

MUSH - ROOM

Entwicklung und Entwurf eines Pavillons aus Pilzwerkstoff

Henriette Fischer¹

¹ FH Campus Wien, Favoritenstraße 226, 1100 Wien, Austria
henriette.fischer@fh-campuswien.ac.at

Abstract. Ein Umdenken im Materialsektor ist aufgrund von Ressourcenknappheit und Klimawandel unumgänglich. Baustoffe, die sinnvoll in einen Lebenszyklus eingegliedert werden können, werden zukünftig eine immer größere Relevanz im Bauwesen einnehmen. Vor diesem Hintergrund widmet sich die Arbeit der Entwicklung und dem Entwurf eines Pavillons aus myzel-basiertem Kompositmaterial, kurz Pilzwerkstoff. 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. Die Forschungsarbeit behandelt zunächst die Grundlagenforschung des Pilzwerkstoffs. Basierend auf den Erkenntnissen wird ein Verfahren entwickelt, das durch die Anwendung von Pilzwerkstoff als konstruktives Material einen Entwurf eines 100% biologisch abbaubaren, sprich temporären Pavillons zulässt. Das beinhaltet die Konstruktion, die empirische Untersuchung an Modellen und die anschließende Rückführung der Ergebnisse in einen Entwurf. Kernstück der Arbeit ist die Realisierung eines Prototyps im Maßstab 1:2.

Keywords: Nachhaltige Architektur, Nachhaltige Baumaterialien, Biomaterialien, Myzel, Pilzwerkstoff, Kompositmaterial, Lebenszyklus

1 Ausgangslage

Durch den Bau und Betrieb von Gebäuden wird 40-50% des Rohstoffverbrauchs verursacht.[1] Spätestens seitdem wir wissen, dass fossile Energieträger und stoffliche Ressourcen zur Neige gehen werden, benötigen wir deshalb eine neue Sicht auf Werkstoffe. Auf der Suche nach ressourcenschonenden und materialeffizienten Materialien ist ein metabolischer Materialkreislauf entscheidend. Das Projekt „Mush - Room“ beschäftigt sich mit der Entwicklung und Anwendung von Pilzwerkstoff, einem myzel-basierten Kompositmaterial. Bisher wurde das Material im Produktdesign, als Wärmedämmung und als Lederimitat eingesetzt. In der Architektur entstand 2014 eine erste größere Struktur, zuletzt wurde bei der Seoul Biennale of Architecture and Urbanism 2017 eine selbsttragende Struktur aus Pilzwerkstoff gezeigt. Alle bisherigen Entwürfe basieren auf dem Einsatz von modularen Bauteilen.[2],[3] Der innovative Forschungsaspekt der Arbeit ist die Frage, wie der Baustoff abseits von einer modularen Form als konstruktives Material eingesetzt werden kann.

2 Pilzwerkstoff

2.1 Materialprozess

Myzel stellt biologisch gesehen das Fadengeflecht von Pilzen in der Erde dar. Wird es unter geeigneten Bedingungen mit einem zellulosehaltigen Substrat und Wasser zusammengebracht, durchwächst der Pilz das Substrat und kann anschließend getrocknet werden. Es entsteht ein natürliches Material mit einer großen Spanne unterschiedlicher Charakteristika. Das Substrat muss aus zwei Gründen zellulosehaltig sein: Der Unterschied zwischen Pilzen und anderen Organismen ist, dass der Pilz Zellulose in Glucose zerteilen kann. Das bedeutet, dass er im Gegensatz zu anderen Organismen relativ schnell wachsen kann. Je höher der Zellulosegehalt, umso besser fällt das Wachstum aus. Ein hoher Zellulosegehalt führt außerdem zu einer höheren Zugfestigkeit.[4] Geeignete Bedingungen sind je nach Pilzart unterschiedliche Einflussgrößen und beinhalten Luftfeuchtigkeit, Temperatur, pH-Wert, CO₂-Gehalt und Lichtempfindlichkeit.

2.2 Materialentwicklung

Als primäre Einflussgröße zählen die eigentlichen Bestandteile des Materials: der Pilz und das Substrat. Die sekundären Einflussgrößen regeln die Geschwindigkeit und das Kontaminierungsrisiko des Myzelwachstums. Die untersuchten Substratarten umfassen Späne (Fichte und Buche), Naturfaser (Hanf, Baumwolle, Jute), getrocknete Pflanzen (Heu, Stroh) und Nebenprodukte der Nahrungsmittelherstellung (Weizenkleie, Treber, Kaffeesatz). Es stellt sich heraus, dass ein stabiles Material auf folgende Kriterien zurückzuführen ist:

- Porosität: Wenn das Substrat zu dicht ist, kann das Myzel das Material nicht durchdringen und wächst nur oberflächlich. Ist es zu porös, kann das Myzel die Abstände zwischen den Partikeln nicht überbrücken. Überbrückbare Distanzen befinden sich ungefähr im Bereich zwischen 0,5 mm und 2 mm.
- Kontaminierungsrisiko: Ein hoher pH-Wert kann das Kontaminierungsrisiko gering halten. Je höher der pH-Wert, umso sauberer muss allerdings gearbeitet werden. Bevor das Substrat mit dem Myzel zusammengebracht wird, kann auch das Kochen des Substrats das Kontaminierungsrisiko minimieren.
- Luftfeuchtigkeit: In der Phase des Durchwachsens liegt die optimale relative Luftfeuchte zwischen 85% und 95%. Bei der Fruchtkörperbildung ist die notwendige Luftfeuchtigkeit je nach Pilzart unterschiedlich, sollte aber prinzipiell 75% nicht unterschreiten.
- CO₂ Gehalt: Grundsätzlich benötigen Pilze Sauerstoff und scheiden CO₂ ab. Ein höherer CO₂ Gehalt kann das Pilzwachstum beschleunigen. Ist er zu hoch, verformen sich die späteren Primordien (Stadium zwischen Myzelwachstum und Fruchtkörperbildung) zu korallenartigen Formen.
- Licht: Während des Durchwachsens sollte das Material so gut wie möglich vor Sonnenlicht geschützt sein.

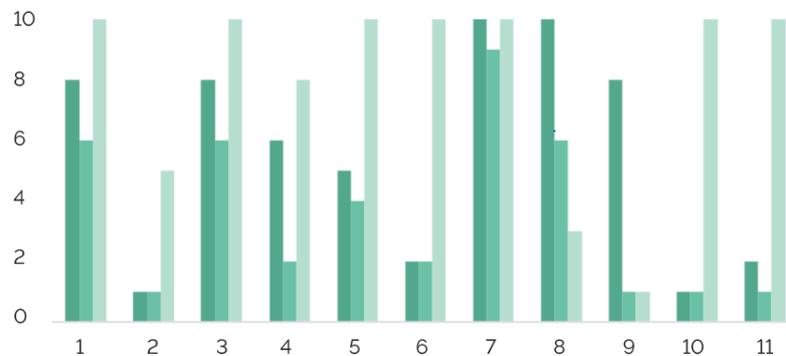


Fig. 1. Vergleich Substrate

Fig. 1 zeigt die elf untersuchten Substrate mit den jeweils wichtigsten Kennwerten: Porosität, Stabilität und Beständigkeit gegen Kontaminierung. Substrat 7 (Buchenhackgut 0,75 - 3 mm) stellt eine geeignete Porosität, eine ausreichende Stabilität und eine gute Beständigkeit gegen Kontaminierung dar.

Die untersuchten Pilzsorten orientieren sich an bereits verwirklichten Projekten aus Pilzwerkstoff. Somit werden der Kräuterseitling, Sommerseitling, Austernseitling und der Reishi näher untersucht. Nachdem das Myzel des Sommerseitlings schneller und aggressiver als das Myzel des Austern- und Kräuterseitlings wächst und im Gegensatz zu dem Myzel des Reishi Pilzes wenig Kontaminierungsrisiko zeigt, wird er als Pilzsorte für die weiteren Schritte gewählt.

2.3 Wachstum

Grundsätzlich kann zwischen Luft- und Substratmyzel differenziert werden. Luftmyzel breitet sich an der Oberfläche gleichmäßig in alle Richtungen aus, Substratmyzel wächst in das Material hinein und verzweigt sich. Die Ausbreitung geht dabei von einem variabel großen Myzelstück aus. Die einzelnen halbkugelförmigen Luftmyzelien verdichten sich zu einem oberflächlichen Myzelteppich, der sich über das Substrat zieht. Das Myzel, das in das Substrat hineinwächst, bindet die einzelnen Partikel untereinander. In einem größeren Maßstab wächst nicht nur das oberflächliche Myzel, sondern auch das Substratmyzel gleichmäßig in alle Richtungen. Das bedeutet, dass zusammenhängende, kugelförmige Teile dort entstehen, wo Myzel im Material vorhanden ist. Erst wenn die mit Substrat gefüllte Form vollständig durchwachsen ist, nimmt das Material eine stabile Form an.

2.4 Materialprüfungen

Insgesamt wurden die drei am besten durchwachsenen Zusammensetzungen auf Druckfestigkeit und Biegezugfestigkeit geprüft. Die vierte Zusammensetzung bein-

hält ein Baumwolltextil, in das der Pilzwerkstoff für die Wachstumsphase eingefüllt wurde. Nachdem Baumwolle ebenfalls einen hohen Anteil an Zellulose besitzt, wurde das Material durchwachsen und ist direkt mit dem Pilzwerkstoff verbunden. Im Durchschnitt ergeben die geprüften Versuche eine mittlere Dichte von $0,264 \text{ g/cm}^2$ bzw. 264 kg/m^3 . Im Vergleich dazu wurden an der Universität Berkeley Versuche zu Pilzwerkstoffen mit dem Pilz Reishi durchgeführt, die eine Dichte von 318 kg/m^3 aufweisen.[5] An der Universität für Angewandte Kunst Wien arbeitete man ebenfalls basierend auf dem Pilz Reishi mit einer mittleren Dichte von 305 kg/m^3 . [6]

Die Probe, die von Baumwolle umfasst ist, erzielte eine höhere Druckfestigkeit von $0,1 \text{ N/mm}^2$ im Gegensatz zu der Materialprobe ohne Textil mit einer durchschnittlichen Druckfestigkeit von $0,045 \text{ N/mm}^2$. Die Druckfestigkeit der Ergebnisse der Universität Berkeley beläuft sich auf $0,49 \text{ N/mm}^2$. [5] Die Universität der Angewandten Kunst Wien erreicht eine Druckfestigkeit von $1,7 - 2,7 \text{ N/mm}^2$. [6] Die unterschiedlichen Werte treten aufgrund der gewählten Pilzart, des Substrats und der verschiedenen Wachstumsbedingungen auf.

Bei einem Dreipunkt- Biegezugversuch wurde eine Biegespannung von $0,019 \text{ N/mm}^2$ gemessen. Nachdem aus dem Biegezugversuch eine sehr geringe Biegespannung resultiert, wird im Folgenden eine Konstruktion hergestellt, die nur auf Druck beansprucht wird.

3 Bau eines Prototyps

3.1 Entwicklung eines Verfahrens

Dem Verfahren liegt das System des Hängemodells zugrunde, das wiederum auf der Kettenlinie basiert. 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. Die Umkehrform des Hängemodells wird ausschließlich auf Druck belastet.

Je nachdem, wie die Form des Zuschnitts, die Anzahl, die Art und die Platzierung der Aufhängepunkte des Baumwolltextils ausfällt, wird ein unterschiedlicher Entwurf generiert. Ein zweilagiger Stoff, der an seinen Rändern abgenäht ist, dient als Grundlage, um eine Materialdicke bestimmen zu können. Durch Abstoppungen formt das Textil 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 beieinander, verringert sich die Materialstärke.

3.2 Herstellung des Prototyps

Als Testplatz steht eine private Garage zur Verfügung, wo nahezu perfekte Wachstumsbedingungen herrschen: Die Temperatur beträgt innerhalb der Testzeit zwischen 18 und 22°C . Es herrscht eine Luftfeuchtigkeit von 50% vor. Als Mischung für den Pilzwerkstoff dient folgende Zusammensetzung: 70% Buchenhackgut klein, 15% Buchensägemehl, 5% Buchenhackgut groß, 10% Myzel. Nachdem das feuchte Mate-

rial in das Baumwolltextil eingebracht wird, benötigt die Konstruktion eine wiederverwendbare Folie als Abdeckung, um vor Kontamination weitgehend geschützt zu sein. Das Wachstum dauert ungefähr 20 Tage. Sobald die Nährstoffe aufgebraucht sind und die Bedingungen stimmen, wachsen Fruchtkörper. Nach der Ernte der Fruchtkörper wird der Pavillon getrocknet. Dabei ist es notwendig, nicht nur die Feuchtigkeit zu entziehen, sondern den Werkstoff auch auf mindestens 40°C zu erhitzen, um das Myzel absterben zu lassen. Wird das Material zwar getrocknet, aber nicht erhitzt, kann es nach einer erneuten Befeuchtung zu einem weiteren Wachstum kommen. Dabei ist eine Kontamination in Form eines Schimmelbefalls am gefährlichsten. Ein solcher Befall bedeutet eine erhebliche Materialschwächung.

Nachdem der Pavillon getrocknet wurde, wurde er auf den vorher befestigten Rollen ins Freie gerollt und rotiert. Als letzter Schritt kann der temporäre Pavillon nach seiner Nutzung zerkleinert und kompostiert werden.



Fig. 2. Trocknungsphase **Fig. 3.** Rotierter Prototyp

3.3 Analyse

Nachdem die bisherige Anwendung von Pilzwerkstoffen ausschließlich im modularen Format angewendet wurde, fehlen Vergleiche zu einem ähnlichen Maßstab.

Bei der Rotation des Pavillons stellte sich heraus, dass die Auflageflächen zusammenhängend einen besseren Stand gewähren würden.

Das größte Optimierungspotenzial wird in der Materialfestigkeit gesehen. In der Materialmischung wurde zu 40% großes Buchenhackgut verwendet. Dieser Anteil sollte auf mindestens die Hälfte reduziert werden oder ganz weggelassen werden. Dadurch verkleinert sich der Abstand zwischen den einzelnen Partikeln und führt zu einem insgesamt besser durchwachsenen und somit stabileren Ergebnis. 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. Das Baumwolltextil wurde sehr gut vom Pilz durchwachsen. Eine mögliche Op-

timierung wäre auch innerhalb der Schalung Baumwollfasern einzubringen, um das Material für eine Zugbelastung zu verfestigen.

4 Form



Fig. 4. Untersuchung der Form

In weiterer Folge wurden unterschiedliche Formen untersucht, die im Rahmen eines Umkehrmodells möglich sind. Die Form des Textils sowie die Anzahl und Positionierung der Aufhängepunkte definieren die Größe, Spannweite und Öffnungen des Pavillons. Eine mögliche Anwendung für einen temporären Pavillon wären Garten oder Festival Pavillons, die nach ihrer Nutzung meistens nicht mehr benötigt werden. Nachdem der Pavillon zu 100% kompostierbar ist, fällt kein Abfall an und kann nach seiner Kompostierung wieder als Ressource dienen. Im Gegensatz zu wiederverwendbaren Konstruktionen kann sich der Pavillon durch ein mögliches Verwurzeln mit dem Boden vereinen und so Teil des Ortes werden.

5 Conclusio

Die Forschungsarbeit zeigt, dass sich Pilzwerkstoffe zusammen mit anderen Materialien als selbsttragende Konstruktion eignen.

Der in dieser Arbeit vorgestellte Prozess ist ein mögliches Verfahren von vielen. Es kann als erster Schritt gesehen werden, Pilzwerkstoff und Baumwolle zu kombinieren und in größeren Strukturen zu verwenden.

Pilzwerkstoffe können mit unzähligen Charakteristiken wie hart oder weich, schwer oder leicht, porös oder elastisch hergestellt werden. Ähnlich wie bei Kunststoffen gibt es unzählige verschiedene Einflussgrößen, die die Eigenschaften bestimmen. Somit könnten eine Vielzahl von erdölbasierten Materialien durch Pilzwerkstoffe ersetzt werden.[7]

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 sehr 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 unzählige viele Anwendungsbereiche gegenüber.

Dass ein Umdenken in unserer Gesellschaft weg vom Wegwerfen und hin zu Kreisläufen passieren muss, ist offensichtlich. Die Natur hält dafür unzählige Methoden bereit, deren Hintergründe und Systeme wir uns zu Eigen machen können. Es ist an der Zeit, dass wir uns daran bedienen und unsere Gesellschaft auf eine nachhaltige, sinnvolle Nutzung unserer Ressourcen bauen.

6 Dank

Dieses Projekt wurde im Rahmen einer Diplomarbeit durch ein Forschungsstipendium der TU Wien finanziert. Besonderer Dank gilt Univ.Prof. Arch. DI Dr. Manfred Berthold und Univ.Lektor DI Dr. Christoph Müller für die Betreuung der Arbeit.

Referenzen

1. M. Bauer, P. Möhle, M. Schwarz: Green Building. Leitfaden für nachhaltiges Bauen. Stuttgart 2013. S.5ff.
2. P. Frank: This Living, Sustainable Mushroom Building Could Be The Future Of Green Architecture. In: URL: https://www.huffingtonpost.com/2014/07/02/moma-hy-fi-n_5549107.html (letzter Aufruf 14.01.2018)
3. Baustoffe: Selbsttragende Struktur aus Pilzmyzel. In: URL: <http://www.win-verlag.de/baustoffe-selbsttragende-struktur-aus-pilzmyzel> (letzter Aufruf 14.01.2018)
4. R. Lelivelt, G.Lindner, P.Teuffel, H.Lamers: The production process and compressive strength of mycelium-based materials.First International Conference on Bio-based Building Materials. Eindhoven, 2015. S.1 ff.
5. S. Travaglini et al.: Mycology matrix Composites. Proceedings of the American Society for Composites - Twenty-Eighth Technical Conference. USA, 2013. S.1ff.
6. B. Imhof, P. Gruber: Blending Architecture and Biology. Built to Grow. Basel, 2016. S.100ff.
7. D. Hebel, F. Heisel: Cultivated Building Materials. Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction. Basel, 2017. S.134ff.