„PILZ-KLEBER“
Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von myzelbasierten Werkstoffen

(Kolja Diehl)

Wie Pilz-Myzel „klebt“

Unter Pilzen stellt man sich meistens den Fruchtkörper und nicht deren „Wurzeln“ (Myzel) vor. Das Myzel besteht aus einem Geflecht aus Hyphen. Diese dringen wie Bohrer in Substrate wie z.B. Sägemehl ein. Durch Dehydration versteifen sich die Hyphen und „verkleben“ auf Grund der Geflechtstruktur des Myzels das Substrat, wie auf Abb. 1. zu sehen ist.



Abb. 1: Mit Myzel „verklebtes“ Sägemehl. Foto: Kolja Diehl, 2018.

Vorteile von Myzel-Klebstoff

Da Myzel die oben genannten „Klebeeigenschaften“ aufweist, lassen sich mit dieser Methode Ersatzwerkstoffe für z.B. Styropor herstellen.

- ✓ Schwerentflammbar und Wasserabweisend auf Grund des Chitinanteils
- ✓ Substrate sind meistens „Abfallstoffe“
- ✓ Vollständig in der Natur kompostierbar
  - ➢ Keine Industrieanlagen sind notwendig
  - ➢ Myzelien sind ein fester Bestandteil im natürlichen Nährstoff-Kreislauf
  - ➢ Mikroorganismen haben sich perfekt auf den Abbau von Myzel eingestellt

Hintergrund & Motivation

Bambusfahrradrahmen finde ich faszinierend: Ein Süßgras wie Bambus kann Aluminium bzw. Stahl ersetzen. Allerdings stellen die Verbindungen (Abb. 2) der einzelnen Bambusrohre ein Problem dar: Das meistens verwendete Epoxidharz steht unter krebsverdacht. Deshalb suche ich nach Alternativen und habe mit Lignin experimentiert. Ich bin dann auf myzelbasierte Werkstoffe gestoßen.



Abb. 2: Bambusfahrradrahmen, Rohre sind mit in Epoxidharz eingebettete Flachsfasern verbunden. Foto: Adobe Stock

Meine Idee war, deren mechanischen Eigenschaften zu verbessern, um das Anwendungsspektrum von myzelbasierten Werkstoffen zu erweitern. Eine Anwendung in einem Bambusrahmen ist zum jetzigen Stand der Forschung unrealistisch, da die mechanischen Eigenschaften dieser Werkstoffe vor meiner Arbeit nur auf dem Niveau von Styropor lagen und ich diese nicht stark genug verbessern konnte.

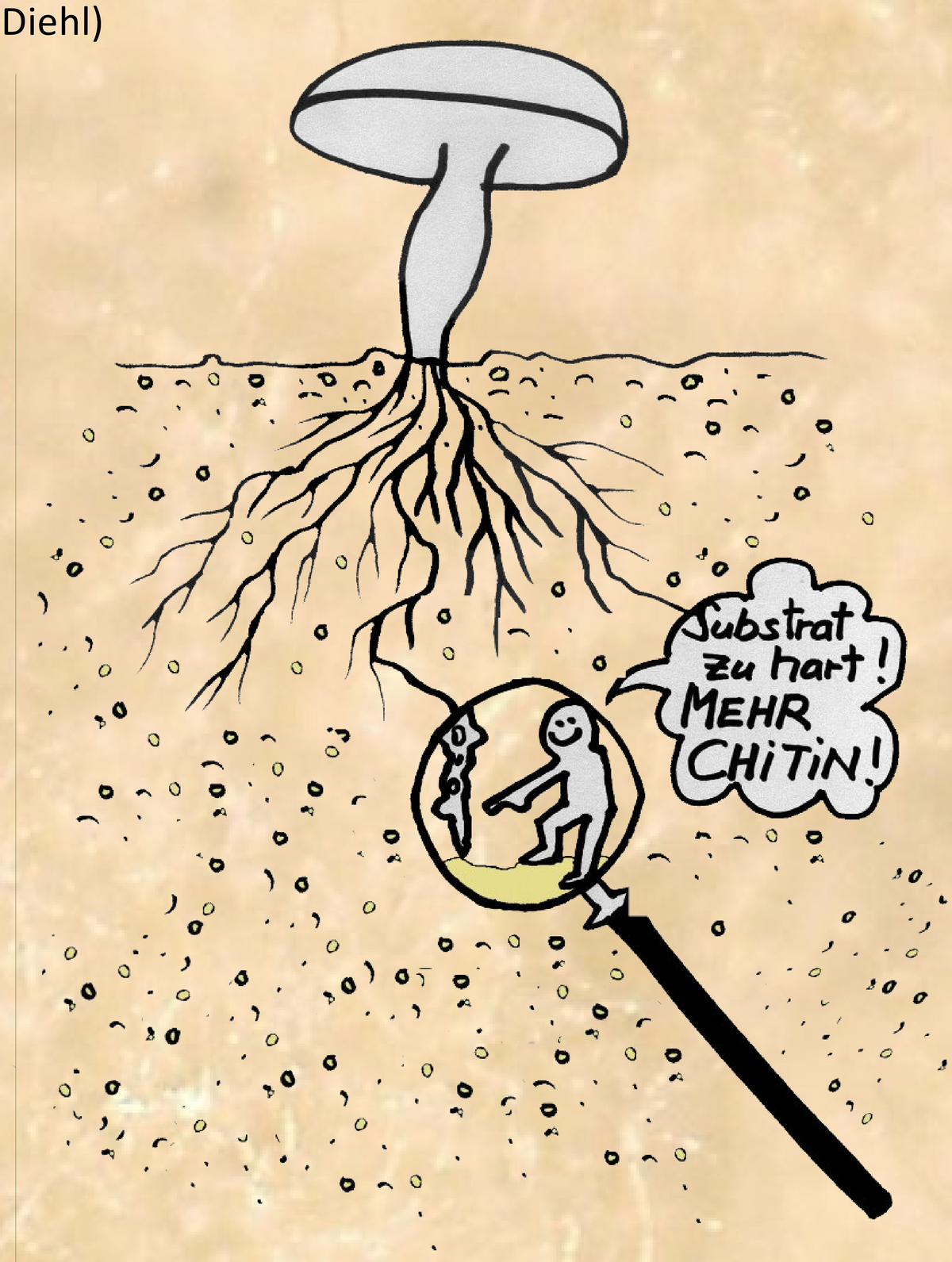


Abb. 3: Pilz at work: Chitin schärft den Bohrer. Zeichnung: Christian Österreich, 2019.

Arbeitshypothesen

1. Der Chitinanteil im Myzel steigt, wenn ligninbasiertes Substrat verwendet wird (Abb. 3). Somit verbessern sich auch die mechanischen Eigenschaften des Endproduktes.
   - ➢ Bisherige Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass der Chitinanteil steigt, je schwieriger das Substrat abzubauen ist.
   - ➢ Da ich zunächst mit Lignin experimentiert habe und Lignin das am schwierigsten abzubauende Natur-Polymer ist, hatte ich die Idee, Myzel auf Lignin zu züchten.
2. Durch eingewachsene Flachsfasern lassen sich die mechanischen Eigenschaften weiter verbessern.
3. Myzel lässt sich auch zum zusammenfügen von natürlich gewachsenen Materialien wie Bambus nutzen.

Vorgehensweise, Ergebnisse & Diskussion

Vorgehensweise

Grundschema

Ziel jeder Versuchsvariante war, Proben herzustellen, die möglichst gute mechanische Eigenschaften aufweisen und mit denen ich meine Arbeitshypothesen überprüfen kann. Dieses Grundschema habe ich zweimal mit unterschiedlichen Feststoffsubstraten durchgeführt. Weiterhin habe ich mit Flüssigsubstraten gearbeitet, welche aufgrund von Kontaminationen nicht verwendbar waren.

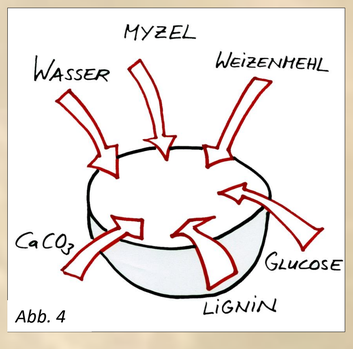
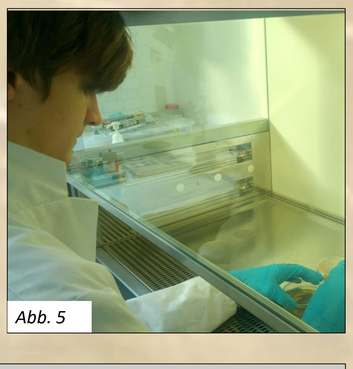


Abb. 4


Abb. 5

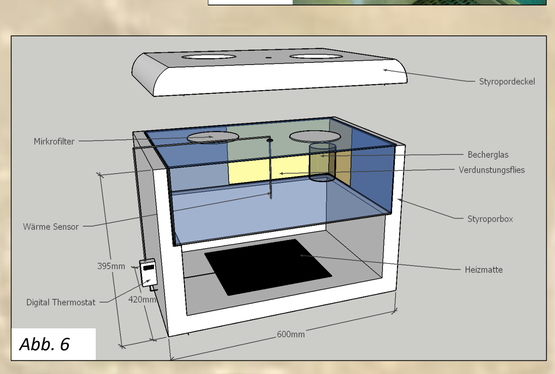
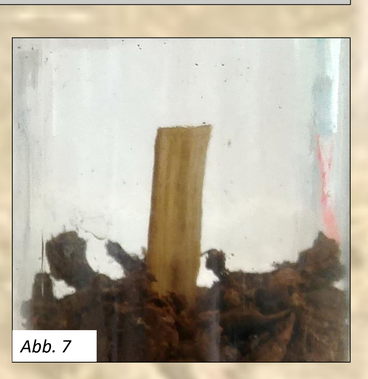


Abb. 6


Abb. 7

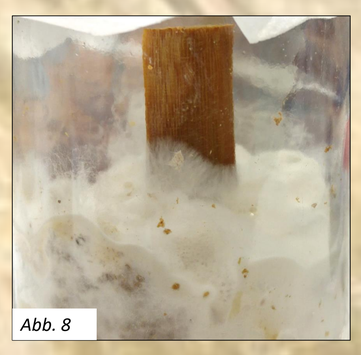
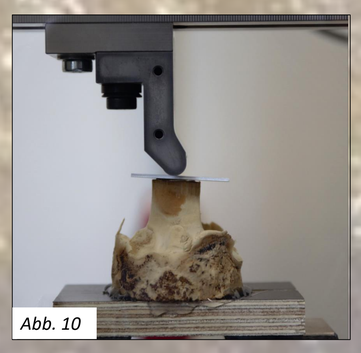

Abb. 8


Abb. 9


Abb. 10

1. **Substrate herstellen und mit Körnerbrut beimpfen**
Im ersten Schritt habe ich jeweils ein Lignin-, ein Sägemehl- und ein Flüssigsubstrat hergestellt**.** Auf Abb. 4 sind exemplarisch die Bestandteile des Ligninsubstrats zu sehen. Nur im Ligninsubstrat habe ich Glucose verwendet, da der Ligninabbau sehr energieintensiv ist.

Vermeidung von Kontaminationen im Substrat
Bei allen Arbeitsschritten waren sterile Bedingungen notwendig, ansonsten wäre mein Pilz im Wachstum behindert worden oder abgestorben.
- Gefäße habe ich nur unter einer Clean Bench geöffnet (Abb. 5).
- Alle Substrate habe ich unter Druck und feuchter Hitze sterilisiert (autoklaviert).

2. **Erste Wachstumsphase**
Der Pilz *Ganoderma Lucidum* benötigt besondere klimatische Bedingungen, weshalb ich eine Wachstumsbox (Abb. 6) gebaut habe. In dieser herrschen konstant 28,7 °C und 85 -95 % Luftfeuchtigkeit.
In dieser Phase ist das Myzel anderthalb bis zwei Wochen durch das Substrat gewachsen.

3. **Substrat durchmischen und Flachsfasergelege bzw. Bambus hinzufügen**
Durch das erneute Durchmischen des zusammengewachsenen Substrats wird das Myzelwachstum angeregt. Mit dem Zusatz von Bambus wollte ich testen, ob sich Myzel zur Zusammenfügung von Bambus eignet (Abb. 7). In anderen Proben habe ich Flachsfasern einwachsen lassen, um die mechanischen Eigenschaften von Myzel-Werkstoffen zu verbessern.

4. **Zweite Wachstumsphase**
In dieser zweiten Wachstumsphase durchwächst das Myzel das Substrat erneut und dringt in den Bambus bzw. die Flachsfasern ein (Abb. 8). Die Wachstumszeiten der zweiten Phase der ligninbasierten Biegeproben:
96 h bei 24 – 28,7 °C, dann 72 h bei 31 °C

5. **Dehydration um das Myzel zu versteifen**
Bei diesem Arbeitsschritt habe ich die Proben bei 80 °C dehydriert (Abb. 9). Dadurch versteift sich das Myzel. Außerdem stirbt das Myzel ab, der Pilz wächst nicht mehr weiter. Ich habe *Ganoderma Lucidum* ausgewählt, da er weisverfaulend ist (also Lignin abbauen kann). Außerdem ist er gesundheitlich unbedenklich, er wird z.B. als Tee konsumiert.

6. **Materialtests**
Bei den Materialtests habe ich die Proben auf ihre mechanischen Eigenschaften hin untersucht. Auf Abb. 10 ist ein Druckversuch gezeigt, bei dem die „Klebeeigenschaften“ des Myzels an Bambus getestet werden.

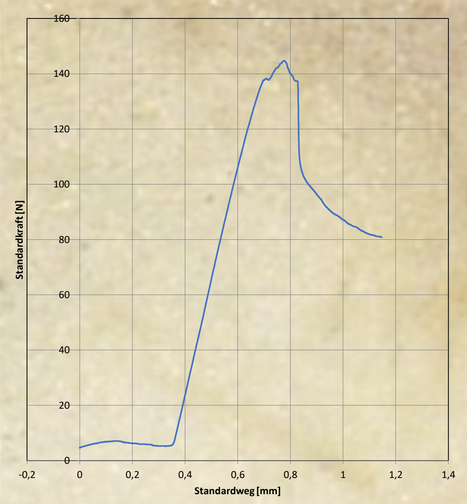
Versuche durchgeführt beim

Bremer Umweltinstitut
Gesellschaft für Schadstoffanalysen und Begutachtung mbH

Ergebnisse und Diskussion



Abb. 11



Überprüfung der Haftung an Bambus

Der Stempel hat den Bambusstab aus dem ligninbasiertem Substrat gedrückt (Abb. 11).

- Das Myzel hat einer Belastung von ca. 14,5 kg oder ca. 0,1 N/mm^2 standgehalten (siehe Belastungskurve).
- Das Myzel ist nicht aus dem Bambus heraus gedrückt worden, sondern in sich gerissen.
- Der Bambusstab in einer sägemehlbasierten Vergleichsprobe hat sich bereits bei dem Durchtrennen der Probe gelockert. Das war ein erstes Indiz für einen positiven Effekt von ligninbasiertem Substrat.

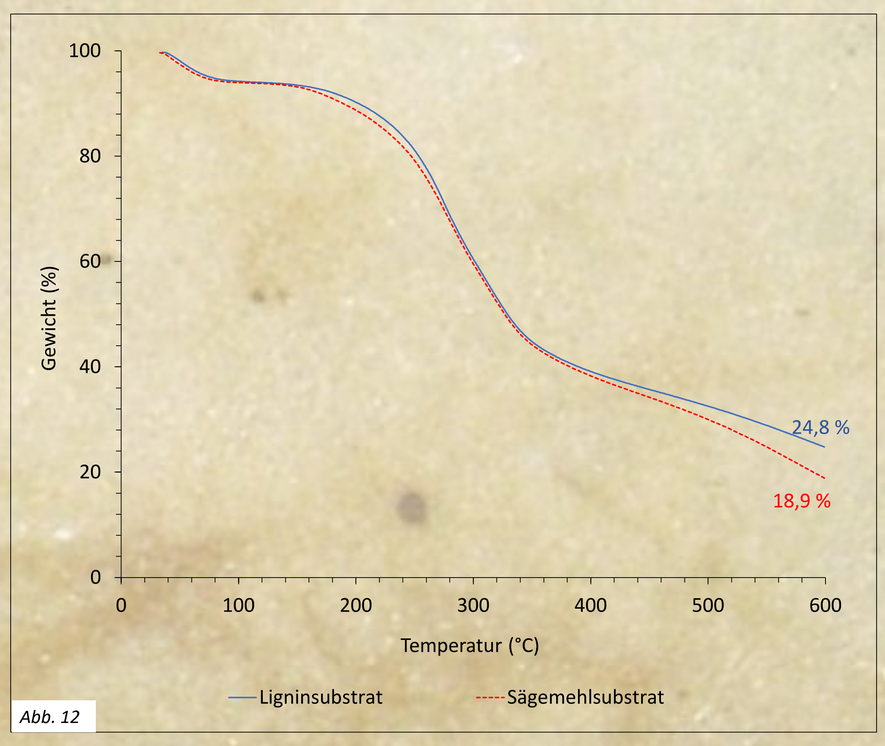


Abb. 12

Thermogravimetrische Analyse

Die Thermogravimetrische Analyse sollte überprüfen, ob das Myzel mehr Chitin produziert, wenn es auf ligninbasiertem Substrat wächst. Unter Stickstoffatmosphäre wurde jeweils eine Myzelprobe, die auf ligninbasiertem, und eine, die auf sägemehlbasiertem Substrat gewachsen war, bis 600 °C erhitzt und dabei gewogen. Ergebnis:

- Im Temperaturbereich von 300 – 450 °C, in dem sich Chitin zersetzt, weist das auf ligninbasiertem Substrat gewachsene Myzel ein höheres Gewicht auf (Abb. 12).
- Das deutet auf einen höheren Chitingehalt hin.

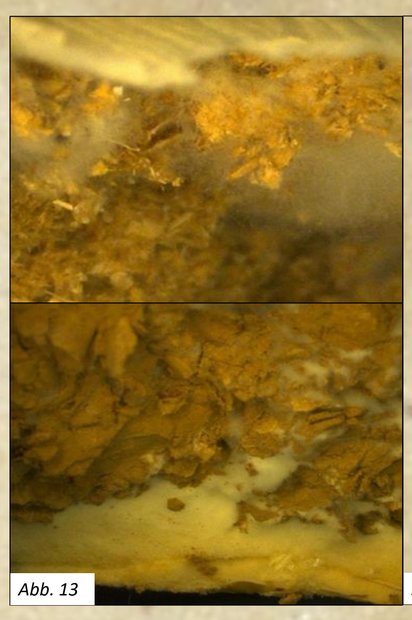


Abb. 13

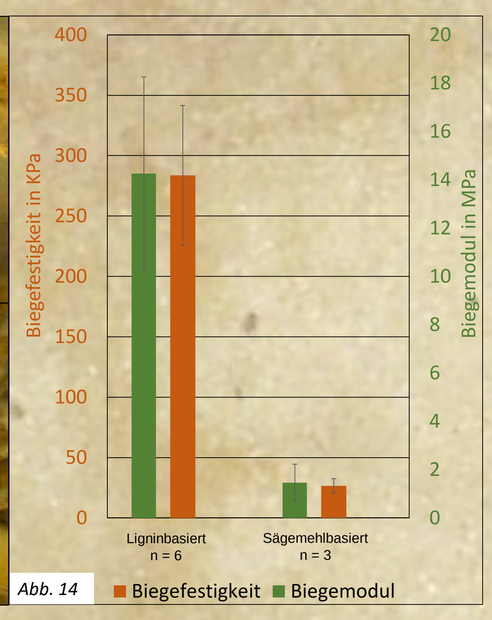


Abb. 14

Biegeversuche

Mit 3-Punkt-Biegeversuchen habe ich das Biegemodul, die Biegefestigkeit und die jeweilige Standardabweichung von sägemehl- und ligninbasierten Proben untersucht. Ergebnisse:

- Die Bruchkanten beider Probenarten waren ähnlich stark durchwachsen (Abb. 13: oben sägemehlbasierte Probe, unten ligninbasierte Probe).
- Sowohl bei dem Biegemodul als auch bei der Biegefestigkeit haben die ligninbasierten Proben gut neunmal bessere Ergebnisse erreicht (Abb. 14).
- Deshalb sind diese Ergebnisse ein starkes Indiz für einen positiven Effekt von ligninbasiertem Substrat.

Zusammenfassung

- Ligninbasiertes Substrat verbessert sehr wahrscheinlich die mechanischen Eigenschaften von myzelbasierten Werkstoffen. Das geht mit einem erhöhten Chitinanteil im Myzel einher.
- Bislang konnte ich keinen Faserverbundwerkstoff herstellen, da das Myzel nur *um*, und nicht *in* die Flachsfasern gewachsen ist.
- Das Myzel ist hingegen in Bambus gewachsen. Die Festigkeit der Verbindung war durch die Festigkeit und die Dichte des Myzels allerdings limitiert.

Zukünftige Forschung

- Effekt von kleinen Mengen zusätzlichen Lignins in Substraten untersuchen, da Lignin relativ teuer ist.
- Methoden entwickeln, um ein deutlich dichteres Myzelwachstum zu erreichen, z.B. mit Flüssigsubstrat.
- Herstellung eines Faserverbundwerkstoffes, z.B. mit Hanf- statt Flachsfasern

Mit Unterstützung des

Fraunhofer IFAM