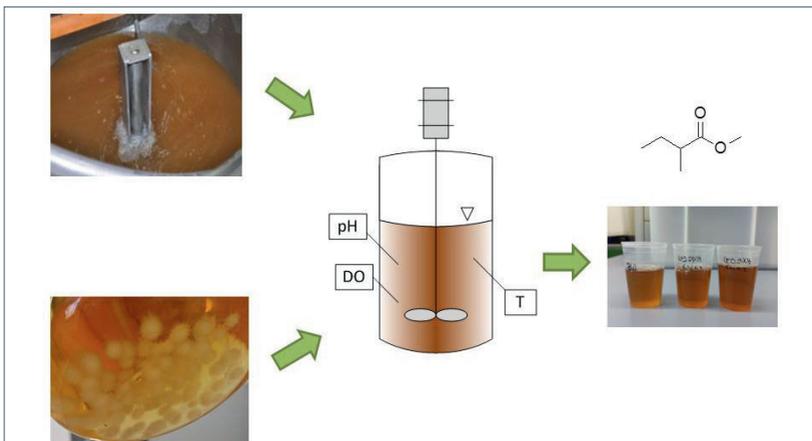


Sibel Özdemir

Einfluss der bioverfahrenstechnischen Parameter auf das Wachstum, die Morphologie und die Aromaproduktion ausgewählter Basidiomyceten (Speisepilze)



Schriftenreihe des Institutes für Bioverfahrenstechnik und Pharmazeutische Technologie | Band 18

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Peter Czermak

Einfluss der bioverfahrenstechnischen Parameter auf das Wachstum, die Morphologie und die Aromaproduktion ausgewählter Basidiomyceten (Speisepilze)

Dissertation

Zur Erlangung des Grades

Doktor der Naturwissenschaft

Dr. rer. nat.

des Fachbereichs Biologie und Chemie
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

M. Sc. Sibel Özdemir (geb. Gülücü)

geboren in Wipperfürth

Gießen 2020

Dekan:

Prof. Dr. Jürgen Janek

Erstgutachter:

Prof. Dr.-Ing. Peter Czermak

Technische Hochschule Mittelhessen, Fachbereich LSE, IBPT
Justus-Liebig-Universität Gießen, Fachbereich Biologie und Chemie

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Holger Zorn

Justus-Liebig-Universität Gießen, Fachbereich Biologie und Chemie
Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie

Schriftenreihe des Institutes für Bioverfahrenstechnik und
Pharmazeutische Technologie

Band 18

Sibel Özdemir

**Einfluss der bioverfahrenstechnischen Parameter
auf das Wachstum, die Morphologie und die
Aromaproduktion ausgewählter Basidiomyceten
(Speisepilze)**

D 26 (Diss. Universität Giessen)

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Giessen, Univ., Diss., 2020

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7758-2

ISSN 2198-5731

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

“Science is the most reliable guide in life.”

“Hayatta En Hakiki Mürşit İlimdir.”

Mustafa Kemal Atatürk

Gewidmet meinem lieben Sohn Aras Özdemir

Erklärung

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

.....

Datum, Ort

.....

Unterschrift

Danksagung

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Dissertation wurden zwischen den Jahren 2012 und 2016 in der Arbeitsgruppe von Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Czermak am Institut für Bioverfahrenstechnik und Pharmazeutische Technologie der Technischen Hochschule Mittelhessen durchgeführt.

Mein besonderer Dank gilt an erster Stelle meinen Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Czermak, der mich während dieser Arbeit mit seinen Ratschlägen und Diskussionen unterstützt hat und sie auf diese Weise ermöglicht hat. Des Weiteren bedanke ich mich bei ihm für das Korrekturlesen und die Gutachtertätigkeit.

Im Folgenden möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts bedanken, die bei Problemen jederzeit zur Verfügung standen und mich unterstützt haben. Außerdem möchte ich mich bei meinen Betreuern Dr. Doreen Gerlach, Dr.-Ing Tobias Weidner und M. Sc. Hendrich Quitmann für ihre fachlichen Ratschläge und Diskussionen bedanken. Besonders möchte ich mich bei Dr. Doreen Gerlach für die Unterstützung in der letzten Phase meiner Arbeit und für das Korrekturlesen bedanken. Ebenfalls gilt mein Dank Mai Nguyen für ihren experimentellen Beitrag, der im Rahmen ihrer Bachelorarbeit entstanden ist, und meinem Kollegen Rong Fan, der mich jederzeit unterstützt hat.

Zudem möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Holger Zorn bedanken, der mir in schwierigen Zeiten die Labore des Instituts für Lebensmittelchemie und Lebensmitteltechnologie zur Verfügung gestellt hat und mich als Gastwissenschaftlerin aufgenommen hat. Des Weiteren bedanke ich mich bei Dr. Marco Fraatz und Dr. Yanyan Zhang für ihre Unterstützung bei der Aromaanalyse.

Ganz herzlich bedanke ich mich darüber hinaus bei meinem lieben Ehemann Ergün Özdemir, der mich während dieser Arbeit immer emotional unterstützt hat und an meiner Seite stand.

Zum Schluss möchte ich mich beim Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst (Landes-Offensive Zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU Verbundvorhaben) für die finanzielle Unterstützung bedanken, die diese Arbeit ermöglicht hat.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Inhaltsverzeichnis	II
Zusammenfassung	VI
Abstract	VIII
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung und Motivation	1
2 Stand des Wissens	4
2.1 Basidiomyceten als Biokatalysatoren für die Aromaproduktion	4
2.2 Biosyntheseweg von 2-Methylbuttersäuremethylester	6
2.3 Biosyntheseweg von 2-Phenylethanol	7
2.4 Aromakomponenten der Würze	9
2.5 Fermentierte Getränke hergestellt mit Basidiomyceten	10
2.6 Methoden zur Lagerung von Basidiomyceten	11
2.6.1 Subkultivierung (serielle Überführung)	12
2.6.2 Lagerung in destilliertem Wasser	12
2.6.3 Trocknung	14
2.6.4 Gefriertrocknung (Lyophilisation)	15
2.6.5 Kryokonservierung	16
2.7 Einflussfaktoren bei der submersen Kultivierung von Basidiomyceten	18
2.7.1 Substrat (Medium)	18
2.7.2 Temperatur	19
2.7.3 Inokulum	22
2.7.4 Leistungseintrag	25
2.7.5 Sauerstoffversorgung	34
2.8 Kultivierungssysteme	40
2.8.1 Schüttelkolben	40
2.8.2 Orbitalschüttler	41

2.8.3	Rührkesselbioreaktor.....	45
3	Material und Methoden.....	46
3.1	Geräte und Chemikalien.....	46
3.2	Verwendete Stämme und Kulturmedien.....	51
3.3	Stammhaltung.....	53
3.4	Vorkultur.....	53
3.5	Methoden zur Entwicklung von Starterkulturen.....	54
3.5.1	Versuchsplan.....	54
3.5.2	Lagerung der Basidiomyceten-Pellets.....	55
3.5.3	Bestimmung der Zellaktivität von Basidiomyceten-Pellets.....	56
3.6	Fermentation im Rührkesselbioreaktor zur Aromaproduktion.....	60
3.7	Messung der Sauerstoffverbrauchsrate.....	62
3.8	Microprofiling.....	64
3.9	Biotrockenmassebestimmung.....	64
3.10	Glukosemessung.....	65
3.11	Partikelgrößenanalyse.....	65
3.12	Aromaanalyse.....	67
3.12.1	Headspace Festphasenmikroextraktion (HS-SPME).....	67
3.12.2	Gaschromatographie.....	67
3.12.3	Identifizierung der Hauptaromastoffe.....	68
3.13	Statistische Versuchsplanung und Auswertung mit Design-of-Experiments- (DOE-)Software.....	69
3.14	Untersuchung weiterer Einflussgrößen auf die Aromaproduktion.....	71
3.14.1	Einfluss der Temperatur auf die Flüchtigkeit der Aromen.....	71
3.14.2	Einfluss der Partikelgröße.....	71
3.14.3	Einfluss der Sauerstoffkonzentration.....	72
4	Ergebnisse und Diskussion.....	73
4.1	Sauerstofftransfer in Basidiomyceten Pellets.....	73
4.2	Homogenisierung.....	80

4.2.1	Kultivierung von <i>Tyromyces chioneus</i> im RAMbio®-System im Vergleich zum orbitalen Schüttler.....	80
4.2.2	Kultivierung von <i>T. chioneus</i> im RAMbio®-System bei 4,0 g.....	84
4.2.3	Kultivierung von <i>Trametes versicolor</i> im RAMbio®-System im Vergleich zum orbitalen Schüttler.....	87
4.2.4	Kultivierung von <i>Lentinula edodes</i> im RAMbio®-System im Vergleich zum orbitalen Schüttler.....	91
4.2.5	Einfluss der Schüttelgeschwindigkeit im orbitalen Schüttler	97
4.3	Fermentative Herstellung eines alkoholfreien Getränks mittels LED.....	102
4.3.1	Bierwürzeherstellung (Substrat)	102
4.3.2	Bierwürze-Basidiomycet-Kombination (Screening).....	104
4.3.3	Einflussfaktoren auf das Wachstum und die Aromaproduktion von LED im Rührkesselbioreaktor.....	105
4.3.4	Untersuchung weiterer Einflussgrößen auf das Wachstum und die Aromaproduktion von LED	123
4.3.5	Einfluss von Rührgeschwindigkeit und Inokulumkonzentration auf den Fermentationsprozess von LED	127
4.4	Methoden zur Entwicklung von Starterkulturen	135
4.4.1	Lagerung von <i>Lentinula-edodes</i> -(LED-)Pellets in verschiedenen Medien	136
4.4.2	Lagerung von <i>Wolfiporia cocos</i> (WCO)- und <i>Tyromyces chioneus</i> (TCH)-Pellets in verschiedenen Medien.....	150
5	Schlussfolgerung und Ausblick.....	153
6	Literaturverzeichnis	157
7	Anhang.....	181
7.1	Versuchspläne zur Lagerung von Basidiomyceten-Pellets.....	181
7.2	Rezepte und Temperaturprogramme zur Bierwürzeherstellung	184
7.3	DOE-Ergebnisse.....	184
7.4	Entwicklung von Starterkulturen für LED, WCO und TCH-Pellets	186
7.4.1	Einfluss auf die Wachstumsrate von LED-Pellets.....	186
7.4.2	Einfluss auf die Pelletaktivität von LED-Pellets.....	186
7.4.3	Einfluss auf die Aromaintensität des Getränks fermentiert durch LED-Pellets.....	187

7.4.4	Lagerung von <i>Wolfiporia cocos</i> (WCO)-Pellets in verschiedenen Medien.....	187
7.4.5	Lagerung von <i>Tyromyces chioneus</i> (TCH)-Pellets in verschiedenen Medien.....	194
8	Veröffentlichungen	203
8.1	Publikationen.....	203
8.2	Proceedings	203
8.3	Wissenschaftliche Fachvorträge (Präsentationen)	204
8.4	Posterpräsentationen	204
9	Lebenslauf.....	206

Zusammenfassung

Infolge des Rückgangs des Pro-Kopf-Verbrauches von Bier ist es für die Brauereien von großer Bedeutung, neuartige Getränke anbieten zu können. In Vorarbeiten wurde herausgefunden, dass einige Basidiomyceten in der Bierwürze vielversprechende Aromen produzieren können. Besonders der Pilz *Lentinula edodes* hat in kürzeren Fermentationszeiten ein frisches, fruchtiges, süßliches, pflaumenähnliches und leicht säuerliches Aromaprofil entwickelt. Um einen effizienten Prozess zur Herstellung von alkoholfreien Getränken mit Hilfe von Basidiomyceten zu entwickeln, sind grundlegende Untersuchungen zu ihrer Kultivierung notwendig. Hierbei sind vor allem Untersuchungen für die lagerfähige Starterkultur und die Aromaproduktion erforderlich. Der Fokus liegt vor allem auf der Sauerstoffversorgung der Basidiomycetenzellen sowie den hydromechanischen Scherkräften und deren Einflüssen auf die Biomasse- und Aromaproduktion. Besonders die Sauerstofflimitierung in Pellets ist für die Aromaproduktion von großem Interesse. Zudem soll auch der Einfluss der Temperatur und der Biomassemenge auf die Aromaproduktion betrachtet werden.

Mithilfe eines Mikro-Sauerstoffsensors wurde gezeigt, dass *Lentinula edodes*-(LED)-Pellets ab einem Durchmesser von 0,2 cm sauerstofflimitiert sind. Außerdem wurden mittels einer mathematischen Modellierung die Sauerstoffgradienten in LED-Pellets berechnet und dargestellt. Auch die Berechnung der Sauerstoffgradienten anderer Basidiomyceten-Pellets – *Tyromyces chioneus* (TCH) und *Trametes versicolor* (TVE) – ist auf Grundlage dieses Modells erfolgt. Um die Sauerstoffversorgung der Pellets zu verbessern und damit höhere Biomassemengen im Vergleich zur Kultivierung auf einem orbitalen Schüttler zu erzielen, wurden die Basidiomyceten LED, TCH und TVE mit der „Akustischen Resonanz-Mischtechnik“ (RAMbio[®]-System) kultiviert. Nur beim Basidiomyceten TVE wurde eine deutliche Erhöhung der Biomassemenge beobachtet. Bei der Kultivierung von TCH im RAMbio[®]-System wurde hingegen eine Verminderung der Biomassemenge festgestellt. Ferner wurde festgestellt, dass bei der Biomasseproduktion von LED keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kultivierungssystemen aufgetreten sind. Allerdings konnte die Morphologie von Basidiomyceten mit dieser Mischtechnik signifikant beeinflusst werden. Auch durch die Erhöhung der Schüttelgeschwindigkeit bei der Kultivierung des Basidiomyceten LED in Schüttelkolben auf einem orbitalen Schüttler konnte die Biomassemenge

nicht erhöht werden. Zudem wurde herausgefunden, dass sich die hydromechanischen Scherkräfte in dem untersuchten Bereich nicht negativ auf das Wachstum von LED auswirken. Wie bei der Kultivierung von LED im RAMbio[®]-System wurden auch hier signifikante Unterschiede in der Morphologie durch die Erhöhung der Scherkräfte beobachtet.

Anschließend sind die Prozessparameter, die die Aromaproduktion im Rührkesselbioreaktor beeinflussen können, untersucht worden. Die Erhöhung der Temperatur hat die Produktion des maßgeblichen Aromastoffs des Getränkes, 2-Methylbuttersäuremethylester (2-MBME), vermindert und auch das Wachstum von LED verringert. Eine weitere Untersuchung hat die Flüchtigkeit von 2-MBME bei höheren Temperaturen aufgezeigt. Durch die Erhöhung des volumetrischen Leistungseintrags von 1,7 auf 5,7 W/m³ konnte die Produktion des fruchtigen Esters 2-MBME signifikant gesteigert werden. Eine weitere Erhöhung des volumetrischen Leistungseintrages auf 26,2 W/m³ hat sich allerdings nicht positiv auf die Produktion von 2-MBME ausgewirkt. Zudem wurde nachgewiesen, dass die Produktion von 2-MBME sauerstoffabhängig ist und die Pelletgröße keinen Einfluss auf die Produktion von 2-MBME hat. Die Produktion von 2-MBME konnte auch durch die Erhöhung der Inokulumkonzentration erhöht werden. Zudem ist hier gezeigt worden, dass sowohl der volumetrische Leistungseintrag als auch die Inokulumkonzentration die Morphologie von LED beeinflussen. In der folgenden Untersuchung ist der volumetrische Leistungseintrag weiter erhöht und die Interaktion zwischen diesen Faktoren herausgestellt worden. Der Basidiomycet LED hat die höchste Konzentration von 2-MBME beim niedrigsten volumetrischen Leistungseintrag (5,7 W/m³) bei der höchsten Inokulumkonzentration produziert. Mit dieser Untersuchung ist bewiesen worden, dass der höhere mechanische Scherstress sowohl die Morphologie als auch die Aromaproduktion von LED beeinträchtigt.

Zum Schluss konnte eine Methode zur Lagerung der Starterkulturen etabliert werden, die bei der Aromaproduktion zur Herstellung eines alkoholfreien Getränkes als Biomasse benutzt werden konnte. Erstmals wurde gezeigt, dass die Basidiomyceten-Pellets sowohl in SNL-H-Medium als auch in destilliertem Wasser erfolgreich gelagert und wieder für die Aromaproduktion verwendet werden können.

Abstract

Due to the decreasing consumption of beer, it is crucial for breweries to produce new beverages. Previous researches with basidiomycetes have shown that they can produce very interesting flavors in beer wort. Especially, the basidiomycete *Lentinula edodes* produced a fresh, fruity, sweet, plum-like and slightly sour flavor profile in a very short fermentation time. To develop an efficient process for the production of non-alcoholic beverages with the help of basidiomycetes, fundamental studies on their cultivation are required. In this context, investigations for storable starter cultures and flavor production should be carried out. The main focus of this study is on the oxygen supply of basidiomycete cells as well as hydromechanical shear forces and their effects on biomass and flavor production. In particular, the oxygen limitation in pellets is a very important aspect for the flavor production. Furthermore, the effect of temperature and biomass concentration on the flavor production should be considered.

The measurement with a micro-oxygen sensor showed that *Lentinula edodes* (LED) pellets, which are bigger than 0,2 cm, are oxygen-limited. In addition, a mathematical model was used to calculate and show the oxygen profiles in LED pellets. Also, the oxygen profiles in *Tyromyces chioneus* (TCH) und *Trametes versicolor* (TVE) pellets were calculated with this model. In order to improve the oxygenation of the pellets and thus to achieve higher biomass quantities compared to cultivation on an orbital shaker, the basidiomycetes LED, TCH and TVE were cultivated with the acoustic resonance mixing technology (RAMbio[®]-System). An increase of biomass concentration with the RAMbio[®]-System was only achieved in the cultivation of the basidiomycete TVE. In contrast, the biomass concentration was decreased when the basidiomycete TCH was cultivated with the acoustic resonance mixing technology. It was also found that there were no significant differences in the biomass production of LED between the cultivation systems. However, the morphology of the basidiomycetes was influenced significantly with this mixing technology. Also, it was shown that the biomass amount of LED could not be increased by increasing the shaking rate in shake flask cultivations on an orbital shaker. In addition, it has been found that the hydromechanical shear forces in the investigated range do not adversely affect the growth of LED. But it was also observed that the morphology of LED was significantly influenced by the increase of shear forces.

Subsequently, the process parameters that can influence the flavor production in the stirred tank bioreactor have been investigated. The increase in temperature reduced the most important flavor compound of the beverage (2-MBME) and also decreased the growth of LED. A further investigation showed the volatility of 2-MBME at higher temperatures. This study also found that the production of 2-MBME was increased significantly when the volumetric power input was increased from 1,7 to 5,7 W/m³. However, a further increase in volumetric power input to 26,2 W/m³ did not have a positive effect on the production of 2-MBME. In addition, it was proven that the production of 2-MBME is oxygen dependent and can not be influenced by pellet size. The production of 2-MBME could also be increased by increasing the inoculum concentration. Furthermore, it was shown that the morphology of LED can be influenced by volumetric power input and inoculum concentration. In the following investigation, the volumetric power input was increased further and the interaction between these factors was shown. The basidiomycete produced the highest concentration of 2-MBME at the lowest volumetric input (5,7 W/m³) and at the highest inoculum concentration. This investigation proved that higher mechanical shear stress affects both, the morphology and flavor production of LED.

Finally, a method for the storage of starter cultures, which are used as biomass to produce non-alcoholic beverages, could be established. For the first time, it was shown that the basidiomycete pellets can be successfully stored in both, SNL-H medium and distilled water, and can be used again for the flavor production.

Abkürzungsverzeichnis

Symbole

A	Flächenausdehnung der Flüssigkeit beim maximalen inneren Kolbendurchmesser (unbewegt), (Gl. 2)	m ²
A	Projektionsfläche (Gl. 8, 9, 11 und 12)	m ²
A _n	Myzeliumfläche zum Zeitpunkt n	m ²
A _{n-1}	Myzeliumfläche zum Zeitpunkt n-1	m ²
A _p	Pelletoberfläche	m ²
A _s	Fläche der Flüssigkeitsoberfläche pro Flüssigkeitsvolumen	m ² /L
AR	Seitenverhältnis	-
a	Volumenbezogene spezifische Pelletoberfläche (Gl. 23, 25)	1/m
a	Spezifischer Koeffizient (Gl. 2)	-
a	Geruchsschwellenwert des Aromastoffes in Wasser (Gl. 13)	µg/L
BTM	Biotrockenmasse	g/L
BTM _{Pellet}	Biotrockenmasse des Pellets	g
b	Spezifischer Koeffizient (Gl. 2)	-
c	Spezifischer Koeffizient (Gl. 2)	-
c	Konzentration des Aromastoffes	µg/L
C	Kreisförmigkeit	-
C _{O2}	Sauerstoffkonzentration	mol/L
C _{1,O2}	Sauerstoffkonzentration an Position 1	mol/L
C _{2,O2}	Sauerstoffkonzentration an Position 2	mol/L
D	Durchmesser	m
D _R	Reaktordurchmesser	m
D _i	Rührerdurchmesser	m
D _{vT}	Verhältnis des Rührerdurchmessers zum Kesseldurchmesser	-
D10	10 %iger Wert der Partikelgrößenverteilung	m
D50	Medianwert der Partikelgrößenverteilung	m
D50 _{start}	Medianwert der Partikelgrößenverteilung bei Stunde 0	m
D50 _{final}	Medianwert der Partikelgrößenverteilung bei Stunde 72	m
D90	90 %iger Wert der Partikelgrößenverteilung	m
D _{eff}	Effektiver Sauerstoffdiffusionskoeffizient im Medium	m ² /s
d	maximaler innerer Schüttelkolbendurchmesser	m
d _{äquivalent}	Äquivalentdurchmesser	m
d _{kritisch}	kritischer Pelletdurchmesser	m
d _i , d _R	Rührerdurchmesser	m
d _T /d _s	Verhältnis des Kesseldurchmessers zum Rührerdurchmesser	-
H	Gesamte Reaktorhöhe	m
H _F	Füllhöhe	m
h	Abstand der Rührer zum Boden des Bioreaktors	m
J _{O2}	Stoffstromdichte Sauerstoff	mol/s
k	Kubikwurzelgesetz-Konstante	(g/L) ^{1/3} ·h ⁻¹
k _{L,a}	volumenbezogener Sauerstofftransferkoeffizient	1/h
N	Rührerdrehzahl	1/s
n	Schüttelgeschwindigkeit	1/s
n _b	Anzahl der Stromstörer	-

P	Leistung (Gl. 4)	W
P	Umfang (Gl. 9)	m
P/V	Volumetrischer Leistungseintrag	W/m ³
\dot{q}_{O_2}	Zellspezifische Sauerstoffaufnahme	mmol/mg · min
R	Rundheit	-
R _{O₂}	Sauerstoffverbrauchsrate pro Volumen (Pellet)	(kg/m ³ · s)
r	Pelletradius	m
r _{1,i}	Position 1 auf dem Pelletradius	m
r _{2,i}	Position 2 auf dem Pelletradius	m
S	Solidität	-
T	Temperatur	°C
t	Kultivierungszeit	d
t _n	Zeitpunkt 0	h
t _{n-1}	Zeitpunkt bei vollständiger Bedeckung der Agarplatte mit Myzelium	h
U	Rührgeschwindigkeit	upm
V _k	Kolbenvolumen	L
V _m	Mediumvolumen	L
V _p	Pelletvolumen	m ³
V _R	Reaktorvolumen	L
vvm	Volumen Luft pro Volumen Kulturmedium	L/L · min
w _b	Breite der Stromstörer	m
X _{start}	Biotrockenmasse bei Stunde 0	g/L
X _{final}	Biotrockenmasse bei Stunde 72	g/L
Y _{X/G}	Ausbeutekoeffizient	g/g

Griechische Symbole

β	Beta	-
γ	Gamma	-
γ _{max}	maximale Scherrate	1/s
ε _{max}	maximale lokale Energiedissipationsrate	W/kg
ε _θ	mittlere Energiedissipationsrate	W/kg
μ _{max}	maximale Wachstumsrate	1/d
μ _L	Dynamische Viskosität des Mediums (Gl. 6)	Pa · s
η	Dynamische Viskosität des Mediums	mPa · s
ρ	Dichte der Flüssigkeit	kg/m ³
ρ _L	Dichte des Mediums	kg/m ³
ρ _{Pellet}	Pelletdichte	mg/mL
π	Pi	-

Kennzahlen

Ne'	modifizierte Newtonzahl
Np	Leistungskennzahl
Re	Reynolds-Zahl

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AFLP	Amplified Fragment Length Polymorphisms Analyse
ANOVA	Varianzanalyse
AVF	Aromaverdünnungsfaktor
AW	Aromawert
BCCM	Belgian Co-ordinated Collections of Microorganisms
BD	Bioreaktordurchmesser
BTM	Birotrockenmasse
BW	Bierwürze
ca.	Circa
CBS	Centraalbureau voor Schimmelcultures
CLSM	Konfokale Laser Scanning Mikroskopie
DMSO	Dimethylsulfoxid
DOE	Design of Experiments (Statistische Versuchsplanung)
DSMZ	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen
EDCF	Energiedissipations/zirkulations Funktion
EPS	Exopolysaccharide
ESH	Ergothionein
FBW	Fermentierte Bierwürze
GC	Gaschromatographie
Gl.	Gleichung
GS	Ganoderischer Säure
HS-SPME	Headspace Festphasenmikroextraktion
IPS	Intrazelluläre Polysaccharide
LB	Lysogeny Broth
LED	<i>Lentinula edodes</i>
MBME	Methylbuttersäuremethylester
MS	Massenspektrometrie
m.s.	Mit Schütteln
MTT	3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazoliumbromid
nb	Nicht berechnet
O	Olfaktometrie
o.s.	Ohne Schütteln
OTR	Sauerstofftransferrate
OUR	Sauerstoffverbrauchsrate
PBS	Phosphate buffered saline
PE	Phenylethanol
PI	Propidiumiodid
RD	Rührerdurchmesser
RKB	Rührkesselbioreaktor
SIM	Selected Ion Monitoring
SNL-H	Standard-Nährmedium mit Hefeextrakt
sp.	Spezies
SYTO® 9	Grünfluoreszierenden Nukleinsäurefarbstoff
Tab.	Tabelle
TCH	<i>Tyromyces chioneus</i>
TVE	<i>Trametes versicolor</i>

Vol.	Volumetrisch
WCO	<i>Wolfiporia cocos</i>