

# WPD

WISSENSCHAFTLICHER  
PRESSEDIENST

## MODERNE ERNÄHRUNG HEUTE

### Nr. 3 / Mai 2016

Herausgeber: Prof. Dr. Reinhard Matissek – Lebensmittelchemisches Institut (LCI)  
des Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie e.V., Köln

## Speisepilze – wertvolle Lebensmittel seit der Steinzeit

*Nutritive und pharmakologische Eigenschaften,  
Kultivierung und Nutzen für die Entwicklung  
veganer Lebensmittel*



Prof. Dr. Martin Rühl und Prof. Dr. Holger Zorn,  
Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

# Speisepilze – wertvolle Lebensmittel seit der Steinzeit

## Nutritive und pharmakologische Eigenschaften, Kultivierung und Nutzen für die Entwicklung veganer Lebensmittel

Prof. Dr. Martin Rühl und Prof. Dr. Holger Zorn, Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie der Justus-Liebig-Universität Gießen

### ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund ihrer ernährungsphysiologischen und pharmakologischen Eigenschaften, aber vor allem auch wegen ihres unverwechselbaren Aromas, werden Speisepilze seit Jahrtausenden weltweit hoch geschätzt. In diesem Beitrag werden die Kultursysteme für die kommerziell wichtigsten Vertreter wie Austernseitling, Champignon und Shiitake beschrieben und die Nährwerte von Speisepilzen diskutiert. Verantwortlich für die Beliebtheit von Pilzen sind insbesondere ihr Geruch und Geschmack. Das charakteristische Aroma von Pilzen wird hauptsächlich durch C<sub>8</sub>-Verbindungen geprägt, daneben finden sich in essbaren Pilzen aber überraschend viele weitere Geruchsstoffe. Um die nutritiven Eigenschaften von Pilzen auch für den Bereich der Convenience-Lebensmittel verfügbar zu machen, werden moderne Kultursysteme zur Produktion von Pilzmyzel (Mykoprotein) in Fermentern eingesetzt. Das so gewonnene vegetative Pilzmyzel dient als Ausgangsbasis für die Entwicklung vegetarischer und veganer Lebensmittel.

### EINLEITUNG

Speisepilze werden seit Jahrtausenden vom Menschen als Lebensmittel, aber auch wegen ihrer pharmakologischen und psychoaktiven Wirkung geschätzt. Eines der prominentesten Beispiele ist der in der Jungsteinzeit lebende und 1991 als Mumie in den Ötztaler Alpen gefundene Ötzi. In seiner Gürteltasche wurde neben dem als Zunderschwamm bekannten *Fomes fomentarius* auch der Birkenporling (*Piptoporus betulinus*) gefunden [1]. Letzterer wird auch heute noch in manchen Bevölkerungsgruppen als Heilpilz gegen Magenbeschwerden verwendet. Die Verwendung von Speisepilzen nicht nur als

Lebensmittel, sondern auch als Heilmittel und für spirituelle Zwecke, ist auf der ganzen Welt verbreitet. So wurden von den Azteken psychoaktive Pilze für meist religiöse Rituale konsumiert, und der Fliegenpilz (*Amantia muscaria*) diente im Norden Sibiriens als Rauschmittel [2]. Die größte Bedeutung erlangten Speisepilze jedoch im ostasiatischen Raum. Gerade hier spielen sie als Lebensmittel sowie als Heilpilze immer noch eine herausragende Rolle. Vor allem in China gehören Speisepilze nicht nur zur täglichen Nahrung, sondern werden auch in der traditionellen chinesischen Medizin eingesetzt. Neben den populärsten Vertretern wie dem Glänzenden Lackporling (*Ganoderma lucidum*) und dem Chinesischen bzw.

Tibetischen Raupenpilz (*Ophiocordyceps sinensis*) gibt es viele Vertreter, die sowohl als Nahrungs- als auch als Heilpilz dienen. Ein prominentes Beispiel hierfür ist der Austernseitling (*Pleurotus ostreatus*), dessen Verzehr lipidsenkende Wirkung zeigt [3]. Hierfür verantwortlich ist vermutlich Lovastatin, ein 3-Hydroxy-3-Methylglutaryl-Coenzym-A-Reduktase inhibierender Stoff, der in Fruchtkörpern von Austernseitlingen in Konzentrationen von über 2,5 mg pro g Trockenmasse nachgewiesen wurde [4]. Weitere Metabolite mit pharmakologischer Wirkung sind Cyathan-Diterpenoide, die vorwiegend in höheren Pilzen vorkommen. Neben ihren antimikrobiellen Eigenschaften stimulieren einige Vertreter dieser Naturstoffklasse auch die Synthese von Nervenwachstumsfaktoren [5]. Zu nennen sind hier die Gruppe der Erinacine aus dem Igelstachelbart (*Hericium erinaceus*) (siehe dazu Abbildung 1). Interessanterweise finden sich Erinacine nicht nur im regenerativen Myzel, dem Fruchtkörper, sondern auch im vegetativen Myzel des Igelstachelbarts [6].

Eine weitere stoffliche Gruppe mit bioaktiver Wirkung sind  $\beta$ -Glucane: Polysaccharide deren Hauptstrang aus  $\beta$ -1,3 glykosidisch verknüpften D-Glucose-Einheiten besteht, der bei Pilzen durch  $\beta$ -1,6 glykosidisch verknüpfte D-Glucose verzweigt wird. Für  $\beta$ -Glucane wurde eine immunstimulierende Wirkung belegt, wobei sie auch entzündungshemmend und anticancerogen wirken sollen. Für ihre pharmakologische Wirkung sind vor allem  $\beta$ -Glucane

aus Austernseitlingen, aus dem Gemeinen Klapperschwamm (*Grifola frondosa*) und Shiitake (*Lentinula edodes*) bekannt (siehe dazu Abbildung 1) – kürzlich zusammengefasst von Dalonso et al. [7].  $\beta$ -Glucane aus Shiitake werden in Japan von der Firma Ajinomoto Pharmaceuticals unter dem Namen Lentinan für die Krebstherapie vertrieben.

Da viele Speisepilze sowohl als Lebensmittel als auch als Pharmaka Verwendung finden, kann man sie den funktionellen Lebensmitteln (Nutraceuticals = Nutrition + Pharmaceuticals) zuordnen. Gerade in den letzten Jahren finden die in der chinesischen Medizin schon seit jeher verwendeten (Speise-)Pilze auch in den westlichen Ländern großen Anklang. Dies wird dadurch deutlich, dass Speisepilze vermehrt nicht nur in ihrer frischen Form, sondern zusätzlich als Nahrungsergänzungsmittel auf Basis von getrockneten, tablettierte Fruchtkörpern verkauft werden.

#### KULTIVIERUNG VON SPEISEPILZEN

Traditionell werden Speisepilze gesammelt. Dies liegt zum einen an ihrem ubiquitären Vorkommen und zum anderen an der Schwierigkeit, sie in Kultur zu bringen bzw. sie zur Fruktifikation (Ausbildung der Fruchtkörper) anzuregen. Vor allem die in Symbiose lebenden Speisepilze, wie Trüffel (*Tuber spp.*), Steinpilze (*Boletus edulis*) oder Pfifferlinge (*Chanterellus*), lassen sich bislang nicht effizient landwirtschaftlich produzieren. Für saprobiontische Pilze,



Abbildung 1: Fruchtkörper des Igelstachelbarts (links), des Gemeinen Klapperschwamms (Mitte) und des Shiitake (rechts)

also Arten, die sich von totem Material ernähren, gibt es dagegen spezielle Kultivierungstechniken, die es erlauben, diese Pilze das ganze Jahr über zur Verfügung zu stellen. Erste Versuche zur Kultivierung wurden vor ca. 1.000 Jahren in China durchgeführt. Hier wurde der Shiitake zum ersten Mal auf gefällten Baumstämmen kultiviert. In Europa sind die Anfänge der Kultivierung in Frankreich auf die Zeit Ludwig des XIV. zu datieren. Hier wurde zum ersten Mal der Champignon (*Agaricus bisporus*) auf Pferdemist kultiviert. In Deutschland begann die Züchtung von Speisepilzen vor 100 Jahren in Hannoversch Münden mit der Kultivierung des Austernseitlings durch Professor Richard Falk [8].

Heute gibt es mehrere Möglichkeiten, Speisepilze zu züchten, wobei die Unterschiede vor allem in der Zusammensetzung und der Vorbereitung des Substrates liegen. Die Kultivierung von Streuzersetzern (z. B. Champignons) erfolgt meist, wie schon unter Ludwig dem XIV., auf stickstoffreichen Stroh-Substraten (Stroh mit Pferde- oder Hühnermist), die anfangs gewässert und in großen Haufen gelagert werden. Hierbei entsteht eine spontane Fermentation der Substratmischung, die auch als Phase 1 bezeichnet wird. Im nächsten Schritt wird das so vorzeretzte Substrat in große Tunnel verlagert, in denen nach einer Pasteurisation die zweite Fermentation stattfindet (Phase 2). Anschließend wird dem Substrat die sogenannte Pilzbrut zugesetzt (vegetatives Pilzmyzel, das zuvor meist auf Weizen- oder Hirsekörnern angezogen wurde), und der Pilz besiedelt das Substrat unter definierten Bedingungen. Für eine industrielle Produktion wird das durchwachsende Substrat anschließend in wannenartige Stellagen eingebracht und mit einer Humusschicht, der sogenannte Deckerde, überschichtet. Die Deckerde, die ständig befeuchtet wird, wird nun ebenfalls durch den Pilz bewachsen. Anschließend wird die Temperatur gesenkt und der Kultiviererraum belüftet. Durch diese Maßnahmen wird der Pilz zur Produktion von Fruchtkörpern angeregt, die nach mehreren Tagen erntereif sind. Die Kultivierung von Holzzeretzern (z. B. Austernseitling) basiert auf schüttfähigen und

lignocellulosehaltigen Substraten (Sägespäne aus Laubhölzern, gehäckseltes Stroh). Im einfachsten Fall werden diese mit Wasser und meist Zuschlagstoffen (Protein- und Kohlenhydratquellen) vermischt, in entsprechende Behältnisse gefüllt (Kunststoffbeutel oder Kunststoffflaschen) und diese autoklaviert. Anschließend wird die Pilzbrut dem sterilisierten Substrat zugesetzt. Die so beimpften Behälter werden in Kultivierungsräume überführt, um dem Pilz optimale Wachstumsbedingungen bereitzustellen. Nach kompletter Besiedelung wird, analog zu den Streuzersetzern, die Fruchtkörperbildung durch Absenken der Temperatur, Erhöhung der relativen Luftfeuchte, Verringerung der CO<sub>2</sub>-Konzentration und/oder mechanische Beanspruchung induziert.

Bei Pilzkulturen erfolgt meist nicht nur eine Ernte, da der Pilz nach erfolgreicher Regenerationsphase erneut Fruchtkörper produzieren kann. Bei diesen zeitlich aufeinanderfolgenden Ernten spricht man auch von „Wellen“. Die weltweite Produktion von Speisepilzen hat in den letzten Jahren stark zugenommen, wobei China als weltweit größter Produzent zu nennen ist. Gerade in den letzten Jahren ist der weltweite Ertrag von kultivierten und traditionell geernteten Speisepilzen rasant angestiegen. Wurden im Jahr 2005 fast 3,5 Millionen Tonnen Pilze gehandelt [9], so hat sich dieser Wert zum Ende des

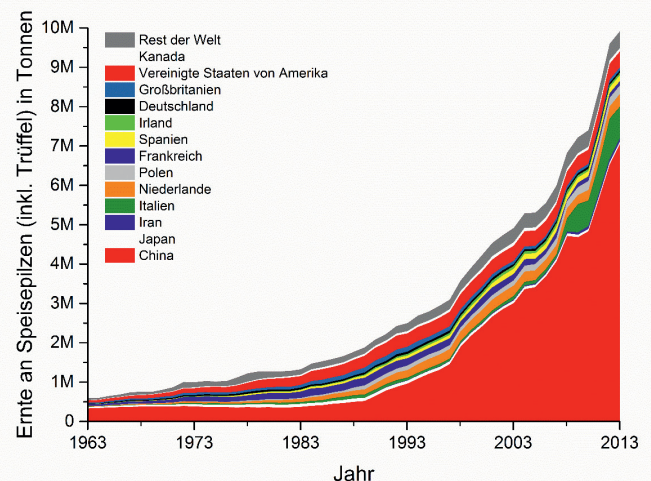


Abbildung 2: Erntemengen von Speisepilzen in Ländern mit mehr als 50.000 t Jahresproduktion in 2013 (aktualisierte Grafik nach [9]).

Jahres 2013 laut Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) verdreifacht (siehe dazu Abbildung 2).

**NÄHRWERT VON SPEISEPILZEN**

Speisepilze sind proteinreiche und fettarme Lebensmittel (siehe dazu Tabelle 1). Ihr Brennwert beträgt ca. 125 kJ (bzw. 30 kcal)/100 g (Frischgewicht). Bei Proteingehalten von bis zu ca. 30 % der Pilztrockenmasse sind alle essentiellen Aminosäuren enthalten. Die biologische Wertigkeit des Pilzproteins wird allerdings typischerweise durch die Konzentration der schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein sowie durch Isoleucin limitiert [10].

Die Kohlenhydratfraktion von Speisepilzen umfasst Mono- und Disaccharide, darunter Glucose, Mannose, Fructose, Galactose, Saccharose und Trehalose sowie verschiedene Polysaccharide. In vergleichsweise hohen Konzentrationen (bis zu 260 mg/g Trockenmasse) enthalten Fruchtkörper von Champignons den Zuckeralkohol Mannitol [12]. Der Ballaststoffgehalt beträgt beim Austernseitling 30 %, bei Shiitake ca. 39 % und beim Kulturchampignon etwa 19 % der Trockenmasse. Hauptbestandteile der Ballaststofffraktion sind der Zellwandbaustein Chitin, der aus N-Acetylglucosamin-Einheiten aufgebaut ist, Cellulose und die o. g.  $\beta$ -Glucane. Diese Zellwandbausteine, vor allem das schwer abbaubare Chitin, können bei manchen Menschen zu Verdauungsproblemen führen.

Die Lipide von Speisepilzen enthalten als Hauptfettsäure typischerweise Linolsäure. Daneben finden sich Ölsäure, Palmitinsäure und geringe Mengen an Stearinsäure. Das Hauptsterol (Mykosterol) von Pilzen ist Ergosterol, welches durch Ringöffnung unter Lichteinfluss in Vitamin D<sub>2</sub> umgewandelt werden kann. Durch Belichtung der Fruchtkörper mit UV-B-Licht kann der Gehalt an Vitamin D<sub>2</sub> in den Fruchtkörpern deutlich gesteigert werden. Wittig et al. detektierten in geschnittenen und belichteten Fruchtkörpern Konzentrationen von bis zu 140  $\mu$ g Vitamin D<sub>2</sub>/g Trockenmasse [13]. Austernseitlinge mit erhöhtem Gehalt an Vitamin D<sub>2</sub> sind unter der Bezeichnung „Lichtpilz“ mittlerweile auch kommerziell verfügbar (siehe dazu Abbildung 3).



Abbildung 3: Austernseitlinge mit einem hohen Gehalt an Vitamin D

Tabelle 1: Hauptbestandteile von Kulturspeisepilzen in g/100 g Pilztrockenmasse (Daten berechnet aus [11]); die Trockenmasse (TM) betrug jeweils ca. 8 % des Frischgewichts

Spezies	Protein (g/100 g TM)	Fett (g/100 g TM)	Gesamtkohlenhydrate (berechnet) (g/100 g TM)	Asche (g/100 g TM)
Champignon (weiß)	27,1	4,3	58,4	10,1
Austernseitling	24,6	4,4	62,5	8,0
Shiitake	21,4	3,7	69,0	5,8

Speisepilze sind ebenso wie die ihnen nah verwandten Hefen reich an Vitaminen der B-Gruppe (insbesondere an Riboflavin, Folsäure und Nicotinamid) und Mineralstoffen [14].

## AROMA VON SPEISEPILZEN

Neben ihrem Nährwert und den pharmakologischen Wirkungen tragen der Geruch und der Geschmack von Speisepilzen wesentlich zu ihrer großen Beliebtheit bei. Das Aroma der kommerziell wichtigsten Speisepilze Champignon, Shiitake und Austernseitling wird hauptsächlich durch charakteristisch nach „Pilz“ riechende Alkohole und Ketone aus acht Kohlenstoffatomen ( $C_8$ -Aromen) geprägt. Diese werden durch enzymatische Oxidation aus ungesättigten Fettsäuren, hauptsächlich aus Linolsäure, gebildet. In besonders hohen Konzentrationen findet sich meist Oct-1-en-3-ol, eine chirale Verbindung, die in den Fruchtkörpern in hoher Enantiomerenreinheit (ee-Werte von  $> 90\%$ ) vorkommt. Bereits ab einer Schwellenwertkonzentration von  $34 \mu\text{g/L}$  (Wasser) lässt sich der typische Geruch dieser Verbindung wahrnehmen.

Neben den  $C_8$ -Molekülen spielen insbesondere beim Shiitake auch schwefelhaltige Verbindungen eine große Rolle für dessen intensives, knoblauchartiges Aroma. Verantwortlich dafür sind u. a. Lenthionin (ein cyclisches Molekül aus 5 Schwefel- und zwei Sauerstoffatomen,  $C_2H_4S_5$ ), Dimethyldisulfid, Dimethyltrisulfid und 1, 2, 4-Trithiolan ( $C_2H_4S_3$ ). Der Umami-Geschmack von Shiitake wird dagegen überwiegend von nichtflüchtigen Verbindungen wie 5'-Ribonucleotiden (insbesondere 5'-GMP) und den Aminosäuren Glutamat und Aspartat geprägt [15].

Einige der o. g. Verbindungen, insbesondere Dimethyldisulfid und Dimethyltrisulfid, sind auch Bestandteil des Aromas der kulinarisch wertvollsten und teuersten Pilze, der Trüffel. Daneben tragen aber insgesamt ca. 90 verschiedene Aromastoffe, darunter zahlreiche Ester und Aromaten zum einzigartigen Gesamtaroma von Trüffeln bei [16]. Anders als die

o. g. Speisepilze zählen Trüffel nicht zu den Basidiomyceten, sondern zu den sogenannten Schlauchpilzen (Ascomyceten). Besonders wertvoll ist der Perigord-Trüffel (auch schwarzer Trüffel, *Tuber melanosporum*). Nach jüngsten Untersuchungen sind für die Bildung der Aromastoffe auch verschiedene Bakterien mitverantwortlich, die mit dem Trüffel vergesellschaftet vorkommen [17].

Neben den typischen und breit vorkommenden Pilzaromen wurde eine Vielzahl weiterer Aromen in essbaren, bislang häufig nicht kultivierbaren, Pilzen beschrieben. Oftmals spiegeln sich die charakteristischen Aromaeigenschaften bereits im lateinischen Genus- oder Speziesnamen wider. Beispiele hierfür sind butyrace- (buttrig), delicat- (köstlich) oder odorifer- (wohlriechend). Erst kürzlich wurde entdeckt, dass vergleichsweise hohe Konzentrationen von Anissäuremethylester (bis zu  $160 \text{ mg/kg}$ ) für den intensiven anisartigen Geruch des Anis-Klumpfuß (*Cortinarius odorifer*) verantwortlich sind [18].

Da die Lagerfähigkeit frischer Speisepilze sehr begrenzt ist, werden die Fruchtkörper von Steinpilz, Shiitake und Co. häufig in getrockneter Form vermarktet. Wie eine kürzlich am Maipilz (*Calocybe gambosa*) durchgeführte Studie belegt, kann sich dabei das Aroma der Pilze signifikant verändern. Während hauptsächlich (*E*)-Non-2-enal und (*E*)-Non-2-en-1-ol das charakteristische an Mehl und Gurken erinnernde Aroma der frischen Fruchtkörper prägen, dominierten nach der Trocknung Verbindungen wie 3-Methylbuttersäure das wenig ansprechende Aroma der getrockneten Pilze [19].

Getrocknete Speisepilze sind, insofern sie unter Ausschluss von Luftfeuchtigkeit gelagert werden, jahrelang haltbar. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die getrockneten Fruchtkörper höchstens einen Wasseranteil von  $12\%$  aufweisen dürfen (Leitsätze für Pilze und Pilzerzeugnisse des Deutschen Lebensmittelbuches), da es ansonsten zum Verderb kommen kann. Weitaus empfindlicher sind frische Speisepilze. Da es sich bei den Fruchtkörpern um

lebende, vermehrungsfähige Zellen handelt, sollten diese immer kühl gelagert werden. Das gilt sowohl für den Endverbraucher als auch für den Einzelhandel. Die alte Küchenweisheit, dass man Pilzgerichte nicht wieder aufwärmen darf, ist auf den schnellen mikrobiellen Verderb zurückzuführen, wenn die Speisen unsachgemäß gelagert werden. Werden Pilzgerichte nach dem Essen im Kühlschrank aufbewahrt und vor dem Essen hinreichend durcherhitzt, ist ein Verzehr am nächsten Tag problemlos möglich.

#### BIOTECHNOLOGISCHE PRODUKTION VON PILZMYZEL

Alternativ zur oben beschriebenen Produktion von Fruchtkörpern können Pilze auch in Bioreaktoren (Fermentern) in Form von kleinen Myzelkügelchen („Pellets“) kultiviert werden (siehe dazu Abbildung 4). Als Substrate werden eine Kohlenstoffquelle (z. B. Glucose), eine Stickstoffquelle (z. B. in Form von Ammoniumsalzen) und Mineralstoffe benötigt. Bereits seit Ende der 1960er Jahre wurde ein Verfahren zur biotechnologischen Produktion von Pilzproteinen („Mykoprotein“) auf Basis des Schimmelpilzes *Fusarium venenatum* entwickelt. Der Pilz wächst unter aeroben Bedingungen in 150.000 L-Fermentern, wobei pro Woche mehrere Tonnen an Mykoprotein erzeugt werden. Unter dem Handelsnamen Quorn™ werden die Produkte, i. d. R. nach Zusatz von Hühner- und/oder Milchproteinen, nach Angabe des

Herstellers aktuell in Australien, Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Großbritannien, Irland, den Niederlanden, Neuseeland, Norwegen, Schweden, der Schweiz und den USA vertrieben.

Unter ernährungsphysiologischen Aspekten ist eine Abreicherung von Nucleinsäuren, die die Verwendbarkeit mikrobieller Biomassen für die menschliche Ernährung einschränken, erforderlich. Dazu wird das Produkt einer Hitzebehandlung bei 65 °C unterworfen, wobei das Myzel abgetötet und proteinabbauende Enzyme inaktiviert werden. Die noch aktiven Ribonucleasen bewirken einen partiellen Abbau der Nucleinsäuren, welche anschließend ausgewaschen werden können. Die gebildete Biomasse hat einen Proteingehalt in der Trockenmasse von ca. 44 %, in der alle essentiellen Aminosäuren enthalten sind [20].

In aktuellen Forschungsprojekten wird daran gearbeitet, proteinreiche Pilzmyzelien auf Basis von Basidiomyceten wie Shiitake oder Seitlingen zu produzieren. Als Substrate dienen Nebenströme der Lebensmittelindustrie, beispielsweise Apfeltrester, Treber oder Melasse, die sowohl Mineralien als auch Kohlen- und Stickstoff für das Pilzwachstum bereitstellen. Bei der Kultivierung von Seitlingen auf Reststoffströmen werden in vier Tagen Biotrockenmassen von > 10 g/L mit einem Proteinanteil von ca. 25 % erreicht.

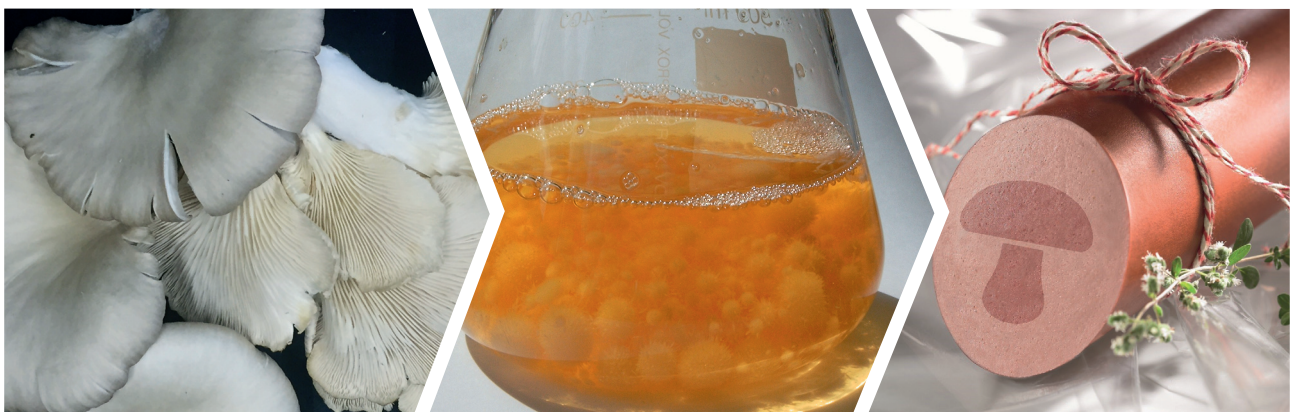


Abbildung 4: Herstellung veganer Lebensmittel aus Basidiomyceten-Protein

Wie bei den Fruchtkörpern wird die biologische Wertigkeit des Myzelproteins vor allem durch die schwefelhaltigen Aminosäuren, die im Vergleich zum Hühnerei in geringeren Konzentrationen vorkommen, begrenzt. Anders als bei Quorn™ erlauben die technofunktionellen Eigenschaften des gebildeten Proteins die Verarbeitung des Myzels zu veganen Lebensmitteln. Eine kurze Belichtung des Myzels mit UV-B-Licht führt zur Bildung von Vitamin D<sub>2</sub> aus dem Vorläufermolekül Ergosterol. In Abhängigkeit von der Belichtungsdauer werden dabei bis zu 50 µg Vitamin D<sub>2</sub>/g Pilztrockenmasse gebildet.

#### AUSBLICK

Aufgrund Ihres leckeren Geschmacks, ihrer guten ernährungsphysiologischen Eigenschaften und ihrer Fähigkeit, nahezu alle organischen Kohlenstoffquellen als Wachstumssubstrate zu nutzen, werden sich Speisepilze einer weiter steigenden Beliebtheit erfreuen. Der erst kürzlich auf dem Markt platzierte vegane „Pilzburger“ (Portobello, eine Champignonart) mag als aktuelles Beispiel dafür dienen. Weitere Produkte wie vegane Wurstanaloga auf Basis von im Fermenter kultiviertem Speisepilzmyzel werden in Kürze folgen. Daneben ist der Einsatz von Speisepilzen zukünftig auch zur Fermentation von z. B. Bierwürze zur Herstellung von neuartigen alkoholfreien Erfrischungsgetränken vorstellbar. Große wissenschaftliche Herausforderungen, denen sich die Forschung gerne stellt, bestehen in der Produktion von bislang nicht kultivierbaren Pilzen wie den Steinpilzen oder von Trüffeln.

#### KORRESPONDENZANSCHRIFT



#### **Prof. Dr. Holger Zorn und Prof. Dr. Martin Rühl**

Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittel-  
biotechnologie

Justus-Liebig-Universität Gießen

Heinrich-Buff-Ring 17

35392 Gießen

Telefon: 0641/99 34 900

E-mail: holger.zorn@uni-giessen.de;

martin.ruehl@lcb.chemie.uni-giessen.de

www.uni-giessen.de/cms/lcb



LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Peintner U., Poder R., Pumpel T. (1998): The iceman's fungi. *Mycol Res* 102: 1153 – 1162
- [2] Cerletti A. (1959): Teonanacatl und Psylocybin. *Dtsch Med Wochenschr* 84: 2317 – 2321
- [3] Schneider I., Kressel G., Meyer A., Krings U., Berger R. G., Hahn A. (2011): Lipid lowering effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in humans. *J Funct Foods* 3: 17 – 24
- [4] Gunde-Cimerman N., Cimerman A. (1995): *Pleurotus* fruiting bodies contain the inhibitor of 3-hydroxy-3-methylglutarylcoenzyme A reductase-lovastatin. *Exp Mycol* 19: 1 – 6
- [5] Kawagishi H., Shimada A., Hosokawa S., Mori H., Sakamoto H., Ishiguro Y., Sakemi S., Bordner J., Kojima N., Furukawa S. (1996): Erinacines E, F, and G, stimulators of nerve growth factor (NGF) synthesis, from the mycelia of *Hericium erinaceum*. *Tetraedron Lett* 37: 7399 – 7402
- [6] Bhandari D. R., Shen T., Römpf A., Zorn H., Spengler B. (2014): Analysis of cyathane type diterpenoids from *Cyathus striatus* and *Hericium erinaceus* by high resolution MS Imaging. *Anal Bioanal Chem* 406: 695 – 704
- [7] Dalonso N., Goldman G. H., Gern R. M. M. (2015):  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 6)-Glucans: medicinal activities, characterization, biosynthesis and new horizons. *Appl Microbiol Biotechnol* 99: 7893 – 7906
- [8] Hüttermann A. (1991): Richard Falck, his life and work. In: Jennings, D. & Bravery, A.F. (Eds.) *The dry rot fungus *Serpula lacrymans*: fundamental biology and control strategies*. Wiley, New York, NY: 193 – 206
- [9] Rühl M., Kües U. (2007): Mushroom production. In: Kües U. (ed) *Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts*. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen: 555 – 586
- [10] Bernàs E., Jaworska G., Lisiewska Z. (2006): Edible mushrooms as a source of valuable nutritive constituents. *Acta Sci Pol, Technol Aliment* 5: 5 – 20
- [11] Mattila P., Salo-Väänänen P., Könkö K., Aro H., Jalava T. (2002): Basic composition and amino acid contents of mushrooms cultivated in Finland. *J Agric Food Chem* 50: 6419 – 6422
- [12] Tsai S.-Y., Wu T.-P., Huang S.-J., Mau J.-L. (2007): Nonvolatile taste components of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity. *Food Chemistry* 103: 1457 – 1464
- [13] Wittig M., Krings U., Berger R. G. (2013): Single-run analysis of vitamin D photoproducts in oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) after UV-B treatment. *J Food Compos Anal* 31: 266 – 274
- [14] Mattila P., Könkö K., Eurola M., Pihlava J.-H., Astola J., Vahteristo L., Hietaniemi V., Kumpulainen J., Valtonen M., Piironen V. (2001): Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *J Agric Food Chem* 49: 2343 – 2348
- [15] Dermiki M., Phanphensophon N., Mottram D. S., Methven L. (2013): Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat. *Food Chem* 141: 77 – 83
- [16] Díaz P., Señoráns F. J., Reglero G., Ibañez E. (2002): Truffle aroma analysis by headspace solid phase microextraction. *J Agric Food Chem* 50: 6468 – 6472

- [17] Vahdatzadeh M., Deveau A., Splivallo R. (2015): The role of the microbiome of truffles in aroma formation: a meta-analysis approach. *Appl Environ Microbiol* 81: 6946 – 6952
- [18] Kleofas V., Popa F., Fraatz M. A., Rühl M., Kost G., Zorn H. (2015): Aroma profile of the anise-like odour mushroom *Cortinarius odorifer*. *Flavour Fragrance J* 30: 381 – 386
- [19] Kleofas V., Popa F., Niedenthal E., Rühl M., Kost G., Zorn H. (2015): Analysis of the volatilome of *Calocybe gambosa*. *Mycol Prog* 14: 93 DOI 10.1007/s11557-015-1117-0
- [20] Wiebe M. G. (2002): Myco-protein from *Fusarium venenatum*: a well-established product for human consumption. *Appl Microbiol Biotechnol* 58: 421 – 427

**Impressum / Herausgeber, Redaktion und Rückfragen:**  
Lebensmittelchemisches Institut (LCI) des  
Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie e. V.  
Prof. Dr. Reinhard Matissek (V.i.S.d.P.)  
Adamsstraße 52-54, 51063 Köln  
Tel. (0221) 623 061, E-Mail: lci-koeln@lci-koeln.de

oder Rückfragen an:  
:relations Gesellschaft für Kommunikation mbH  
Mörfelder Landstraße 72, 60598 Frankfurt  
Tel. (069) 963 652-11, E-Mail: wpd@relations.de

