

Seitan:

Seitan hat einen Brennwert von 183–233 kcal / 100 g, einen hohen Proteingehalt von 24–33 g/100 g Produkt, einen Nahrungsfasergehalt von 0.8–4.9 g/100 g Produkt sowie einen Fettgehalt von 4.9–11 g/100 g, davon 0.43–0.86 g/100 g gesättigte Fettsäuren [40]. Ein wesentlicher Nachteil von Seitan sind jedoch die typischen weizenbezogenen Unverträglichkeiten, d. h. Weizenallergie, Zöliakie und nicht-zöliakische Glutensensitivität [35].

Quorn:

Quorn ist ein fettarmes, eiweiss- und ballaststoffreiches Produkt [40]. Im Allgemeinen enthalten 100 g Mykoprotein 86–112 kcal, 12–15 g Protein, 2.0–2.9 g Fett, 1.7–7.7 g Kohlenhydrate, 4.8–7.6 g Nahrungsfasern sowie verschiedene Vitamine und Mineralstoffe. Der biologische Wert von Mykoproteinen ist vergleichbar mit dem von Milchprotein, und der Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) liegt nahezu bei 1. Eine Unverträglichkeit des Proteins bei einigen Konsumenten ist dokumentiert [51]. Es konnte gezeigt werden, dass Mykoproteine in der Lage sind, den LDL- und HDL-Cholesterinspiegel günstig zu beeinflussen [52-53], das Sättigungsgefühl positiv zu beeinflussen [51] und aufgrund ihres hohen Nahrungsfasergehaltes zur Regulierung der glykämischen Antwort beizutragen [54].

TVP:

Die Zusammensetzung hängt stark von der Auswahl der Rohstoffe ab. So kann beispielsweise das Aminosäureprofil durch die Kombination von Hülsenfrucht- und Getreidezutaten ausgewogener gestaltet werden: Hülsenfrüchte sind im Allgemeinen reich an Lysin, Leucin, Asparaginsäure, Glutaminsäure und Arginin, weisen jedoch Defizite bei Methionin und Cystein auf. Getreide hingegen ist limitiert in den essenziellen Aminosäuren Lysin, Tryptophan, Threonin und Valin, enthält aber reichlich Glutamin, Prolin, Leucin, Methionin und Cystein. Somit ergänzen sich beide optimal, um das Aminosäureprofil auszugleichen [55]. Meade et al. [56] beobachteten, dass starke thermische Behandlungen, wie z. B. Extrusion, dazu führen können, dass Lysinreste mit Dehydroalanin reagieren, was zur Bildung von Lysinoalanin führt und damit die Proteinqualität mindert. Darüber hinaus kann die Anwesenheit von antinutritiven Faktoren wie Trypsin-Inhibitoren die Proteinverdaubarkeit einschränken. Duque-Estrada et al. [57] zeigten, dass die Extrusion eine Abnahme der Trypsin-Inhibitor-Aktivität um mehr als 71 % zur Folge hatte, jedoch gleichzeitig die Bildung von Aggregaten fördert, welche die Enzymzugänglichkeit einschränken. Lin et al. [20] analysierten die in-vivo- und

in-vitro-Proteinverdaubarkeit von TVP, die mit unterschiedlichen Mengen an Stärke hergestellt wurden. Während die in-vitro-Proteinverdaubarkeit mit steigendem Stärkeanteil zunahm, änderte sich die in-vivo-Proteinverdaubarkeit nicht.

HMMA:

Die Makronährstoffzusammensetzung von HMMA kann weitgehend an die von traditionellem Fleisch angepasst werden, während sich die Mikronährstoffzusammensetzung, die Aminosäurebewertungen und die Fettsäurearten unterscheiden [58]. Der Aminosäurewert von HMMA ist abhängig von der jeweiligen Rezeptur. Da der Wassergehalt bei HMMA höher ist als bei TVP, sind chemische Modifikationen von Aminosäuren durch starke Verarbeitungseinflüsse voraussichtlich gering [56]. Für weizenbasiertes HMMA zeigten Lin et al. [59] dass die Extrusion zu einer Verringerung der Proteinlöslichkeit im Vergleich zu den unbehandelten Rohstoffen führte. Ausserdem stellten sie einen feuchtigkeitsabhängigen Effekt auf die faserige Struktur von HMMA fest, wobei bei niedrigerem Wassergehalt während der Extrusion stärkere Fasern gebildet wurden. Die in-vitro-Proteinverdaubarkeit erwies sich dagegen als verbessert bei Produkten, die mit höherem Wassergehalt hergestellt wurden, also mit schwächerer Faserstruktur.

Kultiviertes Fleisch:

Der Nährstoffgehalt entspricht dem von herkömmlichem Fleisch in Bezug auf den Proteingehalt und die Vollständigkeit des Aminosäureprofils. Darüber hinaus zählen zu den vorteilhaften Eigenschaften die Krankheitsprävention sowie die Vermeidung von Antibiotikaresistenzen.

6. Markteinblick

Der Markt für Fleischalternativen ist aktiv und wird in den kommenden Jahren voraussichtlich weiterhin wachsen. Angetrieben werden diese Entwicklungen durch die Veränderungen von Präferenzen seitens Konsument:innen mit einem höheren Gesundheitsbewusstsein, ökologischen und ethischen Bedenken sowie politischen Programmen, welche die Entwicklung und den Verkauf von pflanzenbasierten Proteinen begünstigen [60].

Im Europäischen Markt sind die Marktgrößen für Tofu, Tempeh und TVP/HMMA ähnlich gross, wobei die durchschnittlichen, erwarteten Wachstumsraten für Tofu und Laborfleisch am höchsten sind (Abb. 7, Tab. 2).

Im Globalen Markt ist der klare Vorreiter TVP/HMMA und wird mit einer hohen, durchschnittlichen Wachstumsrate um 18.27% in 2030 eine Marktgröße von knapp 40 Mrd. USD erreichen [61-64].

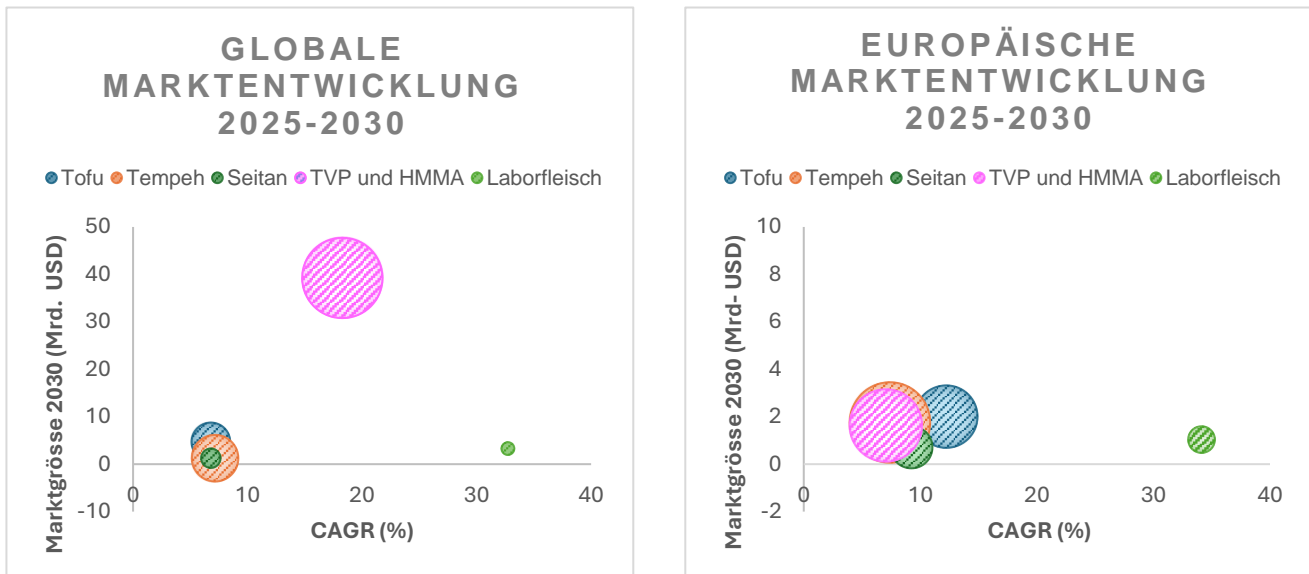


Abbildung 7: Globale (links) und europäische (rechts) Marktentwicklung im Zeitraum 2025 bis 2030 basierend auf Durchschnittswerten unterschiedlicher Quellen gemäss Tabelle 2. Kreisflächen entsprechen den Marktgrößen im Jahr 2025.

Tab. 2: Vergleichende europäische und globale Marktentwicklung verschiedener Fleischalternativen, normiert auf die Jahre 2025 und 2030.

	Geschätzte Marktgrösse Global 2025 (Mrd. USD)	Geschätzte Marktgrösse Global 2030 (Mrd. USD)	CAGR Global (%)	Geschätzte Marktgrösse Europa 2025 (Mrd USD)	Geschätzte Marktgrösse Europa 2030 (Mrd USD)	CAGR Europa (%)	Quelle
Tofu	3.04	3.88	5	1.05	1.87	12.27	[66]
	3.49	5.49	8.6				[69]
				0.66	2.97	12.2	[67]
				0.74	1.18	12.2	[68]
Tempeh	4.93	6.26	4.9				[70]
				1.34	1.76	7.4	[71]
	4.28	4.05	4.4				[73]
	4.81	7.21	12.2				[72]
Seitan	0.42	0.49	3.27	0.43	0.92	8.54	[74]

	1.21	1.94	9.52	0.33	0.50	9.93044 1	[75]
	0.99	1.33	7.56				[76]
Quorn	0.33	0.39	3.27				[77]
TVP und HMMA	11.92	23.67	14.7	1.34	1.89	7.04	[62]
	24.21	85.83	28.8	0.64	0.79	4.3	[61, 64]
	4.82	8.24	11.32	1.98	3.34	10.95	[60, 63]
				0.39	0.52	5.87	[89]
Kultiviertes Fleisch	0.95	2.92	25.3				[80]
	0.25	6.86	51.6	0.22	1.89	53.6	[81]
	0.04	0.09	21.32				[83]
				0.09	0.18	14.65	[82]

Fleischersatzprodukte der ersten Generation:

Tofu: Der globale Tofu-Markt erreichte im Jahr 2021 ein Volumen von 2.5 Mrd. USD, wobei die Region Asien-Pazifik mit 56.3 % den grössten Marktanteil hielt. Für den Zeitraum 2019–2028 wird eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (CAGR) von 5 % prognostiziert [65-66]. Im Europäischen Raum werden fast doppelt so hohe Wachstumsraten erwartet, gemäss unterschiedlichen Quellen bis zu 12% [67-68]. Laut Data Bridge wird das Wachstum in Europe insbesondere angetrieben durch Grossbritannien, Deutschland, Frankreich und Niederlande [69]. Die grössten Player bisher sind Clearspring, House Foods, Pulmone, Taifun und The Tofoo. Der Tofu Markt ist bisher hoch kompetitiv und wird nicht von einzelnen Playern dominiert [68].

Tempeh: Der globale Tempeh-Markt erreichte im Jahr 2024 einen Wert von 4.7 Mrd. USD und wird voraussichtlich bis 2030 mit einer CAGR von 4.9 % auf 6,3 Mrd. USD anwachsen [70]. Im europäischen Markt wird die Wachstumsrate auf einen ähnlichen Wert geschätzt wird einen durchschnittlichen Marktanteil von 30% beibehalten [71-73].

Seitan und Quorn hingegen weisen eine deutlich kleinere Marktgrösse auf: Seitan lag 2018 bei 336.1 Mio. USD mit einer prognostizierten CAGR von 3.27 % im Zeitraum 2023–2028 [74]. wobei andere Quellen die Wachstumsraten leicht höher einschätzen mit 9.52% [75] und 7.56% [76], während Quorn mit 214 Mio. EUR bewertet wurde [77]. Da Quorn eine Marke ist, liegen wenige Daten vor für den Markt, häufig wird Quorn jedoch in den Marktdaten zu Seitan erwähnt.

Fleischersatzprodukte der zweiten Generation:

Zweite Generationen pflanzlicher Fleischalternativen haben auf den Lebensmittelmärkten rasch an Popularität gewonnen, mit 60 Marken weltweit im Jahr 2022 [78]. Der grösste Marktanteil liegt in den USA (61 %), gefolgt von Europa (17 %) und Südamerika (14 %). Wobei der europäische Marktanteil je nach Quelle auch lediglich 8% erreicht [61-64]. Bei diesen Produkten sind die Prognosen generell sehr variabel – alleine die Angabe der globale Marktgrösse für 2025 schwankt zwischen 4.82 Bio USD [63], 11.92 Bio.USD [62] und 24.21 Bio. USD [61]. Durchschnittlich wird das Wachstum in Europa wesentlich geringer prognostiziert mit durchschnittlich 7.04 % bis 2030, im Gegensatz zur globalen Schätzung von 18.27% [61-64]. Laut einer Studie haben sich die Wachstumsraten ohnehin verlangsamt, und es wird die Frage aufgeworfen, ob PBMA's ihren Erfolg langfristig halten können [79].

Neuere Fleischalternativen:

Kultiviertes Fleisch erreichte im Jahr 2025 einen Verkaufswert von 946.5 Mio. USD und wird laut *Research and Markets* [80] mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 25.3 % voraussichtlich bis 2030 auf 2.97 Mrd. USD anwachsen. Andere Quellen prognostizieren aber auch optimistischere Daten und schätzen die Wachstumsrate auf 51.6% und die Marktgrösse in 2030 auf 6.86 Mrd. USD [81]. Basierend auf Durchschnittswerten beträgt der europäische Marktanteil heute 38% und wird bis 2030 auf 31% sinken. Wobei die Wachstumsrate in Europe bis 2030 leicht über der globalen Prognose liegt [81-83]. Die Kosten für künstlich hergestelltes Fleisch sind jedoch nach wie vor hoch, was in erster Linie auf die hohen Preise für das Zellkulturmedium zurückzuführen ist [9].

7. Konsument:innenverhalten

17 Fleisch- und 19 kommerziell erhältliche Fleischersatzprodukte wurden im rohen Zustand visuell bewertet und anschliessend von 34 nicht-vegetarischen niederländischen Teilnehmern sortiert [84] um zu untersuchen, wie die Konsument:innen die Produkte klassifizieren, d. h. ob Fleisch und Fleischalternativen in einer Gruppe zusammengefasst werden. Das Ergebnis zeigte, dass die Produkte in erster Linie nach der tierischen Herkunft (z. B. Schwein, Huhn, ...) kategorisiert wurden, wodurch sich für die Fleischalternativen separate Kategorien ergaben. Verarbeitete Produkte wie Hamburger, Würstchen und panierte Produkte wurden jedoch teilweise gemeinsam gruppiert – sowohl für Fleisch als auch für Fleischalternativen. Daraus lässt sich schliessen, dass das visuelle Erscheinungsbild entscheidend ist, wenn ein Produkt als echter Ersatz wahrgenommen werden soll.

Eine Metastudie von Szenderák et al. [85] mit globaler Reichweite zeigte, dass eine positive Vorerfahrung mit Fleischalternativen zu einer höheren Bereitschaft führt, pflanzliche Fleischalternativen zu akzeptieren. Neben Umweltfaktoren – die für sich allein jedoch kaum ausreichen, um Omnivoren zur Wahl pflanzlicher Produkte zu bewegen – werden Geschmack und Textur sowie die Nährstoffqualität als besonders wichtig eingestuft. Schliesslich scheint auch der Preis eine Rolle zu spielen, da Konsument:innen mit höherem Einkommen eher bereit waren, pflanzliche Alternativen zu wählen.

Eine weitere Übersichtsarbeit mit globaler Reichweite von Onwezen et al. [86] basierend auf 91 Artikeln untersuchte die Treiber für die Verbraucherakzeptanz von fünf Gruppen alternativer Proteine: Hülsenfrüchte, Algen, Insekten, pflanzliche Fleischalternativen und kultiviertes Fleisch. Unter den untersuchten alternativen Proteinquellen wiesen Insekten die geringste Akzeptanz auf, gefolgt von kultiviertem Fleisch. Hülsenfrüchte und pflanzliche Alternativproteine wurden hinsichtlich der Akzeptanz am besten bewertet. Insgesamt basierte die Kaufmotivation vor allem auf Geschmack und gesundheitlichem Nutzen der Produkte, gefolgt von Vertrautheit, persönlicher Einstellung sowie Faktoren wie Lebensmittelneophobie, Ekel und sozialen Normen. Hinsichtlich der sensorischen Eigenschaften wurden Texturmerkmale wie Saftigkeit, Elastizität und Festigkeit als grösste Herausforderung für Fleischalternativen identifiziert [87].

Die theoretische Verbraucherakzeptanz von kultiviertem Fleisch hängt stark von der Formulierung der Fragen sowie von der Menge und Positivität der den Teilnehmenden bereitgestellten Informationen ab. Insgesamt zeigte sich, dass ein ansprechender Name (z. B. *Clean Meat*), ein niedriger Verkaufspreis, Vertrautheit mit der Technologie sowie die wahrgenommene Popularität im sozialen Umfeld die Akzeptanz fördern. Darüber hinaus war die Akzeptanz bei Männern höher als bei Frauen und in Asien grösser als in Amerika, mit den niedrigsten Werten in Europa [9]. Eine weitere Studie von Pakseresht et al. [88] zeigte, dass die wichtigsten Faktoren für die Akzeptanz oder Ablehnung von kultiviertem Fleisch das öffentliche Bewusstsein, die wahrgenommene Natürlichkeit sowie die wahrgenommene Lebensmittelsicherheit sind. Lebensmittelneophobie, Unsicherheit über Gesundheitsrisiken und Risikowahrnehmung im Zusammenhang mit Lebensmitteln wurden hingegen als wichtige Barrieren identifiziert.

8. Benchmarking

Konventionelles Fleisch wird in Tabelle 3 im Hinblick auf sensorische Qualität, Zusammensetzung, Umweltauswirkungen, Produktionskosten, das Risiko der Übertragung antibiotikaresistenter Mikroorganismen, Haltbarkeit bei 4°C, Allergene sowie den Verkaufspreis mit verschiedenen Fleischalternativen verglichen.

Tab. 3: Qualitatives Benchmarking von konventionellem Fleisch im Vergleich zu Fleischalternativen auf Basis zentraler Attribute, erstellt aus den in diesem White Paper zusammengefassten Literatur- und Marktdaten. Bewertungsskala 1–6, wobei 6 die beste und 1 die schlechteste Bewertung darstellt; n.a.: keine Daten verfügbar.

Attribute	Poulet	Rind	Tofu	Tempeh	Seitan	Quorn	TVP	HMMA	Laborfleisch
Textur*	6	6	4	4	4	4	4	5	6
Aroma*	6	6	3	2	3	4	4	4	6
Zusammensetzung**	6	5	4	4	3	4	4	4	6
Umwelteffekt***	3	1	5	6	5	6	2-5	2-5	n.a.
Produktionskosten	4	2	4	5	4	4	4	3	1
Risiko antibiotikaresistenter Keime	3	3	5	5	5	6	5	5	5
Haltbarkeit bei 4°C****	2	2	3-4	5	2-6	2	6	5	2
Allergene	6	6	4	4	3	3	4	4	6
Verkaufspreis*****	4	6	6	5	2	5	6	5	1

*Vergleichbarkeit zu Fleisch.

**Vergleichbarkeit bezüglich Makronährstoffzusammensetzung und Aminosäureprofil. Verdaubarkeit und Bioverfügbarkeit sind auf Grund limitierter Datenverfügbarkeit nicht berücksichtigt.

***Umwelteffekt bezüglich CO₂: 6: < 1 kg CO₂ eq, 5: >1 -2 kg CO₂ eq, 4: >2 - 5 kg CO₂ eq, 3: >5-10 kg CO₂ eq, 2: > 10 - 50 kg CO₂ eq, 1: >50 kg CO₂ eq.

****Haltbarkeit bei 4°C: 1: < 1 Tag, 2: 2 – 7 Tage, 3: 8 – 14 Tage, 4: > 2 bis < 4 Wochen, 5: > 1 bis < 6 Monate, 6: > 6 Monate (TVP könnte während dieser Zeit bei Raumtemperatur gelagert werden).

*****Verkaufspreis in gehackter Form (ausser Tofu und Tempeh, welche nur als Block verkauft werden): 6: < 2 CHF/100 g, 5: 2 – 4 CHF/100 g, 4: 4 – 8 CHF/100 g, 3: 8 – 12CHF/100 g, 2: 12 – 20 CHF/100 g, 1: > 20 CHF/100 g.

9. Schlussfolgerungen

Die Entwicklung von Fleischalternativen spiegelt eine dynamische Schnittstelle von Lebensmittelwissenschaft, Konsument:innenverhalten und Nachhaltigkeitszielen wider. Während Produkte der ersten Generation wie Tofu und Tempeh weiterhin ernährungsphysiologisch wertvoll und ökologisch vorteilhaft sind, bieten Fleischanaloga der zweiten Generation verbesserte sensorische Eigenschaften – allerdings auf Kosten einer höheren Verarbeitungskomplexität. Neue Technologien wie kultiviertes Fleisch versprechen eine noch genauere Nachbildung von echtem Fleisch, stehen jedoch weiterhin vor erheblichen Hürden hinsichtlich Produktionskosten und Skalierbarkeit.

Aus ökologischer Sicht schneiden pflanzliche Alternativen im Allgemeinen besser ab als tierische Fleischprodukte, insbesondere in Bezug auf Treibhausgasemissionen und Flächenverbrauch. Die ernährungsphysiologische Qualität variiert dabei je nach Rohstoff und Verarbeitungstechnologie, wobei Fermentation und Proteinmischungen Chancen bieten, die Verdaulichkeit und Aminosäureprofile zu verbessern.

Die Verbraucherakzeptanz wird weiterhin massgeblich von Faktoren wie Geschmack, Textur, Preis und Vertrautheit beeinflusst. Eine visuelle Ähnlichkeit zu Fleisch sowie positive Konsumerfahrungen sind entscheidend für die breite Akzeptanz, während ethische und ökologische Beweggründe allein in der Regel nicht ausreichen.

Für die Zukunft hängt die erfolgreiche Expansion des Marktes für Fleischalternativen von kontinuierlicher Innovation in der Rohstoffbeschaffung, den Verarbeitungstechnologien und den Kommunikationsstrategien zur Ansprache verschiedener Konsument:innengruppen ab. Um ihr volles Potenzial auszuschöpfen, müssen Fleischalternativen nicht nur mit konventionellem Fleisch in Geschmack und Nährwert konkurrieren, sondern auch Vertrauen durch Transparenz und Nachhaltigkeit aufbauen.

10. Literaturliste

1. He, J., et al., A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2020. 19(5): p. 2639–2656.
2. Wiloso, E.I., et al., Hotspot identification in the Indonesian tempeh supply chain using life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2019. 24(11): p. 1948–1961.
3. Food, U. and D. Administration, Human food made with cultured animal cells. 2022.
4. Hashempour-Baltork, F., et al., Mycoproteins as safe meat substitutes. *Journal of Cleaner Production*, 2020. 253: p. 119958.
5. Suman, G., et al., Single cell protein production: a review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 2015. 4(9): p. 251–262.
6. Swartz, E. and C. Bomkamp, The science of cultivated meat. Good Food Institute, 2021.
7. Zhang, L., et al., Prospects of artificial meat: Opportunities and challenges around consumer acceptance. *Trends in Food Science & Technology*, 2021. 116: p. 434–444.
8. Anomaly, J., et al., Flesh Without Blood: The Public Health Benefits of Lab-Grown Meat. *Journal of Bioethical Inquiry*, 2024. 21(1): p. 167–175.
9. Post, M.J., et al., Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food*, 2020. 1(7): p. 403–415.
10. Souza Filho, P.F., et al., Vegan-mycoprotein concentrate from pea-processing industry byproduct using edible filamentous fungi. *Fungal biology and biotechnology*, 2018. 5: p. 1–10.
11. Lusas, E.W. and M.N. Riaz, Soy protein products: processing and use. *The Journal of nutrition*, 1995. 125: p. 573S–580S.
12. Choi, H.W., et al., Impact of rice flour with different amylose contents on the texturization of plant protein by high-moisture extrusion. *Food Hydrocolloids*, 2026. 171: p. 111768.
13. Lam, A.C.Y., et al., Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*, 2018. 34(2): p. 126–147.
14. Osen, R., et al., High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. *Journal of Food Engineering*, 2014. 127: p. 67–74.
15. Ali, F., K. Tian, and Z.-X. Wang, Modern techniques efficacy on tofu processing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2021. 116: p. 766–785.
16. Teoh, S.Q., et al., A review on health benefits and processing of tempeh with outlines on its functional microbes. *Future Foods*, 2024. 9: p. 100330.
17. Mateti, T., A. Laha, and P. Shenoy, Artificial Meat Industry: Production Methodology, Challenges, and Future. *JOM*, 2022. 74(9): p. 3428–3444.
18. Guyony, V., F. Francine, and V. and Jury, High moisture extrusion of vegetable proteins for making fibrous meat analogs: A review. *Food Reviews International*, 2023. 39(7): p. 4262–4287.
19. Lee, J.-S., et al., Physico-chemical characteristics of rice protein-based novel textured vegetable proteins as meat analogues produced by low-moisture extrusion cooking technology. *LWT*, 2022. 157: p. 113056.
20. Lin, Q., et al., Structure and protein digestibility of textured vegetable proteins (TVPs)-based meat analogs: effect of corn starch. *Food Hydrocolloids*, 2025. 167: p. 111416.

21. Cornet, S.H.V., et al., Thermo-mechanical processing of plant proteins using shear cell and high-moisture extrusion cooking. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022. 62(12): p. 3264–3280.
22. Mazumder, M.A.R., et al., Role of plant protein on the quality and structure of meat analogs: A new perspective for vegetarian foods. *Future Foods*, 2023. 8: p. 100280.
23. Schmid, E.M., et al., High moisture extrusion cooking of meat analogs: A review of mechanisms of protein texturization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022. 21(6): p. 4573–4609.
24. Krintiras, G.A., et al., On the use of the Couette Cell technology for large scale production of textured soy-based meat replacers. *Journal of Food Engineering*, 2016. 169: p. 205–213.
25. Dekkers, B.L., R.M. Boom, and A.J. van der Goot, Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 2018. 81: p. 25–36.
26. Ozturk, O.K. and B.R. Hamaker, Texturization of plant protein-based meat alternatives: Processing, base proteins, and other constructional ingredients. *Future Foods*, 2023. 8: p. 100248.
27. Post, M.J., Cultured beef: medical technology to produce food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014. 94(6): p. 1039–1041.
28. Drewnowski, A. and Z. Conrad, Pulse crops: nutrient density, affordability, and environmental impact. *Frontiers in Nutrition*, 2024. 11.
29. Poore, J. and T. Nemecek, Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992, 2018.
30. Mejia, A., et al., Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 2018. 13(1): p. 131–142.
31. Smetana, S., et al., Meat substitutes: Resource demands and environmental footprints. *Resources, Conservation and Recycling*, 2023. 190: p. 106831.
32. Filippin, D., et al., Environmental Impact of Two Plant-Based, Isocaloric and Isoproteic Diets: The Vegan Diet vs. the Mediterranean Diet. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023. 20(5): p. 3797.
33. Yusuf, M.A., Agustina, L., Global warming impact and energy analysis of tofu product: A case study in ABC factory Merauke. . *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022. 1107: p. 1–6.
34. Derosya, V., Ihsan, T., Assessing the environmental impact of tofu production: a systematic review for a sustainable industry. *Agrointek* 2025. 19(2): p. 261–272.
35. Flambeau, M., et al., Chapter 4 - Proteins from Wheat: Sustainable Production and New Developments in Nutrition-Based and Functional Applications, in *Sustainable Protein Sources (Second Edition)*, S. Nadathur, J.P.D. Wanasundara, and L. Scanlin, Editors. 2024, Academic Press. p. 77–91.
36. Shahid, M., et al., The environmental impact of mycoprotein-based meat alternatives compared to plant-based meat alternatives: A systematic review. *Future Foods*, 2024. 10: p. 100410.
37. Wu, D.-T., et al., A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*, 2023. 12(13): p. 2527.
38. Carias, D., A. Cioccia, and P. Hevia, Agreement between animal and vegetable protein digestibility measured in vivo and in vitro and its effect on the chemical score. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 1995. 45(2): p. 111–116.

39. Boye, J., R. Wijesinha-Bettoni, and B. Burlingame, Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Nutrition*, 2012. 108(S2): p. S183–S211.
40. Ložnjak Švarc, P., et al., Nutrient content in plant-based protein products intended for food composition databases. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022. 106: p. 104332.
41. Denny, A., B. Aisbitt, and J. Lunn, Mycoprotein and health. *Nutrition bulletin*, 2008. 33(4): p. 298–310.
42. De Bie, T.H., A. Eilander, and A.J. Wanders, Comparing the nutrient composition of plant-based meat with animal meat and legumes: A review of analytical data on 45 nutrients. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2025. 146: p. 107841.
43. Hong, S., Y. Shen, and Y. Li, Physicochemical and Functional Properties of Texturized Vegetable Proteins and Cooked Patty Textures: Comprehensive Characterization and Correlation Analysis. *Foods*, 2022. 11(17): p. 2619.
44. Lim, P.Y., R. Suntornnond, and D. Choudhury, The nutritional paradigm of cultivated meat: Bridging science and sustainability. *Trends in Food Science & Technology*, 2025. 156: p. 104838.
45. Yang, Y., et al., Meat and plant-based meat analogs: Nutritional profile and in vitro digestion comparison. *Food Hydrocolloids*, 2023. 143: p. 108886.
46. Anjum, S., et al., The Impact of Processing Methods and Conditions on Nutritional Properties of Soybean-Based Tofu: A Review. *Journal of Food Engineering and Technology*, 2023. 12(1): p. 1–13.
47. Wang, F., et al., Study on the tofu quality evaluation method and the establishment of a model for suitable soybean varieties for Chinese traditional tofu processing. *Lwt*, 2020. 117: p. 108441.
48. BAFU, Zustandsanalyse und Massnahmen zur Halbierung der Lebensmittelabfälle in der Gastronomie bis 2030. 2017, Bundesamt für Umwelt (BAFU) and Foodways Consulting GmbH, Bollwerk 35, 3011 Bern (unpublished).
49. Mani, V. and L. Ming, Tempeh and other fermented soybean products rich in isoflavones, in *Fermented foods in health and disease prevention*. 2017, Elsevier. p. 453–474.
50. Wu, J.Y., et al., Unraveling the impact of tempeh fermentation on protein nutrients: An in vitro proteomics and peptidomics approach. *Food Chemistry*, 2025. 474: p. 143154.
51. Finnigan, T., K. Mach, and A. Edlin, Mycoprotein: a healthy new protein with a low environmental impact, in *Sustainable protein sources*. 2024, Elsevier. p. 539–566.
52. Homma, Y., et al., Effects of eight week ingestion of mycoprotein on plasma levels of lipids and Apo (Lipo) proteins. *Prog Med*, 1995. 15(3): p. 183–95.
53. Nakamura, H., et al., Effect of mycoprotein intake on serum lipids of healthy subjects. *Prog Med*, 1994. 14(7): p. 1972–6.
54. Turnbull, W.H. and T. Ward, Mycoprotein reduces glycemia and insulinemia when taken with an oral-glucose-tolerance test. *The American journal of clinical nutrition*, 1995. 61(1): p. 135–140.
55. Bouchard, J., et al., Health Benefits of Cereal Grain- and Pulse-Derived Proteins. *Molecules*, 2022. 27(12).
56. Meade, S.J., E.A. Reid, and J.A. Gerrard, The impact of processing on the nutritional quality of food proteins. *J AOAC Int*, 2005. 88(3): p. 904–22.
57. Duque-Estrada, P., et al., Protein blends and extrusion processing to improve the nutritional quality of plant proteins. *Food & Function*, 2023. 14(16): p. 7361–7374.

58. Kumar, P., et al., Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017. 57(5): p. 923–932.
59. Lin, Q., et al., Protein digestibility of textured-wheat-protein (TWP) -based meat analogues: (I) Effects of fibrous structure. *Food Hydrocolloids*, 2022. 130: p. 107694.
60. Intelligence, M. Europe Textured Vegetable Protein Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2030. 2025; Available from: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-textured-vegetable-protein-market>.
61. fbi, F.M.I. Meat Alternative Market Trends – Growth & Industry Forecast 2024 to 2034. 2025; Available from: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/meat-alternatives-market#:~:text=The%20Meat%20Alternative%20Market%20is%20segmented%20by%20source,a%20valuation%20of%20USD%2018.8%20billion%20in%202024>.
62. Markets, M.a. Plant-based Meat Market worth \$15.7 billion by 2027. 2022; Available from: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/plant-based-meat.asp>.
63. Intelligence, M. Textured Vegetable Protein Market Size & Share Analysis - Growth Trends and Forecast (2025 - 2030). 2025; Available from: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/textured-vegetable-protein-market>.
64. fmi, F.M.I. Western Europe Texturized Vegetable Protein Market. 2025; Available from: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/demand-and-trend-analysis-of-texturized-vegetable-protein-in-western-europe>.
65. Market, C.H., Global industry trends, share, size, growth, opportunity and forecast 2023–2028, 2023.
66. Acid, G.A. Global tofu and tofu ingredients market – industry trends and forecast to 2028 Market—Industry Trends and Forecast to 2028. 2021; Available from: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-tofu-and-tofu-ingredients-market>.
67. Insights, S. Europa Tofu Marktgröße, Aktien, Trend, Analyse, Einblicke. 2025 May 2025; Available from: <https://www.sphericalinsights.com/de/reports/europe-tofu-market>.
68. Intelligence, M. Europe Tofu Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2030. 2025; Available from: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-tofu-market>.
69. Gusain, P. Globaler Marktbericht zu Größe, Marktanteil und Trends für Tofu und Tofu-Zutaten – Branchenüberblick und Prognose bis 2032. 2024 Oktober 2024; Available from: <https://www.databridgemarketresearch.com/de/reports/global-tofu-and-tofu-ingredients-market>.
70. markets, R.a., Tempeh - Global Strategic Business Report. 2025.
71. Research, G.V. Europe Tempeh Market Size & Outlook, 2023-2030. 2025; Available from: <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/tempeh-market/europe>.
72. Insights, B.R. Tempeh Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Type (Soybean Tempeh & Black Bean Tempeh), By Application (Supermarkets and Hypermarkets, Specialist Retailers, Online Retailers & Other) and Regional Insights and Forecast to 2034. Source: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/tempeh-market-125691>. 2025; Available from: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/tempeh-market-125691#:~:text=The%20United%20States%20Tempeh%20market%20size%20is%20projected,is%20projected%20at%20USD%201.12686%20billion%20in%202025>.
73. Statistics, G.M. Überblick über den Tempeh - Marktbericht. 2024; Available from: <https://www.globalmarketstatistics.com/de/market-reports/tempeh-market-11574>.

74. Technavio, Seitan Market Analysis APAC, Europe, North America, South America, Middle East and Africa - US, China, Japan, South Korea, Germany - Size and Forecast 2024-2028. 2024.
75. Reports, W. Marktübersicht für Seitan. 2025; Available from: <https://www.wiseguyreports.com/de/reports/seitan-market>.
76. Intelligence, M. Seitan Market Size & Share Analysis - Growth Trends and Forecast (2025 - 2030). 2025; Available from: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/seitan-market>.
77. Beer, E., No success model" for new protein ingredients. 2015.
78. Reiley, L., Alt-meat fever has cooled. Here's why. Washington Post, 2022.
79. Siegrist, M. and C. Hartmann, Why alternative proteins will not disrupt the meat industry. Meat Science, 2023. 203: p. 109223.
80. markets, R.a., Cultured Meat Market by Source Type (Beef, Duck, Pork), Products (Burgers, Hot Dogs, Meatballs), End User, Distribution Channel - Global Forecast 2025-2030. 2025.
81. Research, G.V. Cultured Meat Market (2023 - 2030). 2025; Available from: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cultured-meat-market-report>.
82. Forecast, M.D. Europe Cultured Meat Market. 2025; Available from: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-cultured-meat-market>.
83. Intelligence, M. Cultured Meat Market Size & Share Analysis - Growth Trends and Forecast (2025 - 2030). 2025; Available from: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/cultured-meat-market>.
84. Hoek, A.C., et al., Identification of new food alternatives: How do consumers categorize meat and meat substitutes? Food Quality and Preference, 2011. 22(4): p. 371–383.
85. Szenderák, J., D. Fróna, and M. Rákos, Consumer Acceptance of Plant-Based Meat Substitutes: A Narrative Review. Foods, 2022. 11(9).
86. Onwezen, M.C., et al., A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. Appetite, 2021. 159: p. 105058.
87. Appiani, M., C. Cattaneo, and M. Laureati, Sensory properties and consumer acceptance of plant-based meat, dairy, fish and eggs analogs: a systematic review. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2023. 7.
88. Pakseresht, A., S. Ahmadi Kaliji, and M. Canavari, Review of factors affecting consumer acceptance of cultured meat. Appetite, 2022. 170: p. 105829.
89. <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-textured-vegetable-protein-market>