



TECHNIKUM LAUBHOLZ

Laubholztag 2023

Mycoprotein – eine Alternative
Proteinquelle?

PD Dr.-Ing. Katrin Ochsenreither

Abteilungsleiterin Biotechnologische Konversion

BEDARF AN HOCHWERTIGEN PROTEINQUELLEN FÜR DIE ERNÄHRUNG VON MENSCH UND TIER

- Wachsende Weltbevölkerung (Prognose 2050: 9,74 Mrd. Menschen) → Proteinbedarf steigt
- Fleisch leistet trotz allem einen wichtigen Beitrag zur weltweiten Ernährung → Tierfutter ist wichtiger Bestandteil der integrierten Nahrungskette
- Viehhaltung allein verursacht etwa 15 Prozent aller weltweiten Treibhausgasemissionen
- Laut United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) und International feed industry federation (IFIF) werden jährlich mehr als 1 Mrd. Tonnen Tierfutter produziert → stark zentralisiert und nur in wenigen Ländern
- Lokale Produktion von hochwertigem Proteinquellen für die tierische und menschliche Ernährung verringert Abhängigkeiten, verkürzt Transportwege und könnte nachhaltiger erfolgen

ALTERNATIVE PROTEINQUELLEN

PFLANZENPROTEIN



- Weit verbreitet, Massenmarkt
- Breites Anwendungsspektrum
- Abhängig von Klima und Saison
- Technofunktionalität benötigt viele Zusätze

MIKROBIELLES PROTEIN



- Präzise Produktion im Bioreaktor
- Erste Produkte am Markt → großes Wachstumspotential
- Kostengünstig, skalierbar, unabhängig von Saison und Klima
- Akzeptanz?

INSEKTENPROTEIN



- Zucht von bestimmten Insektenarten
- Aufbruchsstimmung in der Start-Up Szene
- Wichtiger Baustein für Futtermittel?
- Natürliche Proteinquelle
- Unabhängig von Saison und Klima

ZELLKULTUR



- Aktuell erste Erfolge im Labormaßstab
- Bioreaktor → skalierbar
- Nah am Fleisch
- Unabhängig von Klima und Saison

<https://www.baywa.com/binaries/pdf/content/documents/baywacms/downloadcenter/broschueren/baywa-protein-zukunftsbericht-2022/baywa-protein-zukunftsbericht-2022/baywacms%253Adownloadpdf/BayWa%2BProtein%2BZukunftsbericht%2B2022.pdf>

WACHSTUMSFORMEN VON PILZEN

FRUCHTKÖRPER DER HÖHEREN
PILZE (BASIDIOMYCETEN)



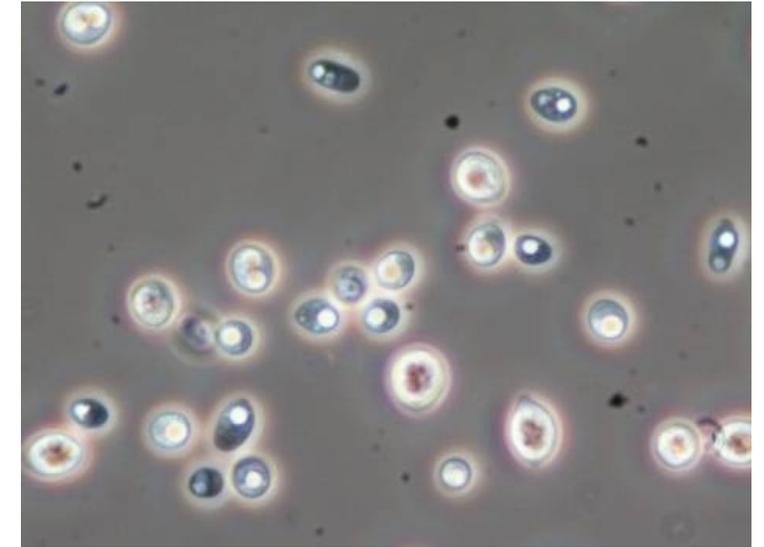
Von J.Marqua - Pilzfotoarchiv von Kettelring, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=479746>

PILZMYZEL / SCHIMMELPILZ
(ASCO-/ZYGOMYCETEN)



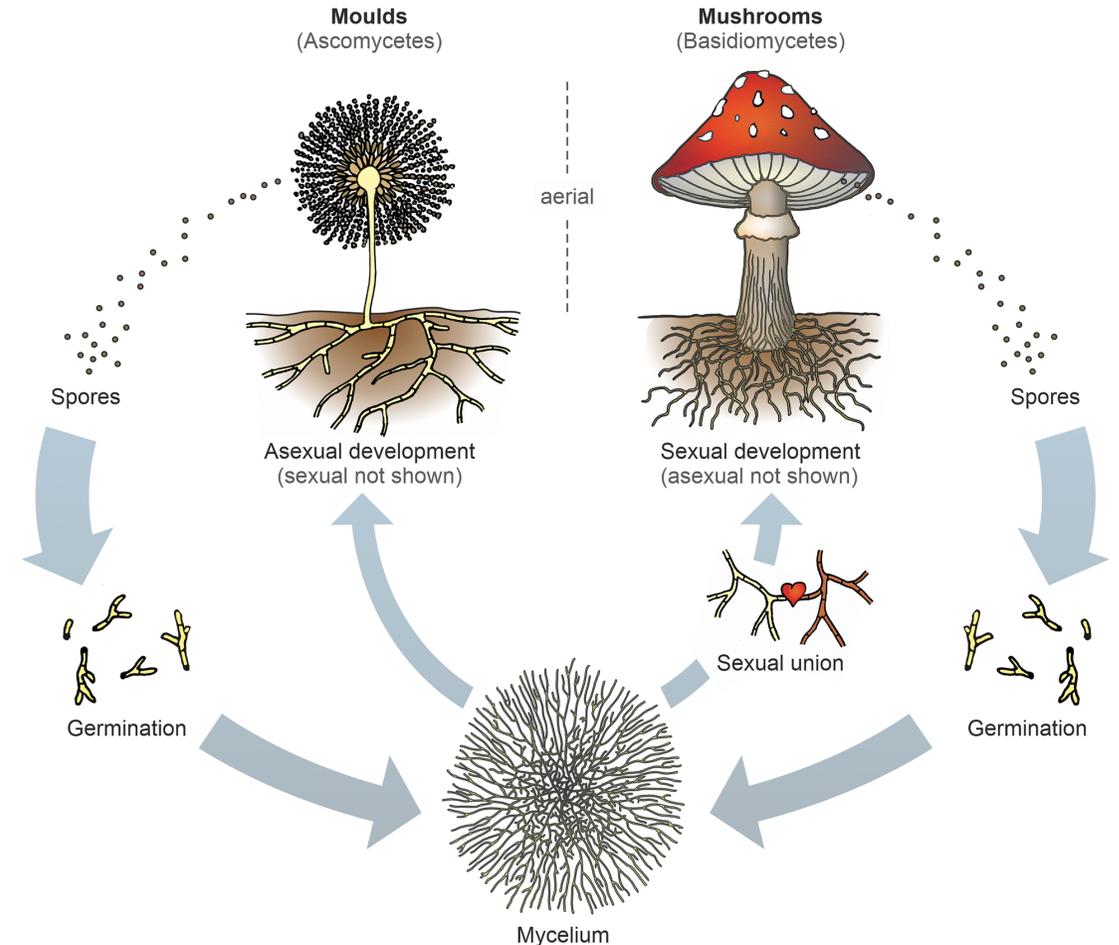
Adaptiert. Von Appaloosa, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23547091>

EINZELLIGE WACHSFORM / HEFE



FRUCHTKÖRPER UND MYZEL

- Kennzeichen der höheren Pilze (Basidiomyceten)
- Verbreitung von sexuellen Fortpflanzungsstrukturen (Sporen)
- Bildet nur einen kleinen (sichtbaren) Teil des gesamten Pilzes ab
- Fruktifizierung wird durch Umweltbedingungen ausgelöst
- nur einige der essbaren Pilze können/werden (kommerziell) angebaut
- Myzel besteht aus einem Hyphen-Netzwerk, 2-10 µm im Durchmesser und einer Länge im mm – cm Bereich



Aus: Meyer, V., Basenko, E.Y., Benz, J.P. et al. Growing a circular economy with fungal biotechnology: a white paper. Fungal Biol Biotechnol 7, 5 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40694-020-00095-z>
Lizensiert unter [Creative Commons CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

WACHSTUMSFORMEN VON PILZEN

FRUCHTKÖRPER

- Kennzeichen der höheren Pilze (Basidiomyceten)
- Verbreitung von sexuellen Fortpflanzungsstrukturen (Sporen)
- Bildet nur einen kleinen Teil des gesamten Pilzes
- Fruktifizierung wird durch Umweltbedingungen ausgelöst
- nur wenige essbare Pilze können/werden (kommerziell) angebaut
- Relativ niedriger Proteinanteil

FILAMENTÖSES WACHSTUM / MYZEL

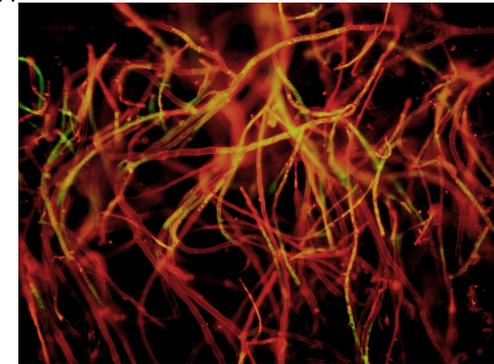
- Myzel besteht aus einem Hyphen-Netzwerk
- Hyphen: fädig, 2-10 μm im Durchmesser und einer Länge im mm – cm Bereich
- Größter Teil des Pilzes, durchwächst das Substrat
- Ausdehnung bis in Hektar-Bereich
- Kultivierbar im Bioreaktor, traditioneller Einsatz in fermentierten Lebensmitteln
- Höherer Proteinanteil
- Mycoprotein

HEFE-FORM

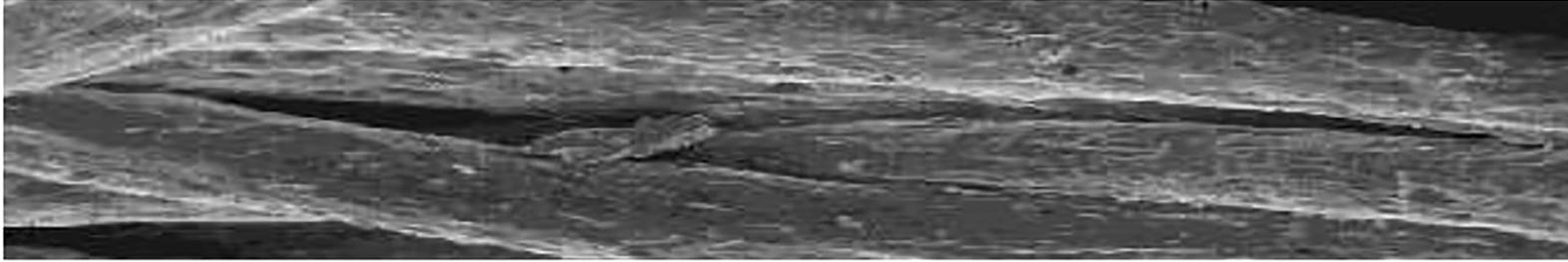
- Einzellige Wuchsform vieler Pilzspezies
- Kann durch Wachstumsbedingungen induziert werden, u.U. reversibel
- Nur wenige echte Hefen, z.B. Bäckerhefe
- Einfache Kultivierung im Bioreaktor möglich, hohe Zelldichten
- Einzellerprotein

MYCOPROTEIN - BEGRIFFSENTWICKLUNG

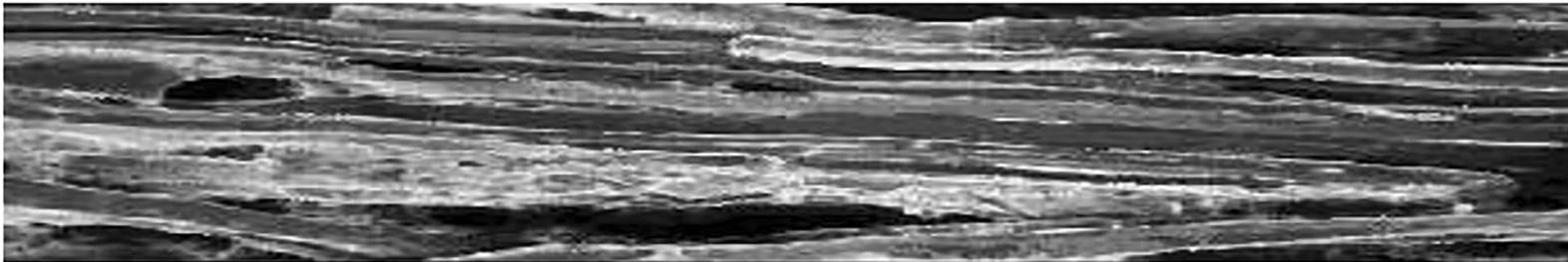
- Eine Form des Einzellerproteins pilzlichen Ursprungs, geeignet für die menschliche Ernährung (textured vegetable protein (TVP))
- Forschung bereits seit den späten 1950ern aus Sorge vor einer Knappheit an hochwertigem Protein, allgemein einer Nahrungsknappheit bei wachsender Weltbevölkerung („Die Welt hat keinen Mangel an Kohlenhydraten, aber sehr wohl an Proteinen“)
- Suche nach einer Alternative zu tierischem Protein, dass
 - Günstig und in großen Mengen produzierbar ist
 - Einen hohen Proteingehalt und essentielle Aminosäure aufweist
 - Fleischähnliche Struktur/Textur hat
- Pilze sind neben Pflanzen die einzigen höheren Organismen, die Proteine *de novo* aus Ammonium- oder Nitratsalzen aufbauen können! Insekten und Tiere konzentrieren und veredeln lediglich bereits vorhandene Proteine!
- Hohe Wachstumsrate, Kultivierung in Fermentern



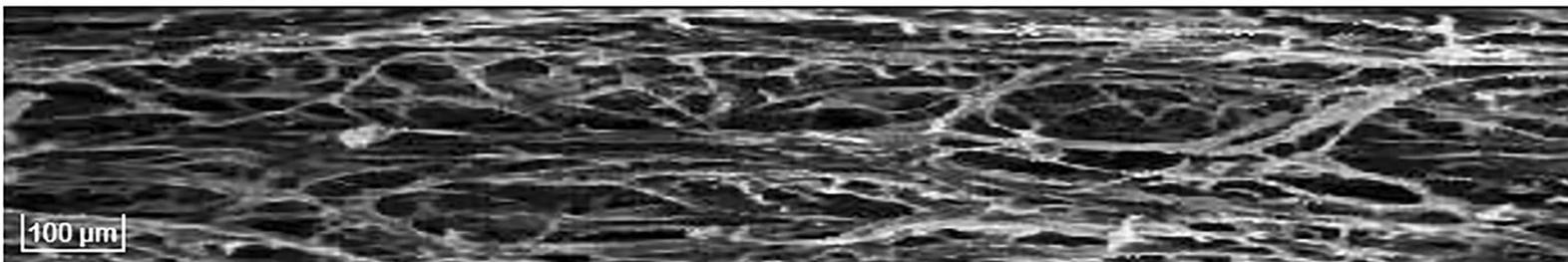
STRUKTUR VON SOJA, HÜHNCHEN UND *FUSARIUM VENENATUM* MYZEL



Spun soya



Chicken



Mycoprotein

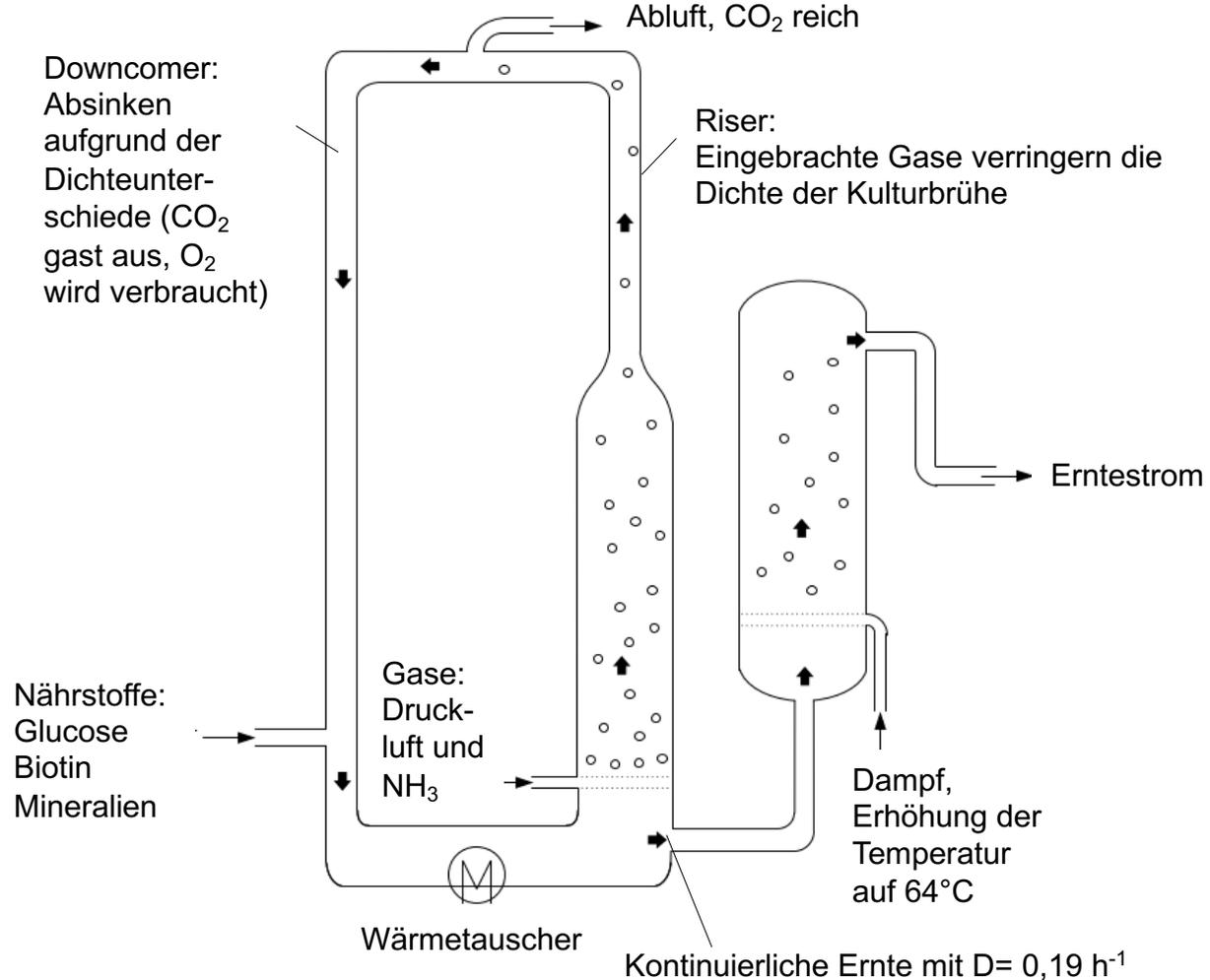
Aus: Meyer, V., Basenko, E.Y., Benz, J.P. et al. Growing a circular economy with fungal biotechnology: a white paper. Fungal Biol Biotechnol 7, 5 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40694-020-00095-z>
Lizensiert unter [Creative Commons CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

FUSARIUM VENENATUM A3/5 (QUORN™/CORNATUR VON MARLOW FOODS)

- 1967: Identifikation als bester Kandidat in einem groß angelegtem Screening → Verhältnis Hyphenlänge zu Durchmesser ähnelt stark dem von tierischen Muskelfasern
- *Fusarium venenatum* ist ein bekannter Pflanzenpathogen und Mycotoxinproduzent
- 1984: Zugelassen in UK für den menschlichen Verzehr, seit 1985 dort unter dem Markennamen Quorn™ auf dem Markt
- In Deutschland erhältlich von 2012 - 2019
- 2002: Zulassung von der FDA
- Kein Lebensmittel ist jemals so rigoros auf Sicherheit getestet worden
- Lange Zeit einziges Mycoprotein-Produkt am Markt
- Hyphen werden mit Hühnereiweis (Albumin) verbunden, mittlerweile auch vegane Alternativen am Markt



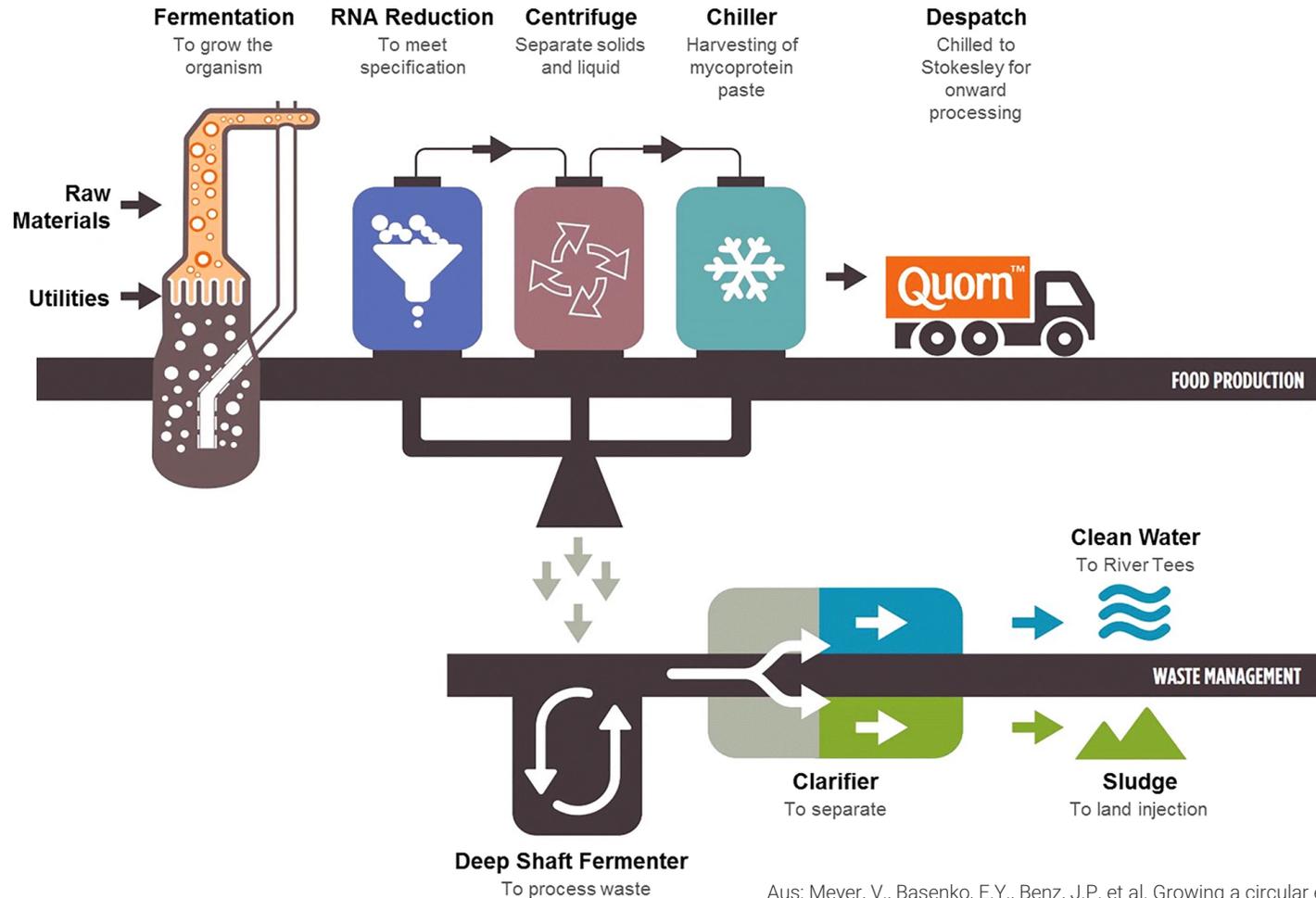
HERSTELLUNG



Verändert nach: Lelley J. & Stahmann K.-P. (2013). Lebensmittel. In H. Sahn, G. Antranikian, K.-P. Stahmann, R. Takors (Hrsg.), Industrielle Mikrobiologie, S.68, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

- Kontinuierliche aerobe Fermentation
- Minimalsalzmedium
 - Glucose (Überschuss)
 - Ammoniak (Vermeidung von Limitation)
 - Biotin & Cholin
- Zirkulationszeit etwa 2 min
- Hohe Wachstumsrate um Sekundärmetabolitproduktion (→ Mykotoxine!) zu vermeiden
- Test auf Mykotoxine alle 24 h
- Bei 150.000 L Reaktorvolumen Ernte von 30 t/h Myzel
- Abbruch und erneute Inokulation nach etwa 1000 h Laufzeit:
 - Anhäufung verzweigter Mutanten → Veränderung der Textur

AUFARBEITUNG



Aus: Meyer, V., Basenko, E.Y., Benz, J.P. et al. Growing a circular economy with fungal biotechnology: a white paper. Fungal Biol Biotechnol 7, 5 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40694-020-00095-z>
Lizensiert unter [Creative Commons CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

VERARBEITUNG

- Abtrennung des Myzels durch Zentrifugation
- Zugabe von
 - Bindemitteln (ursprünglich Ei-Albumin, jetzt auch Erbsen- oder Kartoffelprotein für vegane Produkte)
 - Gelatoren, z.B. Alginat, Agar, Calcium
- Gefrieren: Vorteilhaft für die Textur → Eiskristalle
- Backen
- Mechanische Verarbeitung
 - Ausrichten der Hyphen in Bündeln
- Biss und Saftigkeit wie Fleisch, aber Geschmack und Farbe verändern sich nicht beim Braten



ZUSAMMENSETZUNG UND NÄHRWERTE

TABLE 1 Nutritional Composition of Mycoprotein per 100 g (wet weight)¹

Nutrient	Quantity
Energy, kcal	85
Protein, g	11
Total fat, g	2.9
Saturated fatty acids, g	0.7
Monounsaturated fatty acids, g	0.5
Polyunsaturated fatty acids, g	1.8
Total carbohydrate, g	3.0
Sugars, g	0.5
Dietary fiber, g	6.0
Vitamin B-12, µg	0
Sodium, mg	5.0
Cholesterol, g	0
Iron, mg	0.5
Zinc, mg	9.0
Selenium, µg	20

¹Source: <https://www.mycoprotein.org/health-nutrition/nutritional-composition>.

Nach: Finnigan, Tim J A et al. "Mycoprotein: The Future of Nutritious Nonmeat Protein, a Symposium Review." Current developments in nutrition vol. 3,6 nzz021. 4 Apr. 2019, doi:10.1093/cdn/nzz021

Lizensiert unter [Creative Commons CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

- Hoher Anteil an Protein (45% des Trockengewichtes) und Ballaststoffen (25% des Trockengewichtes, 2/3 β-Glucane, 1/3 Chitin)
 - Lange anhaltendes Sättigungsgefühl
 - Chitin lindert potentiell Gelenkschmerzen bei Osteoarthritis
 - Positiv für die Darmflora
- Reich an essentiellen Aminosäuren (41% am Gesamt-Proteinanteil), ähnlich zu Spirulina und höher als bei pflanzlichem Protein
- PDCAAS ~ 1
- Fett- und Kochsalzarm
- Gute Quelle für Spurenelemente
- Verbesserung der Insulinantwort
- Senkung des Cholesteringehalts

ZUSAMMENSETZUNG - VERGLEICH

Macro and micronutrients	Fungi-based food proteins		Plant-based food proteins		Animal-based food proteins	
	Mycoprotein*	Mushrooms (shitake, cooked)	Tofu, soya bean (steamed)	Chickpeas (re-heated)	Chicken breast; meat only (casserole)	Beef mince (stewed)
Energy (kcal/100 g)	85	55	73	129	160	209
Protein (g/100 g)	11	1.6	8.1	8.4	28.4	21.8
Carbohydrate (g/100 g)	3	12.3	0.7	18.3	0.0	0.0
Fat (g/100 g)	2.9	0.2	4.2	3.0	5.2	13.5
Of which saturates (g/100 g)	0.7	0.1	–	0.29	29.6	47.5
Fiber (AOAC) (g/100 g)	6	N	–	7.1	0.9	0.0
Vitamin B6 (mg)	0.1	N	0.07	0.38	0.36	0.17
Vitamin B9 (folate) (µg)	114	N	15	35	6.0	5.0
Vitamin B12 (µg)	0.72	0.0	0.0	0.0	Tr	0.8
Calcium (mg)	48	3	N	48	9	11
Phosphorous (mg)	290	29	95	141	210	93
Iron (mg)	0.39	0.4	1.2	1.9	0.5	0.83
Magnesium (mg)	49	14	23	44	25	11
Zinc (mg)	7.6	N	0.7	1.1	1.1	2.1
Potassium (mg)	71	120	63	281	270	163
Choline (µg)	180	NR	NR	NR	NR	NR
Dataset code	NA	13–295	13–570	13–670	18–307	18–470

*Data provided by Marlow Foods (wet weight). N, negligible; NR, not reported.

Nutritional Composition Data was Extracted from the McCance and Widdowson's Dataset. Lean protein cuts with skin off were used for data values.

Aus: Derbyshire EJ and Delange J (2021) Fungal Protein – What Is It and What Is the Health Evidence? A Systematic Review Focusing on Mycoprotein. Front. Sustain. Food Syst. 5:581682. doi: 10.3389/fsufs.2021.581682. Lizenziert unter Creative Commons Attribution License (CC BY) 4.0

PROTEINAUSBEUTE

Vergleich der Proteinausbeute pro kg eingesetzter Glucose

Produktionsorganismus	Proteinproduktion (g kg ⁻¹)
Rinder	14
Schweine	41
Hühner	49
<i>F. venenatum</i>	136

→ Sehr effiziente Nutzung

Nach: Moore D., Robson, G.D., Trinci, A.P.J (2021). Whole organism biotechnology – The Quorn fermentation and evolution in fermenters. Chapter 17.8, 21st Guidebook to Fungi, 2nd Edition.
DOI:10.1017/CBO9780511977022.018, http://www.davidmoore.org.uk/21st_century_guidebook_to_fungi_platinum/Ch17_18.htm

WACHSTUMSFORMEN VON PILZEN

FRUCHTKÖRPER DER HÖHEREN
PILZE



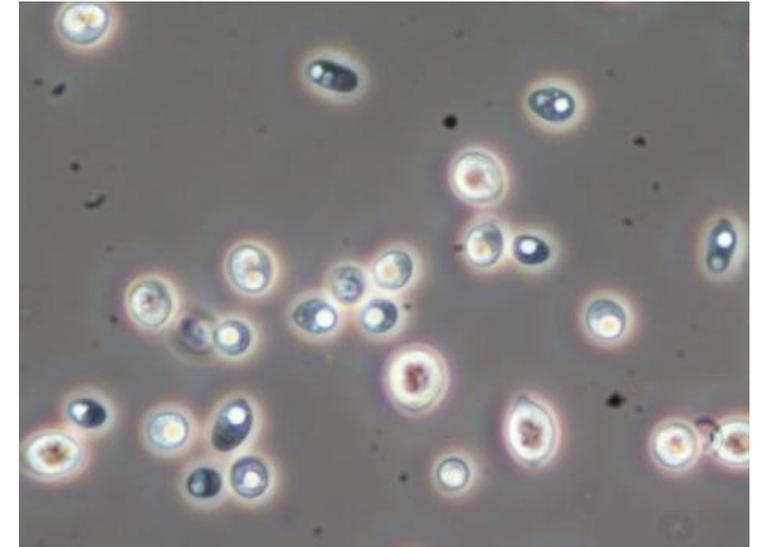
Von J.Marqua - Pilzfotoarchiv von Kettelring, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=479746>

PILZMYZEL / SCHIMMELPILZ



Adaptiert. Von Appaloosa, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23547091>

EINZELLIGE WACHSFORM / HEFE



EINZELLERPROTEIN (SCP)

- Produktion von hochwertigem Protein für die menschliche Ernährung mit Hefen (oder anderen Einzellern) aus niedrig-preisigen Neben-/Abfallströmen (→ „Zero-Waste“)
- Bierhefereste nach der Vergärung wurden/werden seit dem 1. Weltkrieg als Viehfutterzusatz eingesetzt, verfügbare Mengen sind aber nicht ausreichend → gezielte Fermentation, Einsatz im 2. Weltkrieg als Soldatenverpflegung
- Gute Vergleichbarkeit im Ernährungswert wie Albumin/Eiklar (→ gute Quelle für alle essentiellen AS) mit Ausnahme der schwefelhaltigen AS (Methionin, Cystein), aber sehr reich an Lysin und Threonin
- Fermentation auch von anderen Hefen (anderes Substratspektrum, anderes AS-Profil,), hohe Forschungsanstrengungen in den 1960s, in den 1980s etliche Produktionsprozesse im großen Maßstab mit Plänen diese auch in Entwicklungsländern zu implementieren
- Einstellung dieser Prozesse, da Menge und Preis an pflanzlichen Proteinquellen kontinuierlich zu bzw. abnahm → SCP Prozesse wurden unwirtschaftlich
- Verwendung als Nahrungsergänzungsmittel oder als Würzmittel oder
- Tierfutter: autolytierte Hefe (Proteinfuttermittel), Lebendhefe (Probiotikum), inaktivierte Hefe (Präbiotikum)

BIERHEFETABLETLEN ZUR NAHRUNGSERGÄNZUNG

Durchschnittliche Nährwertangaben	pro 100 g
Brennwert	303 kcal / 1.272 kJ
Fett	3 g
davon gesättigte Fettsäuren	0,5 g
Kohlenhydrate	17 g
davon Zucker	0,7 g
Ballaststoffe	24 g
Eiweiß	40 g
Salz Äquivalent	0,07 g

Zusammensetzung	Pro Tagesdosis*	% NRV**
Biotin	7,5 µg	15 %
Folsäure	113 µg	56 %
Niacin	2,4 mg	15 %
Vitamin B2, Riboflavin	0,21 mg	15 %
Vitamin B1, Thiamin	0,3 mg	27 %
Vitamin B6	0,21 mg	15 %

<https://www.dm.de/sanotact-bierhefe-tabletten-400-st-p4003087400158.html>

*entspricht 15 Tabletten

**Nährstoffbezugswerte (NRV) für die tägliche Zufuhr gemäß Lebensmittelinformationsverordnung

VEGEMITE UND MARMITE



Von User Dave Dinneen on en.wikipedia - "l took this picture.", CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=985548>

Von Tristanb - en.wikipedia.org: 23:18, 18. Jan 2004 . . Tristanb (Talk) . . 460x521 (64363 Byte), CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=117622>

- Vegane Würzpaste/Brotaufstrich aus konzentriertem Hefeextrakt
- Abfall aus der Lebensmittelerzeugung, z.B. Bierbrauen
- Aufschluss der Hefezellen durch Autolyse → reich an Glutaminsäure
- Filtration & Entbitterung
- Proteingehalt: 25,6% (Vegemite) bzw. 34 % (Marmite)
- Reich an B-Vitaminen, B12 wird bei Marmite zugesetzt

AUSBLICK

- Mycoprotein und Einzellerprotein pilzlichen Ursprungs sind Quellen hochwertigen Proteins und B-Vitaminen
 - Geeignet für die menschliche und tierische Ernährung
- Kurze Kultivierungszeiten im Bioreaktor mit hohen Proteinausbeuten
- Gründung sehr vieler Start-Ups im Bereich Mycoprotein
 - Weitere Koppelprodukte wie z.B. Mycoleder oder Baumaterialien
- Bisher keine Produkte (mehr) auf dem deutschen Markt.

- Würden sie Fleischersatz aus Mycoprotein versuchen?



www.technikumlaubholz.de