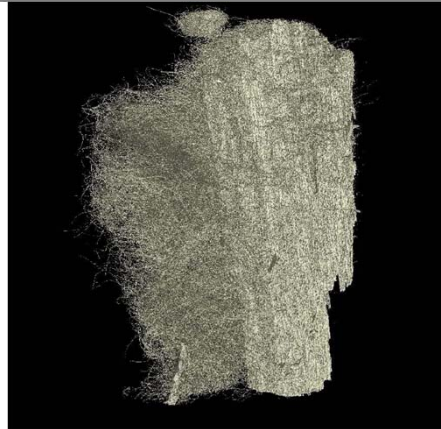
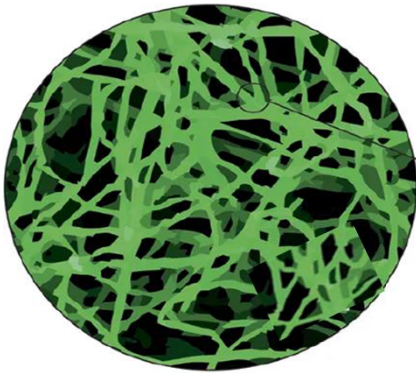


Bauphysikalische Untersuchung an Pilzmyzel-basierten Materialien für den Einsatz als Wärmedämmmaterial im Bauwesen

18. Fachforum Innovative Dämmstoffe

M.Sc. Attila Ibuk

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Baustoffe und Betonbau



Übersicht

- Problemstellung
- Grundlagen – Myzel
- Herstellung der Probekörper aus Pilzmyzel-basierten Materialien (PMB)
 - Komponenten PMB-Dämmmaterial
 - Herstellung (Vermengen / Wachstum / Trocknen)
- Bauphysikalische Charakterisierung von PMB
- Ergebnisse
- Diskussion & Schlussfolgerung



Problemstellung

Nachhaltiges Bauen ↔ Ökobilanz von Baustoffen



**Nachteil klassischer Dämmmaterialien ist
ihre schlechte Ökobilanz**

+

**Notwendigkeit, auf fossile Ressourcen
zurückzugreifen**



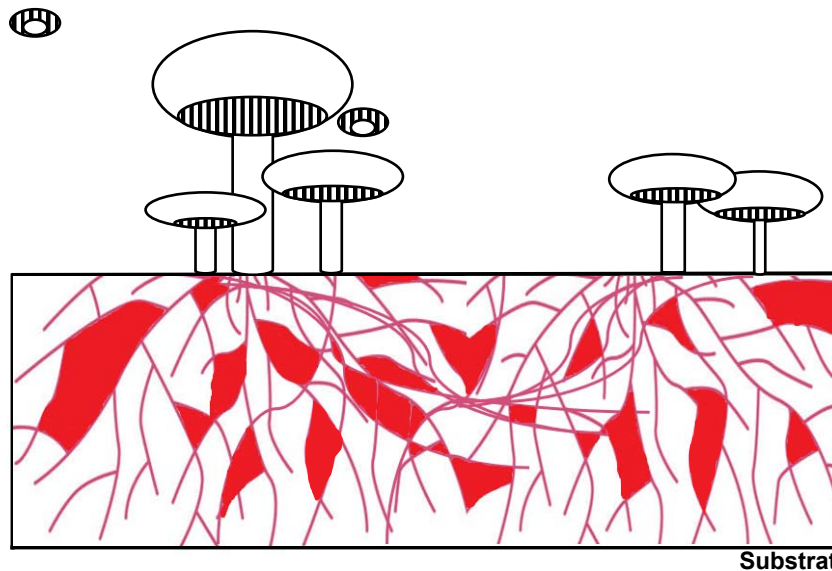
[1]

Grundlagen – Myzel



[1]

Grundlagen – Myzel



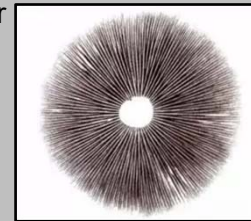
Substrat

 = Spore;  = Hyphen;  = Lufteinkapselung [1],[7]

Essentielle Bestandteile von Pilzen

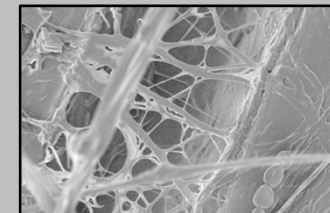
Spore:

- mikroskopisch kleine, reproduktive Struktur
- mobile Verbreitung / Fortpflanzung



Hyphen:

- fadenförmige Struktur
- Nährstoffaufnahme / lokale Verbreitung



- mehrere Hyphen = ein Myzel

➡ 95% Myzel + 4% Fruchtkörper + 1% Spore = **ein Pilz**

Herstellung – Komponenten PMB-Dämmmaterial

Weißfäulepilzarten:

- *Pleurotus ostreatus*
- *Trametes versicolor*
- *Fomes fomentaris*

Aufwuchsmaterial:

- Basis: Hanf, Buche
 $(\lambda_{\text{Hanf}} = 0,04 - 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)};$
 $\lambda_{\text{Buche}} = 0,13 - 0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)})$
- nachhaltige Additive:
z.B. Reisschalen,
Kaffeesilberhäutchen,
Buchenschäben
- funktionale Additive:
z.B. Perlit, Seegras

Makronährstoffe:

- Cellulose
- Hemicellulose
- Lignin

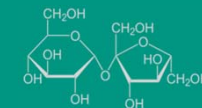
Rohstoffe



Pilzbrut



Substrat



Nährstoffe

[1],[2]

Herstellung – Vermengen



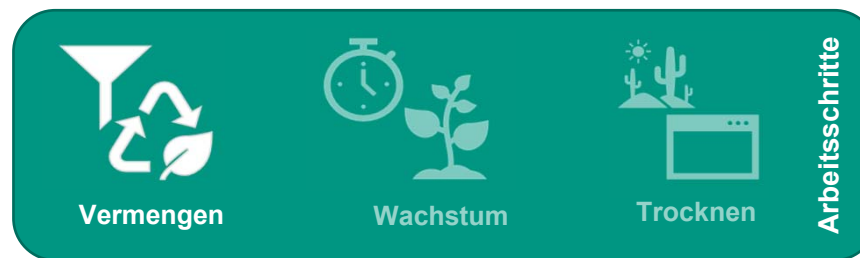
Bild 1: Charge Pilzbrut im Anlieferungszustand



Bild 2: Frisch befüllte Schalung für die Probekörper der Wärmeleitfähigkeitsmessung



Bild 3: Ein Tag ruhender Probekörper in Schalung



[2]

Herstellung – Wachstum



Bild 4: Kontaminierter Probekörper

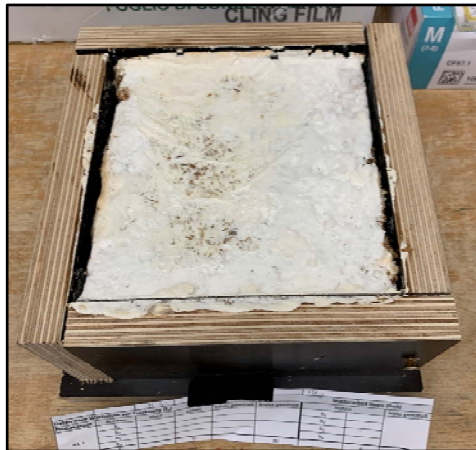
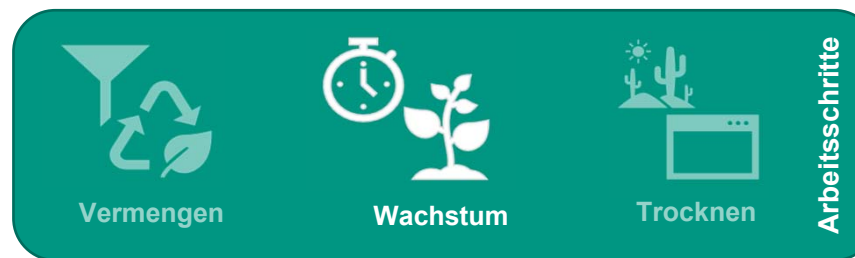


Bild 5: In Schalung wachsender Pilz 1



Bild 6: In Schalung wachsender Pilz 2



[1],[2]

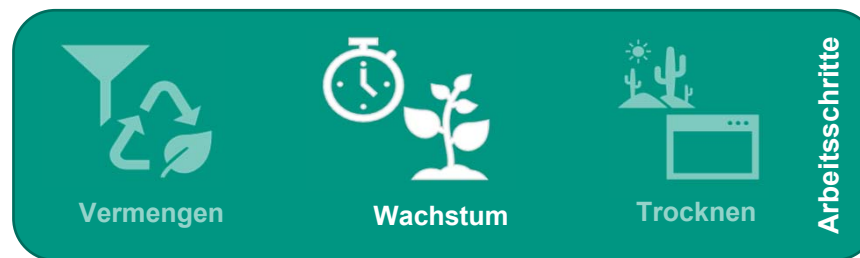
Herstellung – Wachstum



Bild 7: Frisch ausgeschalteter WL-Probekörper



Bild 8: WL-Probekörper nach 4 Tagen freien Wachstums



[2]

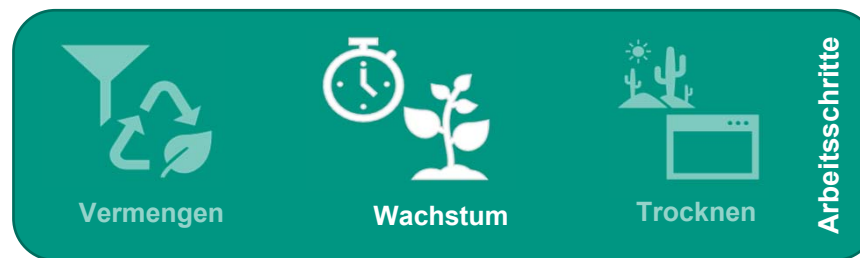
Herstellung – Wachstum



Bild 9: Probekörper direkt nach dem Ausschalen



Bild 10: Probekörper 4 Tage nach dem Ausschalen



[2]

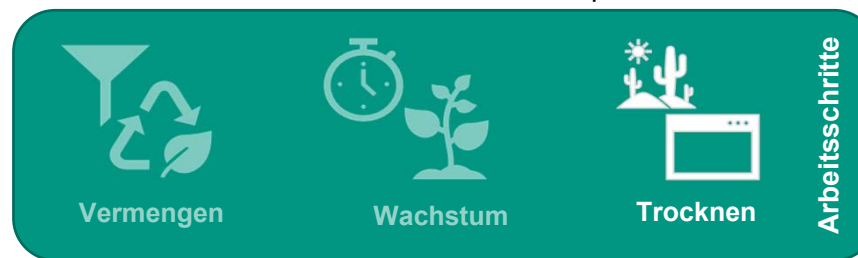
Herstellung – Trocknen



Bild 11: Getrocknete Probekörper für Wärmeleitfähigkeitsmessungen



Bild 12: Getrocknete Probekörper für Wasserdampfdiffusionswiderstandsmessungen



[2]

Bauphysikalische Charakterisierung PMB

Versuchsgegenstand:

Wärmetechnische Eigenschaften:

(z. B. Wärmeleitfähigkeit λ)

- DIN EN 12667

Feuchtetechnische Eigenschaften:

(z. B. Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ (WDD), Wasseraufnahmekoeffizient W_w (WA))

- DIN EN 12086
- DIN EN ISO 29767

[4],[5]

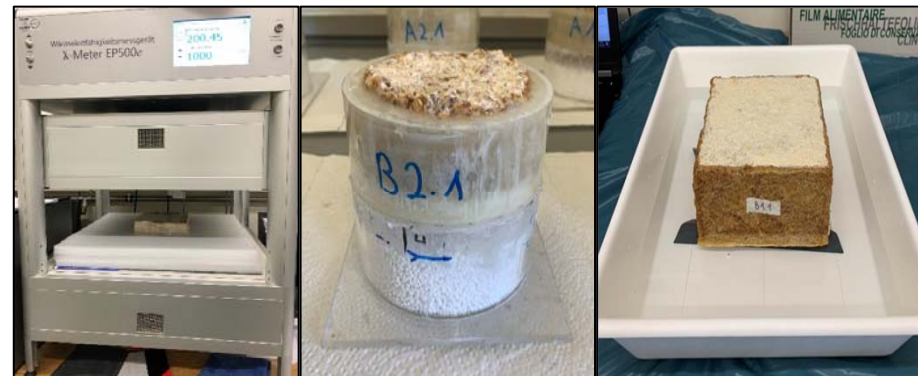


Bild 13: Indikative Wärmeleitfähigkeits- und Feuchtigkeitsmessungen nach Beispiel der angeführten Normen

Ziel

Beurteilung der Konkurrenzfähigkeit gegenüber marktüblichen Baumaterialien und Optimierung durch Zugabe von geeigneten Zusätzen

[3]

Vorgehensweisen/ Fragestellungen zur Untersuchung von PMB

Serie 1

Welche bauphysikalischen Kennwerte sind überhaupt erreichbar?

Welche Additive sind einsetzbar und in welchem Zustand sollten diese sein?

Wie verhält es sich im Umgang mit PMB bzgl. der Verarbeitbarkeit ?

Serie 2.a

Gibt es ein besonders vorteilhaftes Additiv hinsichtlich der bauphysikalischen Eigenschaften ?

Reagiert der Pilz in der Wachstumsphase auf äußere Stimuli?

Kann das Wachstum des Myzels extern positiv beeinflusst werden?

Serie 2.b

Deutet sich ein Optimum der bauphysikalischen Eigenschaften hinsichtlich der Substratzusammensetzung an ?

Stellen Produkte aus PMB eine Alternative für konventionelle Dämmmaterialien dar?

in S2.b wird auf Grundlage der Ergebnisse von S2.a die optimalste Zusammensetzung gewählt und mehrfach in 4 Variationen wiederholt

Ziel

Beurteilung der Konkurrenzfähigkeit gegenüber marktüblichen Baumaterialien und Optimierung durch Zugabe von geeigneten Zusätzen

Forschungsaspekt S1:

- Tab. 1 : Versuchsmatrix S1**

Bild 14: Getrocknete Probekörper für Wärmeleitfähigkeitsmessungen

[1]

Ergebnis Wärmeleitfähigkeit λ von S1

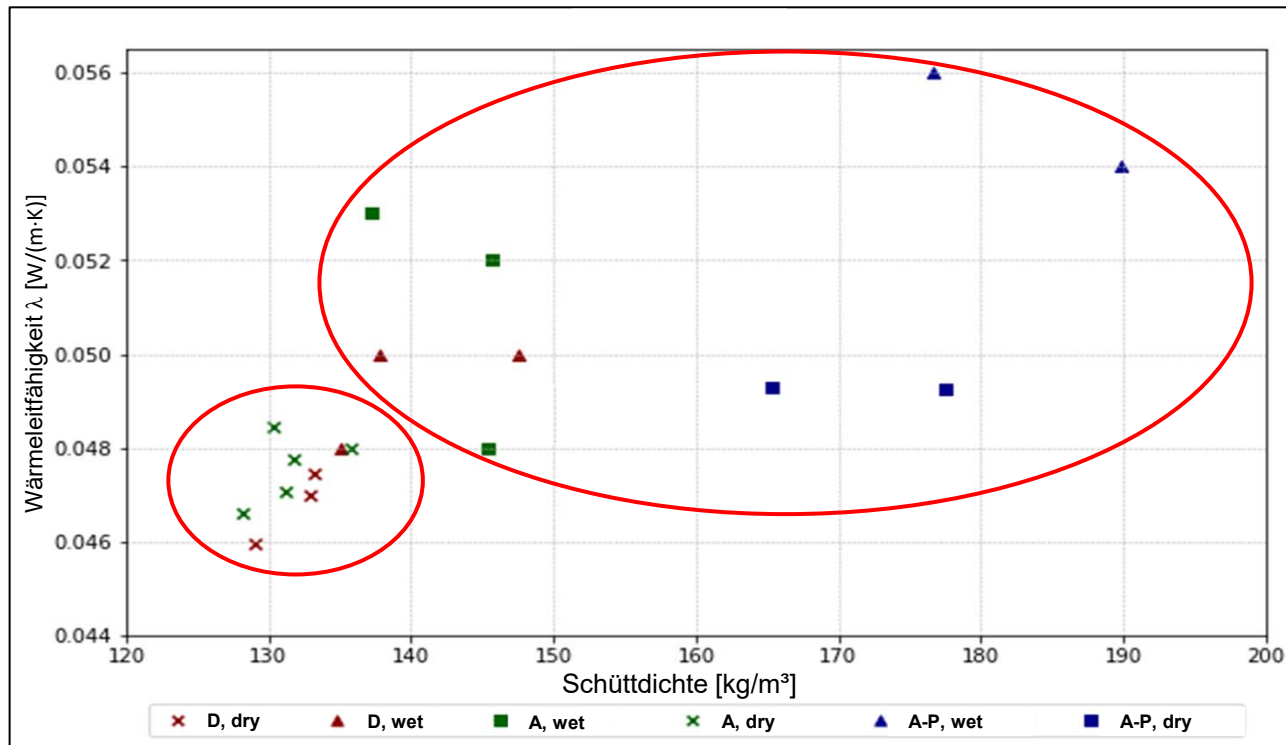


Abb. 1 : Streudiagramm S1

Trocken vs. Feucht:

- trockene Proben weisen in allen Fällen die besseren Wärmeleitfähigkeit (WL) auf
- Verdichtete Proben haben eine höhere WL
- Organische Abfälle sind als Additive tendenziell ungeeignet (Kontamination, schlechte WL)

[1]

Vergleich der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ & Wasseraufnahmekoeffizient W_w von S1 mit erdölbasierten/ konventionellen Dämmstoffen

Tab. 2: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ von S1

Probenmaterial	μ [-]
Material auf Myzel-Basis (reines Basissubstrat (CNC))	48
Material auf Myzel-Basis (mit dem Zusatz Perlit(D))	43
EPS WLG 040 (Bachl EPS 040 WZ)	70

Tab. 3 : Wasseraufnahmekoeffizient W_w von S1

Probenmaterial	W_w [kg/(m ² ·h ^{0.5})]
Material auf Myzel-Basis (mit äußerer Myzel-Schicht)	0,12 – 0,16
Kalksandstein	2,5 - 10
OSB-Platten	0,14

Vergleich zu erdöl-basierten/ konventionellen Produkten:

- Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ aus PBM in S1 sind hoch, jedoch nicht annähernd so hoch wie bei EPS WLG 040
- der Wasseraufnahmekoeffizient W_w erreicht bereits mit OSB-Platten vergleichbare Werte



Bild 15: Probekörper während der WDD-Versuche in S1

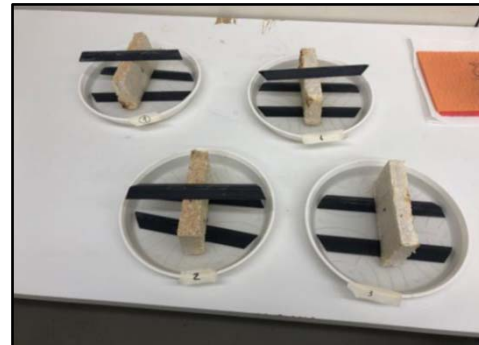


Bild 16: Probekörper während der Wasseraufnahmeversuche in S1

[1]

Vorgehen – Serie 2 a

Serie 1

Welche bauphysikalischen Kennwerte sind überhaupt erreichbar?

Welche Additive sind einsetzbar und in welchem Zustand sollten diese sein?

Wie verhält es sich im Umgang mit PMB bzgl. der Verarbeitbarkeit ?



Serie 2.a

Gibt es ein besonders vorteilhaftes Additiv hinsichtlich der bauphysikalischen Eigenschaften ?

Reagiert der Pilz in der Wachstumsphase auf äußere Stimuli?

Kann das Wachstum des Myzels extern positiv beeinflusst werden?



Serie 2.b

Deutet sich ein Optimum der bauphysikalischen Eigenschaften hinsichtlich der Substratzusammensetzung an ?

Stellen Produkte aus PMB eine Alternative für konventionelle Dämmmaterialien dar?



in S2.b wird auf Grundlage der Ergebnisse von S2.a die optimalste Zusammensetzung gewählt und mehrfach wiederholt

Versuchsmatrix S2

Forschungsaspekt S2:

- **Weiterer Vergleich** zwischen den bauphysikalischer Eigenschaften unter Berücksichtigung der Ergebnisse von S1
- **nicht nur** Additive, auch der **Pilz wird variiert**
- Hauptkomponente des Basissubstrats (1) von S2.a sind mit ***Pleurotus ostreatus* & *Trametes versicolor*** vorinokulierte Buchholzspänen
- Additive: organischer Zusatz (2, 4) oder anorganische Bestandteilen (3)

in S2.b wird auf Grundlage der Ergebnisse von S2.a die optimalste Zusammensetzung gewählt und mehrfach wiederholt

Tab. 4 : Versuchsmatrix S2

Pilz	Pleurotus ostreatus (A) & Trametes versicolor (B)			
Variante	A1; B1	A2; B2	A3; B3	A4; B4
Material	S2.a [Vol-%]			
Basissubstrat (1)	100	66	66	66
Hanfschäben (2)	0	33	0	0
Perlit (3)	0	0	33	0
Seegras (4)	0	0	0	33
Material	S2.b [Vol-%]			
Variante	B2.1	B2.2	B2.3	B2.4
Basissubstrat	66	50	40	33
Hanfschäben	33	50	60	66

[2]

Exkurs – Seegras

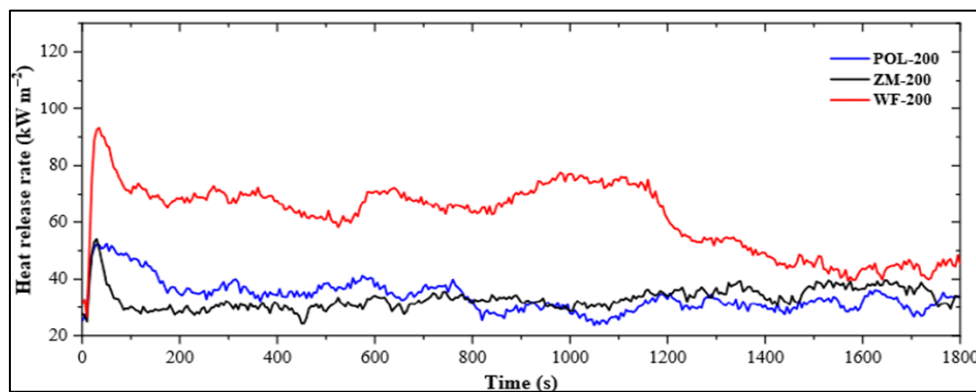
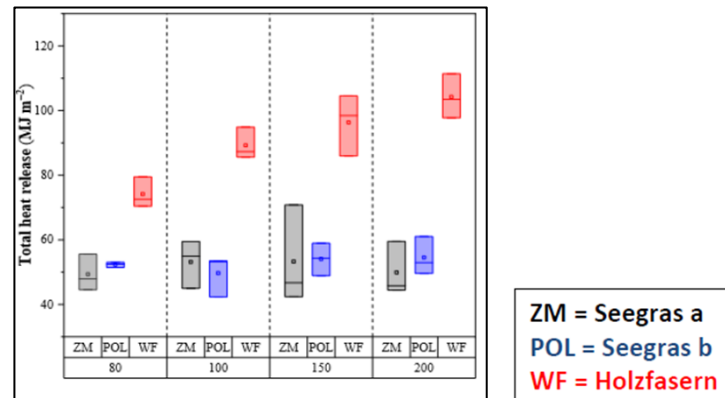


Bild 15: Unterschiedliche Wärmeabgaben diverser Materialien (2 x Seegras, 1 x Holz)

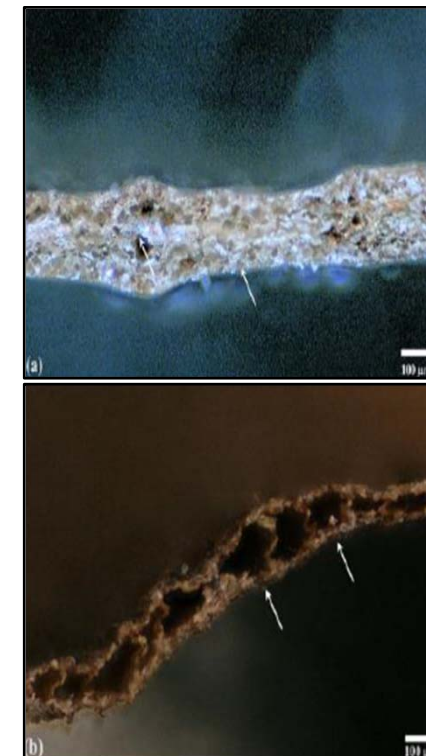


Bild 16: Nahaufnahme zweier Seegras-Sorten

[6]

Ergebnis Wärmeleitfähigkeit λ von S2.a

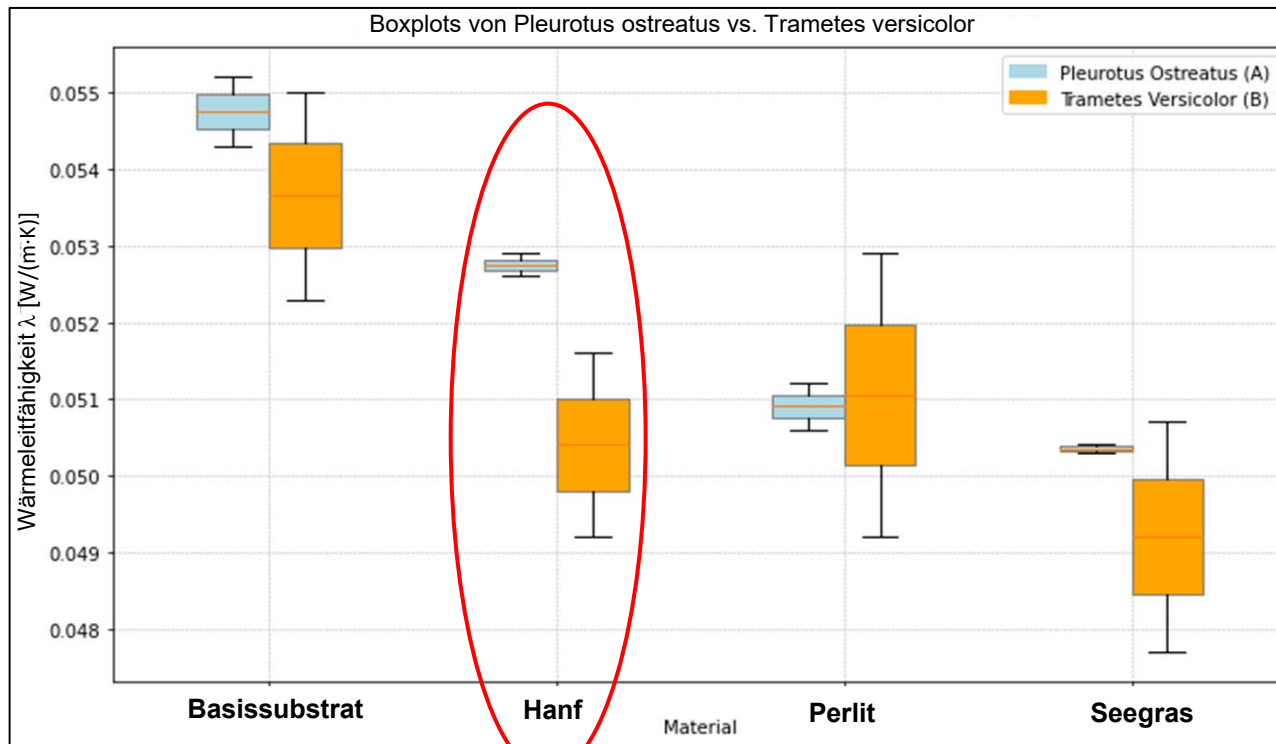


Abb. 2 : Boxplots von S2.a

Pleurotus ostreatus vs. Trametes versicolor:

- alle WL-Proben mit Pilz B haben bessere Werte erreicht als Pilz A
- die geringsten WL besitzen Hanf & Seegrass
- Perlit und Seegrass haben einen hohen Anteil an anorganischen Inhaltsstoffen, Hanf eine hohe Porosität

[3]

Vorgehen – Serie 2b

Serie 1

Welche bauphysikalischen Kennwerte sind überhaupt erreichbar?

Welche Additive sind einsetzbar und in welchem Zustand sollten diese sein?

Wie verhält es sich im Umgang mit PMB bzgl. der Verarbeitbarkeit ?



Serie 2.a

Gibt es ein besonders vorteilhaftes Additiv hinsichtlich der bauphysikalischen Eigenschaften ?

Reagiert der Pilz in der Wachstumsphase auf äußere Stimuli?

Kann das Wachstum des Myzels extern positiv beeinflusst werden?



Serie 2.b

Deutet sich ein Optimum der bauphysikalischen Eigenschaften hinsichtlich der Substratzusammensetzung an ?

Stellen Produkte aus PMB eine Alternative für konventionelle Dämmmaterialien dar?



in S2.b wird auf Grundlage der Ergebnisse von S2.a eine optimale Zusammensetzung gewählt und mehrfach wiederholt

Wiederholung Versuchsmatrix S2.b

Tab. 5 : Versuchsmatrix von S2.b

Pilz	Trametes versicolor (B)			
Material	S2.b [Vol-%]			
Variante	B2.1	B2.2	B2.3	B2.4
Basissubstrat	66	50	40	33
Hanfschäben	33	50	60	66



Bild 17: Nahaufnahme Myzel

[2]

Ergebnis Wärmeleitfähigkeit λ von S2.b

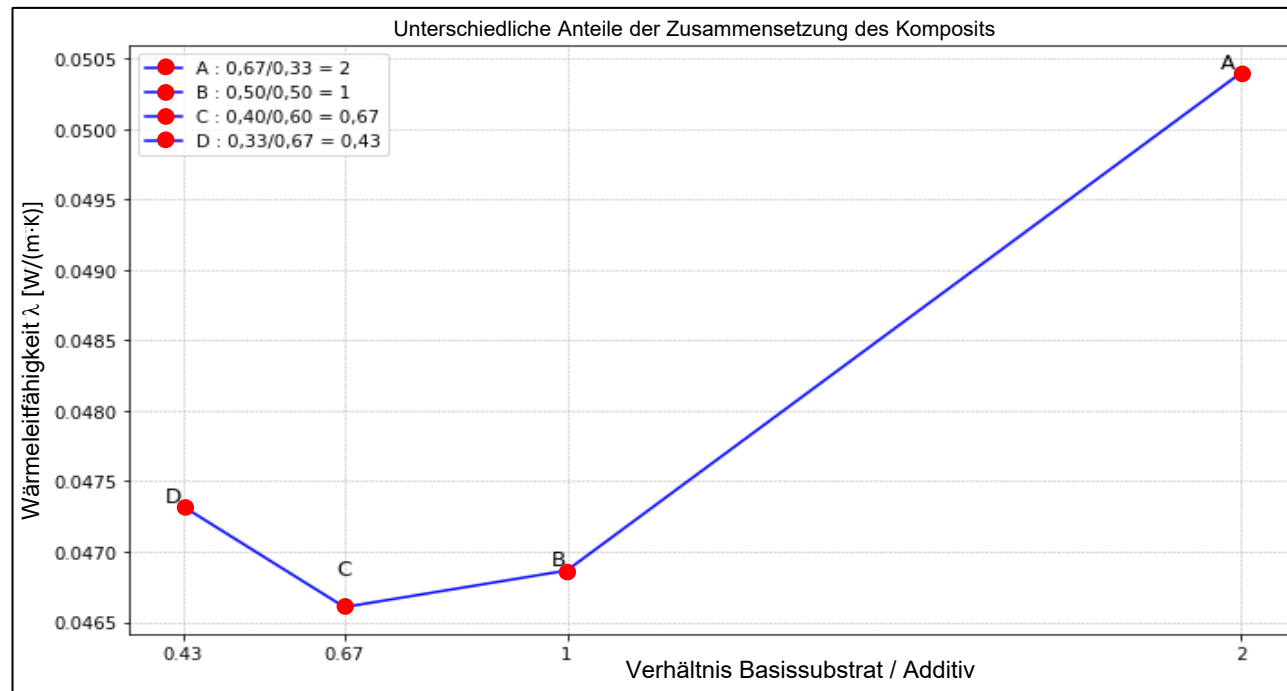


Abb. 3 : Verlauf der Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeiten von S2.b in Bezug auf das Verhältnis Basissubstrat/ Additiv

Einfluss unterschiedlicher Anteile von Basissubstrat und Additiv:

- WL erreicht ein Optimum zwischen ca. 0,67 und 1
- Anteile von Basissubstrat / Additiv unter 0,67 haben eine steigende Tendenz der WL
- typische Kurve der WL in Bezug zur Dichte der Proben

[2]

Vergleich von Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ , Wasseraufnahmekoeffizient W_w von S2 mit gängigen Produkten

Tab. 6: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ von S2

Probenmaterial	μ [-]
Material auf Myzel-Basis (Durchschnitt aus S2.a)	4
Material auf Myzel-Basis (mit Hanf und Trametes (S2.b))	3
Jutefaserdämmung (ThermoNatur ThermoJute)	2
Wood fiber insulation board (Gutex Thermowall)	3

Tab. 7: Wasseraufnahmekoeffizient W_w von S2

Probenmaterial	W_w [kg/(m ² ·h ^{0.5})]
Material auf Myzel-Basis (Durchschnitt aus S2.a)	0,19
Material auf Myzel-Basis (mit Hanf und Trametes (S2.b))	0,15
Vormauerziegel	5 - 10

Vergleich zu nachhaltigen/ konventionellen Produkten:

- Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ aus PBM in S2 liegen in ähnlicher Größenordnung wie nachhaltige Konkurrenzprodukten
- der Wasseraufnahmekoeffizient W_w bleibt bei S2 auch auf dem gleichen Niveau wie S1



Bild 18: Probekörper während der WDD-Versuche S2



Bild 19: Probekörper während der WA-Versuche S2

[3]

Diskussion

- Können PBM bzgl. ihrer bauphysikalischen Materialeigenschaften noch optimierbarer konzipiert werden, um diese noch konkurrenzfähiger gegenüber erdölbasierten Dämmmaterialien zu gestalten?
- Die Drucksensitivität von Pilzen kann die Verarbeitbarkeit verbessern und für das Entformen von Proben genutzt werden → Steigerung der Verarbeitbarkeit durch Anbringen von Sollbruchstellen ?
- Feuerverhalten von myzelbasierten Materialien ist noch unklar und erfordert weitere Untersuchungen (Gibt es einen positiven Einfluss des Seegrases auf das Brennverhalten?).
- Optimale thermische Leitfähigkeit von der Dichte des Myzels abhängig und ist pilzspezifisch.
- Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusionswiderstandsfähigkeit und zur Hyphendichte sind erforderlich.

Schlussfolgerung

- Pilzmyzel-basierte Materialien sind für thermische Isolierung im Bauwesen einsetzbar.
Die Herstellung ist nicht kompliziert, aber ist ohne sterile Bedingungen anfällig für Schimmelbildung.
- Thermische Leitfähigkeiten liegen zwischen 0.046 und 0.056 W/(m·K) → optimierungsfähig im Vergleich zu anderen Materialien
- Wasserdampfdiffusionswiderstandswerte μ von S1 und S2 streuen stark → Wiederholungen mit größerem Probenumfang
- Optimale thermische Leitfähigkeit hängt von der Materialzusammensetzung ab und erfordert weitere Forschung:
 - Erforschung des Einflusses der Materialzusammensetzung auf die Eigenschaften des Komposits (Wechsel der Applikationstechnik (nur Pilz und Additiv, ohne Grundsubstrat))
 - Untersuchung von Rohstoffen und möglichen Synergieeffekten zwischen Pilz und Substrat sind zu identifizieren
 - Erforschung von seegrasbasierten Substraten
 - Mikroskopische Untersuchung der Hyphendichte

**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit**

Besuchen Sie uns auf www.betoninstitut.de



Folgen Sie uns auf **LinkedIn**

Quellen

- [1] R. Ficht, „Untersuchung der bauphysikalischen Eigenschaften von Materialien auf Pilzmyzel-Basis in Hinblick auf deren Nutzbarkeit als alternatives ökologisches Fassadendämmmaterial: Bachelorarbeit,“ 2019.
- [2] W.Heers, “Untersuchungen zur Bewertung und Optimierung von bauphysikalischen Eigenschaften von Myzel-basierten Materialien für den Einsatz als Wärmedämmmaterial im Bauwesen: Masterarbeit,“ 2023
- [3] E. Kotan, A. Ibuk und F. Dehn, „Bauphysikalische Untersuchungen an Myzel-basierten Materialien für den Einsatz als Wärmedämmmaterial,“ Bauphysik, Jg. 45, Nr. 1, S. 55–59,2023, doi: 10.1002/bapi.202200040.
- [4] DIN EN ISO 15148 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen, 15148, 2018, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2018.
- [5] 43] DIN EN ISO 12572: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten –Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit, 12572, 2016, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2016.
- [6] A. Kuqo und C. Mai, „Seagrass Leaves: An Alternative Resource for the Production of Insulation Materials,“ Materials, Early Access. doi: 10.3390/ma15196933.
- [7] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mycel/44577>: letzter Zugriff : 06.09.23