



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Institut für Strukturleichtbau IST

Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK
- Forschungsbereich Leichtbau im Bauwesen -

BioModul - modulares Fassadensystem aus nachwachsenden Rohstoffen

Laufzeit: 01.11.2020 – 31.10.2022



richter & heiß
VERPACKUNGEN

FIBER-TECH



1. Zielstellung
2. FKV-Deckschichten
3. Naturfaserdämmung
4. Brandschutzkonzept BioModul-Sandwich
5. Standardisierung
6. Modularisierung
7. Zusammenfassung/Ausblick

Ausgangspunkt

- Biobasierter Sandwichverbund als multifunktionales Fassadensystem für Industriegebäude ($<19^{\circ}\text{C}$)
- besondere Berücksichtigung hinsichtlich Ressourcenschonung und nachwachsende Rohstoffe
- Erfüllt alle bautechn. Anforderungen hinsichtlich Tragfähigkeit, Brandschutz und Wärmedämmung

Biofassadenelemente – Aufbau

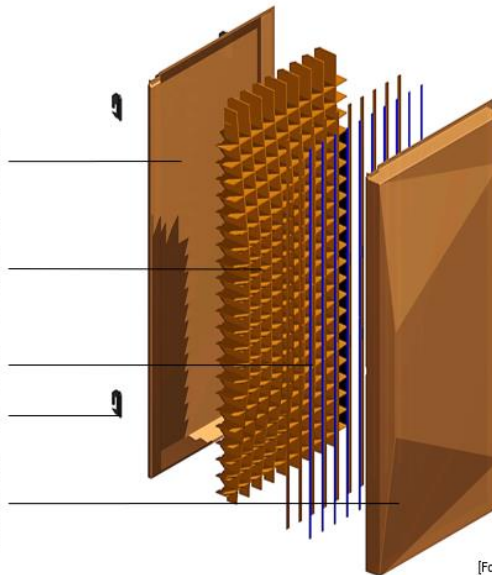
Innere Deckschicht:
Biotex-Flax 400 g/m² (Mindestfasergehalt 800 g/m²) und Brandschutzharz Crystic

Kern:
Wellpappenkern BC-Welle mit Natriumwasserglasbeschichtung 1:1 verdünnt und Steinwolle dämmung der Fa. Sto (50 mm)

Beleuchtung:
LED-Stripes

Befestigungssystem zum Einhängen

Äußere Deckschicht:
Biotex-Flax 100 g/m² + Glasfasertextil (Mindestfasergehalt 800 g/m²) und biobasiertes Epoxidharz Greenpoxy 56



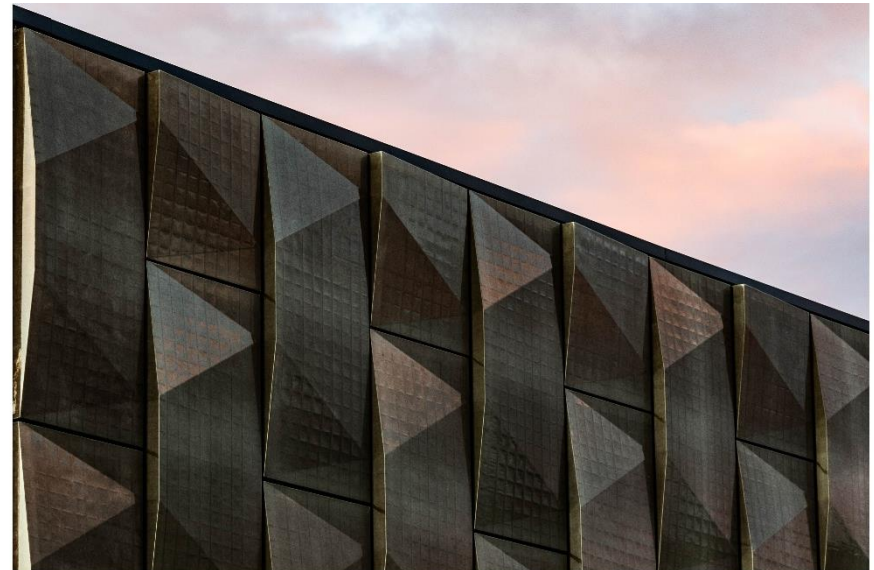
[Foto: TUC]



1. Steigerung des Anteils nachwachsender Rohstoffe
2. Standardisierung und Modularisierung

Ziele

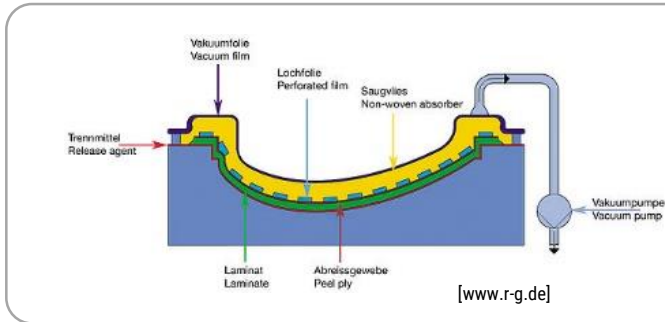
- **Naturfaserdämmung:**
Zellulosefaserdämmung aus zerfaserter Wellpappe
- **Brandschutzkonzept:**
Erreichung einer Bauproduktklasse B nach EN ISO 13501
- **Standardisierung:**
Konstruktion der Anschlussdetails zur einfachen Anbringung der Elemente
- **Modularisierung:**
Entwicklung verschiedener Module
 - Grundmodul,
 - Beleuchtungsmodul,
 - Designmodul,
 - Klimamodul,
 - Überwachungsmodul



©SILVIA GIARDINO |PHOTOGRAPHY

BIO-FASSADE „NFK-BIO LIGHT“

Ziele/Anforderungen



Vakuumverdichtende Verfahren

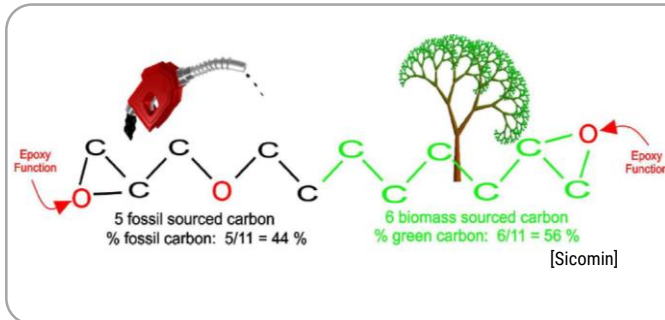
- Vakuumverpressen,
- Harzinfusion



[BComp]

Flachfasergewebe

- Fa. BComp, Fa. ecotechnilin
- 0/90°, Gelege/Gewebe, mind. 300-400 g/m²



Biobasiertes Epoxidharz

- Fa. Sicomin
- für vakuumverdichtende Verfahren
- hoher biobasierter Anteil



Hohe Oberflächenqualität des NFKs

- Trocknung der Faserzuschnitte vor der Verarbeitung
- 8 h bei 80°C im Ofen oder im Vakuum

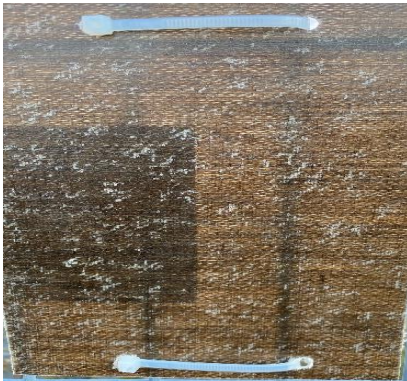
Exp. Untersuchung

- 3D-Oberflächenanalyse
- Zugversuche
- Brandversuche

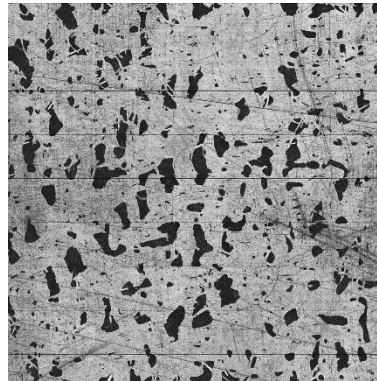
Oberflächenbeschaffenheit

3D-Oberflächenanalyse mittels Konfokaltechnologie:

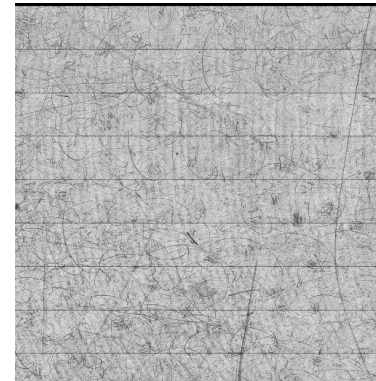
- 5-fache Vergrößerung, 20 x 20 mm²



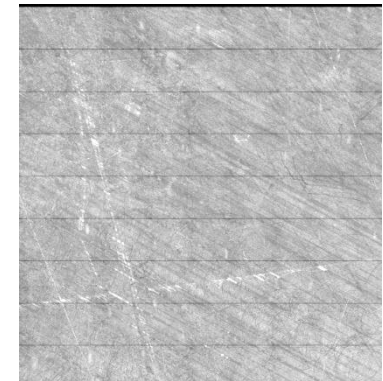
Fehlstellen im Laminat



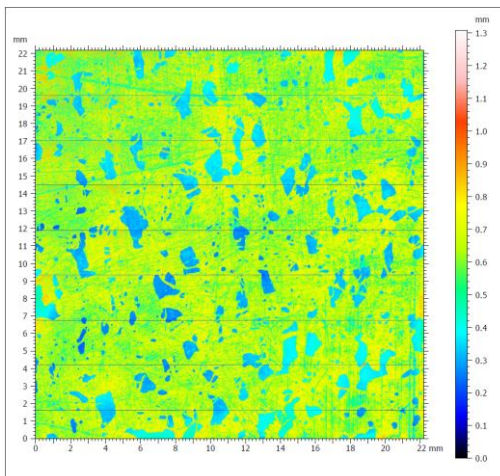
Laminat ohne Trocknung der Fasern



Laminat mit **Trocknung der Fasern**
(8 h bei 80°C im Ofen)



Laminat mit **Trocknung der Fasern**
(8 h bei 80°C im Vakuum)



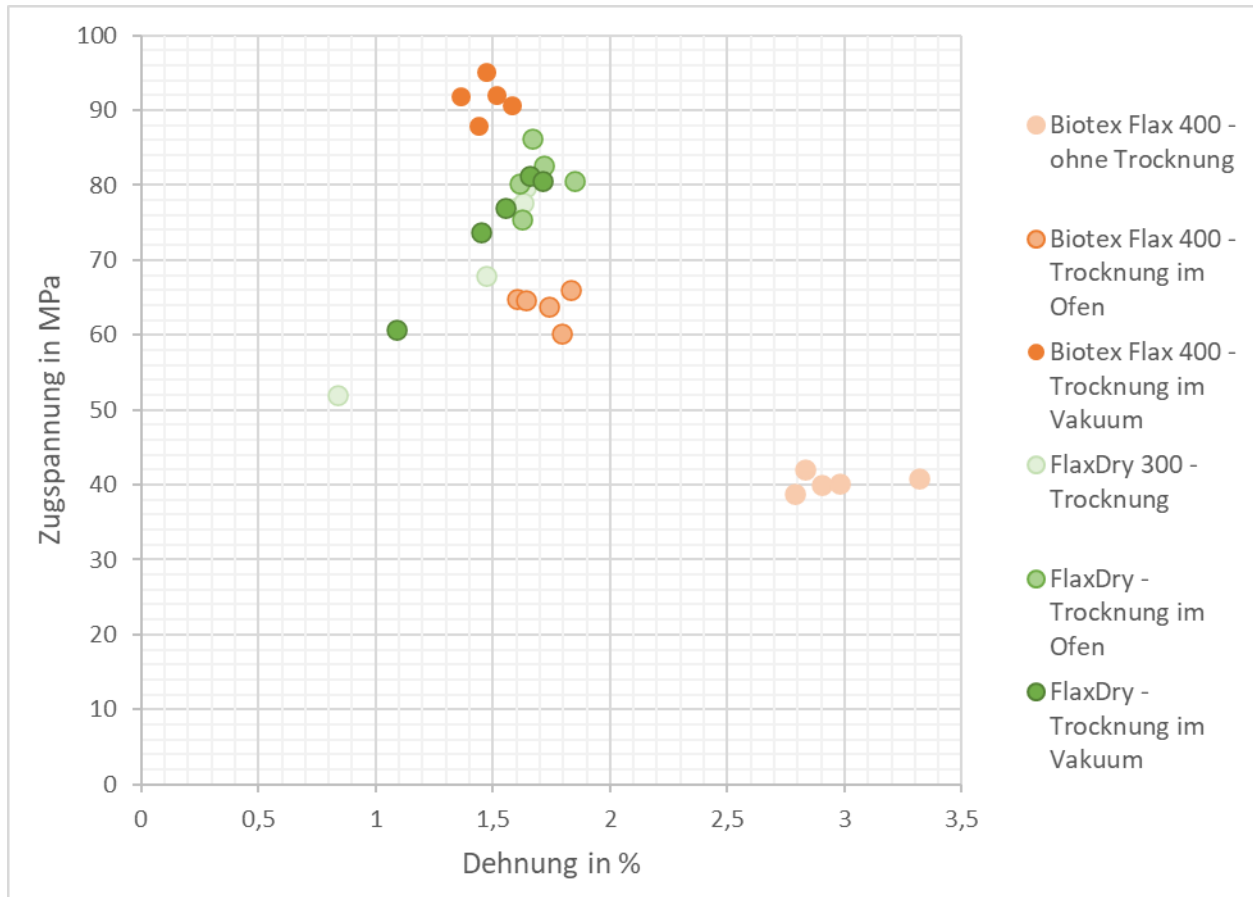
- Trocknung der Naturfasern vor Verarbeitung essentiell zur Erreichung hoher Oberflächenqualitäten
- mind. Trocknung im Ofen
- schnelle Verarbeitung der Naturfasern, um ein Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Luft zu verhindern

Anteil der Fehlstellen an der Gesamt-Oberfläche (18,5%)

Mechanische Kennwerte

Zugversuche an der Zugprüfmaschine Z100 der Fa. Zwick/Roell:

- Vergleich der Zugfestigkeiten mit ungetrockneten/getrockneten Flachsfasern (mind. 8 h bei 80°C im Ofen/Vakuum)



- getrocknete Flachsfasern besitzen höhere Zugfestigkeiten
- besserer Verbund/Imprägnierung zwischen Fasern und Harz bei vorheriger Trocknung der Fasern

Einfluss der Trocknung der Flachsfasern auf die Zugfestigkeit

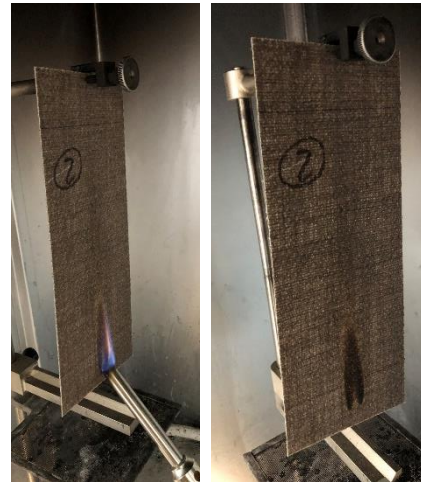
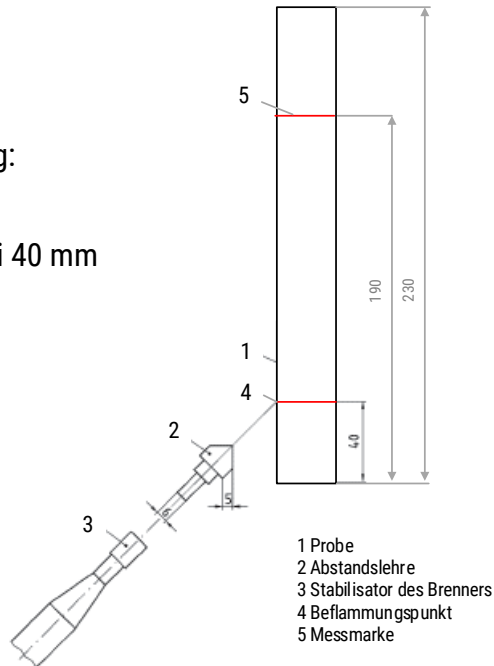
Brandverhalten

Brandkammertest in Anlehnung an DIN EN ISO 11925-2:

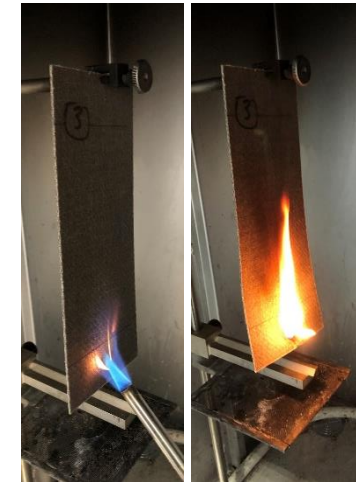
- Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung – Einzelflammentest
- Entflammbarkeitsprüfgerät CEAST UL 94
- B2: Bestimmung der Entzündbarkeit und der Flammenausbreitung innerhalb einer begrenzten Zeit
→ 15 s beflammen, erreichen der Messmarke nach 20 s

Flächenbeflammung:

- 90 x 230 mm²
- Messmarke bei 40 mm und 190 mm



Brandversuch (5 W Flamme)



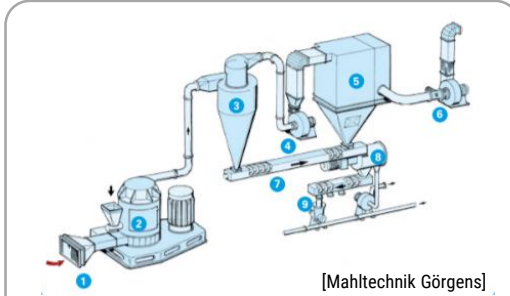
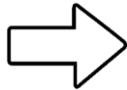
Brandversuch (500 W Flamme)

- Keine Entzündung der Lamine bei 5 W-Flamme → Brennkasten-Test bestanden
- Schnelle Entzündung bei 500 W Flamme

Herstellung der Zellulosefaserdämmung



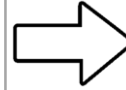
Wellpappereste
nach der Verarbeitung
(Verschnitt)



[Mahltechnik Görgens]

Trockenzerfaserung

- geringe Mahleffekte
- geringer Zerfaserungsgrad



Zerfaserte Wellpappe, Zellulosefasern

- Schüttdichte: 45 – 50 g/Liter
- ph-Wert: 7,8



Zellulosefaserdämmung

- Herstellung von Platten mittels Pressverfahren
- z. T. Bindemittel



Flamschutzadditiv

- zur Verhinderung der Entzündung
- zur Flamm-/Glimm-/Schwelbekämpfung

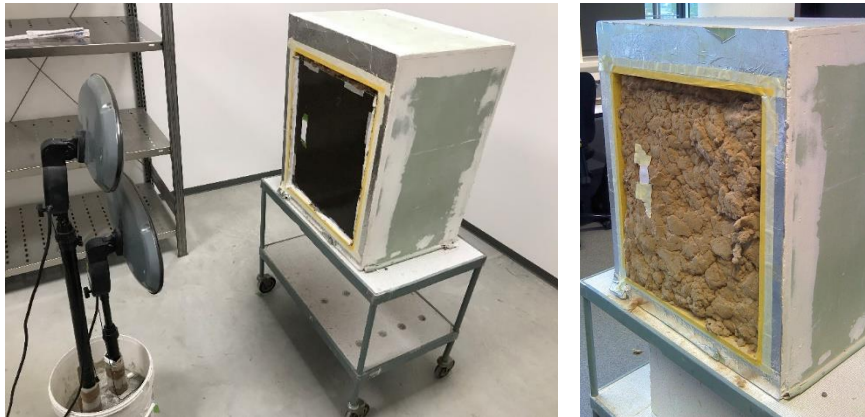
Methodik:

- Ermittlung des Wärmedämmverhaltens
- Brandversuche im Entflammbarkeitsprüfgerät

Exp. Untersuchung der Zellulosefaserdämmung

Wärmedämmverhalten – Untersuchung mittels Wärmekamera

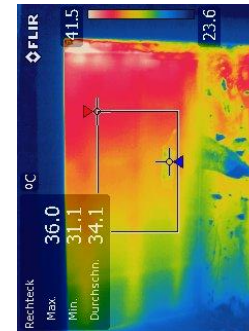
- Integration in Prüfstand und IR-Bestrahlung einer Seite
- Messung der Temperatur durch IR-Kamera auf Vorder- und Rückseite bis konstante Temp. auf Rückseite



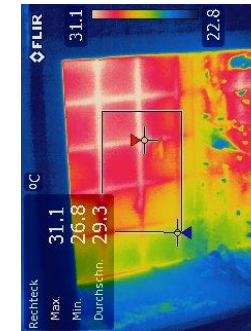
Aufbau Versuchsstand

- Zellulosefaserdämmung aus WP hat ähnliches Wärmedämmverhalten wie Altpapierfaserdämmung

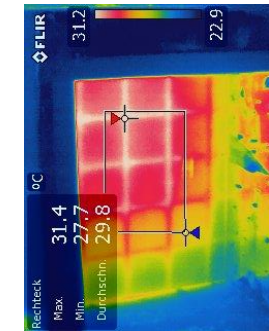
unbestrahlt



**Holzfaser-
dämmung**
 $T_U = 23,6^\circ\text{C}$
 $\Delta T = 75,0\text{ K}$
 $\lambda = 0,043$

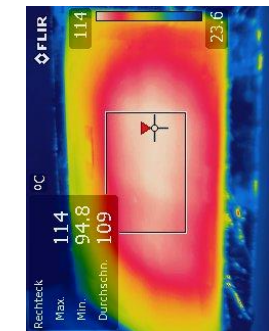
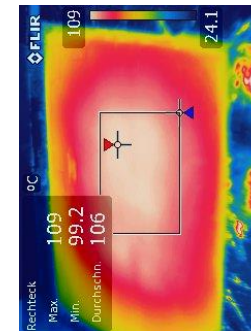
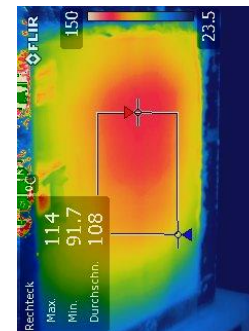


**Zellulosefaser-
dämmung**
 $T_U = 22,4^\circ\text{C}$
 $\Delta T = 77,7\text{ K}$
 $\lambda = 0,040$



**Altpapierfaser-
dämmung**
 $T_U = 22,5^\circ\text{C}$
 $\Delta T = 79,5\text{ K}$
 $\lambda = 0,042$

bestrahlt



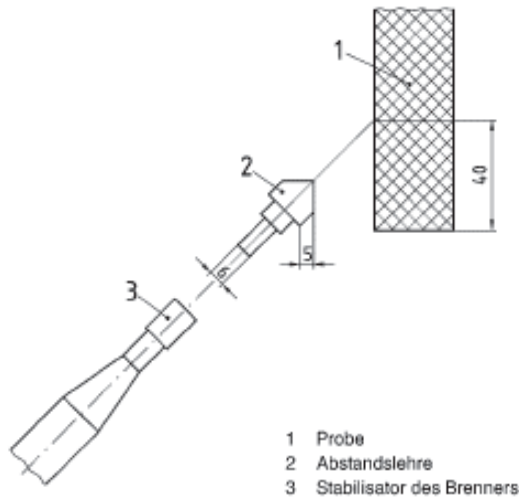
Exp. Untersuchung der Zellulosefaserdämmung

Brandkammertest in Anlehnung an DIN 11925-2 im Entflammbarkeitsprüfgerät CEAST UL 94

- Messung der Entzündbarkeit und der Flammenausbreitung innerhalb von 15 s
- Anforderung zum Bestehen: Erreichen einer festgelegten Messmarke erst 20 s nach Beginn der Beflammung



Probe mit Zellulosefaserdämmung



Schematische Darstellung Brandversuch



Brandversuch

Materialien

Zellulosefaserdämmung

- aus zerfaserter WP
- aus Altpapier

Holzfaserdämmung

- flexibel

Hanffaserdämmung

- Stopfhanf

Probekörper

ca. 250 x 120 x 100 mm³ (L x B x H)

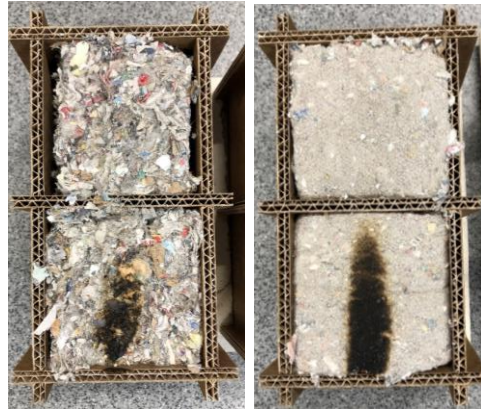
Zellulosefaserdämmung:

Brandprüfung in Anlehnung an DIN 11625-2 im Entflammbarkeitsprüfgerät CEAST UL 94



Hanffaserdämmung:

- schnelle, kurze Ausbreitung der Flamme
- starkes Glimmen
- geringe Rauchbildung



Zellulosefaserdämmung (Schüttdämmung/Platten):

- kaum Ausbreitung der Flamme
- Kein Brennen der Probe
- Flamme erlischt nach der Wegnahme des Brenners
- kein Glimmen
- wenig Rauch



Holzfaserdämmung (flexible Platten):

- kaum Ausbreitung der Flamme
- Kaum Brennen der Probe
- Flamme erlischt nach der Wegnahme des Brenners
- kein Glimmen
- wenig Rauch



Zellulosefaserdämmung, unbeschichtet (zerfaserte WP):

- schnelle, ungehinderte Ausbreitung der Flamme
- kurzes Brennen der Probe
- starkes und langes Glimmen
- starker Rauch auch beim Glimmen

- allerdings ist Zellulosefaserdämmung (aus WP) im Vgl. zu den anderen Dämmungen ohne Brandschutzausrüstung

Brandschutzkonzept

- **Naturfaserdämmung:** Bauproduktklasse E nach DIN EN 13501-1
 - **Anforderung BioModul:** Bauproduktklasse B nach DIN EN 13501-1
 - **Trad. FSM für Naturfaserdämmung:** Borsalzverbindungen, Ammoniumphosphate, Kalk, Tonerde, Natriumsilikat, Molke oder Soda
 - **Brandverhalten:** Trotz FSM Schwel- und Glimmneigung der Naturfaserdämmung
- Bauproduktklasse B mithilfe von Flammschutzadditiven allein schwer umzusetzen

Flammschutzadditive in Naturfaserdämmung	Brandbekämpfung	Konstruktive Maßnahmen
Verzögerung der Entzündung, Reduktion der Energiefreisetzungsrate	Ersticken bzw. Verlangsamen des Feuers/ Glimmens/ Schwelens	Abschottung, Verhinderung der O ₂ -Zufuhr
<ol style="list-style-type: none"> 1. Wasserglas 2. Flammschutzmittel auf Basis halogenfreier Ammonium-Phosphor-Schwefel-Verbindungen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Magnesiumcarbonat (Zersetzung bei 350°C zu MgO und CO₂) 2. Blähgraphit (Aufschäumen des Pulvers ab ca. 140-160°C) 	Wellpappengefache, flammschutzhemmend ausgerüstet

Brandschutzkonzept

Zellulosefaserdämmung:

Brandprüfung in Anlehnung an DIN 11625-2 im Entflammbarkeitsprüfgerät CEAST UL 94

Flammschutzadditive in
Naturfaserdämmung

Verzögerung der Entzündung,
Reduktion der
Energiefreisetzungsrate

Wasserglas,
Flammschutzmittel auf Basis
halogenfreier Ammonium-
Phosphor-Schwefel-
Verbindungen



**Zellulosefaserdämmung
(Zerfaserte WP):**

- schnelle, ungehinderte Ausbreitung der Flamme
- starkes und langes Glimmen
- starker Rauch auch beim Glimmen
- Brandkammertest nicht bestanden



**Zellulosefaserdämmung mit Wasserglas
beschichtet:**

- Langsamere Ausbreitung der Flamme
- Kaum Brennen der Probe
- langes Glimmen
- starker Rauch beim Glimmen
- **Brandkammertest bestanden**

- Durch Zugabe von FSM (20 M.-%) wird Brandkammertest bestanden

Zellulosefaserdämmung:

Brandprüfung in Anlehnung an DIN 11625-2 im Entflammbarkeitsprüfgerät CEAST UL 94

- Beschichten der WP

Konstruktive
Maßnahmen

Abschottung,
Verhinderung der O₂-
Zufuhr

Wellpappengefache,
flammschutzhemmend
ausgerüstet (Wasserglas)



WP ohne Beschichtung



WP mit Wasserglas beschichtet



- Verhindern der Flammausbreitung auf das nächste Gefache (Brandprüfung bestanden)
- WP Gefache wird weniger beschädigt durch Wasserglasbeschichtung

Zellulosefaserdämmung:

Brandprüfung in Anlehnung an DIN 11625-2 im Entflammbarkeitsprüfgerät CEAST UL 94

- Zugabe von Additiven zur Brandbekämpfung (Magnesiumcarbonat, Blähgraphit)

Brandbekämpfung

Ersticken bzw. Verlangsamen
des Feuers/ Glimmens/
Schwelens

1. Magnesiumcarbonat
(Zersetzung bei 350° C zu
MgO und CO₂)
2. Blähgraphit
(Aufschäumen des Pulvers ab
ca. 140-160° C)



Blähgraphit:

- Blähgraphit expandiert stark
- verhindert die Weiterverbreitung der Glimmfront
- Pulver rieselt nach unten



Magnesiumcarbonat:

- Magnesiumcarbonat verlangsamt Glimmen
- kein Erlöschen der Glimmfront

- Magnesiumcarbonat kann Glimmen nicht verhindern
- Blähgraphit verhindert Glimmen, weniger Rauch

BioModul - Grundmodul

NICHTWOHNGEBÄUDE (<math><19^{\circ}\text{C}</math>)

- Höhe: 200 cm
(basierend auf Rastermaßen traditioneller Alu-PUR-Sandwichelemente von 6 m bzw. 12 m)
- Baubreite: 100 cm
(Rastermaß traditioneller Alu-PUR-Sandwichelemente)
- Dicke: variabel
(Rastermaß traditioneller Alu-PUR-Sandwichelemente)

WOHN-/BÜROGEBÄUDE

- Höhe: 275 cm
(basierend auf Raum-/Etagenhöhe)
- Baubreite: 100 cm
- Dicke: 18,5 cm



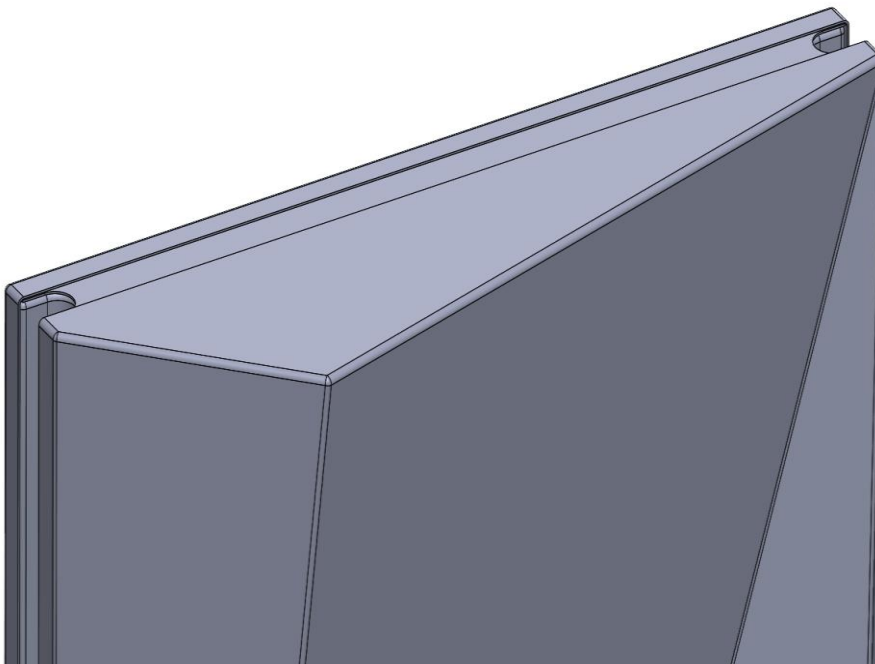
[Goldbeck]

Anforderungen an Elementkonstruktion

- Demontierbar
- verdeckte Befestigung
- Luft- und Wasserdichtigkeit
- wenig Befestigungspunkte/große Stützweite
- einfache Herstellbarkeit, geringer Schalungsaufwand
- minimale Fugen, durchgehende Beleuchtung

BioModul

Konstruktion Anschlussdetails

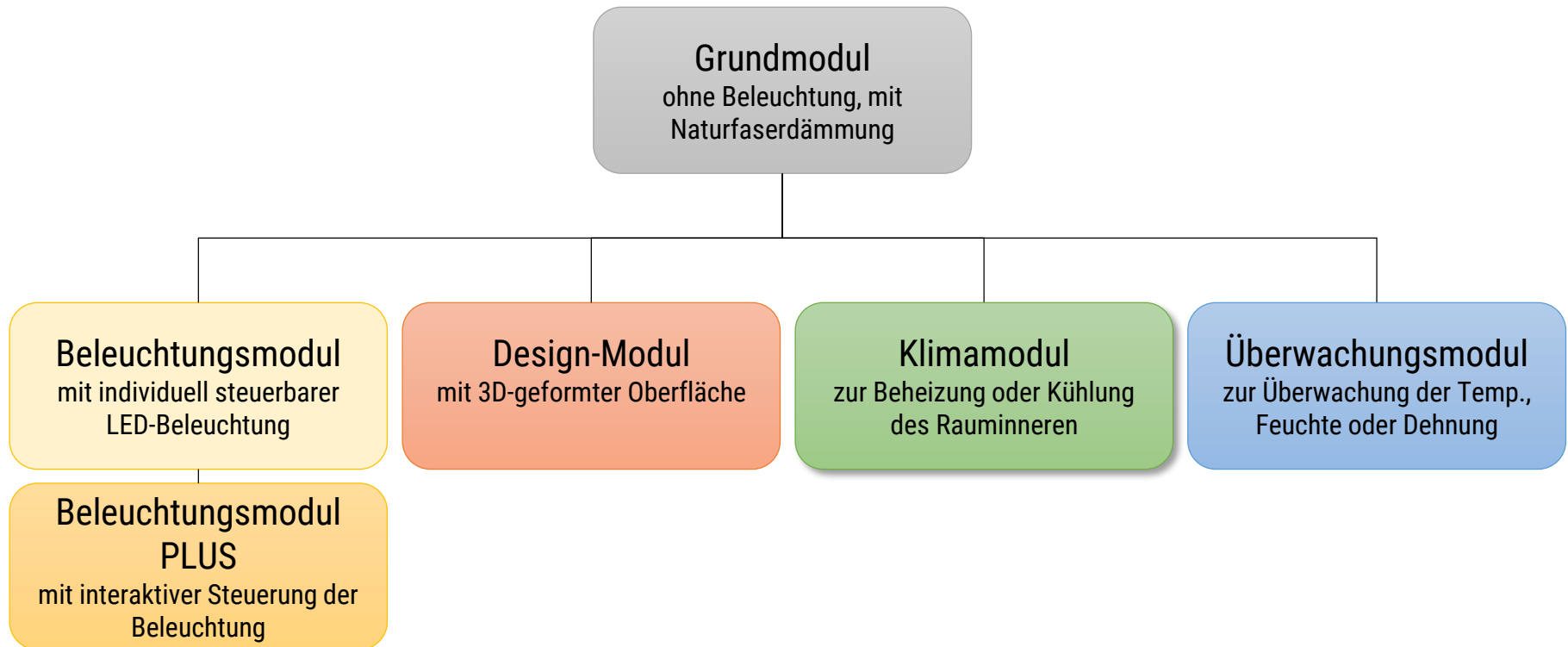


Vorteile

- mehr-teilige Deckschicht mit jeweils einfach herzustellenden NFK-Teilen
- Einfacheres Schalungssystem
- Mind. 5 Standardelemente
- Einfachere Herstellung im Harzinfusionsverfahren
- hohe Flexibilität in der Bauteildicke

Modularisierung

- Entwicklung verschiedener Module aufbauend auf einem Grundmodul



GRUNDMODUL

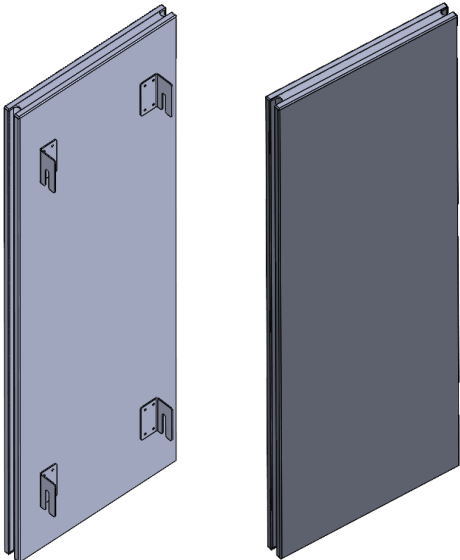
ohne Beleuchtung, mit Zellulosefaserdämmung, ebene Deckschichten

NICHTWOHN-GEBÄUDE (<19°C)

- Höhe: 200 cm
- Baubreite: 100 cm
- Dicke: 14,5 cm
- U-Wert: 0,271 W/m²K

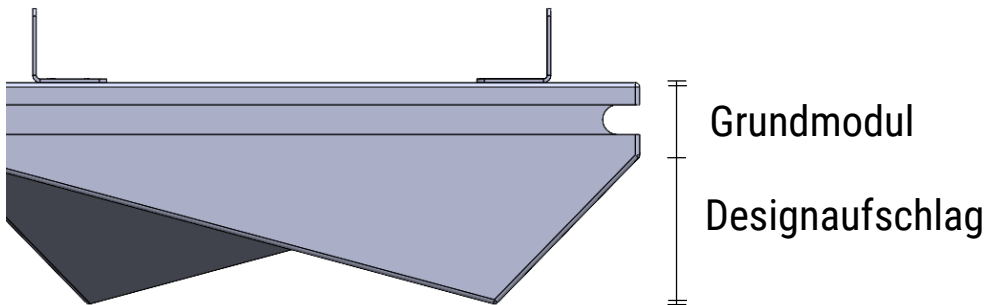
WOHN-/BÜRO-GEBÄUDE

- Höhe: 275 cm
- Baubreite: 100 cm
- Dicke: 18,5 cm
- U-Wert: 0,209 W/m²K



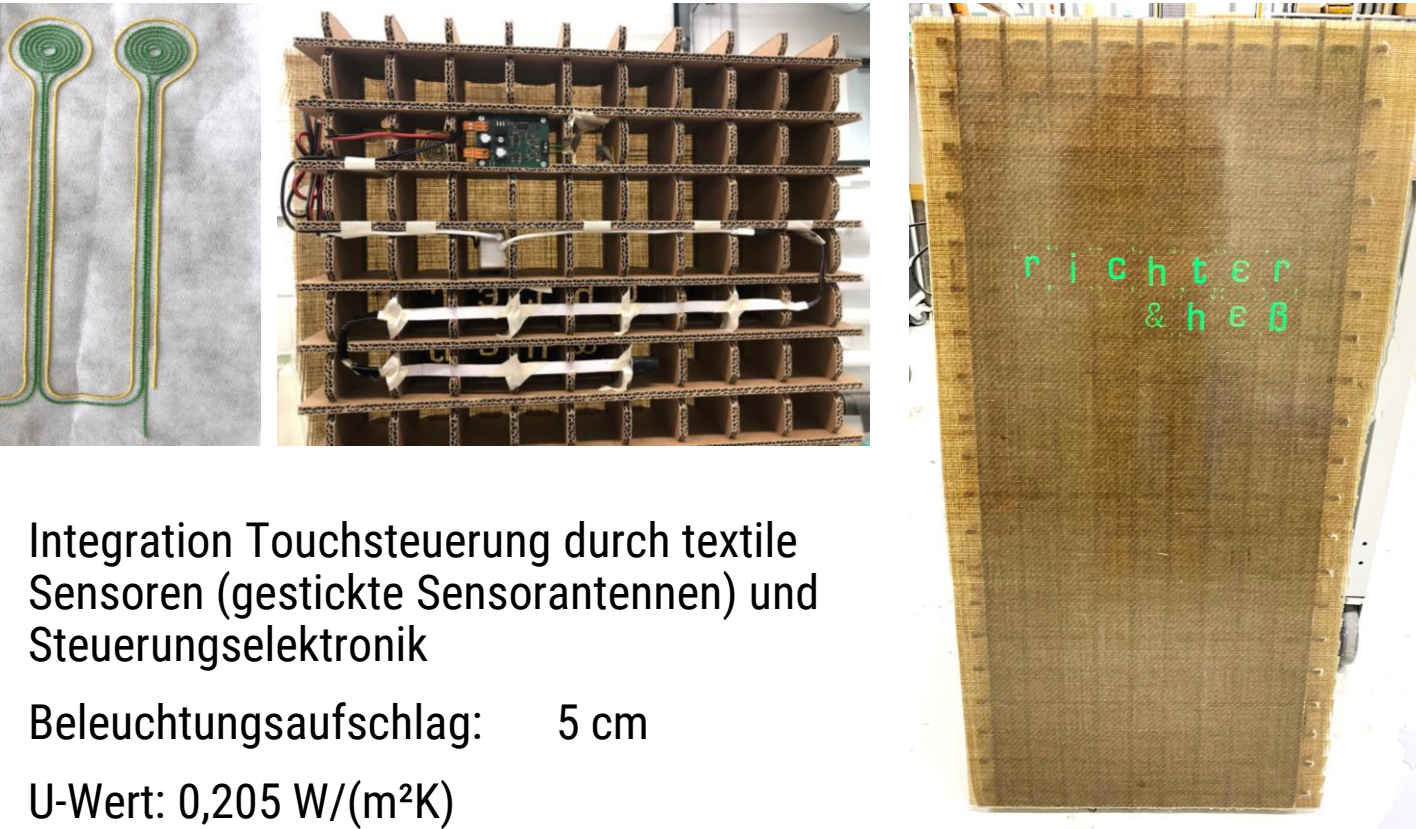
DESIGNMODUL

ohne Beleuchtung und mit Designaufschlag für individuelle 3D-geformte
Architekturoberfläche



- Designaufschlag: max. 20 cm
- individuelles Design nach Vorgabe des Architekten möglich
- Neue Schalung für Außendeckschicht erforderlich
- Innendeckschicht und Verbindungselemente analog Grundmodul

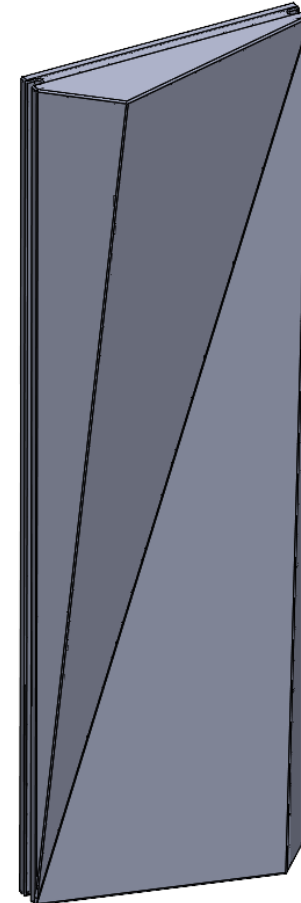
BELEUCHTUNGSMODUL PLUS mit interaktiver Steuerung der Beleuchtung



- Integration Touchsteuerung durch textile Sensoren (gestickte Sensorantennen) und Steuerungselektronik
- Beleuchtungsaufschlag: 5 cm
- U-Wert: 0,205 W/(m²K)

Zusammenfassung

- Entwicklung eines Fassadensystems aus nachwachsenden Rohstoffen mit möglichst hohem biobasierten Anteil
- **Naturfaserdämmung:** Substitution der Steinwollgedämmung mit neuer Zellulosefaserdämmung möglich
- **Brandschutzkonzept:** Entwicklung neues Brandschutzkonzept (kl. Versuche vielversprechend, SBI-Tests stehen noch aus)
- **Standardisierung:** Konstruktion und Anbindung der BioModule vereinfacht, Flexibilität bei der Herstellung unterschiedlicher Dicken, einfacher Schalungsbau
- **Modularisierung:** Umsetzung des Grund-, Design- und Beleuchtungsmodul PLUS, weitere Entwicklung hinsichtlich Klima- und Überwachungsmodul
- Viele Vorteile bei der Nutzung von Wellpappengefächern:
 - nachwachsender Rohstoff,
 - geringes Gewicht,
 - Aussteifung der Deckschichten,
 - geringe Kosten,
 - hohe Recyclingfähigkeit & Kreislaufwirtschaft möglich,
 - Pixel für Beleuchtung,
 - Abschottung bei Brand



All in One-BioModul nach
Design von Fried.A



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Strukturleichtbau

Kontakt:

Dipl.-Ing. Carolin Petzoldt

Carolin.petzoldt@mb.tu-chemnitz.de

Tel.: 0371 531 39632