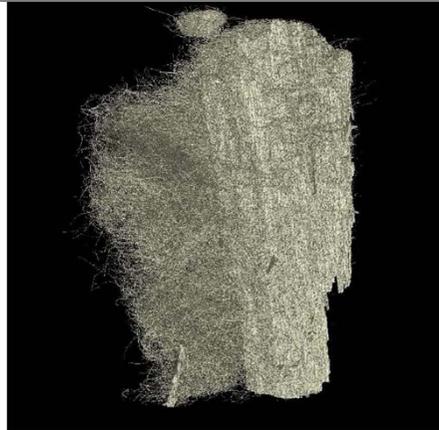
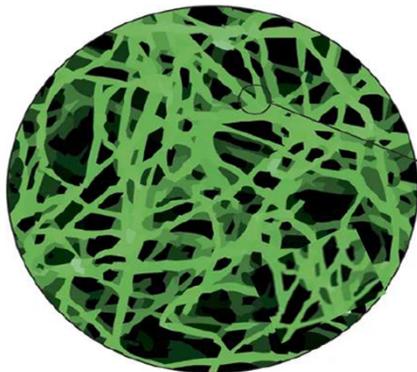


## Bauphysikalische Untersuchung an Pilzmyzel-basierten Materialien für den Einsatz als Wärmedämmmaterial im Bauwesen

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**

+

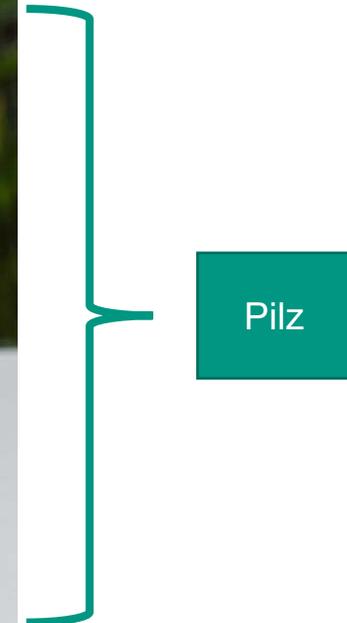
**Notwendigkeit, auf fossile Ressourcen zurückzugreifen**



[1]

# Grundlagen – Myzel

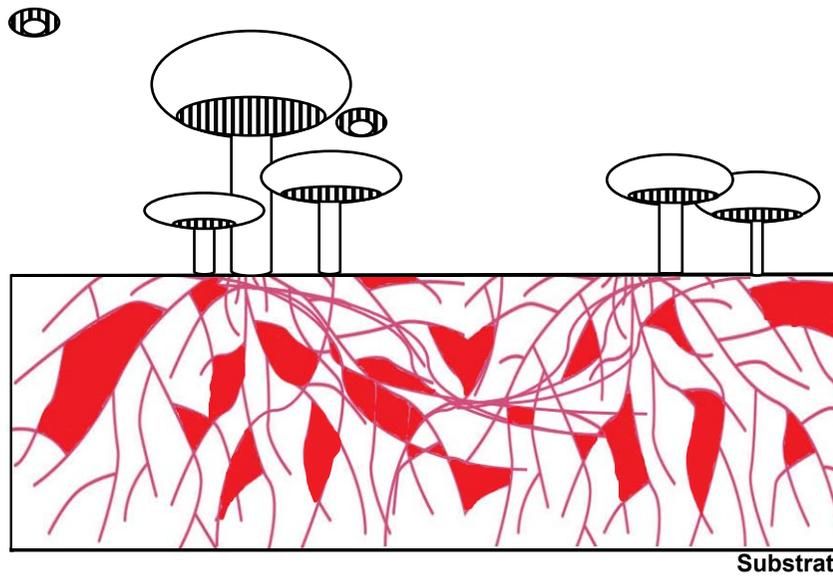
Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.



[1]

# Grundlagen – Myzel

Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruhe Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.

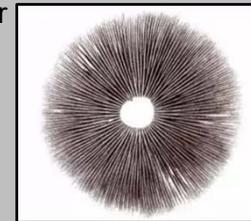


 = Spore; 
  = Hyphen; 
  = Luftkapselung [1],[7]

## Essentielle Bestandteile von Pilzen

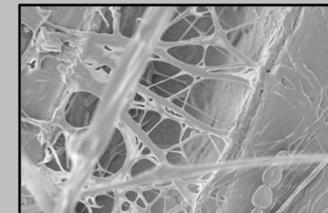
### Spore:

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

## Makronährstoffe:

- Cellulose
- Hemicellulose
- Lignin

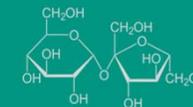
Rohstoffe



Pilzbrut



Substrat



Nährstoffe

[1],[2]

# Herstellung – Vermengen

Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.



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 ausgeschalter 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  $\lambda$ )

- DIN EN 12667

### Feuchtetechnische Eigenschaften:

(z. B. Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$  (WDD), Wasseraufnahmekoeffizient  $W_w$  (WA))

- DIN EN 12086
- DIN EN ISO 29767

[4],[5]

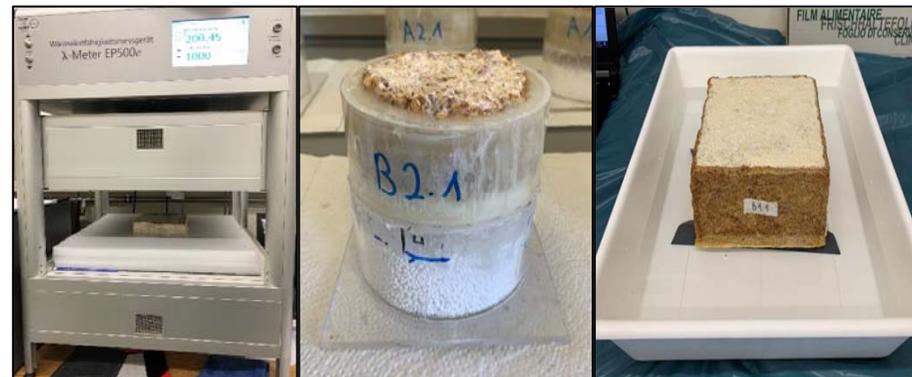


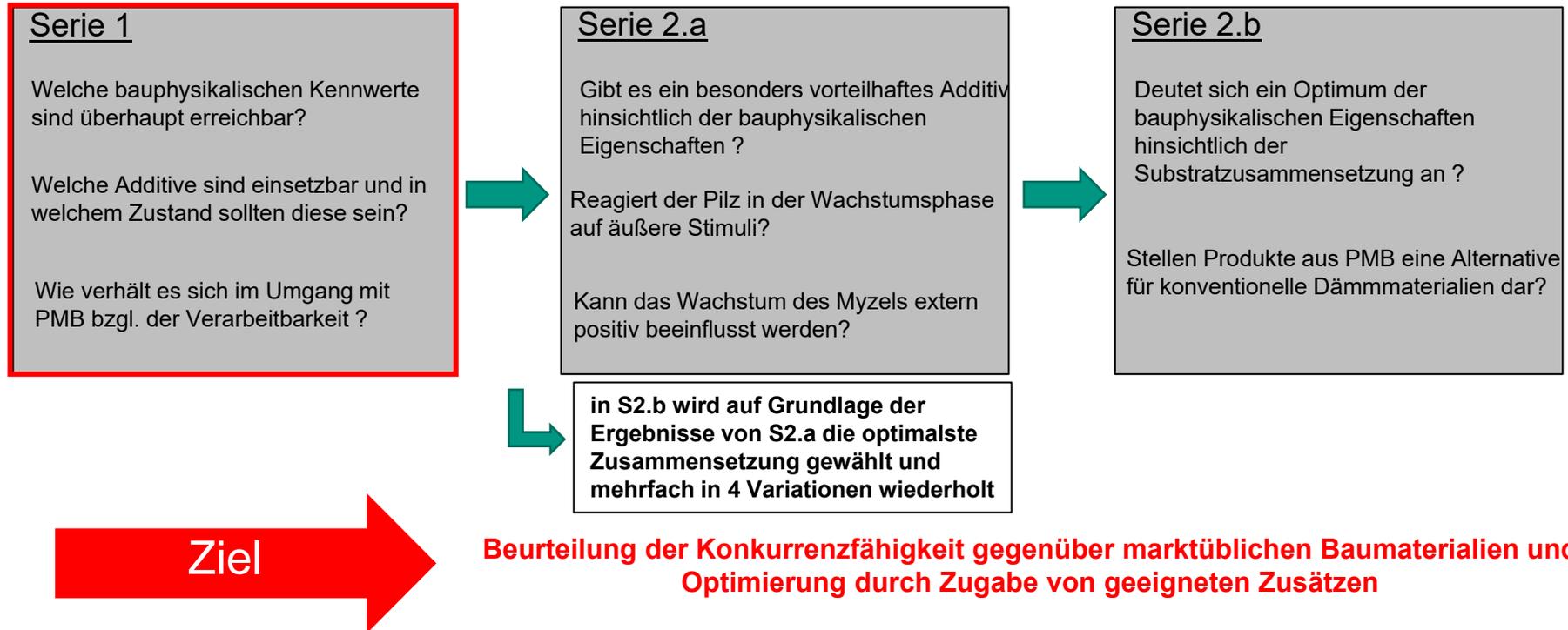
Bild 13: Indikative Wärmeleitfähigkeits- und Feuchtigkeitsmessungen nach Beispiel der angeführten Normen

Ziel

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

[3]

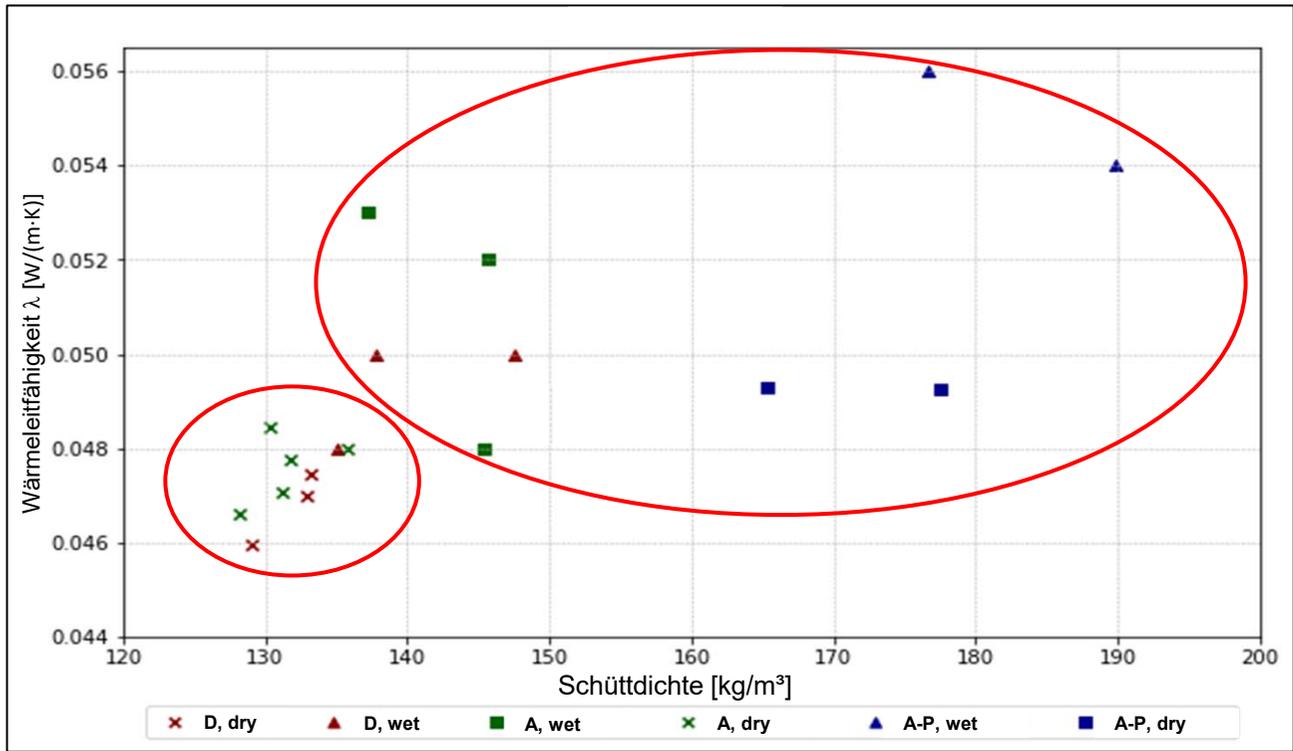
# Vorgehensweisen/ Fragestellungen zur Untersuchung von PMB





# Ergebnis Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ von S1

Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruhe Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.



**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)

Abb. 1 : Streudiagramm S1

[1]

# Vergleich der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl $\mu$ & Wasseraufnahmekoeffizient $W_w$ von S1 mit erdölbasierten/ konventionellen Dämmstoffen

Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruhe Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.

Tab. 2: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$  von S1

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

Tab. 3 : Wasseraufnahmekoeffizient  $W_w$  von S1

Probenmaterial	$W_w$ [kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0.5</sup> )]
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 en  $\mu$  aus PBM in S1 sind hoch, jedoch nicht annähernd so hoch wie bei EPS WLK 040
- der Wasseraufnahmekoeffizient  $W_w$  erreicht bereits mit OSB-Platten vergleichbare Werte



Bild 15: Probekörper während der WDD-Versuche in S1

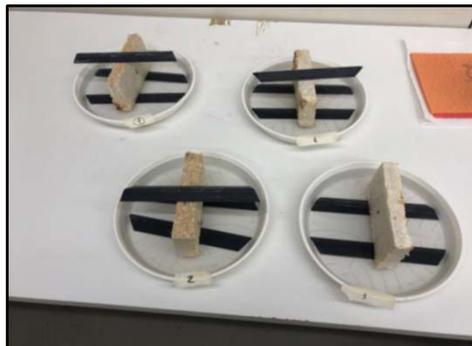
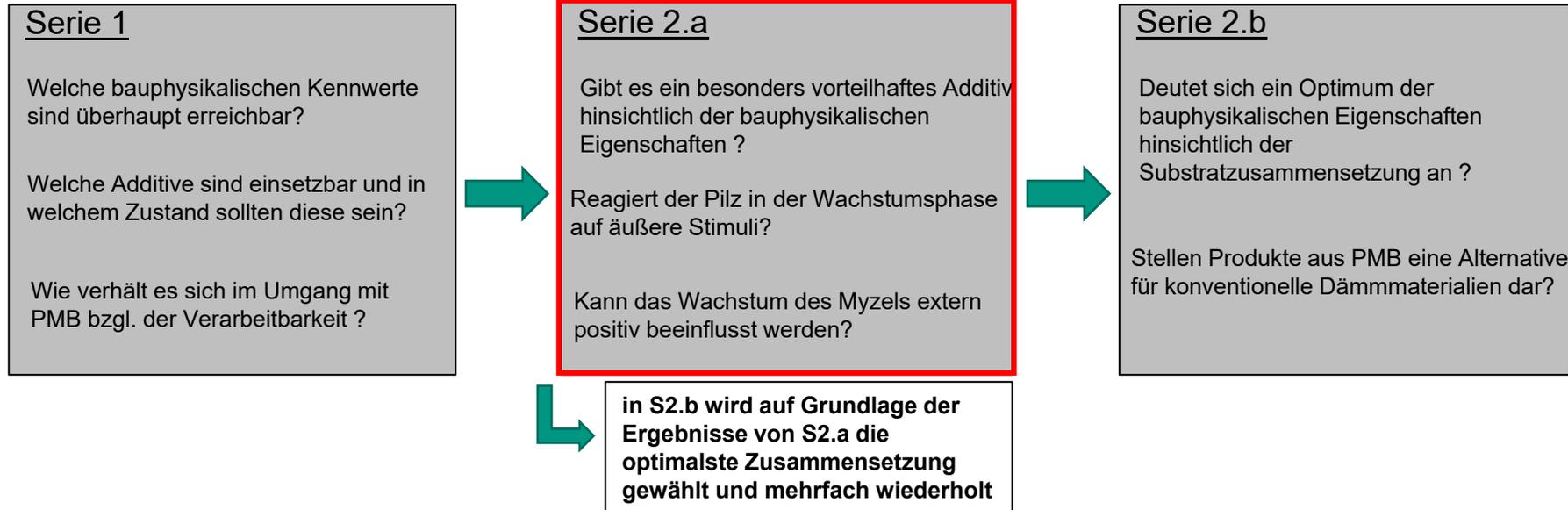


Bild 16: Probekörper während der Wasseraufnahmeversuche in S1

[1]

# Vorgehen – Serie 2 a



# Versuchsmatrix S2

Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruhe Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.

**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
Hanfchäben (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
Hanfchäben	33	50	60	66

[2]

# Exkurs – Seegras

Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruhe Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.

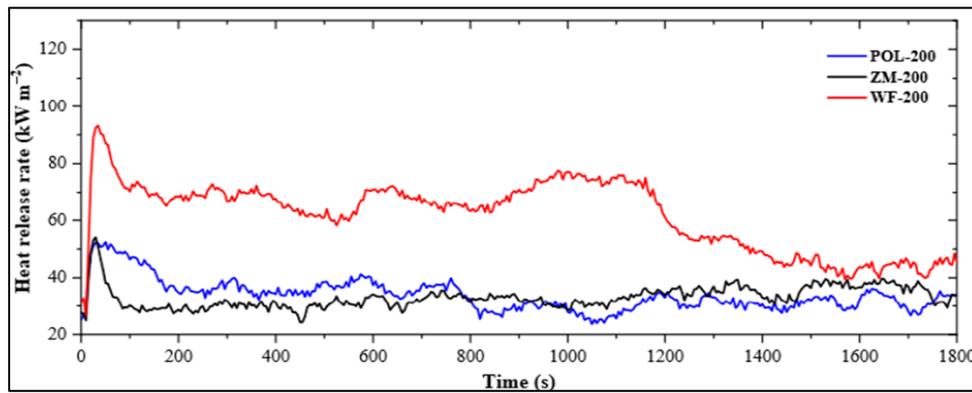
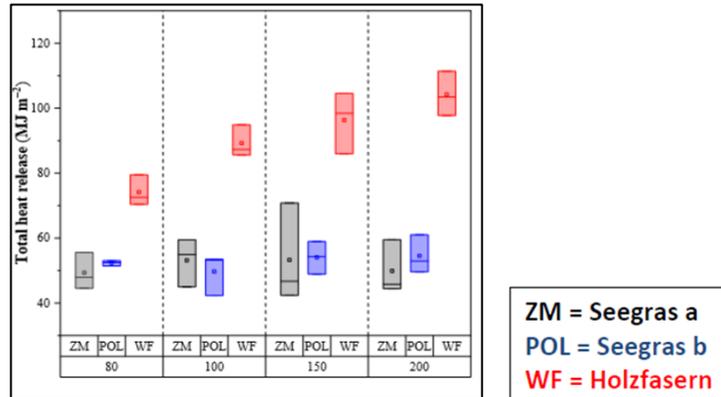


Bild 15: Unterschiedliche Wärmeabgaben diverser Materialien (2 x Seegras, 1 x Holz)

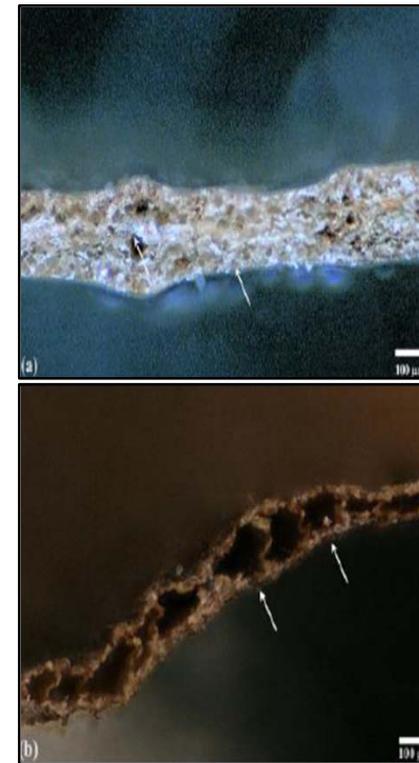


Bild 16: Nahaufnahme zweier Seegras-Sorten

[6]

# Ergebnis Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ von S2.a

Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruhe Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.

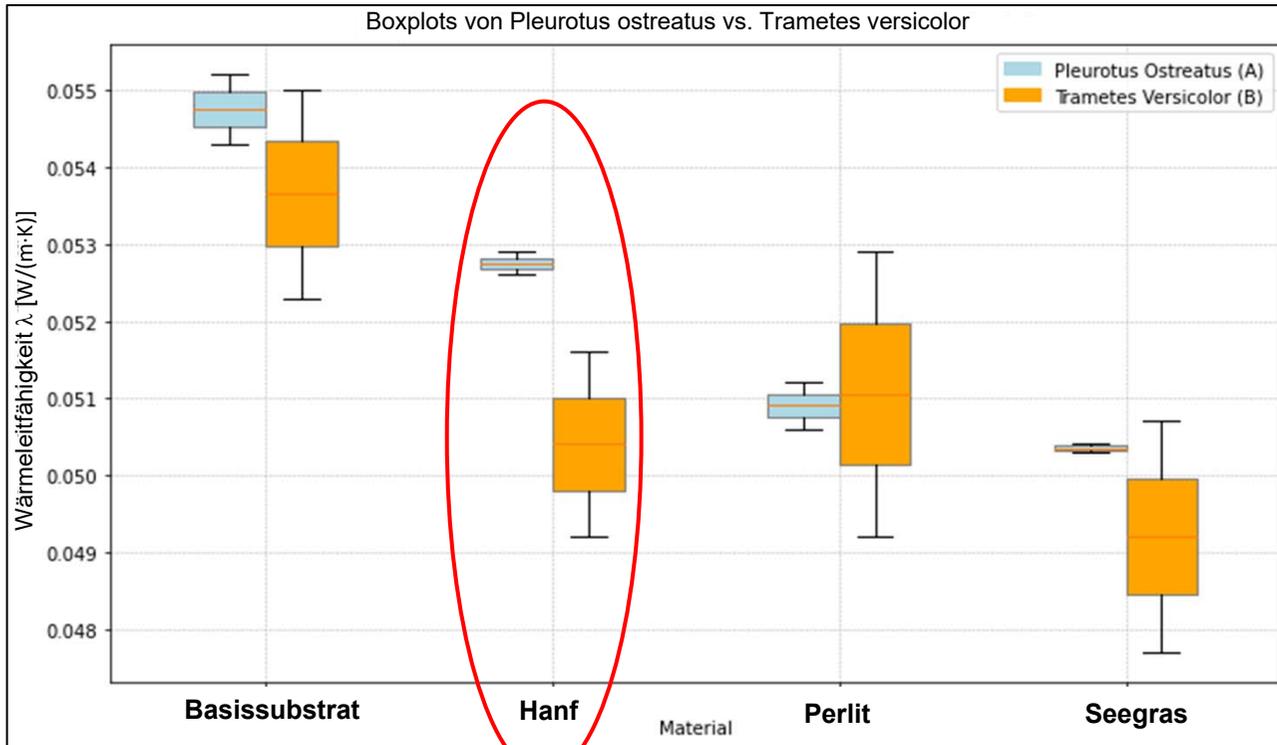


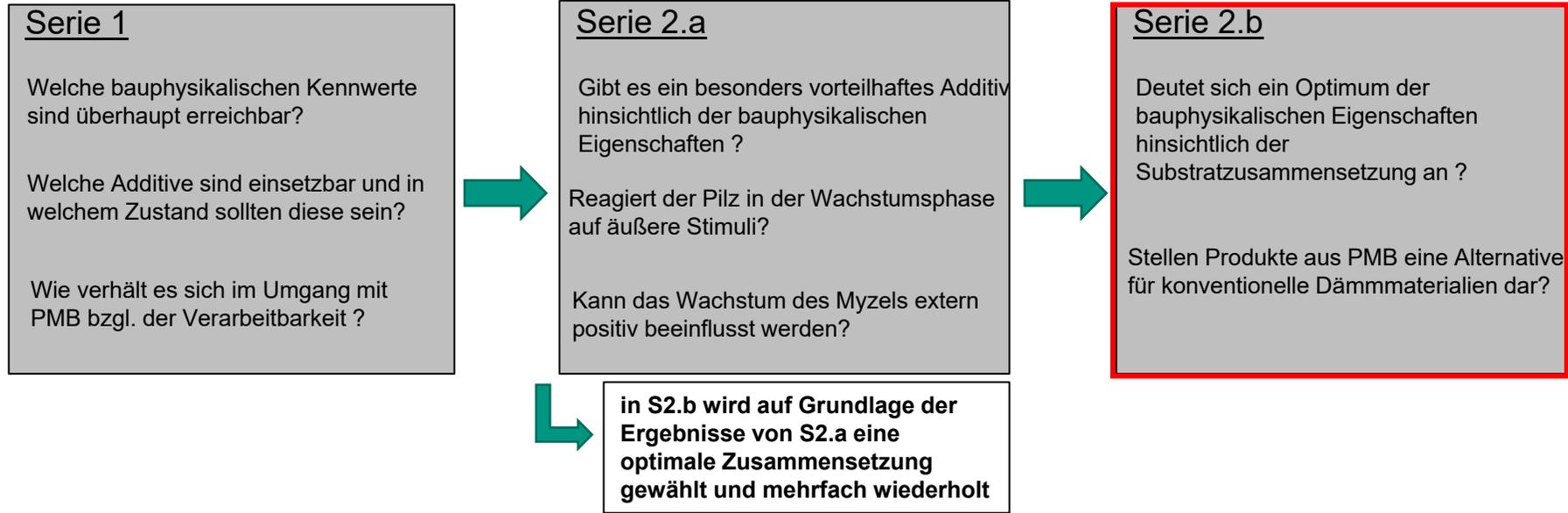
Abb. 2 : Boxplots von S2.a

## Pleurotus ostreatus vs. Trametes versicolor:

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

[3]

# Vorgehen – Serie 2b



# 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 $\lambda$ von S2.b

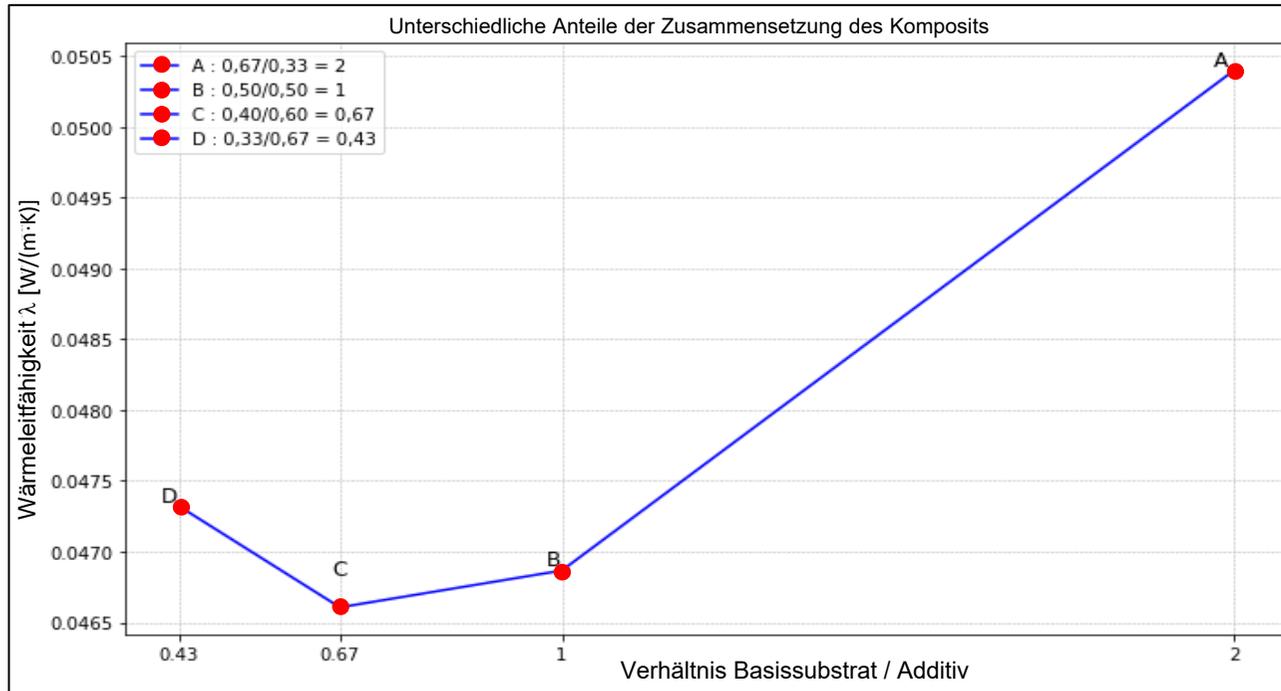


Abb. 3 : Verlauf der Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeiten von S2.b in Bezug auf das Verhältnis Basissubstrat/ Additiv

## 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

# Vergleich von Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl $\mu$ , Wasseraufnahmekoeffizient $W_w$ von S2 mit gängigen Produkten

Copyright © IMB/MPA/CMM Karlsruhe - Karlsruhe Institut für Technologie (KIT). Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Verbreitung.

Tab. 6: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$  von S2

Probenmaterial	$\mu$ [-]
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 <sup>2</sup> ·h <sup>0.5</sup> )]
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  $\mu$  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  $\mu$  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](http://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