

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/  
Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Tech-  
nischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.

<http://www.ub.tuwien.ac.at>



The approved original version of this diploma or  
master thesis is available at the main library of the  
Vienna University of Technology.

<http://www.ub.tuwien.ac.at/eng>

MUSH - ROOM

## MUSH - ROOM

Entwicklung und Entwurf eines  
Pavillons aus Pilzwerkstoff

Henriette Fischer

Henriette Fischer

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/  
Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Tech-  
nischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.

<http://www.ub.tuwien.ac.at>



The approved original version of this diploma or  
master thesis is available at the main library of the  
Vienna University of Technology.

<http://www.ub.tuwien.ac.at/eng>

DIPLOMARBEIT

# MUSH - ROOM

## Entwicklung und Entwurf eines Pavillons aus Pilzwerkstoff



ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs / Diplom-Ingenieurin unter der Leitung von

Prof. Arch. DI Dr.  
Manfred Berthold

unter Mitbetreuung von  
Univ. Lektor DI Dr.  
Christoph Müller

E253  
Architektur und Entwerfen

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von  
Henriette Fischer, BSc.  
1007411

---

Wien, am 18.10.2017



# Abstract

Myzel stellt biologisch gesehen das Fadengeflecht von Pilzen in der Erde dar. Wird es unter geeigneten Bedingungen mit einem Substrat und Wasser zusammengebracht, entsteht ein natürliches Material mit einer großen Spanne unterschiedlicher Charakteristika. Biologen, Industrial Designer und Materialwissenschaftler haben sich bereits mit dem Materialverhalten des myzel-basierten Kompositmaterials, kurz Pilzwerkstoff, auseinandergesetzt. In der Verpackungsindustrie, als Lederimitat oder in Form von Wärmedämmung hat dieses Material bereits Anwendungsbereiche gefunden. In der Architektur wurde es beispielsweise in Ziegelform am Hy-Fi Tower in New York umgesetzt, vor Kurzem diente es im Dutch Warehouse als Ausfachung in Holzgerüsten. Das gewachsene Material ähnelt in Dämmeigenschaften und Konsistenz Kunststoffen wie Polystyrol, ist jedoch im Gegensatz dazu zu 100% biologisch abbaubar. Vor diesem Hintergrund widmet sich diese Arbeit zunächst der Grundlagenforschung des Pilzwerkstoffs. Basierend auf den resultierenden Erkenntnissen wird ein Verfahren entwickelt, das einen Entwurf eines biologisch abbaubaren, sprich temporären Pavillons zulässt. Das beinhaltet die Konstruktion, die empirische Untersuchung und die anschließende Rückführung der Ergebnisse in einen Entwurf. Dazu wird ein Prototyp im Maßstab 1:2 realisiert. Die digitale Simulation des Pilzwerkstoffs dient sowohl der Vorhersage, der Untersuchung als auch der Visualisierung des Wachstums. Ziel ist es, einen architektonischen Entwurf zu generieren, der Materialherstellung, Verfahren und architektonische Ausgestaltung in einem Projekt vereint.

*Mycelium is the vegetative part of mushrooms. By adding substrate and water, a natural material with a wide range of characteristics is generated. Biologists, industrial designers and material scientist have already worked and experimented with the material behaviour of mycelium based composite materials. Its usage ranges from packaging and leather imitation to insulation. Even in architecture, there are some projects experimenting with this material. In 2014 the Hy-Fi tower used mycelium based bricks as its defining structure. This pioneer project was followed by a few others, including the recently completed pavilion of the Dutch Warehouse, where the mycelium based material served as infill in a wooden structure. The characteristics of the grown material are similar to common substances used for packaging and insulation such as polystyrene. But in comparison, the mycelium based composite material is a 100% biologically degradable. In this context the thesis is dedicated to the fundamental research of this composite material. In order to verify the theories, empiric experiments were conducted. Based on the results, a procedure to design a biologically degradable and thus temporary pavilion is being developed. This includes the construction and the execution of the pavilion, as well as an empirical analysis and the reimplementation of the conclusions which have been drawn into the original design. To evaluate the results, a prototype is being constructed in a scale of 1:2. Simultaneously, the digital simulation of the growing process of the material serves as important aspect for understanding and visualizing the material's behavior. The main goal of this thesis is to develop an architectural proposal which aligns the production of the material, the procedure and the architectural aesthetics in one design.*

# Inhaltsverzeichnis

Einleitung	11
I. Das Material: Der Pilzwerkstoff	13
1.1 Wachsende Architektur	14
Pflanzen	
Bakterien	
Algen	
1.2 Pilze in der Biologie	16
Der biologische Kreislauf	
Der Pilz im Kreislauf	
Der Pilzaufbau	
1.3 Der Pilzwerkstoff	20
1.4 Der Materialprozess	22
Herstellung des Materials	
Einbringen in Schalung	
Wachstumsphase	
Trocknungsphase	
1.5 Referenzprojekte Pilzwerkstoffe	26
Mycotectural Alpha	
Mycelium	
GraB	
Hy- Fi Tower	
Mycelium Chair	
Mycelium Tectonics	
Shell Mycelium	
1.6 Pavillonarchitektur	30
1.7 Der Pavillon im Kreislauf	32
II. Die Grundlagen: Experimente mit Mycelium	34
2.1 Methode	36

2.2 Einflussgrößen	38
primäre Einflussgrößen	
sekundäre Einflussgrößen	
2.3 Das Substrat	40
Substratarten	
Substratversuche	
Substrateigenschaften	
Substratwahl	
2.4 Der Pilz	50
Pilzarten	
Pilzversuche	
Pilzwahl	
2.5 pH Wert	54
Idealer pH - Wert	
Beimengung von Gips und Kalk	
Wachstum durch pH - Wert beeinflussen	
2.6 Kontaminierungen	59
2.7 Wachstumsprinzipien	60
Maßstab 1	
Maßstab 2	
Maßstab 3	
Maßstab 4	
2.8 Oberflächeneigenschaften	70
Fruchtkörperausbildung	
Oberflächenästhetik	
Übergänge	
2.9 Materialtests	74
Zusammensetzungen	
Dichte	
Druckversuch	
Druckfestigkeit	
Biegeversuch	
Wasseraufnahmeversuch	
Brandversuch	

2.10 Maßstäblichkeit	88
Gleichbleibende Parameter	
Variierende Parameter	
<b>III. Der Prototyp: Mush - Room</b>	<b>90</b>
3.1 Materialität und Form	92
3.2 Entwicklung des Verfahrens	94
3.3 Annäherung	98
Prototyp klein	
Prototyp mittel	
3.4 Ausführung	100
Testplatz	
Box	
Textil	
Aufhängen	
Befüllen	
Wachstum	
Trocknung	
Rotation	
Zeitleiste	
3.5 Analyse	122
Zeitleiste	
Neuralgische Punkte	
<b>IV. Der Entwurf: Ein biologisch abbaubarer Pavillon</b>	<b>129</b>
4.1 Verfahren	130
Das Hängemodell	
Abschirmen vor Kontaminierung	
Rotation	

4.2 Entwurfparameter	134
Form und Zuschnitt des Textils	
Anzahl und Platzierung der primären Aufhängepunkte	
Anzahl und Platzierung der sekundären Aufhängepunkte	
4.3 Materialsteifigkeit	138
4.4 Materialdicke	138
Absteppung	
4.5 Gestaltung	144
Spannweite	
Eingangssituation	
Textil	
zusätzliche Öffnungen	
4.6 Entwurf	148
Materialdicke	
Position der Absteppungen	
Funktion	
Ausblick	154
Danksagung	155
Verzeichnisse	156
Abbildungen	
Diagramme	
Versuche	
Literatur	
Internetseiten	
Pilzrisotto	164



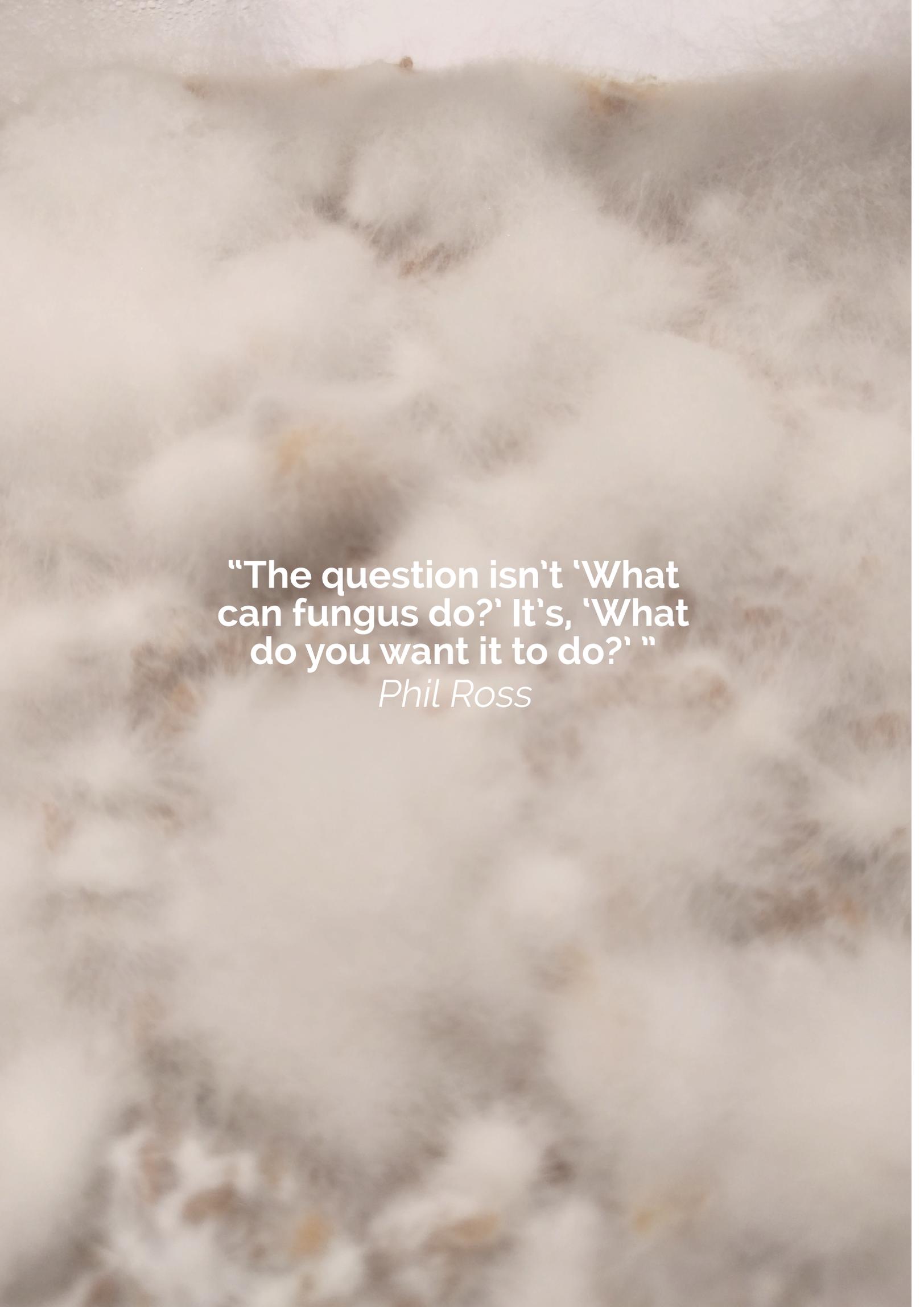
# Einleitung

Kaum ein Wort ist so um die Welt gegangen wie der Begriff Nachhaltigkeit. Dabei hat er mit der Zeit einen schalen Beigeschmack bekommen. Den Beigeschmack eines Etiketts, das ähnlich oft wie der Ausdruck "Bio" verwendet wird, um ein Produkt oder eine Dienstleistung interessanter, verkäuflicher oder auch teurer machen zu können. Nicht nur deswegen ist mit dem Begriff eine gewisse Frustration verbunden. Auch weil es schwierig ist festzulegen, welche Maßnahmen nun wirklich als nachhaltig gelten können und welche nur oberflächlich oder zeitlich begrenzt wirken. Der Begriff der Nachhaltigkeit ist stark mit denen des Klimawandels, dem Verbrauch der Ressourcen und dem allumfassenden Verändern der Weltoberfläche durch den Menschen verbunden. Damit kann Nachhaltigkeit als Kind der Krise verstanden werden - denn wer von allem genug zur Verfügung hat, muss schließlich nicht nachhaltig leben. Dieses Thema ist zu einem festen Bestandteil einer ganzen Generation geworden. Es ist beinahe unumgänglich, sich dieser Problematik zu stellen. Im Zusammenhang mit diesen Gedanken habe ich mich stark mit einer Aussage des Architekten Michael Pawlyn verbunden gefühlt, der über seine Arbeit sagt: *"All my work is driven by a frustration with the word sustainable"*.<sup>1</sup> Die Krise, aus dem der Begriff Nachhaltigkeit hervorgeht, ist nicht nur der Klimawandel, sondern auch die nach und nach größer werdende Ressourcenknappheit. In der Architektur werden Gebäude oft für eine Lebenszeit von 30 Jahren gebaut, danach müssen sie häufig saniert oder sogar abgerissen werden. Damit werden teure Ressourcen verbraucht und enden schlussendlich als Abfall. Ein möglicher Lösungsansatz wäre die Verwendung von Kreisläufen, bei denen keine Abfälle entstehen. In der Architektur würde

das zu einem Betrachten über den gesamten Lebenszyklus führen. Damit wird nicht nur die eigentliche Nutzungszeit eines Gebäudes wichtig, auch die Herkunft, der Transport und der Energiebedarf der Herstellung werden gleichermaßen in den Mittelpunkt gestellt, genauso wie die Lebenszeit, der Rückbau, die sortenreine Trennung und die Recyclierbarkeit der verwendeten Materialien. Die Fragen, die ich mir angesichts der Tatsachen während meiner Architekturausbildung immer wieder stellte, drehten sich genau um diese Krise. Was bedeutet die Nachhaltigkeit nun wirklich in der Architektur? Welche Methoden haben sich bewährt und wo ist noch Aufholbedarf? Wie schafft man einen Lebenszyklus oder einen Kreislauf in der Architektur? Die vorliegende Arbeit hat keine umfassende Antwort auf diese Fragen. Die Arbeit behandelt aber einen Teilaspekt des Bauwesens, das meiner Meinung nach in der Welt der Architektur von außerordentlicher Wichtigkeit ist und oft neben anderen Aspekten unter dem Teppich landet - die Materialität. Die gängigen Materialien schneiden bei einer genaueren Betrachtung mit der Frage nach dem Lebenszyklus nicht besonders gut ab, ganz im Gegenteil: kaum ein Produkt kann gänzlich und sinnvoll wieder in einen Kreislauf zurückgeführt werden. Auf der Suche nach Antworten führte mich der Weg in die Biologie und in die natürlichen Kreisläufe der Stoffe, abseits der Wegwerf - Gewohnheiten der Menschen. Die Auseinandersetzung mit dem Metabolismus biologischer Systeme zeigt, dass die Natur wunderschöne und intelligente Systeme für eine umfassende Nachhaltigkeit bereit hält. Darum widmet sich diese Arbeit dem wirklichen Recycler der Erde: dem Pilz.

---

<sup>1</sup> "Will the buildings of the future be grown underwater?" In: URL: [www.theguardian.com](http://www.theguardian.com) (Abrufdatum: 28.09.2017)



“The question isn’t ‘What  
can fungus do?’ It’s, ‘What  
do you want it to do?’ ”

*Phil Ross*

# I. Das Material: der Pilzwerkstoff

- 1.1 Wachsende Architektur
  - Pflanzen
  - Bakterien
  - Algen
- 1.2 Pilze in der Biologie
  - Der biologische Kreislauf
  - Der Pilz im Kreislauf
  - Der Pilzaufbau
- 1.3 Der Pilzwerkstoff
- 1.4 Der Materialprozess
  - Herstellen des Materials
  - Einbringen in Schalung
  - Wachstumsphase
  - Trocknungsphase
- 1.5 Referenzprojekte Pilzwerkstoffe
  - Mycotectural Alpha
  - Mycelium
  - GraB
  - Hy- Fi Tower
  - Mycelium Chair
  - Mycelium Tectonics
  - Shell Mycelium
- 1.7 Pavillonarchitektur
- 1.8 Der Pavillon im Kreislauf

# 1.1 Wachsende Architektur

Architektur mit Hilfe von wachsenden Organismen zu gestalten, ist keine neue Methode. Im Folgenden werden einige Anwendungen vorgestellt, wie mit lebenden Materialien unsere Umwelt gestaltet wird.

## Pflanzen

Es gibt zwei fundamentale Eigenschaften von Pflanzen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Bauen stehen. Eine Pflanze kann sich erstens nicht oder kaum bewegen. Zweitens ist sie immer statisch und hat gleich wie ein Gebäude ein Fundament (Wurzeln) und eine Struktur.<sup>2</sup>

Basierend auf diesen Eigenschaften gibt es seit jeher Methoden und Verfahren, um Pflanzen dazu zu benutzen, Architektur oder bauliche Strukturen zu schaffen. Ein Beispiel dafür sind die Meghalaya Living Root Bridges in Indien, die mit den Wurzeln von Gummibäumen geschaffen worden sind. Hier wurden Wurzeln ans andere Ende eines Flusses gebracht und dort wieder in der Erde verankert. Diese haben sich wiederum verästelt und mit der Zeit eine sehr robuste, begehbare Struktur gebildet. Auch wenn die Herstellung bzw. das Wachstum solcher Brücken teilweise 15 Jahre benötigt, haben die Brücken eine Lebensdauer von bis zu 100 Jahren und können Spannweiten von über 30 m überbrücken.<sup>3</sup>

## Bakterien

BioMason ist eine der Methoden, die durch Sand, Urea und Bakterien einen Baustoff erschaffen, der beinahe die Härte eines Ziegels besitzt. Das Prinzip basiert auf einem biologischen Prozess, in welchem der Niederschlag von CO<sub>2</sub> durch Bakterien und Urease in Calciumcarbonat (also Kalk) umgewandelt wird. Das hat zum einen den

Vorteil, dass der CO<sub>2</sub> Gehalt in der Luft minimiert wird, zum anderen muss der so entstandene Ziegel nicht mehr gebrannt werden, um seine Härte zu erreichen.<sup>4</sup>

Ein unangenehmer Nebeneffekt ist die begleitende Produktion von Ammoniak. Um dieses Problem in den Griff zu kriegen, arbeitet die Gründerin und Forscherin von BioMason an einem Verfahren, in dem Ammoniak wieder in einen Kreislauf eingegliedert werden kann und so keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt entstehen.<sup>5</sup>

## Algen

Der Gebrauch von Algen ist seit einigen Jahrzehnten sehr breit gefächert. Zuerst haben sie als "Superfood" gegolten, weil sie viel Protein und Mineralien enthalten. Danach kam man auf die Idee, aus ihnen Biobenzin herzustellen. Mittlerweile ist ihre Anwendung auch in der Architektur angekommen. Das Verfahren kann als Bioreaktor beschrieben werden, bei dem durch Photosynthese und Fermentation ein Prozess entsteht, wo CO<sub>2</sub> umgewandelt wird und als Endprodukt Calciumcarbonat entsteht. Bei einer Anwendung wird von der Forschungsgruppe GraB (Growing as Building) ein 3D Drucker entwickelt, der das dadurch gewonnene Calciumcarbonat als Druckmaterial verwendet.<sup>6</sup>

---

2 vgl. Brownell et al.: *Hypernatural*, 2015. S 108 ff.

3 vgl. Ednie- Brown et al: *The Innovation Imperative. Architecture of Vitality*, 2013. S 11 ff. vgl. ebd. S 84 ff.

4 vgl. Bricks grown from bacteria. In: URL: [materialist.com](http://materialist.com) (Abrufdatum: 28.09.2017)

5 vgl. Imhof, B., Gruber, P.: *Blending Architecture and Biology. Built to Grow*, 2016. S 126 ff.



Abbildung 3: Meghalaya Living Bridges

# 1.2 Pilze in der Biologie

Unter biologischen Kreisläufen versteht man die zyklischen Wege von Stoffen durch verschiedene Nahrungsketten zurück zum Ausgangspunkt. Große Kreisläufe wie der Wasserkreislauf oder der Kohlenstoffkreislauf werden auch ökologische Kreisläufe genannt.<sup>7</sup>

## Der biologische Kreislauf

Im biologischen Kreislauf der Natur wird zwischen Produzenten, Konsumenten und Destruenten unterschieden. Während die Produzenten (Pflanzen und Cyanobakterien) meistens durch Photosynthese die Lebensgrundlage für die Konsumenten herstellen, zerkleinern und mineralisieren die Destruenten organisches Material und stellen es den Produzenten wieder zur Verfügung. Die Konsumenten stellen die Tiere und Menschen dar, die die von den Produzenten hergestellten Nahrungsgrundlagen konsumieren.<sup>8</sup>

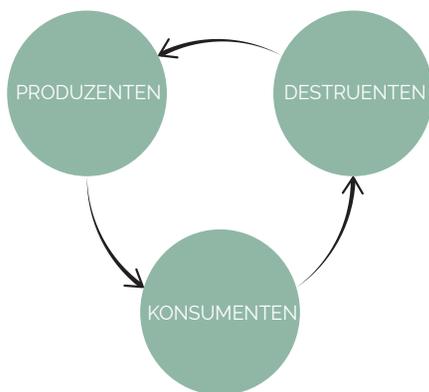


Abbildung 4: Biologischer Kreislauf

Pilze können durch ihr Fadengeflecht, dem Myzel, abgestorbene Pflanzen und Tiere zersetzen. Aus diesem Grund nehmen sie als Destruenten eine überragende Rolle im biologischen Kreislauf ein. Durch den Abbau werden mineralische Nährstoffe freigesetzt, die

danach erneut für das Wachstum der Pflanzen zur Verfügung stehen.<sup>9</sup>

## Der Pilz im Kreislauf

Eine zwar veraltete, aber imm noch gebräuchliche Gliederung in der Biologie trennt Lebewesen in drei große Reiche: Pflanzen, Tiere und Pilze. Bis in das späte 20. Jahrhundert wurden Pilze noch zu Pflanzen gerechnet. Nach heutiger Taxonomie wird in Eukaryota und Prokaryota unterteilt, wobei bei ersterem wiederum zwischen 6 Reichen unterschieden wird. Pilze sind eukaryotische Lebewesen, die im Gegensatz zu den Prokaryoten einen Zellkern besitzen. In dieser Arbeit werden fast ausschließlich Speisepilze behandelt. In der Taxonomie befinden wir uns also im Bereich der eukaryotischen, höheren Lebewesen. Pilze sind zwar sesshaft, bilden aber im Gegensatz zu Pflanzen Glykogen und nicht Stärke aus. Weiters können sie atmen, sprich Sauerstoff in Kohlendioxid verwandeln und bedienen sich nicht der Photosynthese. Aus diesen Gründen sind sie biologisch näher mit Tieren als mit Pflanzen verwandt.<sup>10</sup>

110 000 bis 120 000 verschiedene Arten von Pilzen wurden bis dato in der Literatur beschrieben. Man nimmt jedoch an, es müsse über 1 000 000 verschiedene Spezies existieren. Im Durchschnitt werden jedes Jahr mehr als 1 000 neue Arten entdeckt.<sup>11</sup> Pilze können weiters in 3 Gruppen eingeteilt werden:

- die Saprophyten
- die Parasiten
- die Symbioten

Saprophyten sind Fäulnisbewohner, bauen organisches Material ab und zersetzen es wieder in chemische Grundstoffe. Die Parasiten

Eukaryota	höhere Lebewesen	Pflanzen (Plantae)  Blütenpflanzen nacktsamige Pflanzen Farnpflanzen Moose ...	Pilze (Fungi)  Ständerpilze Brandpilze Schlauchpilze Hefepilze Jochpilze ...	Tiere (Animalia)  Chordatiere Gliederfüßler Weichtiere Gliederwürmer Schwämme ...
	Protisten (Ein- u. Wenigzeller)	Algen	pilzähnliche Protisten	Protozoen (Einzeller)

Diagramm 1: Biologische Taxonomie

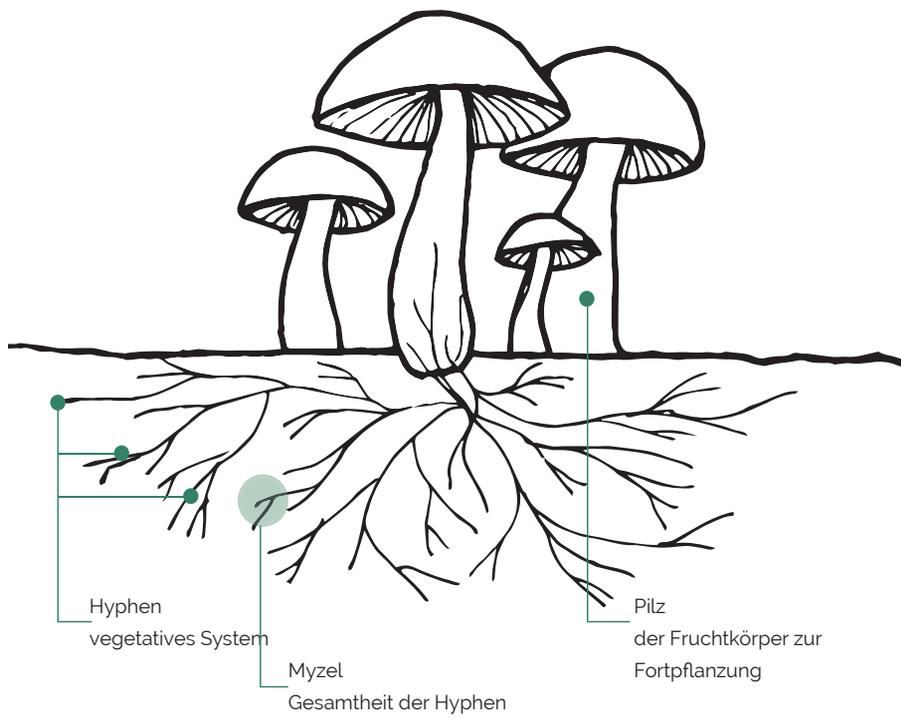


Abbildung 5: Aufbau eines Speisepilzes

befallen und schädigen lebende Organismen, im schlechtesten Falle bis zu deren Ableben. Die Symbionten, auch Mykorrhiza, gehen eine Symbiose, also eine Lebensgemeinschaft mit Pflanzen ein, von welcher beide von der unterschiedlichen Nahrungserschließung profitieren.

## Der Pilzaufbau

Speisepilze können sich optisch sehr stark unterscheiden. Betrachtet man allerdings den grundlegenden Aufbau, kann man immer drei Unterteilungen erkennen:

- Hyphen
- Myzel
- Fruchtkörper

Die fädigen Vegetationsorgane der meisten Pilze werden Hyphen genannt, die wiederum in ihrer Gesamtheit als Myzel oder Pilzgeflecht bezeichnet werden können. Wenn das Myzel fertig ausgebildet ist und bestimmte Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnisse herrschen, die bei jeder Pilzart unterschiedlich sind, können schließlich Fruchtkörper ausgebildet werden. Diese Fruchtkörper sind das, was wir umgangssprachlich als Pilze bezeichnen. Biologisch richtig ist dies jedoch nicht, da eigentlich das Myzel der Pilz ist und der auf der Oberfläche wachsende Teil nur den Fruchtkörper darstellt. Verglichen mit einem Apfelbaum würde das Myzel den Baum samt Wurzeln darstellen und der Fruchtkörper den Apfel.

Pilze vermehren sich durch Sporen. Diese werden auf der Unterseite des Pilzhutes gebildet und lösen sich, sobald eine gewisse Reife erreicht ist. Die auf diese Weise verbreiteten Sporen können auf einem

geeigneten Nährboden wieder zu Hyphen, Myzel und schließlich Fruchtkörpern wachsen.<sup>12</sup>

- 
- |    |  |
|----|--|
| 7  | vgl. Neugebauer, R.: Handbuch Ressourcen orientierte Produktion, 2013. S 147 ff.                                     |
| 8  | vgl. Willmann, I., Egli-Broz, H.: Ökologie: Einführung in die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur, 2010. S 24 |
| 9  | vgl. ebd., S 26  |
| 10 | vgl. Müller, E., Löffler, W.: Mykologie, 1992. S 1 ff.   |
| 11 | vgl. ebd. S 15   |
| 12 | vgl. ebd. S 19   |

## 1.3 Der Pilzwerkstoff

Wie sich Pilze ernähren, hängt davon ab, ob sie Saprophyten, Parasiten oder Symbionten sind. Saprophyten ernähren sich hauptsächlich von zellulosehaltigen Stoffen, also beispielsweise Holz, Stroh oder Getreide. Dieser Vorgang wird bei Pilzwerkstoffen genutzt, da die Pilze während des Abbaus der verschiedenen Materialien wie ein biologisch produzierter Leim wirken, der natürliche Produkte mit Zellulosegehalt binden kann.

Generell besteht das fertige Material also aus zwei Komponenten: Myzel und einem zellulosehaltigen Material. Als Ausgangsstoff dienen einerseits unterschiedliche, landwirtschaftliche Abfallstoffe wie Sägespäne, Stroh, Kaffeesud oder Brauereiabfälle. Im Folgenden wird dieses Material als "Substrat" bezeichnet. Zweiter Ausgangsstoff ist das Myzel, dessen Eigenschaften von Pilz zu Pilz sehr unterschiedlich sein können.

Grundsätzlich kann das Substrat als strukturgebender und das Myzel als strukturbindender Anteil gesehen werden. In ihren charakteristischen Eigenschaften ähneln Pilzwerkstoffe denen von expandierten Polystyrol, allerdings mit einer wesentlich höheren Dichte.

Der Unterschied zu expandiertem Polystyrol liegt außerdem in der schweren Entflammbarkeit und in der vollkommenen Recyclierbarkeit. Abgesehen davon benötigen Pilzwerkstoffe aufgrund ihres natürlichen Wachstums kaum Energie zur Herstellung.<sup>11</sup>

Genauere Kennwerte werden mit Hilfe von Materialproben in Kapitel II behandelt.

11

---

vgl. Pilzwerkstoff, aus Myzel. In  
URL: <http://www.materialarchiv.ch/app-tablet/#detail/1741/pilzwerkstoff-aus-myzel>  
(Abrufdatum: 28.09.2017)



Abbildung 6: Pilzwerkstoff Textur

## 1.4 Der Materialprozess

Folgende Prozessbeschreibung basiert einerseits auf den Strategien der Referenzprojekte, die im Kapitel 1.5 beschrieben werden und ist andererseits das Resultat der in Kapitel II und III vorgestellten Experimente. Der Prozess kann zur Übersicht in vier verschiedene Phasen gegliedert werden:

- Herstellung der Mischung
- Einbringen in eine Schalung
- Wachstumsphase
- Trocknungsphase

In Abbildung 7 werden die Abläufe zeitlich von oben nach unten mit den jeweilig wichtigsten Parametern dargestellt.

### Herstellung der Mischung

Im ersten Schritt werden die zwei Komponenten Pilz und Substrat mit Wasser gemischt. Zunächst wird das Substrat in Wasser gelegt. Je länger es Feuchtigkeit aufnehmen kann, desto höher ist sein Wassergehalt und umso besser kann der Pilz wachsen. Standnässe sollte jedoch vermieden werden, da das Myzel nicht unter Wasser wächst.

Nach der Mischung tropft überschüssiges Wasser ab und Pilz und Substrat werden vermengt. Das Verhältnis von Myzel zu Substrat sollte ungefähr 1:10 betragen. Ein höherer Anteil von Myzel bedingt ein schnelleres Durchwachsen. Ein weiterer Einfluss ist der Druck, der auf das Material ausgeübt wird. Generell konnte festgestellt werden, dass höherer Druck auf das Material zu einem stabileren Resultat führt.

Um Kontaminationen möglichst gut zu vermeiden, aber eine sterile Vorgangsweise nur in einem Labor möglich ist, wird in dieser Arbeit mit einfachen Mitteln eine möglichst

saubere Arbeitstechnik angestrebt. Hierfür wird einerseits das Substrat gekocht, andererseits alle Werkzeuge mit Alkohol oder Wasserstoffperoxid desinfiziert sowie mit Handschuhen gearbeitet.

### Einbringen in die Schalung

Die Mischung des feuchten Pilzwerkstoffs ist vor dem Durchwachsen und Trocknen nicht stabil. Deshalb wird eine Schalung benötigt, was von einfachen Boxen oder Säcken bis hin zu komplizierten Formen reichen kann. Zu beachten ist, dass die Schalung aus einem Material ohne Zellulose bestehen sollte, sonst wird sie ebenfalls vom Pilz durchwachsen. Ist das Material eingebracht, sollte es vor äußeren Einflüssen und somit einer möglichen Kontaminierung sowie für eine stabile Luftfeuchtigkeit abgeschirmt werden. Normalerweise wird das mit einer Umwicklung aus einem zellulosefreien Material bewerkstelligt. Bei der Pilzzucht in Innenräumen werden oft Kunststoffsäcke als Trägermaterial benutzt. Kleine Löcher in der Schalung tragen dazu bei, dass ein gewisser Luftaustausch trotzdem möglich ist. Nachdem Pilze Sauerstoff in Kohlendioxid umwandeln, ist ein Luftaustausch wichtig. Zu viele oder zu große Löcher in der Schalung sind jedoch kontraproduktiv.

### Wachstumsphase

Nachdem die Mischung in die Schalung eingebracht wird, beginnt die Wachstumsphase. Je nach Pilz- und Substratart kann diese von einigen Tagen bis zu mehreren Wochen dauern. Der Begriff "spawn run" bezeichnet dabei die Phase des Durchwachsens, in der sich das Myzel ausbreitet bis es schließlich zu einer Ausbildung von Primordien und Fruchtkörpern kommt.<sup>14</sup> Das genaue Wachstumsverhalten

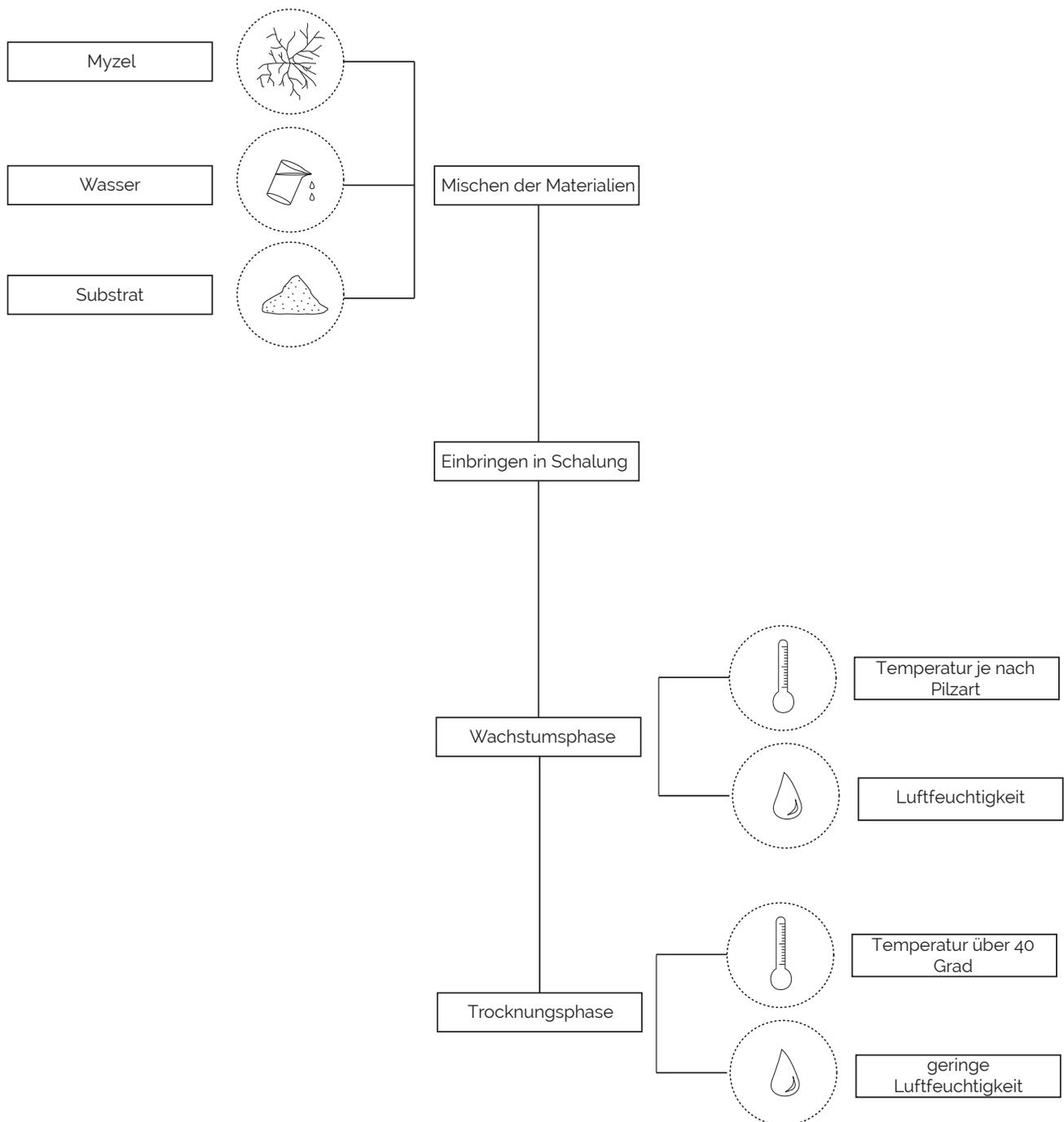


Abbildung 7: Prozess Materialgenerierung

des Myzels wird im Kapitel 2.5 behandelt. Um ein bestmögliches Durchwachsen zu ermöglichen, müssen Luftfeuchte, Temperatur und Lichtverhältnisse stimmen. Wieder sind hier die Anforderungen je nach Pilzart unterschiedlich.

## Trocknungsphase

Wenn das Substrat durchwachsen ist (ungefähr nach 2-3 Wochen) kann die Trocknungsphase beginnen. Im feuchten Zustand ist das Material weder auf Druck, noch auf Zug belastbar. Erst durch die Trocknung kann es Kräfte aufnehmen. In dieser Phase soll einerseits die Restfeuchte aus dem Material entweichen, andererseits ist eine Erwärmung auf ca. 60°C notwendig, damit das Wachstum des Myzels gestoppt wird. Wird der Pilzwerkstoff nicht erhitzt, ist ein späteres Wachstum durch ein erneutes Befeuchten des Materials und somit auch eine Fruchtkörperbildung möglich. Weiters können sich Schimmelsporen und Bakterien ansiedeln, die zu einer Schwächung des Materials beitragen. Deswegen ist es fördernd, wenn es zusätzlich zur Trocknung auch hoch erhitzt wird.

Nachdem ein Hauptbestandteil des Pilzwerkstoffs aus einem zellulosehaltigen Material besteht, hier in diesem Projekt aus Sägespänen, ist mit dem Schwinden ähnlich wie bei Holzwerkstoffen zu rechnen.

---

14 vgl. Stamets, P.: Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms, 2000. S 65 ff.



# 1.5 Referenzprojekte

## Pilzwerkstoffe

Neben Produkten, die mit auf Myzel basierenden Materialien Leder, Kunststoffe oder Styropor im kleinen Maßstab imitieren, sind seit 2014 erste Projekte entstanden, die größere Strukturen ermöglichen.

### Mycotectural Alpha

Einer der ersten Pioniere im Bereich der Pilzwerkstoffe war Phil Ross, der sich nicht nur mit seiner gegründeten Firma MycoWorks dem Imitat von Leder widmet, sondern auch die erste architektonische Struktur mit Pilzen bildete. "Mycotectural Alpha" wurde für das 25. Jubiläum der "Eat art" Ausstellung in der Kunsthalle Düsseldorf konzipiert und besteht aus einem gerade menschengroßen Gewölbe aus Ziegeln. Das durchwachsene Material basiert auf Sägespänen und dem Reishi Pilz. Um das Konzept der "Eat-Art" Ausstellung zu unterstreichen, wurde den Besuchern ein Tee angeboten, der aus dem oben genannten Pilz hergestellt wurde, aus dem auch die durchwachsenen Ziegel bestehen.<sup>15</sup>

### Mycelium

"Mycelium", ein Projekt von Sebastian Alvarado Grugiel im Rahmen des IAAC Barcelona, verwendete eine Grundstruktur aus Karton, dessen Hohlräume mit Sägespänen und Myzel gefüllt wurden und danach durchwachsen und getrocknet wurde. Um eine angemessene Luftfeuchtigkeit zu sichern und eine Kontamination zu verhindern, wurde das Objekt während der Trocknungsphase mit einer Folie umwickelt.<sup>16</sup>

### GraB

Die Forschungsgruppe GraB der Universität der Angewandten Kunst Wien unter der

Leitung von Barbara Imhof und Petra Gruber beschäftigte sich im Zuge eines dreijährigen Projekts über wachsende Architektur neben Algen, Pflanzenwachstum und Schleimpilzen auch mit Pilzwerkstoffen. Ergebnisse waren unterschiedliche Module, die zusammen eine größere Struktur bilden können.<sup>17</sup>

### Hy-Fi Mushroom Tower

Im Juni 2014 eröffnete der Hy-Fi Mushroom Tower im Hof von MoMa in New York. David Benjamin entwarf eine Struktur, die drei Zylinder zu einem Bauwerk vereint. Der Turm besteht aus Ziegeln, Fundament wird keines benötigt. Als Krone sind zwei bis drei Reihen Ziegeln mit einer Metallbeschichtung ausgeführt, die dafür sorgen, dass Licht in das Innere des Turms gelangt. Im Bauprozess wurde darauf geachtet, dass nur lokale Materialien benutzt werden. Das Substrat, durch das der Pilz wächst, stammt von landwirtschaftlichen Abfällen aus der Umgebung von New York und besteht aus zerkleinerten Abfällen der Mais-Produktion. Als statische Verstärkung werden im Turm hinter den Öffnungen Holzstreben angebracht, damit die lose übereinander gelegten Ziegel eine zusätzliche Verstärkung besitzen.<sup>18</sup>

### Mycelium Chair

Eric Klarenbeek erschuf 2014 verschiedene Versionen von Sitzstrukturen, die Myzel und 3D - Druck kombinieren. Das Projekt, das neben dem Sitzobjekt von IAAC das einzige bisher ist, das von der Ziegel- oder Modulform abweicht, benutzt eine aus dem Biokunststoff PLA bestehende 3D - gedruckte Struktur, die als verlorene Schalung gesehen werden kann. Innerhalb der Schalung wird das Substrat in Pulverform zusammen mit Wasser eingebracht. Durch das Wachstum entsteht



Abbildung 8: Mycotectural Alpha



Abbildung 9: Mycelium vor Durchwachsen



Abbildung 10: Mycelium nach Durchwachsen

eine schließlich feste Struktur, die anfangs etwa 9 kg beträgt, nach der Trocknung wiegt der Sessel jedoch nur mehr etwa 1 kg. Die Fruchtkörper des Pilzes, die auf dem Sessel zu sehen sind, wachsen durch kleine Öffnungen der Kunststoffform.<sup>19</sup>

## Mycelium Tectonics

Das Projekt "Mycelium Tectonics" von Gianluca Tabellini zeigt ein Objekt, dessen Gerüst aus Hanffasern besteht, die mit Mycelium durchwachsen werden. Es werden unterschiedliche Sorten, wie der *Ganoderma lucidum* (Glänzender Lackporling), der *Pleurotus cornucopiae* (Rillstieliger Seitling) und *Pleurotus Ostreatus* (Austernseitling) untersucht. In Experimenten in der Petri Schale wird der glänzende Lackporling mit einer schnelleren Wachstumsrate als der Rillstielige Seitling wahrgenommen. Mit unterschiedlichen Substraten in der Petrischale werden verschiedene Ergebnisse erzielt. Dafür werden Lignin, Cellulose und Agar mit Glucose getestet. Bei dem Versuch mit Lignin wird eine rötliche Verfärbung, bei den beiden anderen Tests eine gelbliche Verfärbung wahrgenommen. In einer zweiten Versuchsreihe wird zusätzlich noch die Pilzart *Armillaria mellea* (Honiggelber Hallimasch) getestet. Der Austernseitling wird für die nächsten Versuche ausgewählt und schließlich mit Hanffasern zusammen gebracht. Nach einigen Testversuchen wird schon bald in einem Gerüst experimentiert, das geschätzt ungefähr 1 m Höhe und 30 cm Durchmesser misst. Das Gerüst besteht aus einer Kopf- und Fußplatte sowie aus Stäben. In späteren Versuchen werden die Stäbe entfernt und das Objekt hält von selbst. In Abbildung 13 und 14 sieht man den Vorgang vor und während des Wachstums. Auf Abbildung 15 ist das fertige Objekt ohne weiteren Stützen zu sehen.<sup>20</sup>

## Shell Mycelium

Als eine Art Fortsetzung des Projekts "Mycelium" des IAAC Barcelona entstand im Sommer 2017 ein Pavillon aus einer triangulierten Holzkonstruktion, die mit Pilzwerkstoff ausgefacht wurde.<sup>21</sup>

- 
- 15 vgl. Mycotecture (Phil Ross). In: URL: <https://www.moma.org/interactives/exhibitions/2013/designandviolence/mycotecture-phil-ross/> mycoworks (Abrufdatum: 28.09.2017)
  - 16 vgl. Mycelium. In: URL: <http://materiability.com/portfolio/mycelium/> (Abrufdatum: 28.09.2017)
  - 17 vgl. Imhof, B., Gruber, P.: *Blending Architecture and Biology. Built to Grow*, 2016.
  - 18 vgl. Biodegradable hy-fi by the living opens at MoMA PS1. URL: <https://www.designboom.com/architecture/hy-fi-the-living-david-ben-jamin-moma-ps1-young-architects-program-2014-07-01-2014/> (Abrufdatum: 28.09.2017)
  - 19 vgl. Mycelium Chair by Eric Klarenbeek is 3D-printed with living fungus. URL: <https://www.dezeen.com/2013/10/20/mycelium-chair-by-eric-klarenbeek-is-3d-printed-with-living-fungus/> (Abrufdatum: 28.09.2017)
  - 20 Vgl. URL <http://mycelium-tectonics.com/> (Abrufdatum 10.09.2017)
  - 21 Vgl. Shell Mycelium. URL: <https://www.designboom.com/architecture/shell-mycelium-degradation-movement-manifesto-07-25-2017/> (Abrufdatum: 28.09.2017)



Abbildung 11: Hy - Fi Tower



Abbildung 12: Mycelium Chair



Abbildung 13: Mycelium tectonics 1

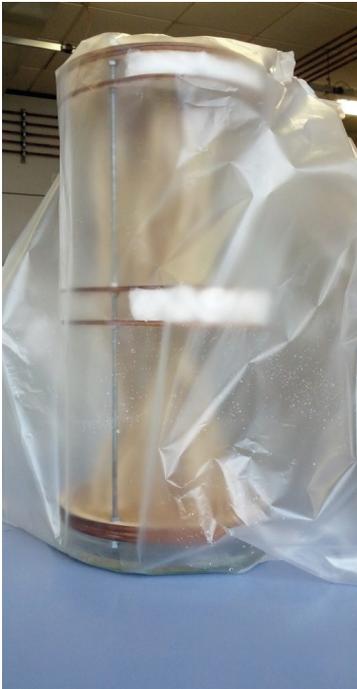


Abbildung 14: Mycelium tectonics 2



Abbildung 15: Mycelium tectonics 3

## 1.6 Pavillonarchitektur

Expo- und Gartenpavillons haben eines gemeinsam: sie sind temporär und somit auf bestimmte Ereignisse zugeschnitten. Egal ob aufwändig errichtete Pavillons, die der internationalen Leistungsschau der Expo dienen oder hunderte Partyzelte auf Festivals - nach ihrer Nutzung haben sie meist ausgedient.

Auf Ausstellungen wird die Topologie des Pavillons häufig für Experimente verwendet, um Forschung zu testen: *„Ein Pavillon ist weder ein Gebäude noch ein reines Experiment. Er befindet sich in der Schwebe zwischen dem Spekulativen und dem Pragmatischen. [...] Für uns ist der Pavillon ein Maßstab und Filter, um den Wert unserer Forschungen zu legitimieren und zu verstehen“*<sup>22</sup> Doch selten bleiben die Bauwerke für längere Zeit stehen. Sogar der deutsche Pavillon in Barcelona von Mies van der Rohe für die Expo 1929 wurde abgebaut und dessen Einzelteile verkauft. Zwischen 1983 und 1986 wurde er schließlich rekonstruiert. Teilweise haben Pavillons Glück und finden einen permanenten Platz wo anders auf dieser Welt. Wie zum Beispiel der Toyo Ito Pavillon der Serpentine Gallery in London, der jetzt im französischen Nizza als Strandcafe dient. Nicht alle Pavillons werden wieder verwendet. Abgesehen davon ist eine Translozierung mit hohen Kosten und administrativem Aufwand verbunden, da nicht jeder Pavillon auf die jeweiligen Bauvorschriften und Klimazonen zugeschnitten ist.

Dass temporäre Architektur selten in Kreisläufe rückgeführt werden kann, liegt nicht nur an den Anforderungen zur schnellen Auf- und Abbaubarkeit sondern auch an ihrer Konstruktion und Materialität.

Der Pavillon Mush - Room soll genau an dieser Thematik anschließen. Als Pavillon ist

er vor allem eines: vorübergehend. Aufgrund seiner Materialität ist er komplett biologisch abbaubar und hinterlässt keinen langfristigen Abfall. Damit ist er sowohl als Kritik an den vermeintlich temporären Errichtungen der Experimente zu sehen, als auch an den vielen Party-, Garten- oder Festivalpavillons, die sich einem nachhaltigen Kreislauf entziehen.

---

22 Schittich, C.: Mikroarchitektur: Kleine Strukturen, Mobile Bauten, Raumzellen, 2013, S 25

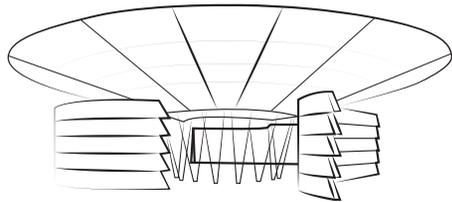
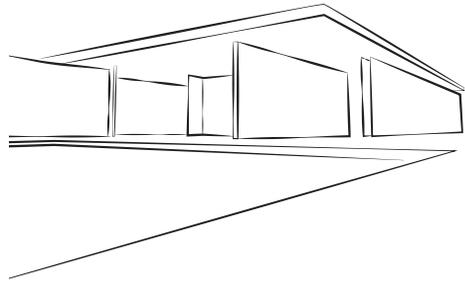


Abbildung 16: Typologie Pavillon

## 1.7 Der Pavillon im Kreislauf

Ein Werkstoff wird als biologisch abbaubar und kompostierbar gewertet, wenn die Stoffe innerhalb von 12 Wochen in einer Industriekompostierung nach Europäischer Norm EN 13432 zu mindestens 90% abgebaut werden kann.<sup>23</sup>

Dabei kann auch der Begriff "Cradle to Cradle", oder auf Deutsch von der Wiege zur Wiege vom deutschen Chemiker Michael Braungart und vom us-amerikanischen Architekten William McDonough genannt werden. Er bedeutet das Gegenteil von "Cradle to Grave" und impliziert damit einen Kreislauf der Stoffe statt dem Produzieren von Abfall. In ihrem Buch schreiben sie dazu: *„Die Natur produziert seit Jahrmillionen völlig uneffizient, aber effektiv. Ein Kirschbaum bringt tausende Blüten und Früchte hervor, ohne die Umwelt zu belasten. Im Gegenteil: Sobald sie zu Boden fallen, werden sie zu Nährstoffen für Tiere, Pflanzen und Boden in der Umgebung.“*<sup>24</sup>

Dass die Natur keinen Abfall kennt, sondern alles einen Weg zurück in einen Kreislauf findet, wird auch im Kapitel I beschrieben. In der Architektur fehlen bisher solche Kreisläufe.

Der Pavillon Mush - Room, bestehend aus Pilzwerkstoff, soll den Kreislauf als Konzept aufnehmen und ein sinnvolles Verwerten nach seiner Nutzungsdauer ermöglichen. Der Kreislauf von Mush Room besteht aus folgenden Stationen:

Die Grundsubstanzen, aus dem das Material besteht, sind Sägespäne und Pilze. Die Sägespäne entstehen als Abfallprodukt in der Holzproduktion. Der Pilz wächst von selbst, kann aber auch gezielt gezüchtet werden. Beim Zusammenbringen der beiden Substanzen mit Wasser entsteht das eigentliche Material. Als erster Schritt wird

das Material zur Lebensmittelproduktion verwendet: es wachsen Pilze. Das Entstehen eines Fruchtkörpers bedeutet gleichzeitig, dass die Nährstoffe in der unmittelbaren Nähe verbraucht sind. Somit ist es ein guter Indikator, wann das Substrat fertig durchwachsen ist. Normalerweise wird in der Pilzzucht das Substrat nach der Verwendung entsorgt. Hier entsteht die Möglichkeit, die Pilzzucht und die Herstellung eines Pavillons zu vereinen. Danach ist das Material bereit zur Trocknung.

Wenn der Pavillon nicht mehr benötigt wird, kann er zerkleinert und kompostiert werden. Nach einiger Zeit entsteht Humus, auf dem wiederum neue Pflanzen wachsen können. Ein gewachsener Baum ist der letzte Schritt im Kreislauf und kann wieder als Ausgangspunkt für die Holzproduktion gesehen werden, die Abfälle produziert, woraus abermals die Grundlage für den Pilzwerkstoff gegeben ist.

- 
- 23 "EN 13432 - Nachweis Kompostierbarkeit" In: URL: <http://www.bioplastics.ch/EN-13432.pdf> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- 24 Michael Braungart ist ein Öko-Visionär. Seine Ideen stellen alles auf den Kopf, was wir unter Umweltschutz verstehen - Die Klugheit des Kirschbaums. In: URL: <http://www.berliner-zeitung.de/15592904> (Abrufdatum: 28.09.2017)

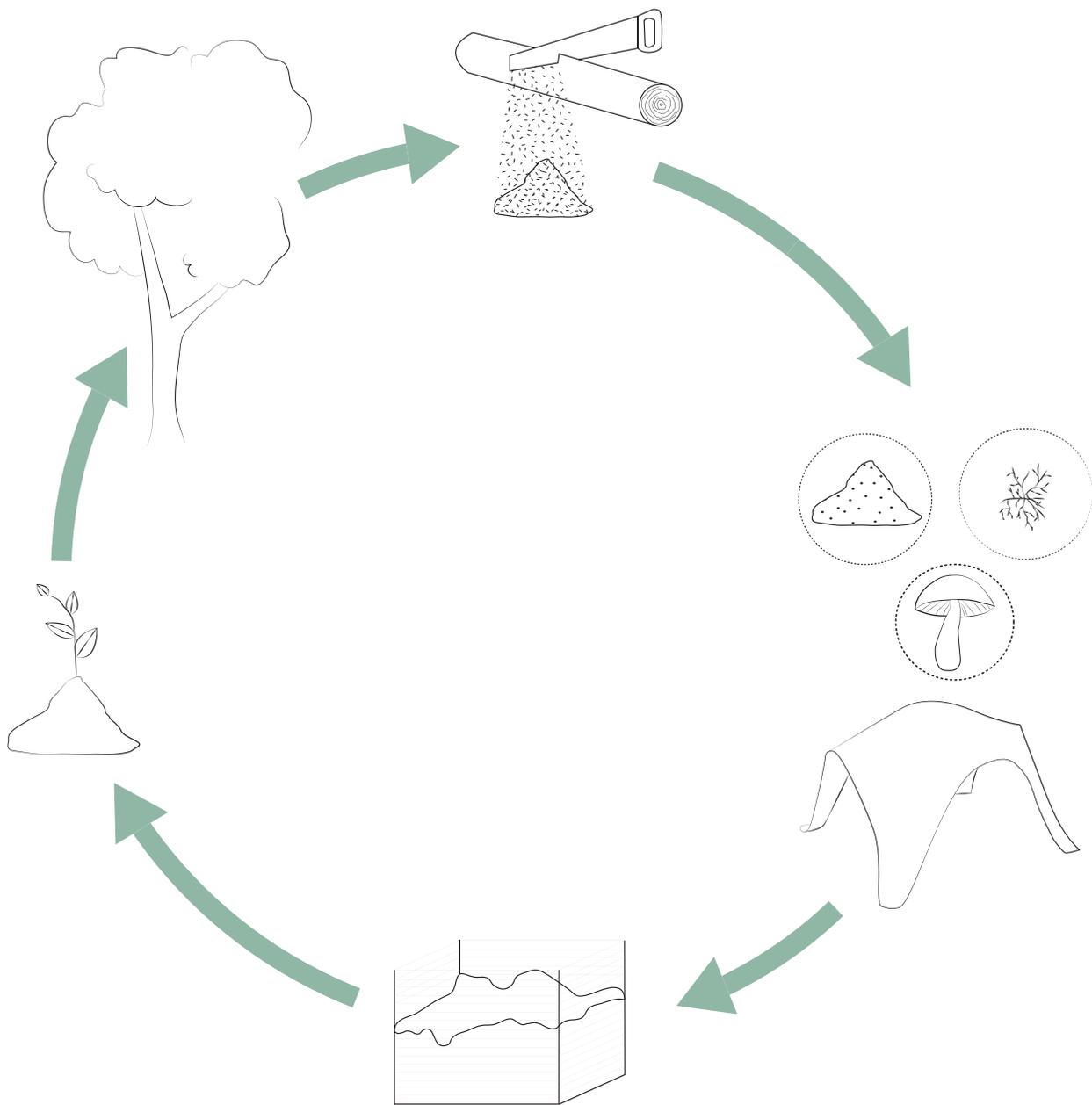


Abbildung 17: Kreislauf Mush - Room

**“Unsere Arbeit ist experimentell.  
Aber oft ist das Experiment  
wichtiger als der sichere Weg.”**  
*Mies van der Rohe*



# II. Die Grundlagen: Experimente mit Myzel

## 2.1 Methode

## 2.2 Einflussgrößen

## 2.3 Das Substrat

- Substratarten
- Substratversuche
- Substrateigenschaften
- Substratwahl

## 2.4 Der Pilz

- Pilzarten
- Pilzversuche
- Pilzwahl

## 2.5 pH- Wert

- Idealer pH - Wert
- Beimengung von Gips oder Kalk
- Wachstum durch pH - Wert beeinflussen

## 2.6 Kontaminierungen

## 2.7 Wachstumsprinzipien

- Maßstab 1
- Maßstab 2
- Maßstab 3
- Maßstab 4

## 2.8 Oberflächeneigenschaften

- Fruchtkörperausbildung
- Oberflächenästhetik
- Übergänge

## 2.9 Materialtests

- Zusammensetzungen
- Dichte
- Druckversuch
- Druckfestigkeit
- Biegeversuch
- Wasseraufnahmeversuch
- Brandversuch

## 2.10 Maßstäblichkeit

- Gleichbleibende Parameter
- Variierende Parameter

## 2.1 Methode

Das Forschungsfeld der wachsenden Architektur vereint Kompetenzen aus vielen verschiedenen Disziplinen, darunter die der Biologie, der Materialwissenschaften, der konstruktiven Qualität sowie der ästhetischen Ausgestaltung.

Die Schwierigkeit der gestellten Aufgabe besteht in der Überschneidung dieser Fachgebiete. Ein Großteil des biologischen Aufbaus sowie der besten Wachstumsbedingungen von Pilzen konnte in Literatur über Pilzzucht gefunden werden. Allerdings ist hier immer der Fokus auf den größten Ertrag der Fruchtkörper und nicht auf Materialeigenschaften wie Festigkeit, Tragfähigkeit oder Brandverhalten gelegt. Das gründet zum einen auf der Tatsache, dass biologische Prozesse noch nicht umfassend in der Architektur Fuß fassen konnten, zum anderen ist das Forschungsfeld über Myzel basierte Kompositwerkstoffe auch in der Materialwissenschaft ein sehr junges Gebiet.

Die Schnittstellen, die Möglichkeiten und die Kombination der verschiedenen Bereiche werden in dieser Arbeit durch empirische Experimente erarbeitet. Dabei beschäftigt sich Kapitel II mit den grundlegenden Materialeigenschaften und Kapitel III mit der Umsetzung in einen architektonischen Maßstab. Die Ergebnisse der Materialprüfungen werden im Anschluss der Kapiteln mit dem Stand der Forschung anderer Universitäten verglichen.

Das Arbeiten mit einem Prototyp wird als Werkzeug verwendet, um die Eigenschaften und Möglichkeiten des Pilzwerkstoffs kennen zu lernen und mit dem bis dato größten einheitlichen Objekt aus Pilzwerkstoff umzugehen.

Die daraus resultierenden Ergebnisse dienen als Grundlagen für die in Kapitel IV erarbeiteten Entwürfe. Dabei soll ein Katalog an Möglichkeiten entstehen, die mit dem entwickelten Material und dem kohärenten Verfahren realisierbar sind.

Wenn nicht anders gekennzeichnet, wurden sämtliche Versuchsreihen in Innenräumen bei Innenraumtemperaturen und entsprechenden Luftfeuchteverhältnissen durchgeführt.



Abbildung 19: Methode

## 2.2 Einflussgrößen

Unterschiedliche Parameter wie die Pilzwahl, die Substratwahl, Luftfeuchtigkeit, CO<sub>2</sub> Gehalt und Temperatur beeinflussen das Wachstum des Pilzes und somit auch das Resultat der Materialproduktion. Die Arbeitsschritte verlangen ein sauberes Arbeiten, da bei den richtigen Bedingungen nicht nur Pilze sondern auch jede Art von Bakterien und Schimmelpilzen wachsen können.

*"The key to successful cultivation is to match the skills of the cultivator with the right strain on the proper substrate under ideal environmental conditions."*<sup>25</sup>

Der Schlüssel zu einer erfolgreichen Kultivierung ist also, die Fähigkeiten des Kultivierers mit dem richtigen Stamm auf einem passenden Substrat unter idealen Umweltverhältnissen zu verbinden.

### Primäre Einflussgrößen

Als primäre Einflussgrößen werden hier die eigentlichen Bestandteile des Materials genannt. Bei einem Pilzwerkstoff ist das der Pilz selbst und das Substrat. In den folgenden Kapiteln werden die aus diesen beiden Einflussgrößen entstehenden Möglichkeiten genauer beschrieben sowie die Entscheidung begründet, mit welchen Bestandteilen schließlich weiter gearbeitet wird.

### Sekundäre Einflussgrößen

Als sekundäre Einflussgrößen werden jene Parameter beschrieben, die nicht unmittelbar an der Materialgenerierung beteiligt sind, aber trotzdem einen großen Einfluss auf die Materialcharakteristiken haben. Im Grunde regeln sie die Schnelligkeit und das kontaminierungsfreie Wachstum des Myzels.

Dabei sind Luftfeuchtigkeit, Temperatur, CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> Gehalt, das Risiko zur Kontaminierung sowie Sonneneinstrahlung zu nennen. Weiters spielt auch die Zeitspanne der Materialgenerierung eine große Rolle.

Nachdem jede Pilzart unterschiedliche Anforderungen hat, werden hier nur jene Pilze beschrieben, die für das Projekt relevant sind. Weitere Pilzarten und ihr Materialverhalten werden bereits an einigen anderen Forschungseinrichtungen untersucht. Das Forschungspotenzial und dessen Relevanz wird als sehr hoch eingestuft.

---

<sup>25</sup> vgl. Stamets, P.: Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms, 2000. S 47

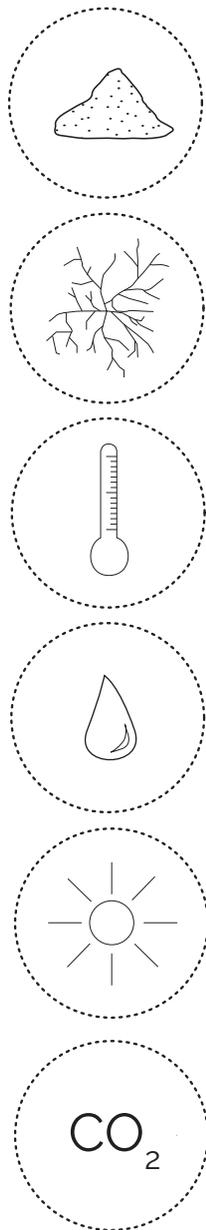


Abbildung 20: Einflussgrößen

## 2.3 Das Substrat

Grundlage für die Materialherstellung ist das Substrat und der Pilz. In diesem Kapitel geht es um das Substrat, das je nach Wahl zu einem sehr unterschiedlichen Material führen kann. Nachdem es als die strukturgebende Substanz gesehen werden kann - im Gegensatz zum Pilz selbst, der den strukturbindenden Anteil deckt - spielt das Substrat eine ganz entscheidende Rolle in der Materialherstellung.

Die hier behandelten Pilze zersetzen beinahe jedes zellulosehaltige Substrat, deswegen wurde mit einer großen Spannweite an Materialien experimentiert.

### Substratarten

Die Frage nach dem Substrat richtet sich in erster Linie an die Orte, wo Pilze in der Natur vorkommen. Abgesehen von Hölzern können Pilze aber auch viele landwirtschaftliche Abfälle und andere zellulosehaltige Materialien bewachsen. Folgende Stoffe und Abfälle eignen sich als Substrat:<sup>26</sup>

- Holz
- Papier
- Kokosnusssfasern
- Maiskolben
- Kaffeesatz
- Teeblätter
- Zuckerrohrfasern
- Schalen von Sonnenblumenkernen
- Baumwoll-, Mandel-, Soyasamen, etc...
- Baumwolle
- Hanffasern
- usw.

### Holz

Bei Holzarten werden generell Harthölzer

besser bewachsen als Weichhölzer, das liegt an dem größeren Anteil an Stärke im Splintholz, was zu einem schnelleren Wachstum des Pilzes führt.<sup>27</sup> Austernpilze und Seitlinge bewachsen sowohl Laub- als auch Nadelhölzer. Andere Pilze wie der Reishi wachsen nur auf Laubhölzern. In den Versuchen werden sowohl Nadelholz (Fichte Hobelspäne mit einer Größe von 0,5 - 3 mm) als auch unterschiedlich großes Buchenhack, also Laubholz untersucht. Holzpellets werden von Holzabfällen hergestellt und zu kleinen Stangen gepresst. Wenn sie auf Wasser treffen, quellen sie auf und können ebenfalls gemischt mit anderen Spanarten als Substrat dienen.

### Naturfaser

Nachdem Naturfasern auch hauptsächlich aus Zellulose bestehen, kommen sie ebenfalls als Substrat in Frage. Das Projekt Mycelium Tectonics, das in Kapitel 1.5 beschrieben wurde, arbeitete zum Beispiel mit Hanffasern. Vorteil bietet die relativ freie Gestaltung der Form. Nachteil ist, dass Hanffasern extra hergestellt werden müssen und nicht wie Sägespäne ein Abfallprodukt der Holzverarbeitung sind. Ähnlich wie bei der Hanffaser kann auch Baumwolle oder Jute als Substrat dienen. Der Nachteil liegt allerdings ebenfalls darin, dass Baumwolle und Jute extra hergestellt werden.

### Getrocknete Pflanzen

Für Austernseitling wird oft Stroh als bestes Substrat beschrieben. Hier kann jede Art von Stroh verwendet werden. Auch Heu kann als Substrat dienen.



Versuch 1: Baumwolle



Versuch 2: Buche klein



Versuch 3: Zeitungspapier



Versuch 4: Jute



Versuch 5: Heu



Versuch 6: Kaffeesatz



Versuch 7: Fichte



Versuch 8: Hanffaser



Versuch 9: Stroh



Versuch 10: Weizenkleie



Versuch 11: Buche groß



Versuch 12: Buche mittel

## Papier

Dort, wo keine Sägespäne zur Verfügung stehen, werden Pilze auch auf Papier gezüchtet. Nachdem Papier aus Lignin und Zellulosefasern besteht, können alle holzzeretzende Pilze auch Papier zersetzen.

## Nebenprodukte

Sonstige Nebenprodukte der Lebensmittelherstellung fallen bei der Getreideverarbeitung, Bierherstellung, Kaffeeindustrie, etc. an. Weizenkleie, Treber und Kaffeesatz bilden ebenfalls Substrate für die meisten Pilze.

## Substratversuche

In Versuch 1-12 sind die Ausgangsstoffe abgebildet, mit denen Experimente durchgeführt wurden. Sie sind jeweils an Tag 1, Tag 3 und Tag 7 fotografiert worden.

Es kann strukturell zwischen Fasern, Spänen und Granulat unterschieden werden.

## Faserstoffe

Hanffaser wurde gut bewachsen und hat keinen unangenehmen Geruch oder andere Auffälligkeiten. Die Hanffaser ist im Gegensatz zu anderen Substratarten sehr leicht und lässt sich im Nachhinein zusammendrücken, weswegen sich keine ausreichende Festigkeit für ein Baumaterial ergibt. Nachdem Hanffaser industriell gefertigt wird und nicht wie Sägespäne als Abfallprodukt entsteht, wird es zunächst nicht in die engere Auswahl gezogen. In anderen Formen (Seilen, Textilien, etc.) könnte es allerdings aufgrund von der raschen Durchwachsung als Grundmaterial gut dienen. Ähnlich wie Hanffaser ist auch Baumwolle ein Produkt im Bereich der Naturfasern und

wird künstlich hergestellt. In der Pilzzucht werden beispielsweise oft die Hülsen der Baumwollsaamen verwendet, da diese einen sehr hohen Zellulosegehalt aufweisen. Nachdem Baumwolle wie Hanffaser extra hergestellt wird, dient es hier ebenfalls nicht als Grundmaterial, könnte aber gut verwendet werden.

## Späne

Buchenholz wird in unterschiedlichen Größen schnell und ohne Kontaminierung bewachsen. Größeres Buchenhack stellt sich als instabiler als kleines heraus. Stroh entwickelt nach einer Weile einen auffälligen Fäulegeruch. Es wird zwar bewachsen, aber ergibt im Nachhinein keine ausreichende Festigkeit. Im Versuch ist eine nicht näher erkennbare Pflanze gewachsen, was als Kontaminierung gilt. Heu ergibt ebenfalls einen starken Fäulegeruch. Auffällig ist, dass alle Proben kontaminiert waren. Das Holzgranulat Ameco, das vor allem als Einstreu für Tiere verwendet wird, durchwächst gut, hat aber wie die Hanffaser keine ausreichende Stabilität. Im Versuch mit Hobelspänen aus Fichtenholz ist zunächst ein sehr rasches Wachstum sichtbar. Der Pilz dringt durch die Poren gut bis in das Innere des Materials ein, bringt allerdings ebenfalls zu wenig Stabilität zusammen.

## Granulat

Auf Weizenkleie wächst Myzel mit ausgeprägtem Rand über die gesamte Oberfläche, dringt aber bei genauerer Betrachtung nicht in das Material ein, da es eine zu geringe Porosität besitzt. In Wasser getränkte Holzpellets zersetzen sich und verhalten sich gleich wie Weizenkleie.

Kaffeesatz ist ein beliebtes Substrat in der Pilzzucht. Oberflächlich hat sich der Pilz rasch vermehrt, in die Tiefe ist er aufgrund mangelnder Porosität ebenfalls nicht eingedrungen. Treber ist als Brauabfall ähnlich der Weizenkleie. Das sehr langsame Wachstum kann daher resultieren, dass es im Vergleich zu den anderen Versuchen weniger Zellulosegehalt enthält.

---

26 vgl. Stamets, P.: Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms, 2000. S 46

27 vgl. ebd. S 47



Versuch 13: Hanffaser Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 14: Weizenkleie Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 15: Baumwolle Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 16: Stroh Tag 1, Tag 3, Tag 7



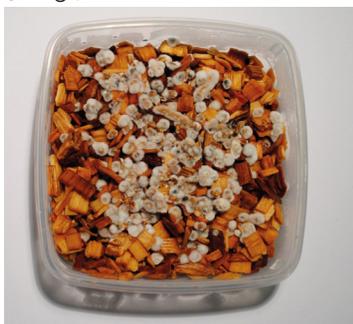
Versuch 17: Fichte Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 18: Holzpellets Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 19: Buche klein Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 20: Buche groß Tag 1, Tag 3, Tag 7

## Substrat- eigenschaften

Drei Parameter beeinflussen ganz wesentlich das Substrat: Feuchtigkeit, pH-Wert und die strukturelle Zusammensetzung bzw. Fasergröße. Daneben sind die Nährstoffe, die Kontaminierungsanfälligkeit und die Luftzusammensetzung ebenfalls an einem guten Substrat beteiligt.

### Fasergröße

Die Fasergröße und Beschaffenheit des Substrats hat unmittelbare Auswirkung auf das Aussehen des Werkstoffs. Nur Granulat wird vollständig überwachsen und ist schließlich unter dem Myzelteppich nicht mehr sichtbar. Alle Faser- und Spanarten bleiben zu einem Teil im Aussehen enthalten. Die Oberflächenästhetik und Beschaffenheit wird im Kapitel 2.8 behandelt.

Pilzwerkstoffe aus rein größerem Buchenhack haben sich als sehr porös und instabil herausgestellt. Das Myzel kann die große Spannweite zwischen den einzelnen Objekten nicht überbrücken. Ist die Körnung zu klein und

sandähnlich, bildet sich Myzel rund um das Substrat und dringt nicht in das Material selbst ein.

Feines Sägemehl begünstigt das Myzel, schnell zu wachsen. Größere Sägespäne sind konzentrierte Nährstoffinseln, wo sich das Myzel oft in seiner Form verändert. Hier wächst es aggressiv und verdickt. Die Substratstruktur beeinflusst also nicht nur die Schnelligkeit des Wachstums sondern auch die Form des Myzelnetzwerks.<sup>28</sup> Eine Mischung zwischen unterschiedlichen Korngrößen ist anzustreben.

### Nährstoffe

Pilze ernähren sich je nach Art sehr unterschiedlich. Während manche Pilze jede Sorte von Abfällen ausnutzen, bevorzugen andere ganz spezifische Arten und Gattungen von Pflanzen. Nachdem in dieser Arbeit mit holzersetzen Pilzen gearbeitet wird, entscheidet der Zelluloseanteil des Substrats über die Nahrhaftigkeit und somit auch über die Wachstumsrate des Myzels. Zellulose ist der Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände und somit die häufigste organische Verbindung. Zellulosereiche Stoffe wie Holz, Baumwolle



Versuch 21: Kaffeesubstrat: Porösität 1



Versuch 22: Kaffeesubstrat Porösität 2

und Hanffaser werden schneller zersetzt als zellulosearme Substrate wie Treber oder Weizenkleie.

### Feuchtigkeit

Um eine hohe Feuchtigkeit im Substrat zu gewährleisten, kann das Substrat über Nacht in Wasser getränkt werden. In den Versuchen hat sich herausgestellt, dass bei Buchenhack auch wenige Stunden im Wasser ausreichend sind. Ist es allerdings trocken, wächst das Myzel nicht. Wenn beim Einbringen des Substrats in die Schalung darauf geachtet wird, dass ein ausreichender Wassergehalt vorliegt, sorgt die abgebende Feuchtigkeit während des Durchwachsens innerhalb der Schalung für eine hohe Luftfeuchtigkeit. Eine zusätzliche Befeuchtung ist somit folglich selten notwendig.

### Kontaminierungsanfälligkeit

Verschiedene Substrate haben eine höhere Kontaminierungsanfälligkeit als andere. Dem kann entgegen gewirkt werden, indem das Substrat vorher abgekocht, gedämpft oder mit Wasserstoffperoxid durchgespült wird.

### Luft

Während der Phase des Durchwachsens ist ein hoher CO<sub>2</sub> Gehalt förderlich. Für den Sommerseitling wird ein CO<sub>2</sub> Gehalt von über 5.000 ppm während dem spawn run empfohlen.<sup>29</sup>

### Licht

Sonnenlicht ist während des Durchwachsens fernzuhalten. Um eine Fruchtung zu provozieren, benötigt der Pilz aber nach dem spawn run sowohl zur Primordien Formation als auch zur Entwicklung von Fruchtkörper leichtes Sonnenlicht (1000-1500 Lux).<sup>30</sup>

---

28 vgl. Stamets, P.: Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms, 2000. S 54  
 29 vgl. ebd. S 319  
 30 vgl. ebd. S 319

## Substratwahl

In Diagramm 2 sind die jeweiligen Substrate und die Bewertung ihrer Eigenschaften aufgelistet. Dabei gilt 0 als niedrigster Wert und bedeutet die Abwesenheit der jeweiligen Eigenschaft.

In Diagramm 3 sind die Werte der Eigenschaften pro Substrat aufgelistet. Zu sehen ist, dass Buche die besten Werte belegt, gefolgt von Baumwolle, Hanffaser sowie Stroh und Fichte.

Aus diesen Gründen ist die Wahl auf ein Substrat aus Buchensägespänen gefallen. Neben der Fichte und der Kiefer ist es das meist verwendete Industrieholz und wird auch für viele Spezialzwecke verwendet. Neben dem Möbelbau, zur Herstellung von Paletten und für Span- und Faserplatten wird es auch für die Papier- oder Zellstoffherstellung verarbeitet. Aufgrund der guten Brennbarkeit dient es außerdem als Brennholz und als Ausgangsstoff für Holzkohle.

## Fasergröße

Eine unterschiedliche Fasergröße stellt die Porosität sicher. Die weiteren Versuche werden mit folgender Mischung durchgeführt:

- 40% Buchenhack groß: 4 - 12 mm
- 40% Buchenhack klein: 0,75 - 3 mm
- 20% Sägemehl Buche: 0,5 - 1 mm

Substrat	Eigenschaften		
	Porosität	Stabilität	Kontaminierung
1 Hanffaser	8	6	10
2 Weizenkleie	1	1	5
3 Baumwolle	8	6	10
4 Holzgranulat	6	2	8
5 Fichte	5	4	10
6 Holzpellets	2	2	10
7 Buche	10	9	10
8 Stroh	10	6	3
9 Heu	8	1	1
10 Kaffee	1	1	10
11 Treber	2	1	10

Diagramm 2: Substrateigenschaften Ergebnisse 1

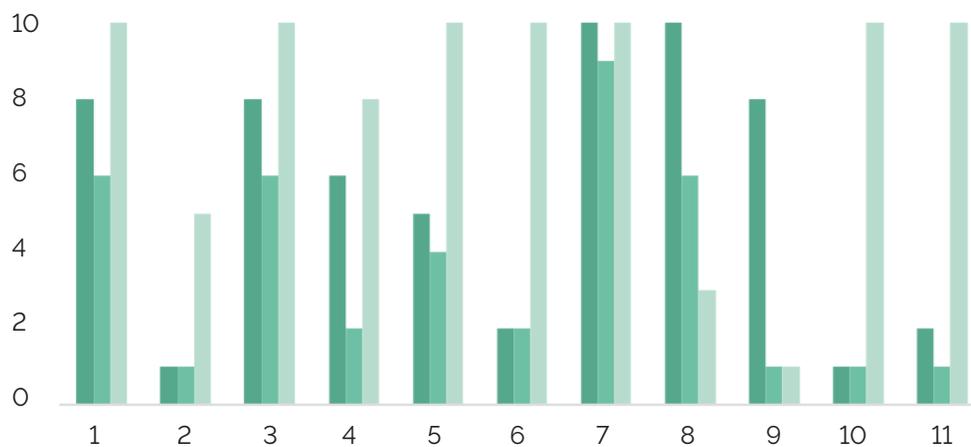


Diagramm 3: Substrateigenschaften Ergebnisse 2

## 2.4 Der Pilz

### Pilzarten

Vier verschiedene Pilze wurden zur Auswahl herangezogen, mit denen in Referenzprojekten Pilzwerkstoffe hergestellt wurde.

#### Austernseitling

Der Austernseitling mit dem lateinischen Namen *Pleurotus Ostreatus* ist ein leicht zu kultivierender Speisepilz mit europäischer Heimat. Er wächst auf vielen unterschiedlichen Substraten wie Holz, Stroh, Kaffeesud oder Getreideabfällen. Er benötigt eine durchschnittliche Temperatur von 24°C, allerdings existieren viele wilde Formen in der Natur, die auch leichten Frost überstehen. Um einen Fruchtkörper ausbilden zu können benötigt der Austernseitling einen Temperaturabfall auf ungefähr 10-21°C. Die erste Durchwachungsphase dauert 12-21 Tage, Primordien werden nach weiteren 3-5 Tagen entwickelt, Fruchtkörper nach anschließenden 4-7 Tagen, falls der CO<sub>2</sub> Gehalt abnimmt und genügend Tageslicht auf das Substrat fällt.<sup>31</sup>

#### Kräuterseitling

Der Kräuterseitling, auch *Pleurotus eryngii*, ist ebenfalls ein leicht zu züchtender Speisepilz, der im Gegensatz zum Austernseitling nur auf Hartholz oder Stroh wächst. Die Ansprüche an die Temperatur sind sehr ähnlich wie beim Austernseitling, auch die Wachstumsphasen sind beinahe ident. Die erste Phase dauert 12-16 Tage, Primordien werden nach weiteren 4-5 Tagen gebildet und der Fruchtkörper nach anschließenden 4-8 Tagen.<sup>32</sup>

#### Lungenseitling oder Sommerseitling

Der *Pleurotus pulmonarius* ist vom Austernseitling nur sehr schwer zu unterscheiden. Oft ist der Sommerseitling jedoch eher in höheren Lagen zu finden. Im Gegensatz zu den beiden vorher erwähnten Pilzarten dauert die erste Wachstumsphase nur 8-14 Tage, die zweite 3-5 Tage sowie die Fruchtkörperausbildung 3-5 Tage. Für die Myzelbildung ist eine Temperatur von 24-29°C angegeben, anschließend ein Abfall auf 10-24°C.<sup>33</sup>

#### Glänzender Lackporling

Der Pilz mit vielen unterschiedlichen Bezeichnungen wie Ling Chi, Mannentake und Reishi trägt den lateinischen Namen *Ganoderma lucidum*. Als holzersetzender Pilz wächst er vor allem auf Eichen und anderen Laubhölzern. Mit 10-20 Tagen und anschließenden 14-28 Tagen braucht er wesentlich länger, um Primordien auszubilden. Fruchtkörper entstehen nach weiteren 60 Tagen, hier liegt also ein klarer Unterschied. Der Reishi ist kein üblicher Speisepilz, gilt allerdings als Heilpilz.<sup>34</sup> Er wird in die Forschung miteinbezogen, da in einigen Projekten ebenfalls mit diesem Pilz gearbeitet wurde.

---

31 vgl. Stamets, P.: *Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms*, 2000. S 46

32 vgl. ebd. S 308 ff

33 vgl. ebd. S 316 ff

34 vgl. ebd. S 352 ff



Abbildung 21: Austernseitling



Abbildung 22: Kräuterseitling



Abbildung 23: Sommer- oder Lungenseitling



Abbildung 24: Reishi

## Pilzversuche

Der Austerseitling, der Sommerseitling und der Kräuterseitling gehören alle drei zu den Seitlingsverwandten.

In Versuch 23 ist das Wachstum des Austerseitling - Myzels in den Abständen Tag 1, Tag 3 und Tag 7 zu sehen. Das Substrat wird schnell und gut durchwachsen, Kontaminierungen fallen keine an.

In Versuch 24 ist das Wachstum des Sommerseitlings ersichtlich. Das Myzel wächst von den vier geprobten Pilzsorten am schnellsten und am aggressivsten. Es werden keine Kontaminierungen sichtbar.

In Versuch 25 ist das Wachstum des Reishi Pilzes zu sehen. Er wurde in vielen Projekten mit Pilzwerkstoffen verwendet und bildet ein etwas festeres Myzel als die Seitlingsverwandten aus. Allerdings wird diese Probe mit einer Schimmelart kontaminiert. Um zu vermeiden, dass das nur aus Zufall passiert, werden zwei weitere Proben mit Reishi getestet, die ebenfalls kontaminieren.

Der vierte Versuch stellt das Wachstum mit dem Kräuterseitling dar. Er wächst etwas weniger aggressiv als der Sommer- und Kräuterseitling und bildet in einer von vier Proben Kontaminierungen aus.

## Pilzwahl

Nachdem der Reishi in jeder Probe kontaminiert wird, wird der Schluss gezogen, dass er nur im Labor auf richtige Art und Weise gezüchtet werden kann. Der Kräuterseitling wächst im Gegensatz zu den anderen beiden Seitlingsverwandten deutlich am langsamsten.

Nachdem der Sommerseitling höhere Temperaturen bevorzugt und die Experimente im Sommer durchgeführt werden, spricht die Wahl für den Sommerseitling. Aufgrund der Schnelligkeit des Myzelwachstums sowie seiner geringen Kontaminierungsanfälligkeit wird schließlich für die weitere Bearbeitung der Sommerseitling gewählt.



Versuch 23: Austernseitling Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 24: Sommerseitling Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 25: Reishi Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 26: Kräuterseitling Tag 1, Tag 3, Tag 7

## 2.5 pH - Wert



Versuch 27: pH - Wert 1



Versuch 28: pH - Wert 2



Versuch 29: pH - Wert 3

Der pH - Wert ist ein Maß für den sauren oder basischen Charakter einer Flüssigkeit. Pilze benötigen ein neutrales bis basisches Substrat. In der Versuchsreihe mit Essig ist zu sehen, dass bei einem pH - Wert von 3,5 kein weiteres Myzel entstanden ist. Beim Versuch Myzel auf Wasserbasis wachsen zu lassen, wurde ein pH-Wert von 7 gemessen, das Substrat ist also neutral. Der dritte Versuch basiert auf einer Mischung zwischen Buchenhack und Seifenwasser und ergab bei der Messung einen pH - Wert von 9, also basisches Substrat. Wie bei Versuch 32 zu sehen, ist ein rasches Wachstum bei basischem pH-Wert voran geschritten.

### Idealerer pH - Wert

Insgesamt kann also der Schluss gezogen werden, dass der Pilz bei einem hohen pH - Wert sehr gut wächst. Das Problem ist allerdings, dass sich nicht nur der Pilz, sondern auch andere Bakterien und Schimmel leichter vermehren können. Darum kann einerseits ein hoher pH - Wert den Ertrag steigern, andererseits muss gleichzeitig auch sauberer gearbeitet werden.

### Beimengung von Gips oder Kalk

Gips oder Kalk wird oft zu Substraten beigemischt, weil es einen leicht stabilisierenden Effekt auf den pH-Wert hat und das Wachstum von Myzel fördern kann.<sup>35</sup> In den durchgeführten Versuchen wurden aber keine besseren Resultate erzielt, beziehungsweise sogar ein hohes Kontaminierungsrisiko wahrgenommen. Um weitere Kontaminierungen zu vermeiden, wurde in den folgenden Schritten weder Gips, noch Kalk dem Substrat beigemischt.

35 vgl. Stamets, P.: Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms, 2000. S 198



Versuch 30: Essigbasis, pH Wert: 3,5: Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 31: Wasserbasis, pH Wert: 7: Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 32: Seifenbasis, pH Wert: 9: Tag 1, Tag 3, Tag 7



Versuch 33: Versuchsreihe Gips, 1/2 TL: Tag 1, Tag 7, Tag 14



Versuch 34: Versuchsreihe Gips, 1 TL: Tag 1, Tag 7, Tag 14



Versuch 35: Versuchsreihe Gips, 2 TL: Tag 1, Tag 7, Tag 14



Versuch 36: Versuchsreihe Kalk, 1/2 TL: Tag 1, Tag 7, Tag 14



Versuch 37: Versuchsreihe Kalk, 1 TL: Tag 1, Tag 3, Tag 7, Tag 14



Versuch 38: Versuchsreihe Kalk, 2 TL: Tag 1, Tag 3, Tag 7, Tag 14

## Wachstum durch pH- Wert beeinflussen

Bei folgender Versuchsreihe wurde versucht das Wachstum mit einem niedrigen pH - Wert zu beeinflussen. Dazu wurde in Form von einem vertikalen Strich Essig über das Substrat geschüttet.

Essig hat einen sehr niedrigen pH- Wert, ist also sauer und hemmt somit das Wachstum der Pilze.

Zunächst wächst der Pilz nur dort, wo das Substrat nicht in Berührung mit dem Essig kam. Später breitet er sich jedoch aus und übernimmt die gesamte Fläche.



Versuch 39: pH - Wert, Essig 1



Versuch 40: pH - Wert, Essig 2



Versuch 41: pH - Wert, Essig 3

## 2.6 Kontaminierung

*"A contamination is anything you don't want to grow"*<sup>36</sup>

Eine Kontaminierung ist demnach alles, was nicht wachsen soll. Somit ist zum Beispiel das Wachsen eines Champignons in einer Austernpilzzucht eine Kontaminierung. Abgesehen davon kann bei Pilzwerkstoffen in strukturzerstörende und nicht strukturzerstörende Kontaminierungen unterschieden werden. Wächst eine andere Pilzsorte oder eine Pflanzenart, hat das meistens keine direkte Auswirkung auf das Materialverhalten. Wächst allerdings eine Schimmelart, ist der Pilzwerkstoff an dieser Stelle nicht vollkommen mit dem Myzel durchwachsen und hat somit eine Schwachstelle. Die häufigsten Kontaminierungen sind Pinselschimmel. Man erkennt ihn daran, dass er grün gefärbt ist. Weiters ist das Myzel von Austernseitlingen oft eine Brutstätte für Obstmücken. Farbige Veränderungen lassen meistens auf einen Bakterien- oder Schimmelbefall schließen. Ausnahme ist ein leichter Gelbstich, der durch normalen Stoffwechsel des Pilzes entstehen kann. Ein unangenehmer Geruch ist ebenfalls ein Indiz auf einen Befall, da vollständig durchwachsenes Substrat neutral riecht. Sollte nur ein oberflächlicher Schimmelbefall vorhanden sein, kann der Pilzwerkstoff mit Alkohol oder Wasserstoffperoxid abgetupft werden. Ist er bis in das Innere des Materials vorgedrungen, kann ein weiteres Ansetzen von frischem Myzel helfen, das den Schimmel möglicherweise überwächst (siehe Kapitel 2.6). Schlimmstenfalls sollte das gesamte Wachstum gestoppt werden, um zumindest bereits durchwachsene Teile des Pilzwerkstoffs zu retten.



Versuch 42: Kontaminierung 1



Versuch 43: Kontaminierung 2



Versuch 44: Kontaminierung: Pinselschimmel

<sup>36</sup> vgl. Stamets, P.: Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms, 2000. S 81

## 2.7 Wachstumsprinzipien

Die Wachstumsprinzipien des Myzels wurden in vier unterschiedlichen Maßstäben untersucht. Der erste Maßstab zeigt das mikroskopische Wachstum und ist somit mit freiem Auge nicht oder kaum sichtbar.

Der nächste Maßstab zeigt den sichtbaren Bereich, da sich kugelförmige Myzelballen oft über einige Zentimeter erstrecken.

Maßstab 3 zeigt das Wachstum, das in der ersten Woche passiert. Die Größe der bewachsenen Objekte sind ungefähr faustgroß.

Der letzte Maßstab ist die Simulation des Wachstums in größeren Strukturen, um schließlich einen Pavillon ausgestalten zu können.

### Maßstab 1

Hyphen verlängern sich vor allem direkt hinter der Spitze, wo in wechselnden Abständen Ausstülpungen entstehen, die sich weiters zu Seitenhyphen entwickeln und sich wieder teilen können.<sup>37</sup> Dieser Eigenschaft des Wachstums wird apikal bezeichnet und ist in Abbildung 25 dargestellt. Die Hyphen bilden bald ein Netzwerk, das in ihrer Gesamtheit als Myzel bezeichnet wird.

Im Winter bildet das Myzel sogenannte Sklerotien aus, das sind verdickte Myzelknoten, die sich verhärten und bei Feuchtigkeit wieder weicher werden und fruchten können.<sup>38</sup>

Bei der Expandierung von Myzel fallen viele Beiprodukte ab. So wird Hitze und Kohlendioxid in großen Mengen produziert.

Das Myzelnetzwerk wächst solange weiter, bis es zu den Grenzen des Substrats kommt oder

keine Nährstoffe mehr vorhanden sind.

- 
- 37 vgl. Müller, E., Löffler, W.: Mykologie, 1992. S 21 ff.  
38 vgl. ebd. S 26

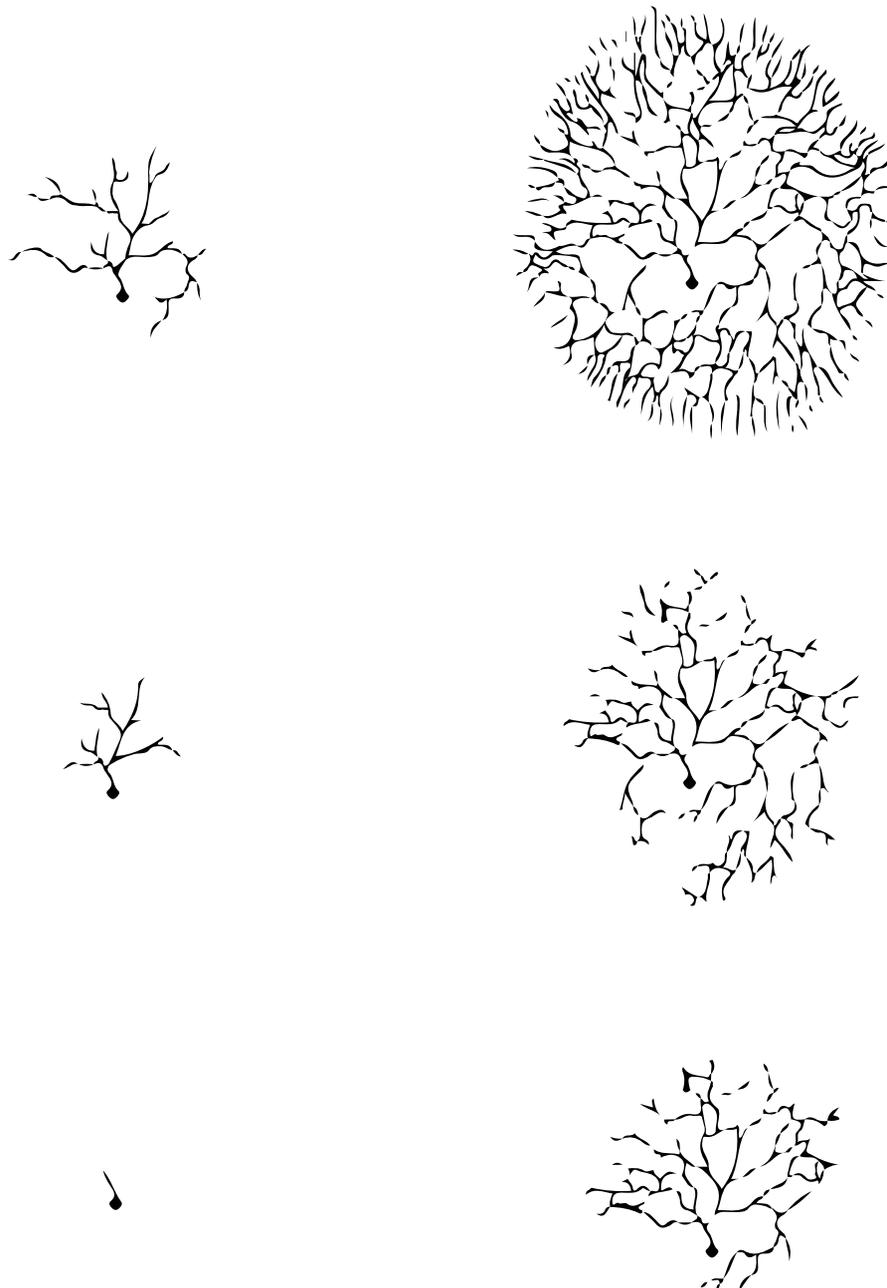


Abbildung 25: Wachstum des Myzels im mikroskopischen Bereich

## Maßstab 2

Für die Versuchsreihe über das Wachstum wurde ein Stück Austerseitling abgeschnitten und in einer Agar Lösung in eine Petri Schale gelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Stück des Austerseitlings so steril wie möglich abgeschnitten wird.

Bereits ab Tag 3 kann ein Wachstum gleichmäßig in alle Richtungen beobachtet werden.

Tag 10 zeigt, dass der Pilz zuerst in alle Richtung wächst und sich das Myzel danach erst verdickt.

Das Wachstum in alle Richtungen wird in der Pilzzucht als vegetatives Wachstum bezeichnet. Das vegetative Wachstum kann sehr lange andauern. Hyphen können rein theoretisch unendlich weiterwachsen, solange genug Nährstoffe vorhanden sind. Der größte einheitliche Pilz ist ein Hallimasch und breitet sich in Arizona über 900 Hektar seit 2400 Jahren aus.<sup>39</sup>

Dabei ist das Wachstum nicht chemotrop, das bedeutet es breitet sich nicht in Richtung von Nahrungsquellen aus, sondern bevorzugt die Ausbreitung gleichmäßig in alle Richtungen.

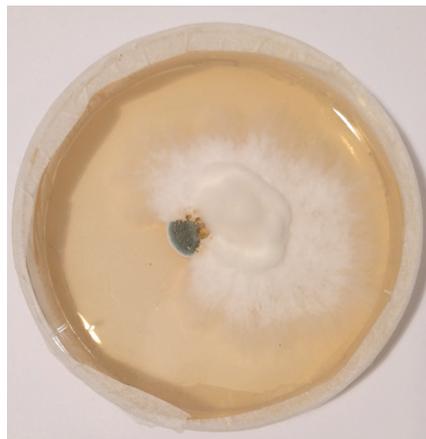
Der grüne Bereich in der Probe zeigt ein Schimmelwachstum des Pinselschimmels. Das Myzel des Austerseitlings ist allerdings derart aggressiv, dass es den Schimmel förmlich überwächst und schließlich am Tag 23 nicht mehr sichtbar ist.

---

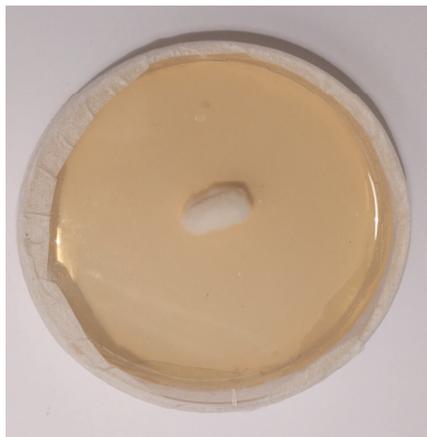
<sup>39</sup> vgl. Der größte Organismus der Welt. In: URL: <https://www.welt.de/print-welt/article526936/Der-groesste-Organismus-der-Welt.html> (Abrufdatum 10.09.2017)



Versuch 45: Wachstum Tag 1



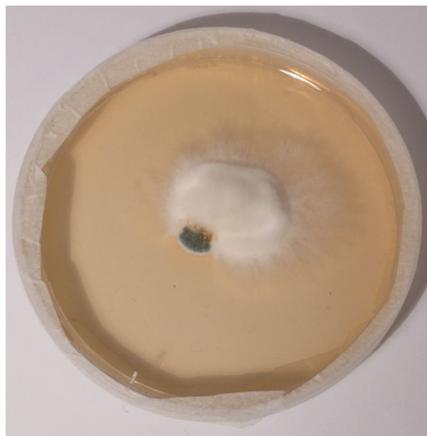
Versuch 48: Wachstum Tag 12



Versuch 46: Wachstum Tag 3



Versuch 49: Wachstum Tag 15



Versuch 47: Wachstum Tag 10



Versuch 50: Wachstum Tag 23

Grundsätzlich kann zwischen Luft- und Substratmyzel differenziert werden. Luftmyzel breitet sich an der Oberfläche gleichmäßig aus, Substratmyzel wächst in das Material hinein und verzweigt sich.

Abhängig von den konzentrierten Nährstoffen kann das Luftmyzel unterschiedlich ausgebildet werden. Teile können verdickt oder rein vegetativ auftreten.

Der Unterschied zwischen Luft- und Substratmyzel wird in Abbildung 26 dargestellt. Während sich das Luftmyzel auf der Oberfläche kugelförmig ausbreitet, dringt das Substratmyzel in das Material ein und bindet die Einzelteile der Sägespäne aneinander.

Die in Abbildung 27-32 gezeigte langsame Verdichtung des Luftmyzels endet in einem oberflächlichen Teppich, das sich über das Substrat zieht. Ein durchgehender Myzelteppich stellt einerseits einen Schutz für den Pilzwerkstoff dar, andererseits wirkt er auch anders als die Sägespäne schützend bei Brandgefahr.

Sind Löcher in der Oberfläche vorhanden, kann Flüssigkeit leichter in das Material eindringen.

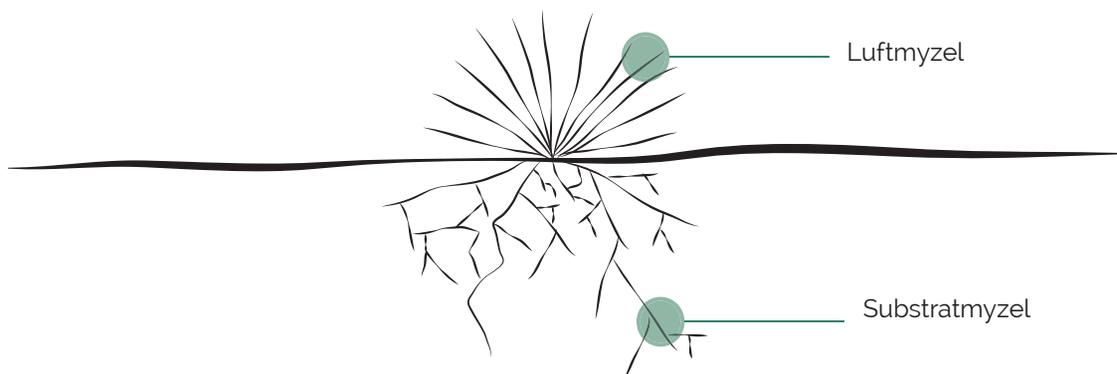


Abbildung 26: Luft- und Substratmyzel

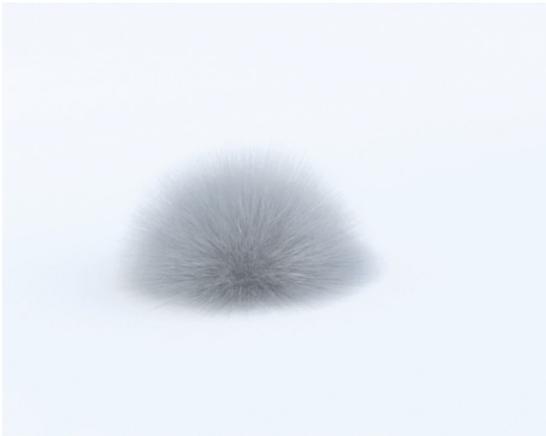


Abbildung 27: Luftmyzel 1

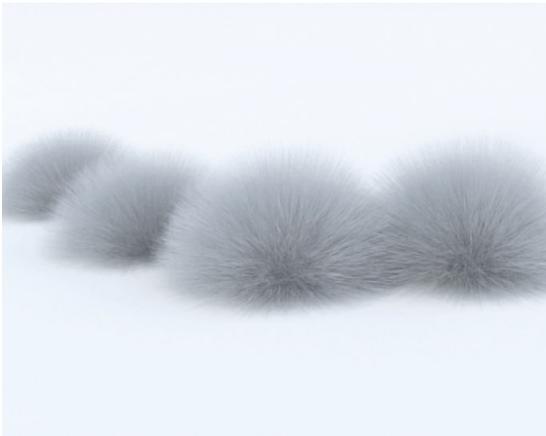


Abbildung 30: Luftmyzel 4

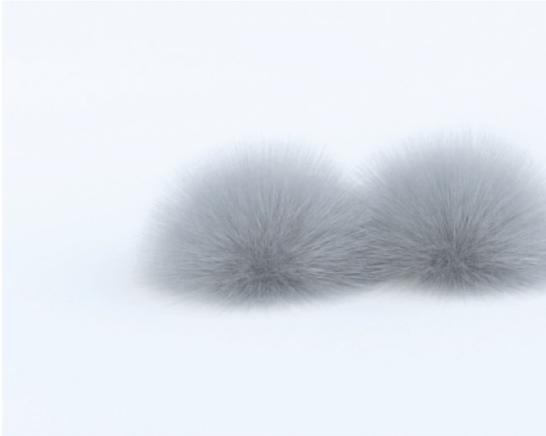


Abbildung 28: Luftmyzel 2

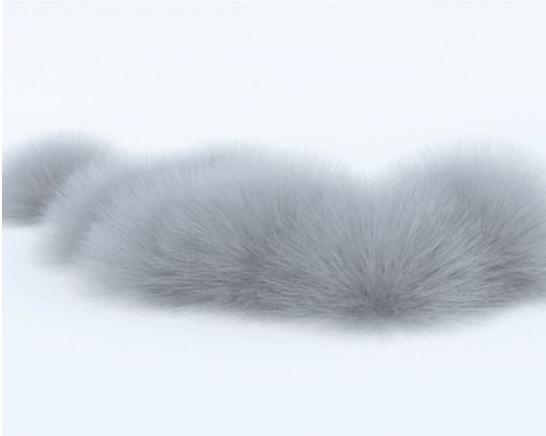


Abbildung 31: Luftmyzel 5



Abbildung 29: Luftmyzel 3



Abbildung 32: Luftmyzel 6

## Maßstab 3

Um herauszufinden, in welche Richtungen der Pilz in einem größeren Maßstab wächst, wurde ein kleiner Kunststoffsack mit Substrat gefüllt und in die Mitte ein kleines Stück Myzel gelegt. Einmal wurde das Experiment mit großen und einmal mit kleinen Buchensägespäne durchgeführt.

Nach 5 Tagen wurden die Proben aufgemacht, um nachzusehen, wie weit der Pilz bereits gewachsen ist. In beiden Fällen hat sich das Myzel durch die Hohlräume durchgewachsen und in ein ellipsoides Objekt verwandelt.

Durch Tastversuche konnte festgestellt werden, dass die Probe mit den kleinen Spänen um einiges fester erscheint als das Experiment mit den großen Buchenspänen. Das kann daran liegen, dass das Myzel nicht in der Lage ist, die größeren Lufteinschlüsse zwischen den Sägespäne zu überbrücken.

Es wird generell der Schluss gezogen, dass sich das Myzel auch in größeren Maßstäben gleichmäßig in alle Richtungen ausbreitet.



Versuch 51: Wachstum 1



Versuch 54: Wachstum 4



Versuch 52: Wachstum 2



Versuch 55: Wachstum 5



Versuch 53: Wachstum 3



Versuch 56: Wachstum 6

## Maßstab 4

Umgelegt auf größere Objekte bedeutet das, dass die einzelnen kugelförmig gebundenen Kugeln aus Sägespänen dort entstehen, wo Myzel im Material auftritt. Das bedeutet in der Theorie, dass man eine Form herstellen könnte, wo nur an gewissen Punkten Myzel auftritt und diese somit stabil wird. In der Praxis hat sich allerdings herausgestellt, dass Sägespäne nach einer gewissen Zeit gären und deshalb nicht nass bleiben dürfen.

Aus diesem Grund wird mit einer gleichmäßigen Verteilung des Myzels weiter gearbeitet. Abbildung 33-38 zeigt die Entwicklung eines Quaders, wo zunächst kleine kugelförmige Verbindungen entstehen, die schließlich größer werden und sich verbinden.

Erst in Abbildung 38 haben sich die einzelnen durchwachsenen Bereiche zu einem einheitlichen Objekt geformt. Der Quader ist komplett durchwachsen und nimmt somit eine stabile Form an.



Abbildung 33: Wachstum 1

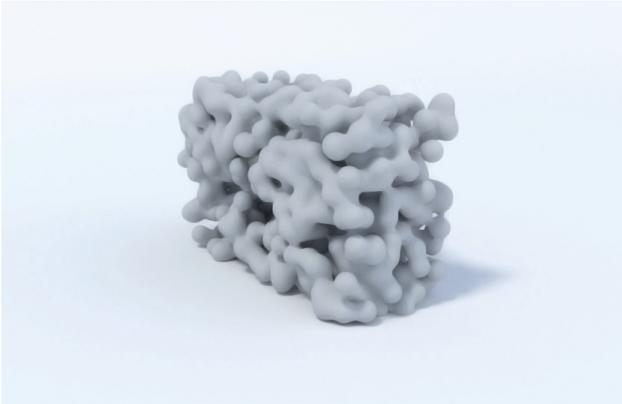


Abbildung 36: Wachstum 4



Abbildung 34: Wachstum 2

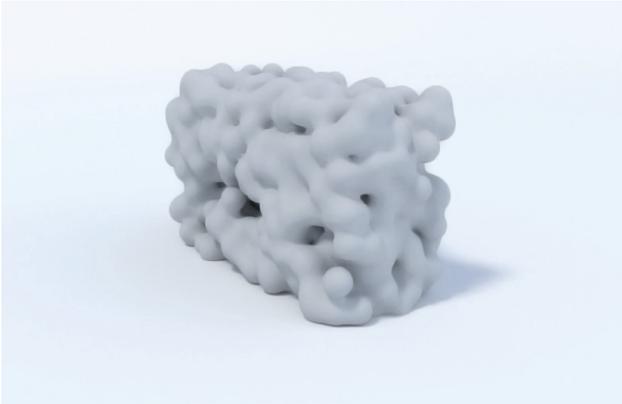


Abbildung 37: Wachstum 5

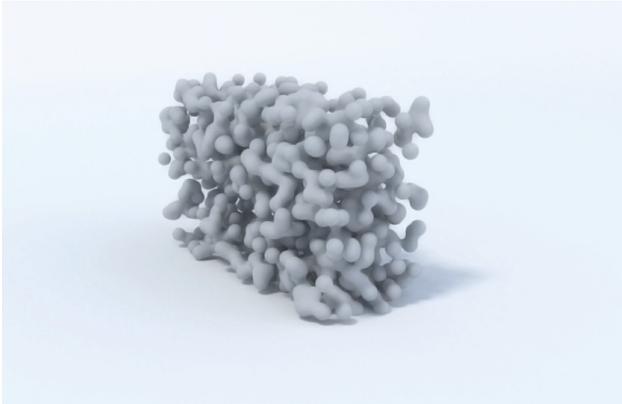


Abbildung 35: Wachstum 3

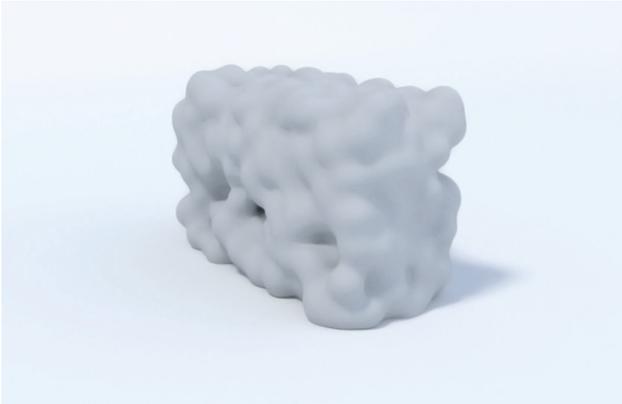


Abbildung 38: Wachstum 6

## 2.8 Oberflächeneigenschaften

### Fruchtkörperbildung

Für die Fruchtkörperbildung, die in der Regel außerhalb des Substrats auftritt, spielt vor allem die Feuchtigkeit eine wichtige Rolle. Außerdem braucht der Austernseitling für die Fruchtkörperausbildung eine geringere Temperatur als beim spawn run.<sup>40</sup>

Bei dem Versuch, Fruchtkörper zu erzeugen, wurden zunächst korallenförmige Bildungen beobachtet, die sich aus dem Myzel entwickelten. Diese entstehen bei einem zu hohen CO<sub>2</sub> Gehalt. Als dem Pilzsubstrat mehr Sauerstoff, Licht und eine kühlere Temperatur zur Verfügung gestellt wurden, wuchsen Fruchtkörper innerhalb ein paar Tage.

Das Wachstum der Fruchtkörper gliedert sich in folgende Phasen:<sup>41</sup>

Myzel: Labor: 8-14 Tage  
Experimente: 10 - 30 Tage  
Trophophase

Primordien: Labor: 3-5 Tage  
Experimente: 3-5 Tage  
Idiophase

Fruchtkörper: Labor 3-5 Tage  
Experimente: 3-5 Tage  
Idiophase

Oft sind alle drei Formen gleichzeitig sichtbar. Kapitel III zeigt anhand des Prototyps das Wachstum in seinen verschiedenen Stadien.



Versuch 57: Myzel



Versuch 58: Primordien 1



Versuch 59: Primordien 2

40 vgl. Stamets, P.: Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms, 2000. S 316

41 vgl. ebd. S 65



## Oberflächenästhetik

Die Oberflächenästhetik hängt vom Substrat und Wachstumsphase sowie von dem Zustand ab, ob das Material trocken oder feucht ist.

Generell kann zwischen einer flaumartigen, buschigen und einer glatten Oberfläche unterschieden werden. Die glatte Oberfläche entsteht nach der Trocknung oder auch wenn Flüssigkeit auf das Objekt trifft.

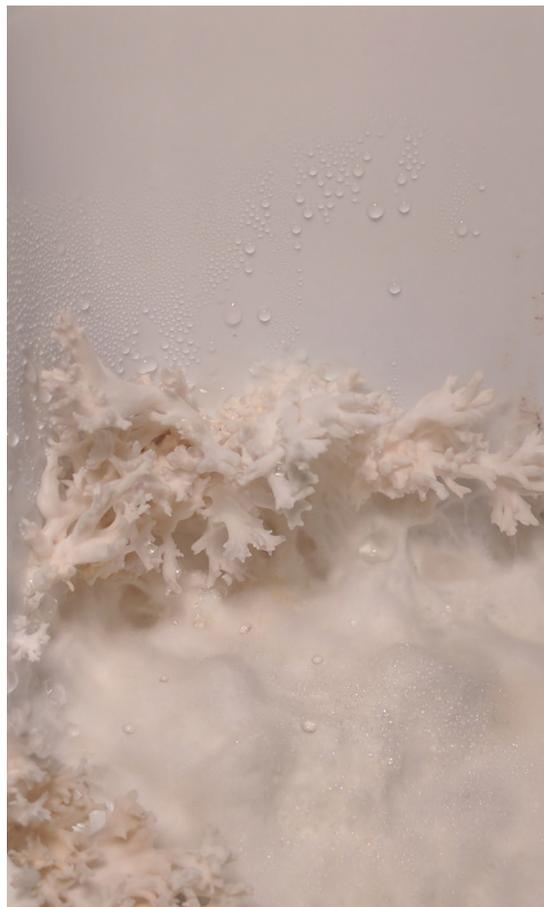
Der Einfluss des Substrats lässt sich daran erkennen, dass Weizenkleie zum Beispiel eine klare Grenze zur Umgebung ermöglicht, während sich das Myzel bei Holzspänen und Faserstoffen gleichmäßig ausbreitet.

Weiters können sich nach einer Weile Ansätze der Fruchtkörper bilden. Bevor es tatsächlich zu einem Pilz heranwächst, kann es jedoch noch viele Zwischenschritte oder Übergänge geben.

Die Oberflächen können je nach Wunsch gezielt generiert werden. Allerdings sind sie abgesehen von dem letzten Stadium nicht permanent.

## Übergänge

Versuch 61 zeigt eine Probe auf Kaffeesud. Nach einer Wachstumszeit von 3 Wochen entstanden korallenartige Fruchtkörper. Diese haben sich ausschließlich am Rand gebildet und wuchsen aus dem Myzel heraus. Sie basieren auf einer erhöhten CO<sub>2</sub> Konzentration.



Versuch 61: Übergang



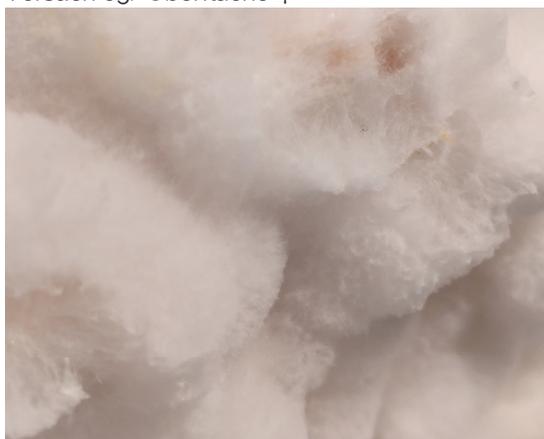
Versuch 62: Oberfläche 1



Versuch 65: Oberfläche 4



Versuch 63: Oberfläche 2



Versuch 66: Oberfläche 5



Versuch 64: Oberfläche 3



Versuch 67: Oberfläche 6

## 2.9 Materialtests

Das Wachstum hängt stark von sekundären Einflussgrößen ab, die außerhalb eines Labors nur schwer zu 100% konstant bleiben, deshalb variieren die Prüfkörper leicht in ihrer Beschaffenheit.

Es werden 5 Versuche zur Bestimmung der Druckfestigkeit, ein Biegeversuch und ein Versuch zur Wasseraufnahme durchgeführt. Bei allen Versuchen wird zunächst die Dichte errechnet. Die Zusammensetzung der Pilzwerkstoffe ist in untenstehender Tabelle aufgelistet.

### Zusammensetzungen

- Zusammensetzung 1

Versuch 1 und Versuch 2

100% Sägespäne Buche  
Größe: 0,75 - 3 mm

- Zusammensetzung 2

Versuch 3 und Versuch 4

50% Sägespäne Buche  
Größe: 0,75 - 3 mm

50% Sägemehl Buche  
Größe: 0,75 - 3 mm

- Zusammensetzung 3

Versuch 5

50% Sägespäne Buche  
Größe: 4 - 12 mm

50% Sägespäne Buche  
Größe: 0,75 - 3 mm

Schale Baumwolle

- Zusammensetzung 4:

Versuch 6 und Versuch 7

50% Sägespäne Buche  
Größe: 4 - 12 mm

50% Sägespäne Buche  
Größe: 0,75 - 3 mm

### Dichte

Versuch 1:  $0,258 \text{ g/cm}^3 = 258 \text{ kg/m}^3$

Versuch 2:  $0,235 \text{ g/cm}^3 = 235 \text{ kg/m}^3$

Versuch 3:  $0,289 \text{ g/cm}^3 = 289 \text{ kg/m}^3$

Versuch 4:  $0,272 \text{ g/cm}^3 = 272 \text{ kg/m}^3$

Versuch 5:  $0,297 \text{ g/cm}^3 = 297 \text{ kg/m}^3$

Versuch 6:  $0,235 \text{ g/cm}^3 = 235 \text{ kg/m}^3$

Im Durchschnitt ergeben die 6 Versuche eine mittlere Dichte von  $0,264 \text{ g/cm}^3$  bzw.  $264 \text{ kg/m}^3$ .

Im Vergleich dazu wurden an der Universität Berkeley Versuche zu Pilzwerkstoffen mit dem Pilz Reishi durchgeführt, die eine Dichte von  $318 \text{ kg/m}^3$  aufweisen.<sup>42</sup> An der Universität für Angewandte Kunst arbeitete man mit einem Pilzwerkstoff mit Reishi mit einer Dichte von  $305 \text{ kg/m}^3$ .<sup>43</sup> Die unterschiedlichen Werte treten nicht nur aufgrund der verschiedenen Pilze auf, sondern auch wegen des unterschiedlichen Substrats.

42 vgl. Travaglini, S., et al.: Mycology matrix Composites, 2013. S 7 ff.

43 vgl. Imhof, B., Gruber, P.: Blending Architecture and Biology. Built to Grow, 2016. S 100 ff

Versuch 1:

$$\begin{aligned}
 A_1: \pi \times r^2 &= 5\,281 \text{ mm}^2 = 52,81 \text{ cm}^2 \\
 V_1: \pi \times r^2 \times h &= 509,68 \text{ cm}^3 \\
 m_1 &= 131,7 \text{ g} \\
 \rho_1: m/V &= 0,258 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$



Versuch 68: Druckversuch 1

Versuch 2:

$$\begin{aligned}
 A_2: 78,2 \times 82,7 &= 6\,467,14 \text{ mm}^2 = 64,67 \text{ cm}^2 \\
 V_2: 6\,468,79 \times 55,3 &= 357,72 \text{ cm}^3 \\
 m_2 &= 84,1 \text{ g} \\
 \rho_2: m/V &= 0,235 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$



Versuch 69: Druckversuch 2

Versuch 3:

$$\begin{aligned}
 A_3: \pi \times r^2 &= 2\,827,43 \text{ mm}^2 = 28,27 \text{ cm}^2 \\
 V_3: \pi \times r^2 \times h &= 150,42 \text{ cm}^3 \\
 m_3 &= 43,5 \text{ g} \\
 \rho_3: m/V &= 0,289 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$



Versuch 70: Druckversuch 3

## Druckversuch

Insgesamt wurden drei verschiedene Zusammensetzungen in vier Versuchen auf Druckfestigkeit geprüft. Der fünfte Versuch wird von einem Baumwolltextil umfasst, in das der Pilzwerkstoff für die Wachstumsphase eingefüllt wurde. Nachdem Baumwolle ebenfalls einen großen Anteil an Zellulose besitzt, wurde das Material durchwachsen und ist direkt mit dem Pilzwerkstoff verbunden.

Um die Unebenheit der Oberfläche auszugleichen, wird bei Versuch 3 bis 6 ein Schaumstoff auf den Prüfkörper gelegt.

Versuch 4:

$$\begin{aligned}
 A_4: \pi \times r^2 &= 3\,462,79 \text{ mm}^2 = 34,62 \text{ cm}^2 \\
 V_4: \pi \times r^2 \times h &= 155,13 \text{ cm}^3 \\
 m_4: &42,3 \text{ g} \\
 \rho_4: m/V &= 0,272 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$



Versuch 71: Druckversuch 4

Versuch 5:

$$\begin{aligned}
 A_5: \pi \times a \times b &= 9\,269,9 \text{ mm}^2 = 92,70 \text{ cm}^2 \\
 V_5: \pi \times a \times b \times h &= 1242,18 \text{ cm}^3 \\
 m_5: &368,9 \text{ g} \\
 \rho_5: m/V &= 0,297 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$



Versuch 72: Druckversuch 5

Versuch 6:

$$\begin{aligned}
 A_6: 78,2 \times 82,7 &= 6\,467,14 \text{ mm}^2 = 64,67 \text{ cm}^2 \\
 V_6: 6\,468,79 \times 55,3 &= 357,72 \text{ cm}^3 \\
 m_6: &200,4 \text{ g} \\
 \rho_6: m/V &= 0,235 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$



Versuch 73: Biegeversuch 1

## Druckfestigkeit

Die Resultate von Versuch 1 ergeben eine Normalspannung von  $0,02 \text{ N/mm}^2$ . Die maximale Last beträgt  $127,33 \text{ N}$ .

Versuch 2 ergibt eine Normalspannung von  $0,05 \text{ N/mm}^2$  und eine maximale Last von  $333,56 \text{ N}$ . Die unterschiedlichen Ergebnisse können zum einen an der unterschiedlichen Querschnittsfläche liegen, andererseits kann es auch sein, dass ein Prüfobjekt besser durchwachsen war.

Versuch 3 und 4 weisen eine andere Zusammensetzung auf. Durch großes und kleines Buchenhack ist ein größeres Maß an Porosität vorhanden. Die maximale Last ergibt bei Versuch 3  $260 \text{ N}$  und eine Normalspannung von  $0,09 \text{ N/mm}^2$ .

Versuch 4 ergibt eine Normalspannung von  $0,02 \text{ N/mm}^2$  und eine maximale Last von  $70 \text{ N}$ .

Auch hier wird ähnlich den vorigen Beispielen ersichtlich, dass trotz gleicher Zusammensetzung ein unterschiedliches Durchwachsen und somit eine unterschiedliche Festigkeit resultieren kann.

Versuch 5 besteht ebenfalls aus 50% kleinem und 50% großem Buchenhack. Als Schale wird ein Baumwolltuch verwendet, das durchwachsen wurde.

Versuch 1:  
Datum: 29.08.2017

$A_1$ :	5 281 mm <sup>2</sup>
$F_{\max 1}$ :	127,33 N
$\sigma_1$ : $F/A=$	0,02 N/mm <sup>2</sup>

Versuch 2:  
Datum: 29.08.2017

$A_2$ :	6 467,14 mm <sup>2</sup>
$F_{\max 2}$ :	333,56 N
$\sigma_2$ : $F/A=$	0,05 N/mm <sup>2</sup>

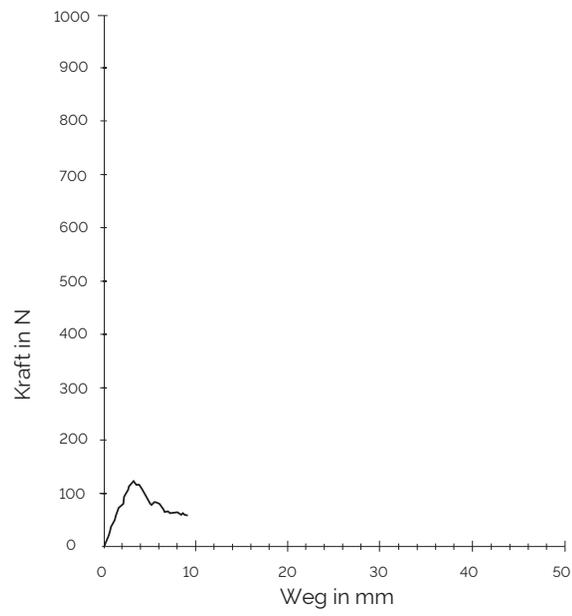


Diagramm 4: Versuch 1

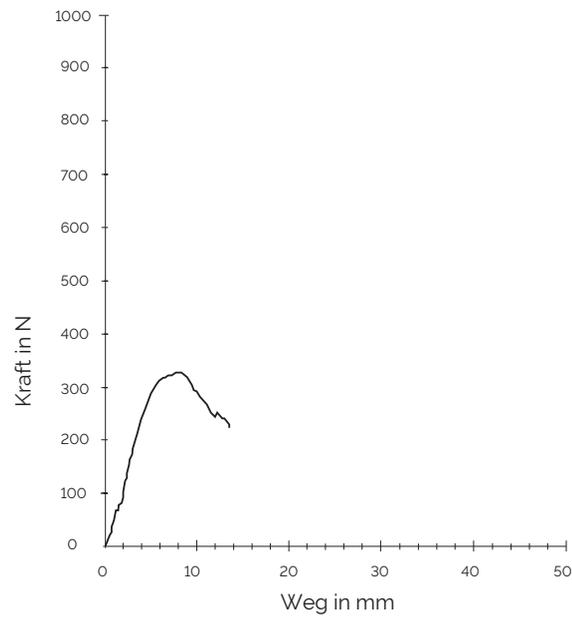


Diagramm 5: Versuch 2

Versuch 3:  
Datum: 29.08.2017

$A_3$ : 2 827,43 mm<sup>2</sup>  
 $F_{\max,3}$ : 260 N  
 $\sigma_3$ :  $F/A=$  0,09 N/mm<sup>2</sup>

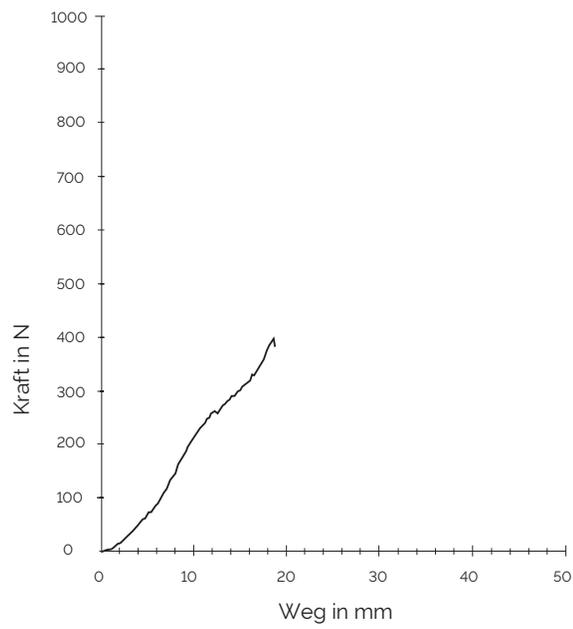


Diagramm 6: Versuch 3

Versuch 4:  
Datum: 29.08.2017

$A_4$ : 3 462,79 mm<sup>2</sup>  
 $F_{\max,4}$ : 70 N  
 $\sigma_4$ :  $F/A=$  0,02 N/mm<sup>2</sup>

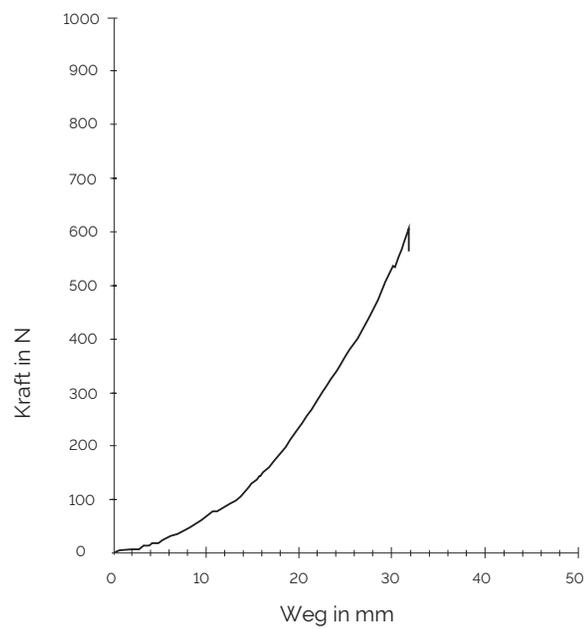


Diagramm 7: Versuch 4

Versuch 5:  
Datum: 05.09.2017

$A_5$ : 9 269,9 mm<sup>2</sup>  
 $F_{\max,5}$ : 962,8 N  
 $\sigma_5$ :  $F/A =$  0,10 N/mm<sup>2</sup>

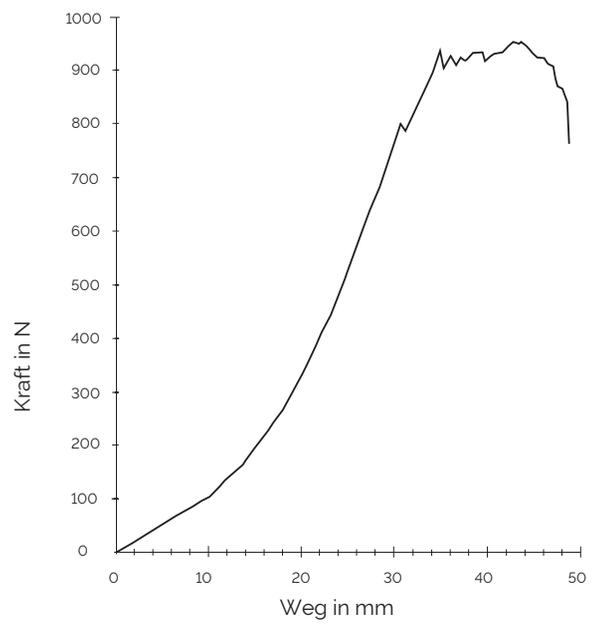


Diagramm 8: Versuch 5

Im Vergleich zwischen den durchgeführten Materialprüfungen weist das Material mit der Baumwollschale den Wert mit der größten Druckfestigkeit auf.

In den weiteren Versuchen wird deshalb mit dem Pilzwerkstoff und einem umfassenden Textil gearbeitet.

Als vergleichende Werte können wieder die Ergebnisse der Universität Berkeley gelten. Die Druckfestigkeit beläuft sich auf 0,49 N/mm<sup>2</sup>.<sup>44</sup> Die Universität der Angewandten Kunst Wien erreicht eine Druckfestigkeit von 1,7 - 2,7 N/mm<sup>2</sup>.<sup>45</sup>

## Biegeversuch

Der Biegeversuch oder Biegezugversuch wurde mit einem schmalen Streifen Pilzwerkstoff durchgeführt. Um die unregelmäßige Oberfläche auszugleichen, wurde wieder ein Stück Schaumstoff auf die Oberfläche gelegt. Die Lasteinleitung und die Auflager befinden sich parallel zueinander. Das längliche Prüfobjekt ist links und rechts gelagert.

Die Probe wurde mit einer Maximallast von 23,31 N belastet. Die Biegespannung ergibt 0,019 N/mm<sup>2</sup>.

Nachdem aus dem Biegeversuch eine sehr geringe Biegespannung resultiert, wurde im späteren Entwurf eine Konstruktion gewählt, die nur auf Druck beansprucht wird. Zusätzlich würden Materialien helfen, die Zugkräfte aufnehmen können.

Versuch 6:  
Datum: 05.09.2017

$A_6:$	6 467,14 mm <sup>2</sup>
$F_{\max 6}:$	23,31 N
$\sigma_B: (1,5 \times F \times l) / (b \times h^2) =$	0,019 N/mm <sup>2</sup>

44 vgl. Travaglini, S., et al.: Mycology matrix Composites, 2013. S 7 ff.

45 vgl. Imhof, B., Gruber, P.: Blending Architecture and Biology. Built to Grow, 2016. S 100 ff

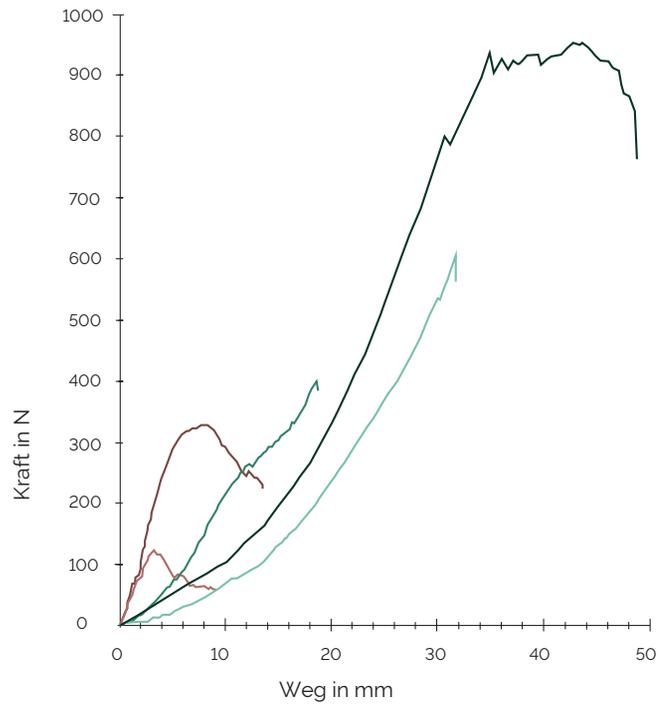


Diagramm 9: Vergleich Versuche 1-5

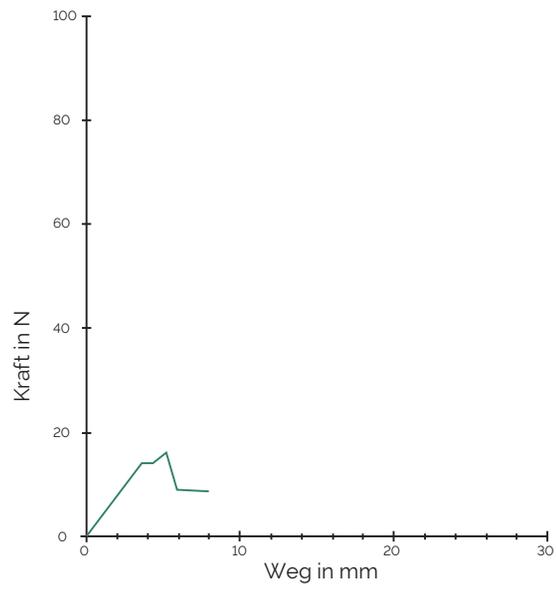


Diagramm 10: Versuch 6

## Wasseraufnahmeversuch

Die Wasseraufnahmefähigkeit eines Materials ist abhängig von seiner Oberflächenbeschaffenheit und seiner Porosität.

Sie bezeichnet abhängig von der Fläche des Prüfkörpers die Menge an Wasser, die in einer gewissen Zeit vom Material aufgenommen werden kann. Die Wasseraufnahme ist ein wichtiges Maß für die Quellung eines Körpers.

Dazu wird der Prüfkörper abgewogen, in ein Wasserbad gelegt und in bestimmten Zeitintervallen erneut gewogen. Das resultierende Diagramm zeigt an der y-Achse die Wasseraufnahme in  $\text{kg/m}^2$  und auf der x-Achse die Wurzel der Minuten der jeweiligen Zeitintervalle.

Nach 40 Minuten wurde eine Wasseraufnahme von  $5,64 \text{ kg/m}^2$  gemessen. Der hohe Wert könnte entweder durch einen Anstrich oder durch ein vollflächiges Bewachsen der Oberfläche minimiert werden.

Zeit	Wurzel
1	1,00
2	1,41
4	2,00
6	2,45
10	3,16
15	3,87
20	4,47
25	5,00
30	5,48
35	5,92
40	6,32

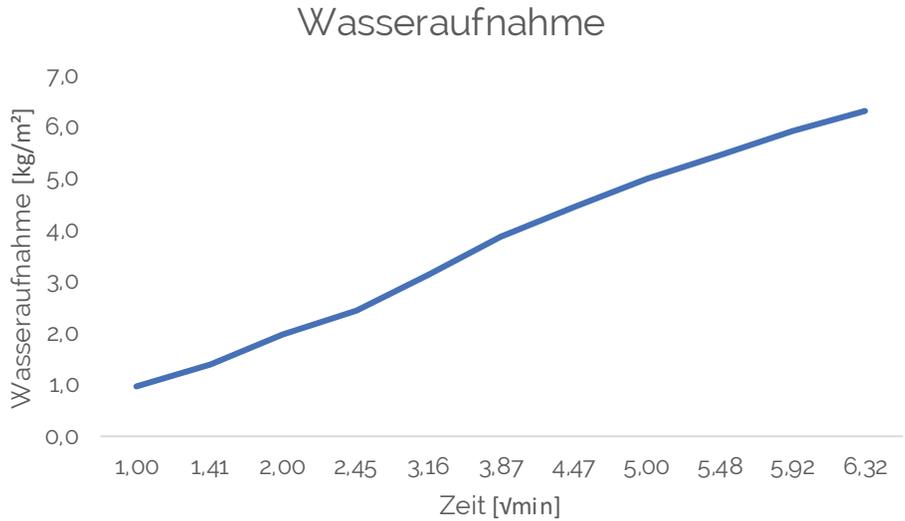


Diagramm 11: Versuch 7

## Brandversuch

Der hier untersuchte Pilzwerkstoff ähnelt in seinem Brandverhalten Buchenholz, da es ja auch zu einem sehr großen Bestandteil daraus besteht.

Brennendes Holz bildet an seiner Oberfläche eine Holzkohleschicht, welche vergleichsweise langsam verbrennt. Die Holzkohle besitzt eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 0,03 W/mK und verlangsamt somit die Wärmezufuhr ins Holzinnere. Rotbuche hat eine Abbrandgeschwindigkeit von 0,80 mm/min. Diese Zahl kann für den Pilzwerkstoff übernommen werden.<sup>46</sup>

Die Materialeigenschaften des Pilzwerkstoffs gleicht besonders im Bezug zu seinem Dämmverhalten Polystyrol. Das oft als Wärmedämmung eingesetzte Material führt allerdings zu einer heftigen Brandausbreitung und zur Bildung von giftigen Rauchgasen. Im Einsatzbereich der Wärmedämmung könnten Pilzwerkstoffe also als interessante Alternative eingesetzt werden.

---

46 Schneider, U.: Wiener Baustoff Blätter: Holz und Holzwerkstoffe, 2011. S 57



Versuch 74: Brandversuch 1



Versuch 75: Brandversuch 2



Versuch 76: Brandversuch 3



Versuch 77: Brandversuch 4



Versuch 78: Brandversuch 5



Versuch 79: Brandversuch 6

## 2.10 Maßstäblichkeit

Nachdem die Versuche bis jetzt in einer Größe von 10 x 10 x 2 cm durchgeführt wurden, muss eine mögliche Skalierung des Materials untersucht werden, um einen architektonischen Entwurf generieren zu können. Dabei gibt es Parameter, die gleich bleiben und Parameter, die sich zusammen mit der Maßstäblichkeit ändern.

daran, dass direkt über der Staunässe die Luftfeuchtigkeit am höchstens ist, ohne direkt im Wasser zu sein.

### Gleichbleibende Parameter

Die Wachstumsbedingungen gehören zu jenen Parametern, die auch nach einer Skalierung gleich bleiben. Anforderungen an Luftfeuchtigkeit, Temperatur und CO<sub>2</sub> bzw. O<sub>2</sub> Gehalt sind unabhängig der Objektgröße.

### Variierende Parameter

Die Partikel des Materials können nicht skaliert werden. Eine zu große Körnung des Substrats kann das Myzel nicht überbrücken, deshalb muss das Substrat im selben Maßstab bleiben.

Bei der Materialstärke ist zu beachten, dass eine zu große Dicke keinen Sauerstoff ins Innere des Materials lässt. Wenn das passiert, fängt das Material schneller zu gären an bzw. breitet sich das Myzel nicht weiter aus.

Ein weiterer Aspekt ist die in Versuch 82 dargestellte, fehlende Stabilität. Nachdem das Material in seiner Wachstumsphase noch nicht stabil genug ist, um sich selbst tragen zu können, muss die Schalung selbst bis zur völligen Austrocknung tragend sein.

Bei Versuch 83 ist im unteren Bereich eine Staunässe zu sehen, wo sich das Holz bereits zersetzt und dunkel verfärbt hat. In der Schicht darüber ist deutlich mehr Myzel zu sehen als am restlichen Versuchsobjekt, das liegt



Versuch 80: Maßstabssprung 1



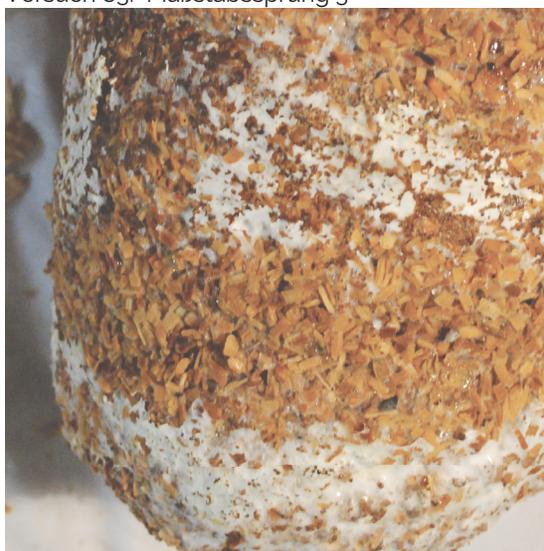
Versuch 81: Maßstabssprung 2.0



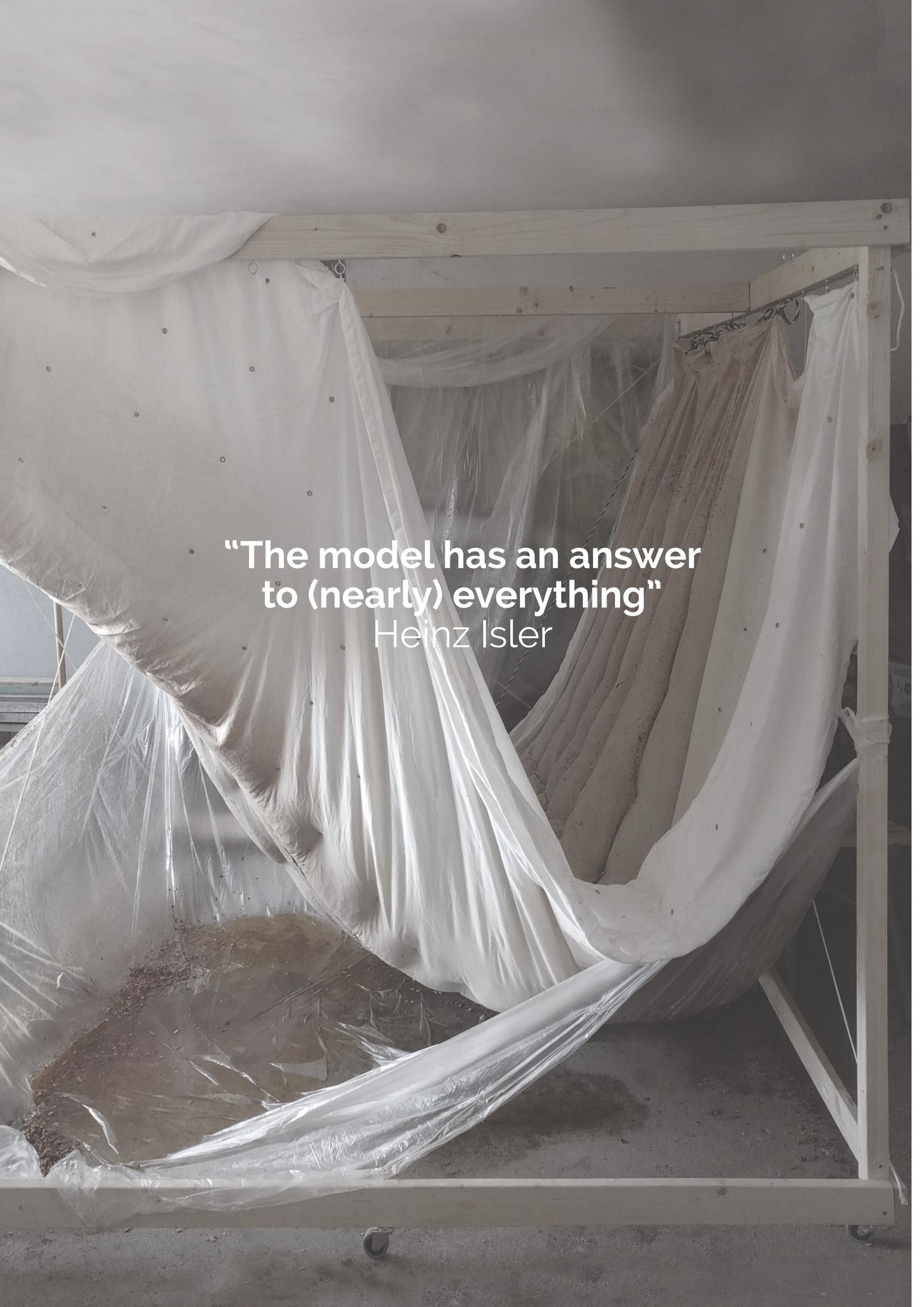
Versuch 82: Maßstabssprung 2.1



Versuch 83: Maßstabssprung 3



Versuch 84: Maßstabssprung 4



**“The model has an answer  
to (nearly) everything”**

Heinz Isler

# III. Der Prototyp: Mush - Room

## 3.1 Materialität und Form

## 3.2 Entwicklung des Verfahrens

## 3.3 Annäherung

Prototyp klein

Prototyp mittel

## 3.4 Ausführung

Testplatz

Box

Textil

Aufhängen

Befüllen

Wachstum

Trocknung

Rotation

Zeitleiste

## 3.5 Analyse

Zeitleiste

Neuralgische Punkte

## 3.1 Materialität und Form

In der Architektur gibt es keine gut strukturierte oder finanzierte Materialentwicklung. Häufig ziehen deswegen außerhalb der architektonischen Disziplin entwickelte Werkstoffe erst spät in die Architektur ein. Beispielweise wurde Stahlbeton ursprünglich im Gartenbau entwickelt. Selten lassen sich heute Bauherren darauf ein, in einem größeren Maßstab mit neuen Materialien zu experimentieren. Innovative Baumaterialien und -verfahren findet man deshalb eher in kleineren Installationen und temporären Pavillons.

Doch Materialität und Architektur stehen seit Beginn der Architekturgeschichte in einem engen Zusammenhang. Nicht nur im Altertum war Architektur Ausdruck von technologischem Fortschritt, die Entwicklung von Stahlbeton hing beispielsweise mit dem Bestreben weg von traditionellen Formen und hin zu im Zuge der Industrialisierung immer größeren und billigeren Gebäuden zusammen.

Materialität und Form hängen aber auch in dem Sinne zusammen, dass ein bestimmtes Material immer ein kohärentes Verfahren benötigt. Alle neuen Materialien benötigen nicht nur Forschung in Richtung Zusammensetzung und Bearbeitung, sondern auch in der Verfahrenstechnik, um sie den jeweiligen gewünschten Eigenschaften entsprechend anzuwenden. Schlussendlich basiert darauf auch die Form, die unmittelbar mit dem Material und den Werkzeugen zum Bearbeiten zusammenhängt.

Nachdem in den letzten 100 Jahren Stahlbeton maßgeblich unsere Baukultur beeinflusste, ermöglichte das die verschiedensten Formen zu verwirklichen. Die Gestaltung wurde freier und Material und Form entkoppelter.

Als Resultat ist die Materialität ein passiver Bestandteil einer davor festgelegten Form, statt aktiver Teil der Formgenerierung.

Das nachhaltige Denken fordert eine neue Sichtweise auf die Materialität. Stoffe, die vollständig in Lebenszyklen zurückgeführt werden können, werden zukünftig größere Rollen spielen als jene, die nach der Nutzung als Abfall enden. Unsere Ressourcen sind endlich und müssen sinnvoll eingesetzt werden. Zusammen mit digitalen Formfindungsmethoden können Prozesse zur kohärenten Material- und Formfindung unterstützend wirken.

Moritz Dörstelmann schreibt in diesem Bezug über eine neue Stellung der Materialität in der Architektur: *"A new understanding of the material in architecture is beginning to arise. [...] Thus materiality no longer remains a fixed property and passive receptor of form, but it transforms into an active generator of design."*

In diesem Kapitel wird versucht, das Material und seine Herstellung gleichzeitig als formgebendes Werkzeug einzusetzen.



Versuch 86: Material und Form

## 3.2 Entwicklung eines Verfahrens

Ausgehend von den Resultaten aus Kapitel II wurde ersichtlich, dass der Pilzwerkstoff unterschiedliche Anforderungen an ein material- und formgenerierendes Verfahren hat.

1. Ein zusätzliches Material wird benötigt, um den Pilzwerkstoff konstruktiv einzusetzen.
2. Die Schalung während der Wachstums- und Trocknungsphase muss stabil sein, da der Werkstoff zu diesem Zeitpunkt noch keine Lasten aufnehmen kann,
3. Eine reine Druckbelastung aufgrund der niedrigen Zugspannung wäre von Vorteil.

Basierend auf diesen Erkenntnissen, stellt Versuch 87 und 88 den ersten Versuch dar, in einer Hängekonstruktion eine Schale aus Pilzwerkstoff herzustellen. Nachdem das Textil aus Baumwolle und somit teilweise aus Zellulose besteht, wird es nicht nur durchwachsen, sondern kann gleichzeitig als eine Art Bewehrung im Werkstoff wirken. Weiters ist es während der Wachstumsphase tragend. Nach dem Abnehmen und Umdrehen wird es rein auf Druck belastet. Ein Hängemodell vereint also alle drei Anforderungen der Resultate von Kapitel II.

Das Problem bei diesem Versuch stellt das Substrat dar, dass bei einem Winkel von größer als 45° in die Mitte des Textils rutscht. Um eine gleichmäßige Verteilung des Substrats über den gesamten Stoff zu erreichen, wird bei den nächsten Versuchen ein doppellagiger Stoff verwendet, der als Sack für das Substrat fungiert.



Versuch 87: Hängeversuch 1



Versuch 88: Hängeversuch 2



Versuch 89: Hängeversuch 3





## 3.3 Annäherung

### Prototyp klein

Um sich dem Prototyp konstruktiv zu nähern, wurden zwei Versuchsreihen in unterschiedlichen Maßstäben gestartet.

Die erste Versuchsreihe hat die Abmessungen von 20 x 20 x 20 cm der umgebenden Box. Ein Tuch aus Baumwolle wird abgenäht und mit Pilzwerkstoff gefüllt. Die Box wird anschließend mit Folie umwickelt, damit keine äußeren Einflüsse in die Box gelangen.

Nach einem anfänglichen Wachstum wird leider kein positives Ergebnis erzielt, da einige offene Stellen zu viel Sauerstoff eindringen lassen und keine idealen Bedingungen herrschen.

### Prototyp mittel

Der zweite Versuch hat die Abmessungen von 1 x 1 x 1 m. Es werden ungefähr 12 kg Sägespäne verbraucht, im nassen Zustand hat das Objekt ungefähr doppelt so viel Gewicht. Um die Last relativ gleichmäßig aufzuteilen, werden die Ränder in Ösenhaken eingehängt. Als Testplatz dient ein privater Balkon, allerdings wird aufgrund der heißen Außentemperaturen kein gewünschtes Wachstum erreicht.

Es wird klar, dass es für den Prototyp im Maßstab 1:2 wichtig ist, möglichst ideale Wachstumsbedingungen herzustellen.



Versuch g1: Prototyp klein 1



Versuch g2: Prototyp klein 2



Versuch g3: Prototyp klein 3



Versuch 94: Prototyp mittel 1



Versuch 97: Prototyp mittel 4



Versuch 95: Prototyp mittel 2



Versuch 98: Prototyp mittel 5



Versuch 96: Prototyp mittel 3



Versuch 99: Prototyp mittel 6

## 3.4 Ausführung

### Testplatz

Nachdem die Box als Außenkonstruktion in dem zweiten Versuch der Annäherung gut funktionierte, wird dieses Konzept für den Prototyp ebenfalls verwendet.

Als Testplatz dient eine Garage in Niederösterreich. Die Garage wird gewählt, da hier aufgrund von relativ niedrigen Temperaturen bessere Bedingungen als im Außenbereich vorherrschen. Da dies das erste Experiment in einem großen Maßstab ist, wird das Risiko des Wetters nicht in Kauf genommen. Weitere Forschung in Bezug auf Wetterverhältnisse ist notwendig.

Die Temperatur beträgt innerhalb der Testzeit zwischen 18 und 22°C. Es herrscht eine Luftfeuchtigkeit von 50% vor.



Versuch 100: Testplatz

## Box

Um das Konzept des Hängemodells in der Garage zu realisieren, wird eine Box gebaut, die als Tragsystem dient.

Die Box basiert auf den Abmessungen der Garage, ist also das größtmögliche Objekt, das gerade noch durch das Tor der Garage passt. Sie hat die Abmessungen von  $2,0 \times 2,0 \times 1,86$  m.

Die Konstruktion besteht aus  $0,07 \times 0,025 \times 2$  m Latten, die jeweils miteinander verschraubt werden. An der Unterseite der unteren Latten werden Rollen angebracht, um das Gestell nach dem Wachstum aus der Garage rollen zu können.

Die Seiten des Würfels werden mit Seilen in beide Richtungen ausgesteift.

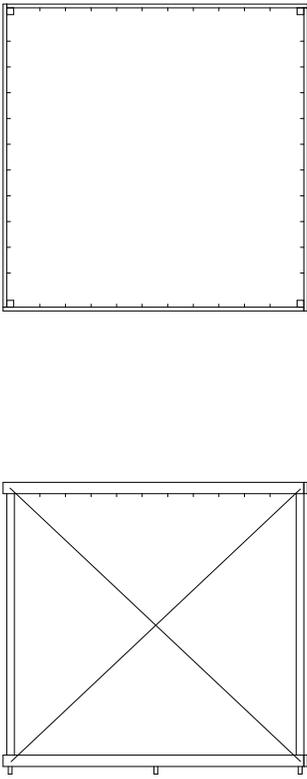


Abbildung 39: Grundriss und Ansicht Box 1:50

## Textil

Es wird ein Textil aus reiner Baumwolle gewählt und als Rechteck mit den Maßen 2 x 3,5 m zugeschnitten. Es wird zweimal der gleiche Zuschnitt benötigt um beide Lagen aneinander zu nähen. Für die Absteppungen, die in Kapitel 4.4 näher erklärt werden, können entweder Nähte oder Ösen verwendet werden. Sie regulieren die Materialdicke.

Um die Ösen anzubringen, werden zuerst Löcher gestochen und die Ösen eingehämmert. Der Abstand der Absteppungen darf nicht geringer als 10 cm aufweisen, da das Material sonst nicht dazwischen durchfällt und sich darüber staut.

Insgesamt werden 137 Abnähungen angebracht. In der Mitte des Textils, das später die Decke darstellt, sind die Abnähungen mit der Nähmaschine ausgeführt, damit keine Löcher vorhanden sind. Auf den seitlichen Bereichen sind sie mit Ösen ausgeführt. Nach außen hin weisen sie einen größeren Abstand auf, da dort das Material dicker sein muss. Nach Innen wird der Abstand zwischen den Abnähungen kleiner, um eine geringere Materialdicke zu erzielen.



Abbildung 40: Nähmaschine



Abbildung 41: Niete 2

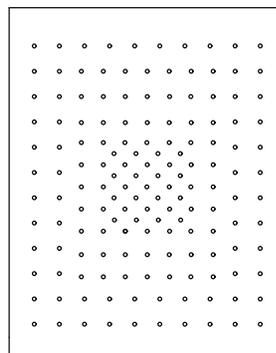


Abbildung 42: Abnähungen



Versuch 101: Box 1



Versuch 102: Box 2

## Aufhängen

Um das Textil aufzuhängen, werden an den Latten in regelmäßigen Abständen Ösenschrauben befestigt. Damit das Textil eine zusätzliche Stabilität erhält, werden Seile zwischen den jeweilig gegenüber liegenden Ösenschrauben aufgehängt, auf denen sich das Gewicht des Materials verlagern kann.

Das Textil wird aufgehängt und an den Enden ebenfalls an die Ösenschrauben angebunden.

Vor dem Befüllen dient eine Aufhängung zur Probe, ob alle Anforderungen eingehalten wurden.



Versuch 103: Aufhängen des Textils

## Befüllen

Die Sägespäne werden in Kübeln mit Wasser durchgenässt und einige Stunden zur Feuchtaufnahme ruhen gelassen. Danach werden die Bestandteile zu folgenden Teilen gemischt:

- 40% Buchenhack groß
- 40% Buchenhack klein
- 20% Sägemehl Buche

Die Mischung wird wiederum mit Myzel angereichert. Die Bestandteile werden gemischt und mit einer Gartenkelle in die Öffnungen oben zwischen den Abnähungen eingefüllt. Das Textil ist an zwei Seiten oben offen. Um eine Kontaminierung vorzubeugen, wird der gesamte Prozess mit Handschuhen durchgeführt, sämtliche Werkzeuge werden mit 97% Alkohol desinfiziert.

Insgesamt werden 60 kg Buchenhack groß, 60 kg Buchenhack klein und 30 kg Sägemehl verwendet. Zusätzlich werden zu dem 150kg Substrat 30 kg Myzel hinzugefügt.

Nach dem vollständigen Befüllen wird eine Folie um die Box gewickelt. Dazu wird eine Abdeckfolie von 20m<sup>2</sup> verwendet. Diese wird so befestigt, dass sie während des Wachstums zur Dokumentation immer wieder geöffnet und verschlossen werden kann.



Versuch 104: Mischen des Materials



Versuch 105: Einfüllen des Materials

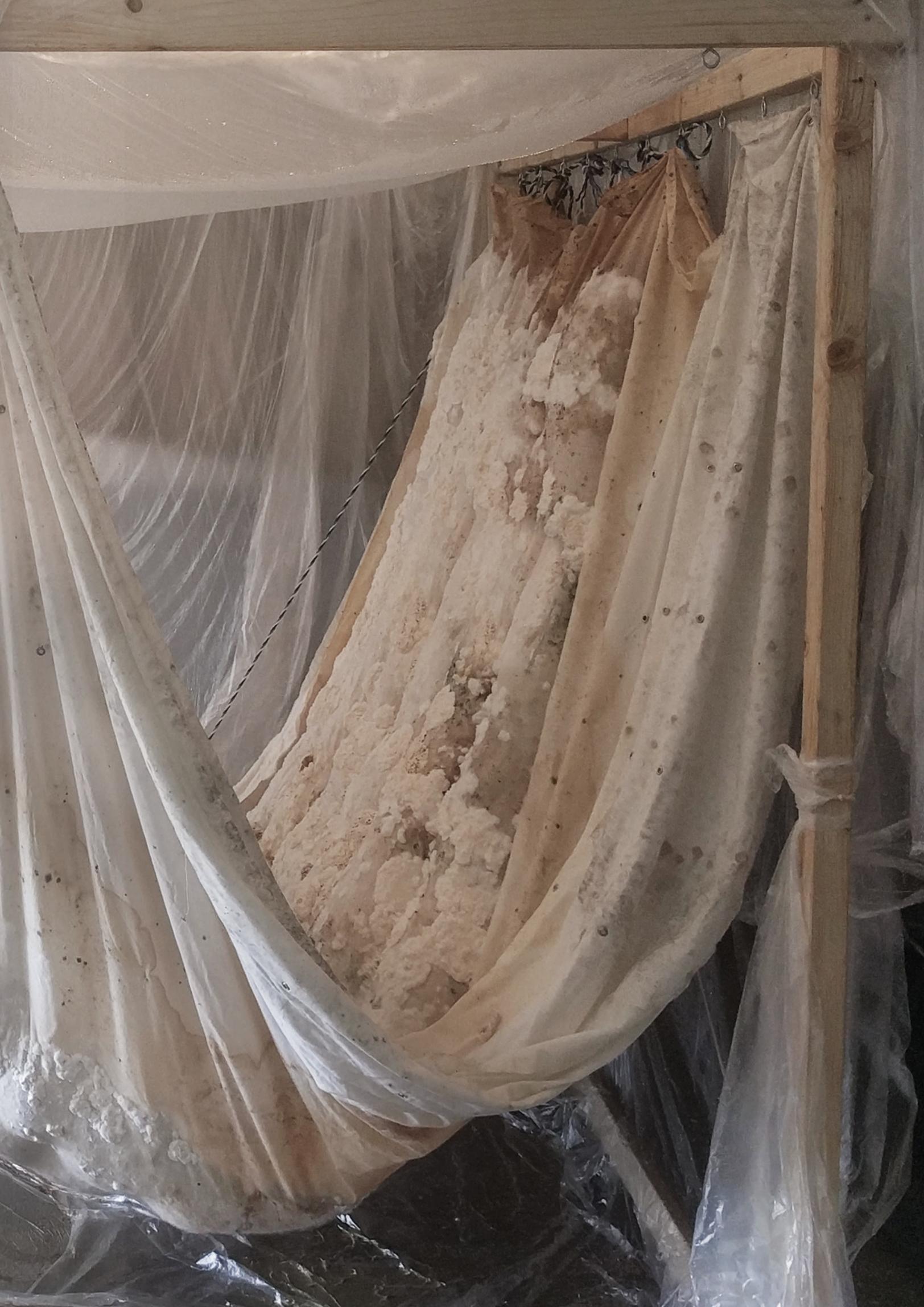


Versuch 106: Schutzfolie 1



Versuch 107: Schutzfolie 2





## Wachstum

Versuch 109 zeigt ein Luftmyzel, das sich gleichmäßig in alle Richtungen ausgebreitet hat. Versuch 110 zeigt die weitere Entwicklung des Myzels, bis sich in Versuch 111 schließlich ein einheitlicher Myzelteppich bildet.

Die Wassertröpfchen, die als weiß- gelblich schimmernde Tropfen zu erkennen sind, haben keine Auswirkungen auf das Wachstum des Myzels.

Die leicht gelben Stellen sind ebenfalls ein natürliches Nebenprodukt des Stoffwechsels, kann aber in weiterer Folge zum Absterben des Myzels führen und Insekten anziehen. Deshalb werden die gelben Stellen genauer überwacht.



Versuch 109: Mush Room 1



Versuch 110: Mush Room 2



Versuch 111: Mush Room 3

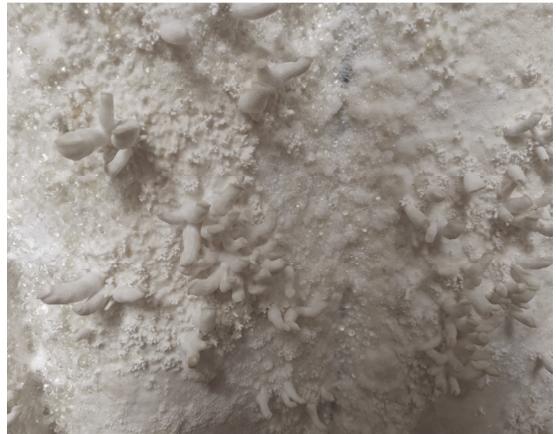
Versuch 112 zeigt das Myzel in der Trophophase, wo sich erste Primordien ausbilden.

Versuch 113 zeigt die Entwicklung der Primordien in einem fortgeschrittenem Stadium. Die Stiele der Fruchtkörper sind bereits zu sehen, die Hüte allerdings noch nicht.

Versuch 114 zeigt schließlich die fertig ausgebildeten Sommerseitlinge, die nun bereit zum Ernten sind.



Versuch 112: Mush Room 4

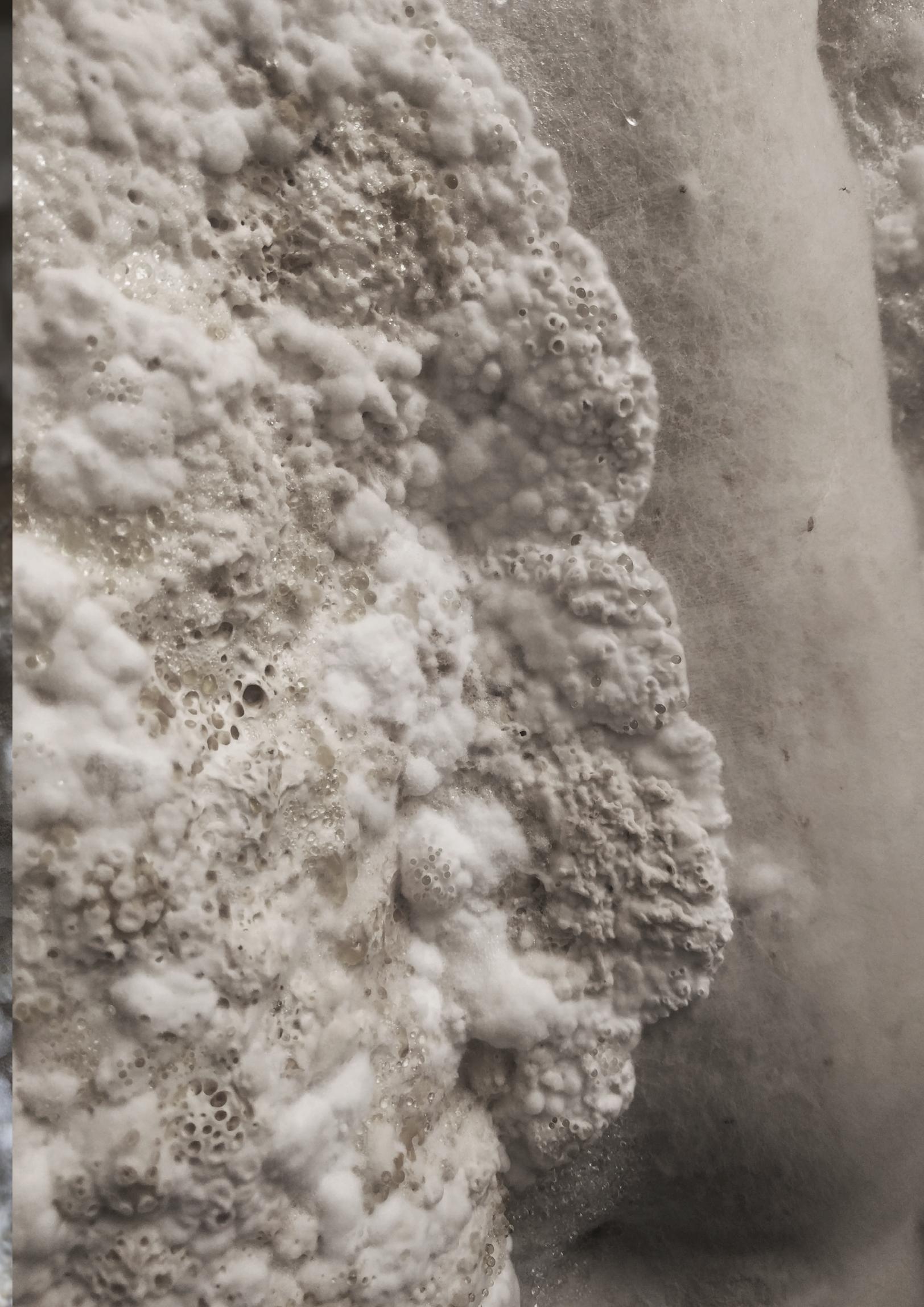


Versuch 113: Mush Room 5



Versuch 114: Mush Room 6





## Ernte

Die Fruchtung erfolgt in drei Erntewellen. Insgesamt werden innerhalb 14 Tagen 5 kg Sommerseitlinge geerntet. Unten stehendes Bild zeigt die erste Ernte nach 16 Tagen ab dem Zeitpunkt des fertigen Befüllens.



Versuch 117: Erste Ernte Sommerseitling



## Trocknung

Um das Material zu trocknen, wurde ein Luftentfeuchter und ein Wärmewellengerät aufgestellt. Insgesamt wurde der Prototyp damit 14 Tage lang getrocknet. Der Luftentfeuchter wurde sobald er voll war alle 2-3 Tage ausgeleert, das ergibt eine Wassermenge von ungefähr 12 Liter, wobei der Vorgang am Anfang schneller voran schritt und gegen Ende nur mehr wenig Wasser der Luft entzogen wurde.

Die Oberfläche des Pavillons veränderte sich bereits in den ersten Tagen von dem sehr dicht gewachsenen Myzelteppich zu einem dünnen, glatten Überzug.



Versuch 119: Trocknung

## Rotation

Als Vorbereitung zur Rotation wurde ein Estrichgitter in das Hängemodell eingelegt und die Enden mit Seilen aneinander gebunden. Somit ist während dem Umdrehen eine flächige Aussteifung gegeben.

Um den Prototypen umzudrehen, haben vier Personen die Hängekonstruktion zuerst vom Testplatz ins Freie geschoben und schließlich umgedreht. Anschließend wurde die Außenkonstruktion entfernt.

Problematisch war die bodenseitige Auflagefläche, da durch das Hängen kein vollflächiger Abschluss vorhanden war. Bei weiterer Forschung könnte man sich ein einheitlichen Sockel überlegen, der als Auflagefläche funktioniert.



Versuch 120: Rotation 1



Versuch 121: Rotation 2



Versuch 122: Rotation 3



Versuch 123: Rotation 4

## 3.5 Analyse

### Neuralgische Punkte

Um die neuralgischen Punkte zu analysieren, zeigt Diagramm 12 die angenommene Schwierigkeit und die tatsächliche Schwierigkeit während der Durchführung.

In Phase 1 wurde mehr Material benötigt, als ursprünglich geplant. Das führte zu einer Erhöhung des Gewichts. Zusätzlich hat die Enge der Ösenabstände dazu geführt, dass das Einbringen in das Textil schwieriger als erwartet war.

In Phase 2 wuchs das Myzel schneller und dichter als erwartet. Eine partiell auftretende Kontaminierung konnte durch Desinfizieren davon abgehalten werden, sich zu verbreiten.

In Phase 3 wurde der Prototyp getrocknet. Das dauerte um einiges länger, als ursprünglich erwartet. Das liegt zum Teil daran, dass das Wetter zu dieser Zeit kühl und nass war und der Raum nicht komplett vor Außeneinflüssen abgeschirmt war.

In Phase 4 wurde schließlich das Objekt umgedreht. Das Gewicht stellte kein großes Problem dar, während die Auflagefläche optimierbar wäre. Die Außenkonstruktion wies trotz Rotation und Durchfeuchtung bis zum Schluss eine ausreichende Stabilität auf. Das größte Optimierungspotenzial wird in der Materialfestigkeit gesehen. In der Materialmischung wurde zu 40% großes Buchenhack verwendet. Dieser Anteil sollte auf mindestens die Hälfte reduziert werden oder ganz weg gelassen werden. Zusätzlich könnten ungleichmäßige Sägespäne eine zusätzliche Verzahnung des Materials bewirken. Um das Gewicht zu reduzieren, aber trotzdem ein sehr wasseraufnahmefähiges Holz zu verwenden,

wären Pappel- oder Weidespäne Ansätze für weitere Versuche. Die Baumwolle wurde sehr gut vom Pilz durchwachsen. Eine mögliche Optimierung wäre auch innerhalb der Schalung Baumwollfasern einzubringen, um das Material für eine Zugbelastung zu verfestigen.

Nachdem einige Ösen ausgerissen sind, sollten die Abnähungen ausschließlich mit der Nähmaschine durchgeführt werden.

Phase	neuralgischer Punkt	angenommene Schwierigkeit	tatsächliche Schwierigkeit
<b>1</b>	Mischen des Materials	0	0
	Einbringen in Schalung	2	4
	Reißfestigkeit Textil	7	6
	Kontaminierung	8	3
<b>2</b>	Schnelligkeit des Wachstums	5	0
	Kontaminierung	8	3
<b>3</b>	Trocknung	2	2
<b>4</b>	Gewicht	8	1
	Auflagefläche	5	9
	Materialfestigkeit	3	8
	Stabilität der Außenkonstruktion	6	0

Diagramm 12: Analyse der neuralgischen Punkte

## Zeitleiste

Diagramm 13 zeigt die Zeitleiste der einzelnen Phasen. Grob kann zwischen aktiven und passiven Phasen unterschieden werden. Die meiste Arbeitszeit fiel in die Vorbereitung, um die Box herzustellen, das Textil zu schneiden und zu nähen, die Ösen einzuhämmern und das Material zu mischen und schließlich in das Textil einzubringen.

Während der Wachstumsphase und der Trocknungsphase fand die Dokumentation statt. Abgesehen davon sind diese beiden Phasen passive Prozessschritte.

Bis zum Schluss ist das Herstellen des Pavillons mit 1-2 Personen möglich. Allein zur Rotation waren 4-5 Personen notwendig. Das dient zur gleichmäßigen Lastverteilung und einer Vorbeugung eines Materialbruchs.

Insgesamt dauerte die Herstellung 47 Tage. Eine Optimierung bezüglich der Herstellungszeit ist in der Trocknungsphase möglich, da mehrere Geräte gleichzeitig aufgestellt werden könnten. Damit könnte eine Einsparung von 7 Tagen möglich werden.

Würde die erste Phase der Vorbereitung seriell oder maschinell passieren, könnte ebenfalls ungefähr eine Woche eingespart werden. Insgesamt würde der Pavillon dann auf eine Herstellungszeit von ungefähr 30 Tagen kommen.

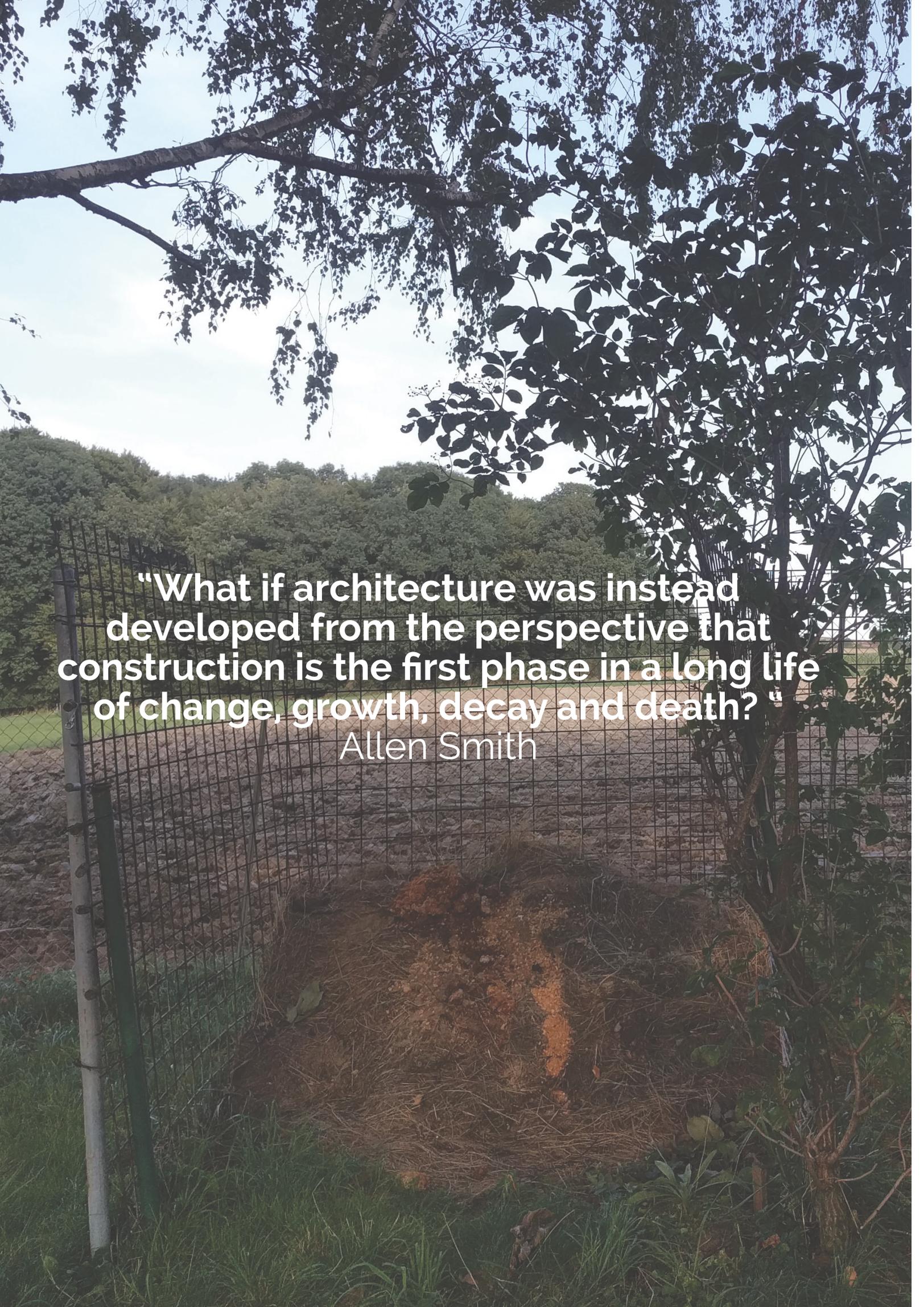
Datum	Phase	Personen
08.Aug.17	Bauen der Box	2
09.Aug.17	Bauen der Box	2
10.Aug.17	Zuschnitt und Nähen des Textils	1
11.Aug.17	Zuschnitt und Nähen des Textils	1
12.Aug.17	Zuschnitt und Nähen des Textils	1
13.Aug.17	Anbringen der Ösen	1
14.Aug.17	Anbringen der Ösen	1
15.Aug.17	Anbringen der Ösen	2
16.Aug.17	Einbringen in Schalung	2
17.Aug.17	Einbringen in Schalung	2
18.Aug.17	Einbringen in Schalung	1
19.Aug.17	Wachstumsphase	0
20.Aug.17	Wachstumsphase	0
21.Aug.17	Wachstumsphase	0
22.Aug.17	Wachstumsphase	0
23.Aug.17	Wachstumsphase	0
24.Aug.17	Wachstumsphase	0
25.Aug.17	Wachstumsphase	0
26.Aug.17	Wachstumsphase	0
27.Aug.17	Wachstumsphase	0
28.Aug.17	Wachstumsphase	0
29.Aug.17	Wachstumsphase	0
30.Aug.17	Wachstumsphase	0

31.Aug.17	Wachstumsphase	0
01.Sep.17	Wachstumsphase	0
02.Sep.17	Wachstumsphase	0
03.Sep.17	1. Erntewelle	1
04.Sep.17	Wachstumsphase	0
05.Sep.17	Wachstumsphase	0
06.Sep.17	2. Erntewelle	1
07.Sep.17	Wachstumsphase	0
08.Sep.17	Wachstumsphase	0
09.Sep.17	3. Erntewelle	1
10.Sep.17	Trocknungsphase	1
11.Sep.17	Trocknungsphase	0
12.Sep.17	Trocknungsphase	0
13.Sep.17	Trocknungsphase	0
14.Sep.17	Trocknungsphase	0
15.Sep.17	Trocknungsphase	0
16.Sep.17	Trocknungsphase	0
17.Sep.17	Trocknungsphase	0
18.Sep.17	Trocknungsphase	0
19.Sep.17	Trocknungsphase	0
20.Sep.17	Trocknungsphase	0
21.Sep.17	Trocknungsphase	0
22.Sep.17	Trocknungsphase	0
23.Sep.17	Rotation	5

Diagramm 13: Zeitleiste





A photograph of a construction site. In the foreground, there is a wire mesh fence supported by a metal post. Behind the fence, there is a large area of earth, possibly a foundation or a wall under construction, with some dry grass and soil. In the background, there is a dense forest of green trees on a hillside. The sky is overcast and grey. The text is overlaid on the image in white, bold font.

**“What if architecture was instead developed from the perspective that construction is the first phase in a long life of change, growth, decay and death?”**  
Allen Smith

## IV. Der Entwurf: Ein biologisch abbaubarer Pavillon

### 4.1 Verfahren

- Das Hängemodell
- Abschirmen vor Kontaminierung
- Rotation

### 4.2 Entwurfsparameter

- Form und Zuschnitt des Textils
- Anzahl und Platzierung der primären Aufhängepunkte
- Anzahl und Platzierung der sekundären Aufhängepunkte

### 4.3 Materialsteifigkeit

### 4.4 Materialdicke

- Absteppung

### 4.5 Gestaltung

- Spannweite
- Eingangssituation
- Textil
- zusätzliche Öffnungen

### 4.6 Entwurf

- Materialdicke
- Position der Absteppungen
- Funktion

## 4.1 Verfahren

Bäume bieten eine robuste Möglichkeit, den Pilzwerkstoff samt Textil aufzuhängen. Dabei kann wie beim Prototyp eine Unterkonstruktion mit Seilen dienen, auf denen das Textil befestigt wird.

Nachdem die Temperatur ein wichtiges Kriterium zum Wachstum des Myzels ist, sollte der Pavillon im Spätsommer oder im Herbst angesetzt werden. Der Sommerseitling hält einzelne Hitzephasen leicht aus, nach längeren Phasen ohne Wachstum fängt das nasse Substrat allerdings an, sich zu zersetzen.

Zur Rotation sollten der Größe des Pavillons entsprechend genug Personen eingeplant werden.

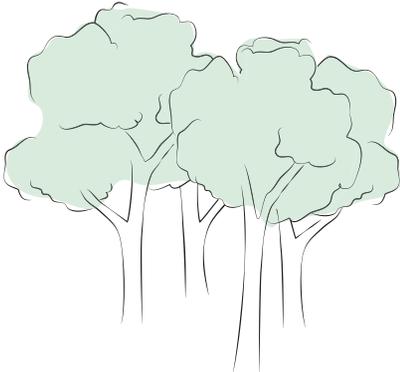


Abbildung 44: Verfahren 1

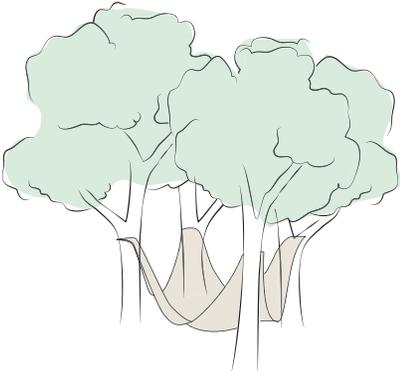


Abbildung 45: Verfahren 2

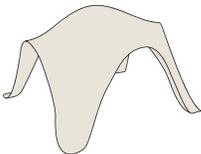


Abbildung 46: Verfahren 3

## Das Hängemodell

Das Verfahren basiert generell auf der Methode eines Hängemodells. Hängemodelle waren bis zur Einführung von Computermodellen eine beliebte Methode, Tragwerke zu modellieren.

Ihnen zugrunde liegt das System der Kettenlinie. Eine Schnur oder eine Kette nimmt eine stabile Form an, da sie biegeschlaff ist und keine Biegemomente aufnehmen kann. Somit wirken in ihr ausschließlich Zugkräfte. Erhärtert man jene Kette oder Schnur und dreht sie um, entsteht eine Konstruktion, die nur auf Druck beansprucht wird. Es entstehen somit druckbeanspruchte Stützlinien.

Entwickelt man aus solch einem System ein Gewölbe, nennt man es katalanisches Gewölbe oder Katenoid.

Antonio Gaudi (1852-1926) übernahm die Idee der Kettenlinie aus der Gotik und experimentierte mit dieser Bauform. Schließlich erkannte er auch, dass die Kettenlinie am ehesten einer Parabel entspricht. Die Stützketten nehmen von selbst die Form der günstigsten Stützlinie an.<sup>48</sup>

Mit der Länge des Abstandes zwischen den Punkten, auf denen die Kettenlinie aufgehängt ist, variiert die Stützweite und die Steilheit der Form. Somit kann einerseits dadurch, andererseits durch das Anbringen von Gewichten oder weiteren Aufhängepunkten die Form unterschiedlich generiert werden.

## Abschirmen vor Kontaminierung

Um während der Wachstumsphase sicherzustellen, dass die Luftfeuchtigkeit stabil bleibt und keine Kontaminierung auftritt, muss eine luftdichte Abschirmung vor der Außenwelt vorhanden sein.

In den ersten Versuchen dienten wieder verwendbare Kunststoffdosen dazu. Der erste Versuch im Hängemodell wurde mit einer Folie umwickelt.

Als alternatives Material kann ein Wachstuch verwendet werden. Das hält ebenfalls Insekten und Bakterien fern, ist wiederverwendbar und wasserdicht.

---

48 vgl. Hennieke, J., et al.: Gitterschatten, 1974, S.10 ff

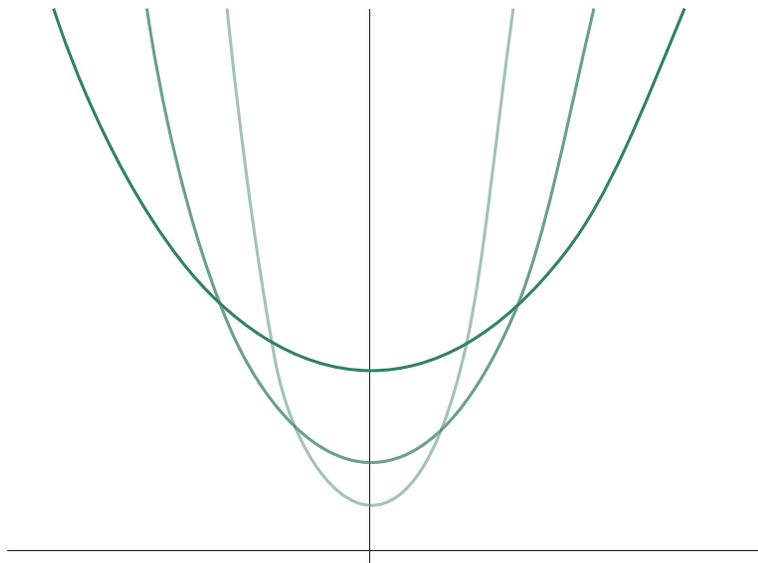


Abbildung 47: Kettenlinie

## 4.2 Entwurfsparameter

Generell kann die digitale Simulation wie in Abbildung 48 - 50 gezeigt, erklärt werden: auf bestimmten Aufhängepunkten spannt sich das Textil, das durch die Platzierung und Abstand dieser Punkte primär geformt wird. Die Punkte werden zueinander geschoben, wodurch die Hängeform entsteht. Um eine entsprechende Höhe des Modells zu erzeugen, wird ungefähr viermal so viel Stoff als Grundfläche benötigt, wie die Grundfläche des Pavillons schlussendlich beinhaltet.

Nachdem hier das Textil mit Pilzwerkstoff gefüllt ist, ergibt sich eine gleichmäßige Last. Um eine weitere Erhöhung der Last zu vermeiden, wird nicht mit zusätzlichen Gewichten gearbeitet. Dies könnte allerdings eine Möglichkeit sein, die Form zu beeinflussen.

### Form und Zuschnitt des Textils

Der Zuschnitt des Tuchs, zusammen mit möglichen Einschnitten oder Löchern bestimmen die Form maßgeblich. Nachdem eine stabile Form gesucht wird, werden keine weiteren Formen mit Löchern untersucht. Abbildung 51, 52 und 53 zeigen rotierte Hängemodelle, die auf dem Grundriss eines Dreiecks, eines Quadrats sowie eines Fünfecks basieren. Als primäre Aufhängepunkte dienen die jeweiligen Eckpunkte.

### Anzahl und Platzierung der primären Aufhängepunkte

Neben den primären Aufhängepunkten, die mit der Anzahl der vorhandenen Bäume zusammenhängen, können auch sekundäre Aufhängepunkt das Modell beeinflussen. Mindestens 3 Punkte sind unumgänglich, um

eine statische Form zu kreieren. Nachdem ein Raum entstehen soll und die Grundfläche aufgrund der geringen Festigkeit des Materials begrenzt ist, werden nur Punkte auf oder nahe der Zuschnittsränder gesetzt. Innenliegende Punkte würden eine geringe Höhe des Pavillons erzeugen oder einen wesentlich größeren Entwurf voraussetzen.

### Anzahl und Platzierung der sekundären Aufhängepunkte

Steht die Anzahl der primären Aufhängepunkte fest, beeinflusst der Abstand der sekundären Punkte untereinander wesentlich die Spannweite und Größe des späteren Pavillons. Sie bestimmen außerdem auch die Anzahl und das Aussehen der Öffnungen.

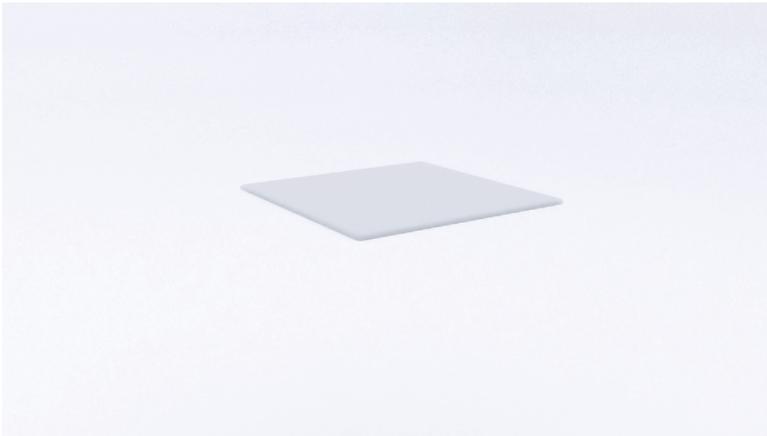


Abbildung 48: Verfahren 1



Abbildung 49: Verfahren 2



Abbildung 50: Verfahren 3



Abbildung 51: Form: Dreieck  
Aufhängepunkte: Ecken



Abbildung 54: Form: Quadrat,  
Aufhängepunkte: Ecken

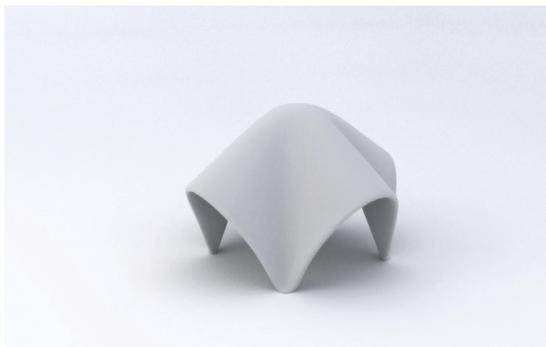


Abbildung 52: Form: Quadrat  
Aufhängepunkte: Ecken

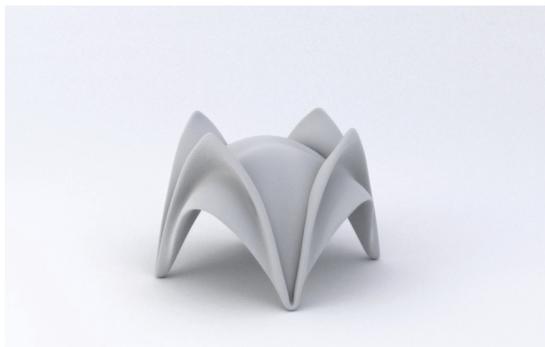


Abbildung 55: Form: Quadrat,  
Aufhängepunkte: Seitenmitten



Abbildung 53: Form: Fünfeck  
Aufhängepunkte: Ecken



Abbildung 56: Form: Quadrat,  
Aufhängepunkte: Zufällig



Abbildung 57: Form: Dreieck,  
 Aufhängepunkte: Ecken  
 sekundäre Aufhängepunkte: 3



Abbildung 60: Form: Dreieck,  
 Aufhängepunkte: Ecken  
 sekundäre Aufh.: Linie + 2 Ecken



Abbildung 58: Form: Dreieck,  
 Aufhängepunkte: Ecken  
 sekundäre Aufhängepunkte: 1



Abbildung 61: Form: Dreieck,  
 Aufhängepunkte: Ecken  
 sekundäre Aufh.: halbe Linie + 2 Ecken



Abbildung 59: Form: Dreieck,  
 Aufhängepunkte: Ecken  
 sekundäre Aufhängepunkte: 3



Abbildung 62: Form: Dreieck,  
 Aufhängepunkte: Ecken  
 sekundäre Aufh.: Linie

## 4.3 Materialsteifigkeit

Das Material besitzt eine hohe Steifigkeit. In Abbildung 64 ist das Resultat eines quadratischen Zuschnitts zu sehen, das die Form eines Kreuzgewölbes ergibt. Wäre die Steifigkeit geringer und somit die Elastizität höher, würde es zu Abbildung 65 oder 66 kommen.

Die Steifigkeit erzeugt besonders bei unregelmäßigen Aufhängepunkten viel zusätzlichen Stoff, der nicht gespannt ist, was auch in Abbildung 55 und 56 zu erkennen ist. Hingegen würde eine Elastizität exaktere Formen ohne weiteren Überhang bewirken, welche in Abbildung 57 bis 62 zu sehen sind.

Die fehlende Elastizität kann aber mit einem Zuschnitt des Materials ausgeglichen werden. Die Bereiche, an denen zu viel Material auftritt, können weggeschnitten werden.

Abbildung 63 zeigt die entsprechenden Zuschnitte, die trotz Materialsteifigkeit die Grundformen des Textils der rechts abgebildeten Formen darstellen.

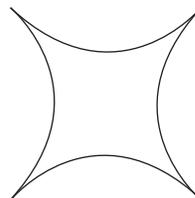
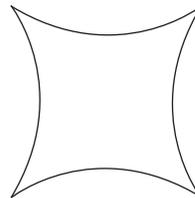
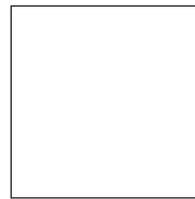


Abbildung 63: Zuschnitt Materialüberhang



Abbildung 64: Materialsteifigkeit 1



Abbildung 65: Materialsteifigkeit 2



Abbildung 66: Materialsteifigkeit 3

## 4.4 Materialdicke

Ein zweilagiger Stoff, der an seinen Rändern abgenäht ist, dient als Grundlage, um eine Materialdicke bestimmen zu können. Nachdem ein einfach zusammen genähter Stoff die Materialdicke nicht bestimmt, werden Abstoppungen angebracht. Das Textil formt damit Beutel aus, in die das Material eingebracht werden kann.

Dabei bestimmt der Abstand zwischen den Abstoppungen die Materialdicke. Sind die Abstände weit auseinander, wird das Material dicker. Ist es näher bei einander, verringert sich die Materialstärke.

Es kann zwischen punktuellen und linearen Abstoppungen unterschieden werden, die unterschiedliche optische Ergebnisse erzielen. Sind die Punkte in einer Reihe angeordnet, ergibt das ebenfalls eine Optik von Linien.

Um trotz Abstoppungen eine möglichst zusammenhängende Form zu erlangen, wurde mit punktuellen Abnähtungen gearbeitet.

Die Steppung kann in einem gleichmäßigen, versetzten oder zufälligen Muster ausgeführt werden. Bei einem zufälligen Muster ist zu beachten, dass die Materialstärke ebenfalls variiert. Nachdem sich herausgestellt hat, dass bei zu nah nebeneinander liegenden Punkten das Material nicht durchfällt und sich oberhalb dieser Punkte staut, wurde ein regelmäßiges Raster gewählt.



Abbildung 67: Materialdicke Zufall 1

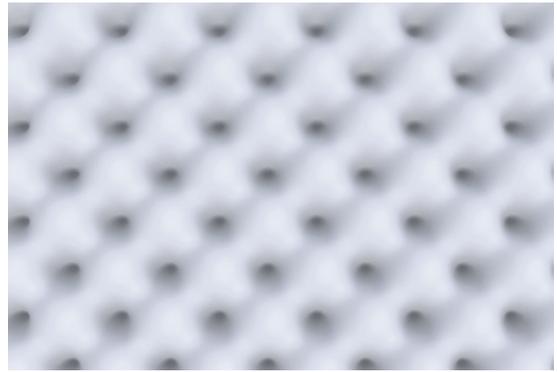


Abbildung 70: Materialdicke gleichmäßig 1



Abbildung 68: Materialdicke Zufall 2



Abbildung 71: Materialdicke gleichmäßig 2



Abbildung 69: Materialdicke Zufall 3

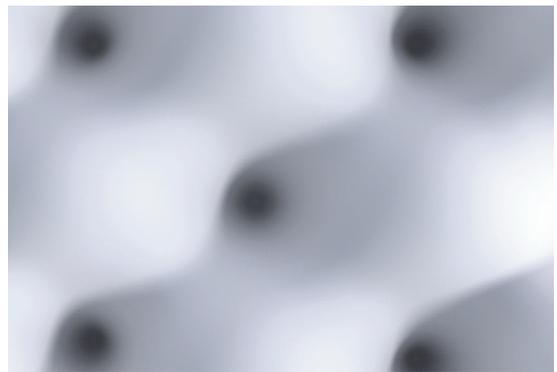


Abbildung 72: Materialdicke gleichmäßig 3

## Ausführung

Die Abnähungen können entweder mit der Nähmaschine genäht oder mit Ösen oder Nieten ausgeführt werden

Sie werden mit einer Nietenzange in den Stoff gedrückt oder mit einem Hammer in das Textil geschlagen.

In Abbildung 73-76 wird der Bezug zwischen der Dicke des Pilzwerkstoffs sowie der Abnähungen dargestellt.

Die Wahl des Substrats fällt schließlich auf kleines Buchenhack, mit einem geringen Anteil an großem Buchenhack.

Die Mischung ist folgende:

- 70 % Buchenhack klein
- 15 % Sägemehl
- 5% Buchenhack groß
- 10 % Myzel

Die Abstände der Absteppungen hängen von der Korngröße des Substrats ab. Nachdem eher mit einer kleinen Korngröße gearbeitet wird, sollte ein Mindestabstand von 10 cm nicht unterschritten werden. Wäre die Fasergröße des Substrats größer, müssten die Absteppungen weiter auseinander angesetzt werden.

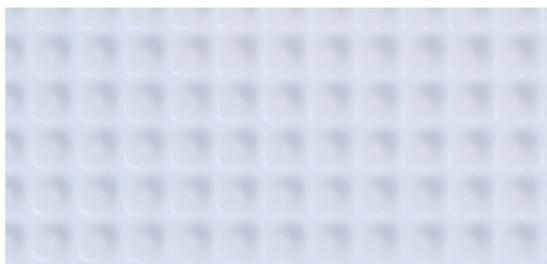


Abbildung 73: Materialdicke 1



Abbildung 74: Materialdicke 2

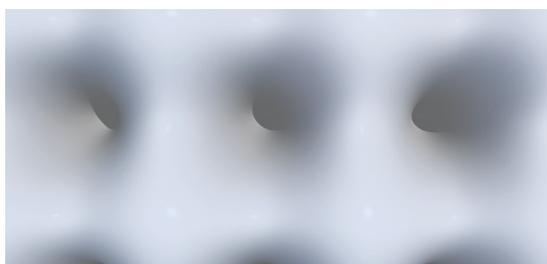


Abbildung 75: Materialdicke 3

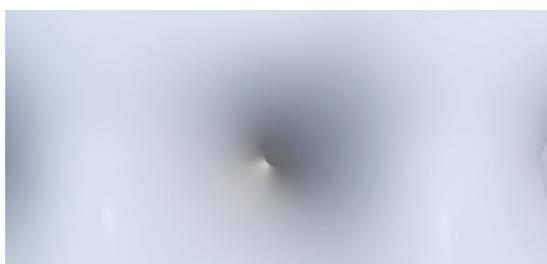
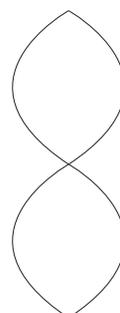


Abbildung 76: Materialdicke 4

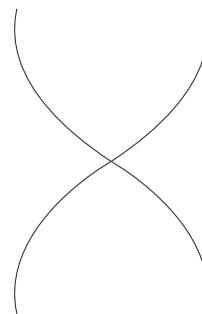


Abbildung 77: Materialdicke 5

## 4.5 Gestaltung

### Spannweite

Ob die Aufhängepunkte nah bei einander oder weit auseinander ausgerichtet sind, bestimmt wie hoch der Pavillon ausgebildet wird. Die Entfernung der Punkte kann auch als Spannweite bezeichnet werden.

Besonders flache Objekte müssten in ihrer Maßstäblichkeit viel größer sein als steile Entwürfe.

Für den Entwurf wird eine Höhe von ungefähr 2,50 angenommen, wodurch sich eine Grundfläche von ungefähr 2,50 x 2,50 ergibt.



Abbildung 78: Spannweite 1



Abbildung 79: Spannweite 2



Abbildung 80: Spannweite 3

## Eingangssituation

Eine Eingangssituation kann durch unterschiedliche Herangehensweisen gebildet werden.

In Abbildung 81 entsteht eine Öffnung durch die Wahl der Aufhängepunkte. Zusätzlich ist der Zuschnitt so gewählt, dass keine Überhänge entstehen.

Abbildung 82 zeigt den Eingang durch einen Einschnitt im Zuschnitt, der eine Öffnung schafft.

Bei Abbildung 83 wurde sowohl der Zuschnitt als auch die Aufhängepunkte so gewählt, dass Öffnungen entstehen.

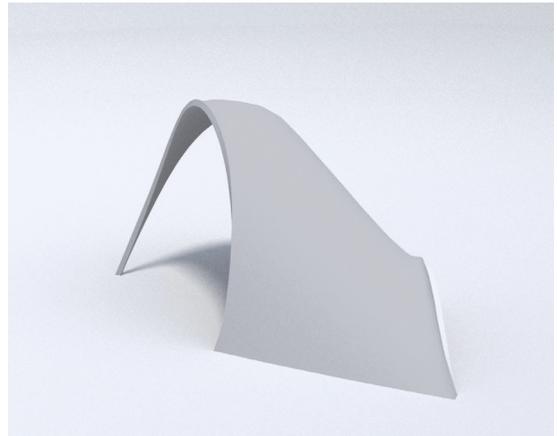


Abbildung 81: Eingang 1

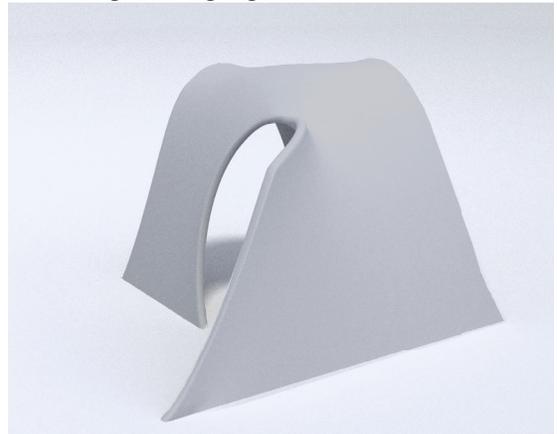


Abbildung 82: Eingang 2



Abbildung 83: Eingang 3

## Textil

Mit der Platzierung der Aufhängepunkte am Textil kann entschieden werden, ob zusätzliches Material nicht mit Pilzwerkstoff gefüllt wird, sondern als Textil belassen wird.

Die Überhänge könnten aber auch gefüllt und schließlich durchwachsen werden.

Wie oben beschrieben, würde ein Zuschnitt des Textils dazu führen, dass eine gleichmäßigere Form ohne Überhänge entsteht.



Abbildung 84: Textil 1



Abbildung 85: Textil 2



Abbildung 86: Textil 3

## zusätzliche Öffnungen

Sekundäre Aufhängepunkte können zusätzliche Öffnungen ausbilden. Zu beachten ist der Abstand zwischen den Aufhängepunkten, damit eine gewisse Höhe ausgebildet wird.

Gibt es nur sehr kleine Auflageflächen für den Pavillon, sollten diese stärker ausgebildet werden. Weniger Öffnungen und mehr Stützen bis hin zu linearen Auflageflächen stabilisieren den Pavillon.

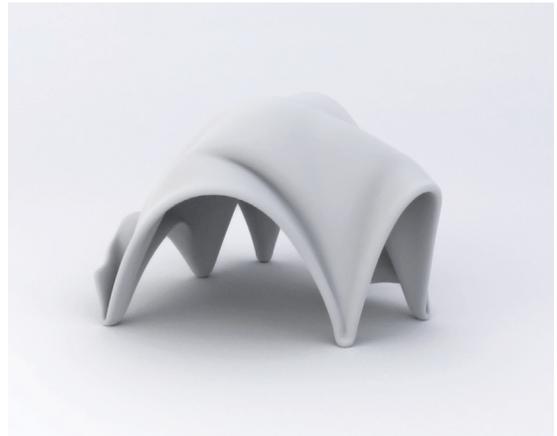


Abbildung 87: Öffnung 1



Abbildung 88: Öffnung 2



Abbildung 89: Öffnung 3

## 4.6 Entwurf

An einem Beispiel werden die vorher aufgelisteten Parameter ausgewählt. Abbildung 90 zeigt von oben nach unten die gewählten Aufhängepunkte.

Das Textil ist ursprünglich in seinem Zuschnitt ein Rechteck und wird schließlich auf einen Grundriss eines Quadrats aufgehängt. Das Textil umfasst eine Größe von 2,50 mal 4,00 m. Dadurch entsteht eine Höhe von ungefähr 2,50m.

Das Material ist bei den Aufhängepunkten dicker auszuführen als in der Mitte des Textils.

Durch die Abstände der Aufhängepunkte werden die Öffnungen bestimmt. Es wird durch die Punkte eine offene Seite und eine gegenüber liegende Eingangssituation gebildet. An einer Seite ist eine linienförmige Aufhängung vorhanden, um Stabilität zu erzeugen.

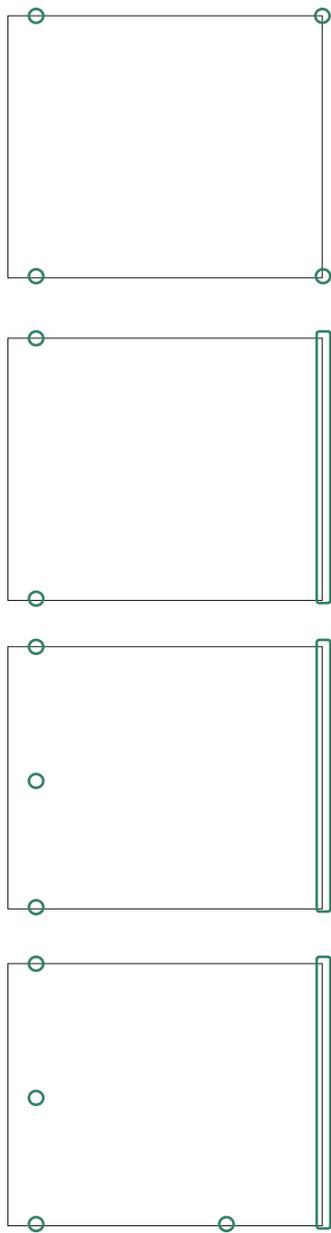


Abbildung 90: Platzierung der Aufhängepunkte

## Materialdicke

Abbildung 91 zeigt den Entwurf mit einer Materialdicke von ungefähr 30 cm. Abbildung 92 zeigt den Entwurf mit einer sehr dünnen Materialstärke von ungefähr 5 cm. Um verschiedene Dicken in Bezug zum Lastabfall zu verwenden, stellt Abbildung 93 die Version dar, die oben dünner ist und auf ihren Auflageflächen dicker ist.

Nachdem die Eigenschaften des Materials, sein Tragverhalten und das dazu gehörende Produktionsverfahren die Form nicht nur beeinflussen, sondern diese daraus resultiert, koexistieren in diesem Entwurf gleichberechtigt Material, Form, Verfahren und Konstruktion.

## Funktion

Die Funktion kann beispielsweise einen Gartenpavillon darstellen, der im Frühling angebaut werden kann und über den Sommer hinweg steht. Während der Trocknungsphase können die Pilze geerntet werden. Im Herbst wird er kompostiert und verschwindet im Winter wieder komplett von der Bildfläche.

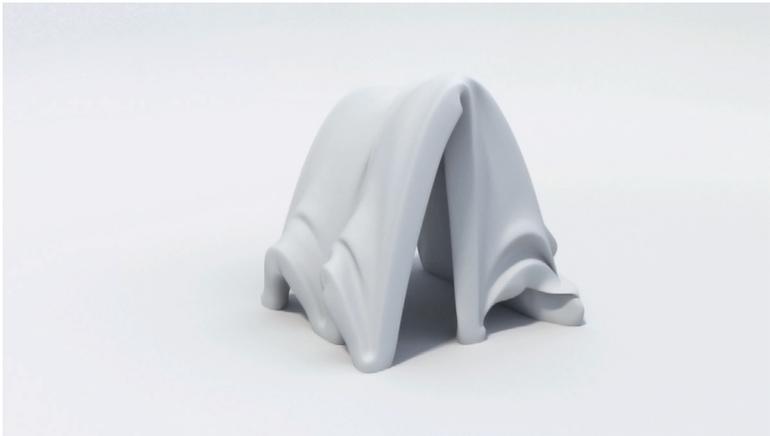


Abbildung g1: Materialdicke 1

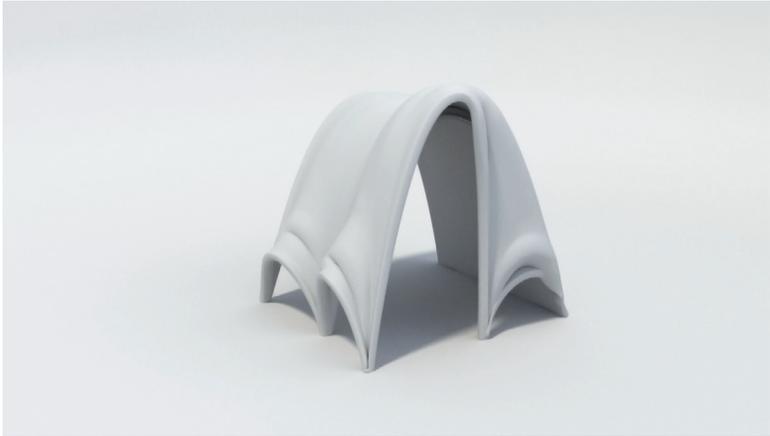


Abbildung g2: Materialdicke 2

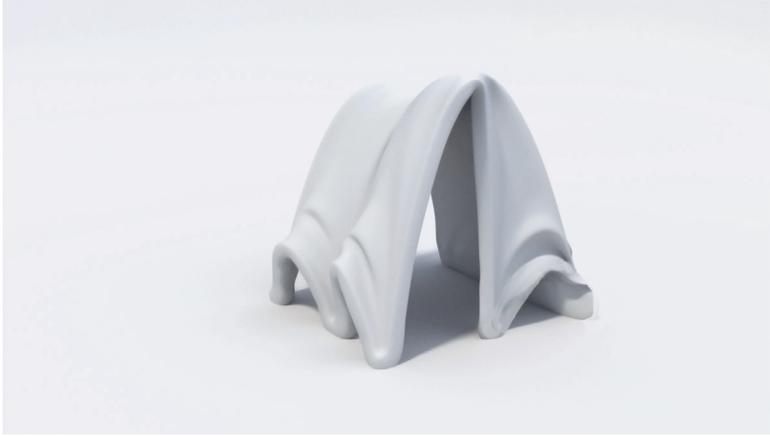


Abbildung g3: Materialdicke 3





# Ausblick

Meine Motivation hinter dieser Arbeit steckte insbesondere darin, am Forschungsfeld von innovativen Materialien, die in einem Lebenszyklus integriert sind, mitzuwirken. Die Rezeption während der Bearbeitung war überraschend. Unglaublich viele Personen drückten ihre Faszination aus, mithilfe eines Pilzes ein Haus wachsen zu lassen.

Bis der Pilzwerkstoff in den Alltag einziehen kann, dauert es noch. Bis dahin benötigt es noch viel Forschung und die ausgedehnte Verknüpfung von Schnittstellen unterschiedlicher Kompetenzen. Die Zukunft von Pilzwerkstoffen kann unglaublich breit gefächert sein. Von Lederimitaten bis hin zu Wärmedämmung, Schalldämmung oder auch konstruktivem Material, ist beinahe alles möglich. Nachdem die Wahl des Substrats und die Wahl des Pilzes eine ähnliche Bandbreite an Materialcharakteristika wie Kunststoffe anbieten, stehen dem Pilzwerkstoff unzählig viele Anwendungsbereiche gegenüber.

Dass ein Umdenken in unserer Gesellschaft weg vom Wegwerfen und hin zu Kreisläufen passieren muss, wird mit der Zeit offensichtlich. Besonders in der Architektur und dem Bauwesen ist ein neues Denken unumgänglich.

Die Möglichkeiten der Materialeigenschaften und ihrer Anwendung ist nicht nur im Bereich des Pilzwerkstoffs beinahe unbegrenzt. Die Welt und ihre Ressourcen hält uns beinahe endlose Methoden bereit, Werkstoffe ohne Abfall und mit Eingliederung in einen metabolischen Kreislauf zu entwickeln. Die Frage ist nur noch: "[...] What do you want it to do?"

# Danke ...

... Allen voran möchte ich mich bei Christoph Müller bedanken. Für alle Gespräche, Diskussionen, Ratschläge und die wirklich außerordentliche Betreuung.

... an Manfred Berthold und Karl Deix für die Betreuung sowie das Ermöglichen der Materialprüfungen.

... an die TU Wien, die mir durch das Förderstipendium das Erproben und die Entwicklung des Prototyps finanziell ermöglichte.

... an meine Tanten Christine und Elisabeth, für das Bereitstellen des Testplatzes, der Geräte und aller zugehörigen Räume.

... an meine Eltern, für die umfassende Unterstützung während des gesamten Studiums.

... an Sigrid und Bernhard, ohne euch wäre dieses Studium nicht dasselbe gewesen. Danke für die Unterstützung, für alle Gespräche und Diskussionen ganz besonders in letzter Zeit und eure wunderbare Freundschaft in den letzten beiden Jahrzehnten.

... an Florian, für die unglaubliche Unterstützung und die tatkräftige Hilfe beim Prototyp.

... an meinen Bruder Wolfgang, an Ines, Bernhard und Marietta für das wortwörtliche auf die Beine Stellen des Mush - Rooms.

... an alle Kollegen und Freunde, die mit mir seit über einem Jahr über wirklich jede Art und Form von Pilzen sprechen!

Diese Arbeit widme ich meinem Papa, weil wir zwei wunderschöne, teilweise anstrengende Lieblingsbeschäftigungen teilen: die Architektur und das Träumen.

# Verzeichnisse

## Abbildungen

- Abbildung 1: Titelbild Mush-Room.  
Henriette Fischer, 2017. S. 1;
- Abbildung 2: Titelseite Kapitel: Das Material: der Pilzwerkstoff.  
Henriette Fischer, 2017. S. 12;
- Abbildung 3: Meghalaya Living Bridges  
(Quelle: Brownell, Blaine;  
Swackhammer, Marc: *Hypernatural. Architecture's New Relationship with Nature*. Princeton Architectural Press, New York, 2015. S. 108) S. 15;
- Abbildung 4: Biologischer Kreislauf  
Henriette Fischer, 2017. S. 16;
- Abbildung 5: Aufbau eines Speisepilzes  
Henriette Fischer, 2017. S. 18;
- Abbildung 6: Pilzwerkstoff Textur  
Henriette Fischer, 2017. S. 21;
- Abbildung 7: Prozess Materialgenerierung  
Henriette Fischer, 2017. S. 23;
- Abbildung 8: Mycotectural Alpha  
(Quelle: URL: <http://billhoss.phpwebhosting.com/ross/index.php?kind0401>  
Abrufdatum: 28.09.2017) S. 27;
- Abbildung 9: Mycelium vor Durchwachsen  
(Quelle: URL: <http://www.iaacblog.com/programs/mycotecture-growing-into-form-2/>  
Abrufdatum: 28.09.2017) S. 27;
- Abbildung 10: Mycelium nach Durchwachsen  
(Quelle: URL: <http://materiability.com/portfolio/mycelium/>  
Abrufdatum: 28.09.2017) S. 27;
- Abbildung 11: Hy - Fi Tower (Quelle: URL: <https://www.designboom.com/architecture/hy-fi-the-living-david-benjamin-moma-ps1-young-architects-program-2014-07-01-2014/>  
Abrufdatum: 28.09.2017) S. 29;
- Abbildung 12: Mycelium Chair  
Henriette Fischer, 2017. S. 29;
- Abbildung 13: Mycelium tectonics 1  
(Quelle: URL: <http://mycelium-tectonics.com/> Abrufdatum: 28.09.2017) S. 29;
- Abbildung 14: Mycelium tectonics 2  
(Quelle: URL: <http://mycelium-tectonics.com/> Abrufdatum: 28.09.2017) S. 29;
- Abbildung 15: Mycelium tectonics 3  
(Quelle: URL: <http://mycelium-tectonics.com/> Abrufdatum: 28.09.2017) S. 29;
- Abbildung 16: Typologie Pavillon  
Henriette Fischer, 2017. S. 31;
- Abbildung 17: Kreislauf Mush - Room  
Henriette Fischer, 2017. S. 33;
- Abbildung 18: Titelseite Kapitel: Die Grundlagen: Experimente mit Myzel.  
Henriette Fischer, 2017. S. 34;
- Abbildung 19: Methode  
Henriette Fischer, 2017. S. 37;
- Abbildung 20: Einflussgrößen  
Henriette Fischer, 2017. S. 39;
- Abbildung 21: Austernseitling  
(Quelle: URL: <http://www.schoepfung.eu/landschaften-pflanzen/pilze/austernseitling/> Abrufdatum: 28.09.2017) S. 51;
- Abbildung 22: Kräuterseitling  
(Quelle: URL: [http://pilzzucht-braun.de/index.php?route=product/product&product\\_id=40](http://pilzzucht-braun.de/index.php?route=product/product&product_id=40) Abrufdatum: 28.09.2017) S. 51;
- Abbildung 23: Sommer- oder Lungenseitling  
(Quelle: URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lungen-Seitling> Abrufdatum: 28.09.2017) S. 51;
- Abbildung 24: Reishi  
(Quelle: URL: <https://www.consciouslifestylemag.com/reishi-mushroom-of-spiritual-potency/> Abrufdatum: 28.09.2017) S. 51;
- Abbildung 25: Wachstum des Myzels im mikroskopischen Bereich  
Henriette Fischer, 2017. S. 61;
- Abbildung 26: Luft- und Substratmyzel  
Henriette Fischer, 2017. S. 64;
- Abbildung 27: Luftmyzel 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 65;
- Abbildung 28: Luftmyzel 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 65;
- Abbildung 29: Luftmyzel 3

- Henriette Fischer, 2017. S. 65;
- Abbildung 30: Luftmyzel 4  
Henriette Fischer, 2017. S. 65;
- Abbildung 31: Luftmyzel 5  
Henriette Fischer, 2017. S. 65;
- Abbildung 32: Luftmyzel 6  
Henriette Fischer, 2017. S. 65;
- Abbildung 33: Wachstum 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 69;
- Abbildung 34: Wachstum 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 69;
- Abbildung 35: Wachstum 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 69;
- Abbildung 36: Wachstum 4  
Henriette Fischer, 2017. S. 69;
- Abbildung 37: Wachstum 5  
Henriette Fischer, 2017. S. 69;
- Abbildung 38: Wachstum 6  
Henriette Fischer, 2017. S. 69;
- Abbildung 39: Grundriss und Ansicht Box 1:50  
Henriette Fischer, 2017. S. 103;
- Abbildung 40: Nähmaschine  
Henriette Fischer, 2017. S. 104;
- Abbildung 41: Niete 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 104;
- Abbildung 42: Abnähungen  
Henriette Fischer, 2017. S. 104;
- Abbildung 43: Titelseite Kapitel: Der Entwurf: Ein biologisch abbaubarer Pavillon. Henriette Fischer, 2017. S. 128
- Abbildung 44: Verfahren 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 131;
- Abbildung 45: Verfahren 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 131;
- Abbildung 46: Versuch 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 131;
- Abbildung 47: Kettenlinie  
Henriette Fischer, 2017. S. 133;
- Abbildung 48: Verfahren 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 135;
- Abbildung 49: Verfahren 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 135;
- Abbildung 50: Verfahren 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 135;
- Abbildung 51: Form: Dreieck  
Aufhängepunkte: Ecken  
Henriette Fischer, 2017. S. 136;
- Abbildung 52: Form: Quadrat  
Aufhängepunkte: Ecken  
Henriette Fischer, 2017. S. 136;
- Abbildung 53: Form: Fünfeck  
Aufhängepunkte: Ecken  
Henriette Fischer, 2017. S. 136;
- Abbildung 54: Form: Quadrat,  
Aufhängepunkte: Ecken  
Henriette Fischer, 2017. S. 136;
- Abbildung 55: Form: Quadrat,  
Aufhängepunkte: Seitenmitten  
Henriette Fischer, 2017. S. 136;
- Abbildung 56: Form: Quadrat,  
Aufhängepunkte: Zufällig  
Henriette Fischer, 2017. S. 136;
- Abbildung 57: Form: Dreieck,  
Aufhängepunkte: Ecken  
sekundäre Aufhängepunkte: 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 137;
- Abbildung 58: Form: Dreieck,  
Aufhängepunkte: Ecken  
sekundäre Aufhängepunkte: 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 137;
- Abbildung 59: Form: Dreieck,  
Aufhängepunkte: Ecken  
sekundäre Aufhängepunkte: 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 137;
- Abbildung 60: Form: Dreieck,  
Aufhängepunkte: Ecken  
sekundäre Aufh.: Linie + 2 Ecken  
Henriette Fischer, 2017. S. 137;
- Abbildung 61: Form: Dreieck,  
Aufhängepunkte: Ecken  
sekundäre Aufh.: halbe Linie + 2 Ecken  
Henriette Fischer, 2017. S. 137;
- Abbildung 62: Form: Dreieck,  
Aufhängepunkte: Ecken  
sekundäre Aufh.: Linie  
Henriette Fischer, 2017. S. 137;
- Abbildung 63: Zuschnitt Materialüberhang  
Henriette Fischer, 2017. S. 138;
- Abbildung 64: Materialsteifigkeit 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 139;
- Abbildung 65: Materialsteifigkeit 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 139;
- Abbildung 66: Materialsteifigkeit 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 139;
- Abbildung 67: Materialdicke Zufall 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 141;

Abbildung 68: Materialdicke Zufall 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 141;  
Abbildung 69: Materialdicke Zufall 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 141;  
Abbildung 70: Materialdicke gleichmäßig 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 141;  
Abbildung 71: Materialdicke gleichmäßig 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 141;  
Abbildung 72: Materialdicke gleichmäßig 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 141;  
Abbildung 73: Materialdicke 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 143;  
Abbildung 74: Materialdicke 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 143;  
Abbildung 75: Materialdicke 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 143;  
Abbildung 76: Materialdicke 4  
Henriette Fischer, 2017. S. 143;  
Abbildung 77: Materialdicke 5  
Henriette Fischer, 2017. S. 143;  
Abbildung 78: Spannweite 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 144;  
Abbildung 79: Spannweite 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 144;  
Abbildung 80: Spannweite 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 144;  
Abbildung 81: Eingang 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 145;  
Abbildung 82: Eingang 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 145;  
Abbildung 83: Eingang 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 145;  
Abbildung 84: Textil 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 146;  
Abbildung 85: Textil 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 146;  
Abbildung 86: Textil 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 146;  
Abbildung 87: Öffnung 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 147;  
Abbildung 88: Öffnung 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 147;  
Abbildung 89: Öffnung 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 147;  
Abbildung 90: Platzierung der  
Aufhängepunkte  
Henriette Fischer, 2017. S. 149;  
Abbildung 91: Materialdicke 1  
Henriette Fischer, 2017. S. 151;

Abbildung 92: Materialdicke 2  
Henriette Fischer, 2017. S. 151;  
Abbildung 93: Materialdicke 3  
Henriette Fischer, 2017. S. 151;

## Diagramme

Diagramm 1: Biologische Taxonomie  
Henriette Fischer, 2017. S.17  
Diagramm 2: Substrateigenschaften  
Ergebnisse 1  
Henriette Fischer, 2017. S.49  
Diagramm 3: Substrateigenschaften  
Ergebnisse 2  
Henriette Fischer, 2017. S.49  
Diagramm 4: Versuch 1  
Henriette Fischer, 2017. S.79  
Diagramm 5: Versuch 2  
Henriette Fischer, 2017. S.79  
Diagramm 6: Versuch 3  
Henriette Fischer, 2017. S.80  
Diagramm 7: Versuch 4  
Henriette Fischer, 2017. S.80  
Diagramm 8: Versuch 5  
Henriette Fischer, 2017. S.81  
Diagramm 9: Vergleich Versuche 1-5  
Henriette Fischer, 2017. S.83  
Diagramm 10: Versuch 6  
Henriette Fischer, 2017. S.83  
Diagramm 11: Versuch 7  
Henriette Fischer, 2017. S.85  
Diagramm 12: Analyse der neuralgischen  
Punkte  
Henriette Fischer, 2017. S.123  
Diagramm 13: Zeitleiste  
Henriette Fischer, 2017. S.125

## Versuche

- Versuch 1: Baumwolle  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 2: Buche klein  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 3: Zeitungspapier  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 4: Jute  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 5: Heu  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 6: Kaffeesatz  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 7: Fichte  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 8: Hanffaser  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 9: Stroh  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 10: Weizenkleie  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 11: Buche groß  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 12: Buche mittel  
Henriette Fischer, 2017. S.41
- Versuch 13: Hanffaser Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.44
- Versuch 14: Weizenkleie Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.44
- Versuch 15: Baumwolle Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.44
- Versuch 16: Stroh Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.44
- Versuch 17: Fichte Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.45
- Versuch 18: Holzpellets Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.45
- Versuch 19: Buche klein Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.45
- Versuch 20: Buche groß Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.45
- Versuch 21: Kaffeesubstrat: Porosität 1  
Henriette Fischer, 2017. S.46
- Versuch 22: Kaffeesubstrat Porosität 2  
Henriette Fischer, 2017. S.46
- Versuch 23: Austernseitling Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.53
- Versuch 24: Sommerseitling Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.53
- Versuch 25: Reishi Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.53
- Versuch 26: Kräuterseitling Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.53
- Versuch 27: pH - Wert 1  
Henriette Fischer, 2017. S.54
- Versuch 28: pH - Wert 2  
Henriette Fischer, 2017. S.54
- Versuch 29: pH - Wert 3  
Henriette Fischer, 2017. S.54
- Versuch 30: Essigbasis, pH Wert: 3,5: Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.55
- Versuch 31: Wasserbasis, pH Wert: 7: Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.55
- Versuch 32: Seifenbasis, pH Wert: 9: Tag 1, Tag 3, Tag 7  
Henriette Fischer, 2017. S.55
- Versuch 33: Versuchsreihe Gips, 1/2 TL: Tag 1, Tag 7, Tag 14  
Henriette Fischer, 2017. S.56
- Versuch 34: Versuchsreihe Gips, 1 TL: Tag 1, Tag 7, Tag 14  
Henriette Fischer, 2017. S.56
- Versuch 35: Versuchsreihe Gips, 2 TL: Tag 1, Tag 7, Tag 14  
Henriette Fischer, 2017. S.56
- Versuch 36: Versuchsreihe Kalk, 1/2 TL: Tag 1, Tag 7, Tag 14  
Henriette Fischer, 2017. S.57
- Versuch 37: Versuchsreihe Kalk, 1 TL: Tag 1, Tag 3, Tag 7, Tag 14  
Henriette Fischer, 2017. S.57
- Versuch 38: Versuchsreihe Kalk, 2 TL: Tag 1, Tag 3, Tag 7, Tag 14  
Henriette Fischer, 2017. S.57
- Versuch 39: pH - Wert, Essig 1  
Henriette Fischer, 2017. S.58
- Versuch 40: pH - Wert, Essig 2  
Henriette Fischer, 2017. S.58
- Versuch 41: pH - Wert, Essig 3  
Henriette Fischer, 2017. S.58
- Versuch 42: Kontaminierung 1  
Henriette Fischer, 2017. S.59
- Versuch 43: Kontaminierung 2  
Henriette Fischer, 2017. S.59
- Versuch 44: Kontaminierung: Pinselschimmel

Henriette Fischer, 2017. S.59  
 Versuch 45: Wachstum Tag 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.63  
 Versuch 46: Wachstum Tag 3  
 Henriette Fischer, 2017. S.63  
 Versuch 47: Wachstum Tag 10  
 Henriette Fischer, 2017. S.63  
 Versuch 48: Wachstum Tag 12  
 Henriette Fischer, 2017. S.63  
 Versuch 49: Wachstum Tag 15  
 Henriette Fischer, 2017. S.63  
 Versuch 50: Wachstum Tag 23  
 Henriette Fischer, 2017. S.63  
 Versuch 51: Wachstum 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.67  
 Versuch 52: Wachstum 2  
 Henriette Fischer, 2017. S.67  
 Versuch 53: Wachstum 3  
 Henriette Fischer, 2017. S.67  
 Versuch 54: Wachstum 4  
 Henriette Fischer, 2017. S.67  
 Versuch 55: Wachstum 5  
 Henriette Fischer, 2017. S.67  
 Versuch 56: Wachstum 6  
 Henriette Fischer, 2017. S.67  
 Versuch 57: Myzel  
 Henriette Fischer, 2017. S.70  
 Versuch 58: Primordien 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.70  
 Versuch 59: Primordien 2  
 Henriette Fischer, 2017. S.70  
 Versuch 60: Übergang  
 Fruchtkörperentwicklung  
 Henriette Fischer, 2017. S.70  
 Versuch 61: Übergang  
 Henriette Fischer, 2017. S.72  
 Versuch 62: Oberfläche 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.73  
 Versuch 63: Oberfläche 2  
 Henriette Fischer, 2017. S.73  
 Versuch 64: Oberfläche 3  
 Henriette Fischer, 2017. S.73  
 Versuch 65: Oberfläche 4  
 Henriette Fischer, 2017. S.73  
 Versuch 66: Oberfläche 5  
 Henriette Fischer, 2017. S.73  
 Versuch 67: Oberfläche 6  
 Henriette Fischer, 2017. S.73  
 Versuch 68: Druckversuch 1

Henriette Fischer, 2017. S.75  
 Versuch 69: Druckversuch 2  
 Henriette Fischer, 2017. S.75  
 Versuch 70: Druckversuch 3  
 Henriette Fischer, 2017. S.75  
 Versuch 71: Druckversuch 4  
 Henriette Fischer, 2017. S.77  
 Versuch 72: Druckversuch 5  
 Henriette Fischer, 2017. S.77  
 Versuch 73: Biegeversuch 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.77  
 Versuch 74: Brandversuch 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.87  
 Versuch 75: Brandversuch 2  
 Henriette Fischer, 2017. S.87  
 Versuch 76: Brandversuch 3  
 Henriette Fischer, 2017. S.87  
 Versuch 77: Brandversuch 4  
 Henriette Fischer, 2017. S.87  
 Versuch 78: Brandversuch 5  
 Henriette Fischer, 2017. S.87  
 Versuch 79: Brandversuch 6  
 Henriette Fischer, 2017. S.87  
 Versuch 80: Maßstabssprung 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.89  
 Versuch 81: Maßstabssprung 2.0  
 Henriette Fischer, 2017. S.89  
 Versuch 82: Maßstabssprung 2.1  
 Henriette Fischer, 2017. S.89  
 Versuch 83: Maßstabssprung 3  
 Henriette Fischer, 2017. S.89  
 Versuch 84: Maßstabssprung 4  
 Henriette Fischer, 2017. S.89  
 Versuch 85: Titelseite Kapitel:  
 Der Prototyp: Mush-Room  
 Henriette Fischer, 2017. S.91  
 Versuch 86: Material und Form  
 Henriette Fischer, 2017. S.93  
 Versuch 87: Hängeversuch 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.95  
 Versuch 88: Hängeversuch 2  
 Henriette Fischer, 2017. S.95  
 Versuch 89: Hängeversuch 3  
 Henriette Fischer, 2017. S.95  
 Versuch 90: Hängeversuch groß  
 Henriette Fischer, 2017. S.96  
 Versuch 91: Prototyp klein 1  
 Henriette Fischer, 2017. S.98  
 Versuch 92: Prototyp klein 2

- Henriette Fischer, 2017. S.98
- Versuch 93: Prototyp klein 3  
Henriette Fischer, 2017. S.98
- Versuch 94: Prototyp mittel 1  
Henriette Fischer, 2017. S.99
- Versuch 95: Prototyp mittel 2  
Henriette Fischer, 2017. S.99
- Versuch 96: Prototyp mittel 3  
Henriette Fischer, 2017. S.99
- Versuch 97: Prototyp mittel 4  
Henriette Fischer, 2017. S.99
- Versuch 98: Prototyp mittel 5  
Henriette Fischer, 2017. S.99
- Versuch 99: Prototyp mittel 6  
Henriette Fischer, 2017. S.99
- Versuch 100: Testplatz  
Henriette Fischer, 2017. S.101
- Versuch 101: Box 1  
Henriette Fischer, 2017. S.105
- Versuch 102: Box 2  
Henriette Fischer, 2017. S.105
- Versuch 103: Aufhängen des Textils  
Henriette Fischer, 2017. S.107
- Versuch 104: Mischen des Materials  
Henriette Fischer, 2017. S.109
- Versuch 105: Einfüllen des Materials  
Henriette Fischer, 2017. S.109
- Versuch 106: Schutzfolie 1  
Henriette Fischer, 2017. S.109
- Versuch 107: Schutzfolie 2  
Henriette Fischer, 2017. S.109
- Versuch 108: Mush Room während Wachstum  
Henriette Fischer, 2017. S. 110
- Versuch 109: Mush Room 1  
Henriette Fischer, 2017. S.112
- Versuch 110: Mush Room 2  
Henriette Fischer, 2017. S.112
- Versuch 111: Mush Room 3  
Henriette Fischer, 2017. S.112
- Versuch 112: Mush Room 4  
Henriette Fischer, 2017. S.113
- Versuch 113: Mush Room 5  
Henriette Fischer, 2017. S.113
- Versuch 114: Mush Room 6  
Henriette Fischer, 2017. S.113
- Versuch 115: Mush Room 7  
Henriette Fischer, 2017. S.113
- Versuch 116: Mush Room 8  
Henriette Fischer, 2017. S.113
- Versuch 117: Erste Ernte Sommerseitling  
Henriette Fischer, 2017. S.116
- Versuch 118: Mush Room 9  
Henriette Fischer, 2017. S.117
- Versuch 119: Trocknung  
Henriette Fischer, 2017. S.119
- Versuch 120: Rotation 1  
Henriette Fischer, 2017. S.121
- Versuch 121: Rotation 2  
Henriette Fischer, 2017. S.121
- Versuch 122: Rotation 3  
Henriette Fischer, 2017. S.121
- Versuch 123: Rotation 4  
Henriette Fischer, 2017. S.121
- Versuch 124: Schaubild Mush Room  
Henriette Fischer, 2017. S.153
- Versuch 125: Pilzrisotto  
Henriette Fischer, 2017. S.165

## Literatur

Brownell, Blaine; Swackhammer, Marc: Hypernatural. Architecture's New Relationship with Nature. Princeton Architectural Press, New York, 2015.

Burkhardt, Berthold: Gitterschalen. Institut für Flächentragwerke, Stuttgart, 1974.

Ednie- Brown, Pia: bioMASON and the speculative engagements of biotechnical architecture. In: AD Architectural Design 83(1), 2013.

Finsterwalder, Rudolf: Form follows Nature. Birkhäuser, Basel, 2015.

De Landa, Manuel:

Imhof, Barbara; Gruber, Petra: Blending Architecture and Biology. Built to Grow. Birkhäuser, Basel, 2016.

Imhof, Barbara; Gruber, Petra: What is the Architect doing in the Jungle? Biornametics. Springer, Wien, 2013.

Herneoja, Aulikki; Österlund, Toni; Markkanen, Piia: Complexity Simplicity. 34th eCAADe Conference, University of Oulu, 2016.

Müller, Emil; Loeffler, Wolfgang: Mykologie. Grundriß für Naturwissenschaftler und Mediziner. Thieme, Stuttgart, 1992.

Neugebauer, Reimund: Handbuch Ressourcenorientierte Produktion. Carl Hanser Verlag, München, 2013.

Schmidt, Olaf: Holz- und Baupilze: Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. Berlin Heidelberg, 1994.

Schittich, Christian: im Detail. Mikroarchitektur kleine Strukturen, Mobile Bauten, Raum-zellen. Institut für internationale Architektur - Dokumentation, München, 2010.

Schneider, Ulrich: Wiener Baustoff Blätter: Holz und Holzwerkstoffe, Schriftenreihe des Instituts für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich Bausteofflehre, Werkstofftechnik und Brandsicherheit, TU Wien, 2011.

Travaglini, Sonia et al.: Mycology matrix Composites. Proceedings of the American Society for Composites - Twenty-Eighth Technical Conference, 2013.

Willimann, Ivo; Egli-Brož, Helena: Ökologie: Einführung in die Wechselwirkung zwischen Mensch und Natur. Compendio Bildungsmedien, Zürich, 2010.

## Internetseiten

3d printed Chair. In: URL: <https://www.dezeen.com/2014/03/06/movie-eric-klarenbeek-mushroom-roots-fungus-3d-printed-chair/> (Abrufdatum: 28.09.2017)

Biodegradable hy-fi by the living opens at MoMA PS1. URL: <https://www.designboom.com/architecture/hy-fi-the-living-david-benjamin-moma-ps1-young-architects-program-2014-07-01-2014/> (Abrufdatum: 28.09.2017)

Bricks grown from bacteria. In: URL: <https://www.materialist.com/bricks-grown-from-bacteria/> (Abrufdatum: 28.09.2017)

Der größte Organismus der Welt. In: URL: <https://www.welt.de/print-welt/>

- article526936/Der-groesste-Organismus-der-Welt.html (Abrufdatum: 28.09.2017)
- "EN 13432 - Nachweis Kompostierbarkeit" In: URL: <http://www.bioplastics.ch/EN-13432.pdf> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Houses of the future grown out of mushrooms. In: URL: <http://motherboard.vice.com/blog/houses-of-the-future-grown-out-of-mushrooms> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Material Performance. In: URL: <http://moritzdoerstelmann.com/portfolio/harvard-university-gsd-material-performance-sept-2014/> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Michael Braungart ist ein Öko-Visionär. Seine Ideen stellen alles auf den Kopf, was wir unter Umweltschutz verstehen - Die Klugheit des Kirschbaums. In: URL: <http://www.berliner-zeitung.de/15592904> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Mycelium. In: URL: <http://materiability.com/mycelium/> (letzter Zugriff: 05.01.2017)
- Mycotecture. In: URL: <http://www.mycoworks.com/mycotecture-techvideo/> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Mycelium Tectonics. Vgl. URL: <http://mycelium-tectonics.com/> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Mycotecture (Phil Ross). In: URL: <https://www.moma.org/interactives/exhibitions/2013/designandviolence/mycotecture-phil-ross/mycoworks> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Pilzwerkstoff, aus Myzel. In: URL: <http://www.materialarchiv.ch/app-tablet/#detail/1741/>
- pilzwerkstoff-aus-myzel (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Shell Mycelium. URL: <https://www.designboom.com/architecture/shell-mycelium-degradation-movement-manifesto-07-25-2017/> (Abrufdatum: 28.09.2017)
- Will the buildings of the future be grown underwater? In: URL: <https://www.theguardian.com/artanddesign/architecture-design-blog/2014/feb/17/buildings-future-underwater-nature-architecture-michael-pawlyn-exhibition> (Abrufdatum: 28.09.2017)

# Risotto mit Sommerseitling

## Zutaten

100 g Butter  
1 Zwiebel  
200 g Risottoreis  
200 ml Weißwein  
400 ml Gemüsebrühe  
60 g Parmesan  
100 g Butter  
6 Sommerseitlinge  
Thymian  
Salz und Pfeffer

## Zubereitung

Ein Stück Butter in einem Topf zerlassen und geschnittene Zwiebel darin glasig dünsten. Den Reis hinzufügen und ebenfalls dünsten. Abwechselnd Weißwein und Gemüsebrühe hinzufügen.

Sommerseitlinge putzen, grob hacken und unter das fast fertige Risotto heben. Kurz vor Ende der Garzeit restliche Butter und Parmesan unterheben. Mit Thymian, Salz und Pfeffer abschmecken.

Guten Appetit!



Versuch 125: Pilzrisotto

A sustainable world already exists.

