

## **Schlussbericht**

**KMU-innovativ Verbundprojekt:**

# **GreenFront**

**Nachhaltige Fassadenelemente aus Holzschaum und  
Textilbeton**

**Dipl.-Ing. Marcel Mallah und Dipl.-Phys. Lars Musiol**



**Fricke und Mallah  
Microwave Technology GmbH**

**Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2020 – 31.03.2023**

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03XP0285B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## INHALTSVERZEICHNIS

I. Kurzbericht.....	2
1. Aufgabenstellung sowie den wissenschaftlichen und technischen Stand an den angeknüpft wurde.....	2
2. Ablauf des Vorhabens.....	2
3. Wesentliche Ergebnisse .....	3
4. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen.....	3
II. Eingehende Darstellung .....	3
1. Ausführliche Darstellung der im Rahmen des Vorhabens durchgeföhrten Arbeiten insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung .....	3
1.1 Aufgabenstellung .....	3
1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde .....	4
1.3 Ablauf des Vorhabens .....	5
1.4 Wesentliche Ergebnisse .....	6
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen .....	12
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	12
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....	12
4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....	12
5. Während der Durchführung des Vorhabens der Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf deren Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	12
6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF 12	12

## I. KURZBERICHT

### 1. Aufgabenstellung sowie den wissenschaftlichen und technischen Stand an den angeknüpft wurde

Das Gesamtziel des Förderprojektes GreenFront bestand darin, für ein vom Institut für Füge- und Schweißtechnik der TU Braunschweig (ifs) und dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung (WKI) in einem früheren Förderprojekt entwickelten nachhaltigen Sandwichelement aus Holzschaum und Textilbeton, sowohl eine effizientere und produktionssichere Herstellung des Holzschaums und des Textilbetons als auch eine sinnvolle kombinierte Herstellung beider Materialien für eine großtechnische Anwendung zu entwickeln.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3 bestand die Aufgabe der Firma Fricke und Malalah Microwave Technology GmbH (FM) darin, ihr Technikum mit einem Mikrowellen-Durchlauftrockner für Holzschaumtrocknungsversuche auszustatten und die Versuche zu begleiten, sodass aussagekräftige Mikrowellentrocknungsversuche mit dem Holzschaum durchgeführt werden konnten.

Zusammen mit den Ergebnissen aus Versuchen mit weiteren im Projekt untersuchten Trocknungsmethoden flossen die Versuchsergebnisse aus der Mikrowellentrocknung in die Erarbeitung eines Konzeptes zur Holzschaumtrocknung ein.

### 2. Ablauf des Vorhabens

Um ein marktreifes Sandwichelement aus Holzschaum und Textilbeton herstellen zu können, wurde zunächst die Holzschaumherstellung bei den Industriepartnern entwickelt. Dabei wurden die Prozessschritte Zerfaserung, Schaumherstellung, Formgebung und Holzschaumtrocknung betrachtet. Im nächsten Schritt wurden der Vereinigungsprozess von Holzschaum und Textilbeton entwickelt, sodass ein stabiles Sandwichelement entstand. Im letzten Schritt wurden sowohl das Recycling als auch eine Life-Cycle-Analyse für das entstandene Sandwichelement durchgeführt. Um die Projektziele zu erreichen, war das Förderprojekt in insgesamt acht Arbeitspakete unterteilt:

Arbeitspaket 1: Optimierung der Faserherstellung,

Arbeitspaket 2: Kontinuierliche Aufschäumung und Formgebung,

Arbeitspaket 3: Trocknung,

Arbeitspaket 4: Fertigung Sandwichelement,

Arbeitspaket 5: Eigenschaften Sandwichelement,

Arbeitspaket 6: Recycling,

Arbeitspaket 7: Life-Cycle-Assessment,

Arbeitspaket 8: Berichterstattung.

Im Zuge der Bearbeitung des Arbeitspaketes 3 wurden mehrere Versuchstage im Technikum von FM in Peine und Arbeitstreffen beim WKI durchgeführt. An den Versuchstagen kam neben dem Mikrowellen-Durchlauftrockner und der Messtechnik von FM, auch der Eirich-Mischer des WKI in Peine zum Einsatz, mit dem die modifizierten und optimierten Holzschaummischnungen hergestellt wurden.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 8 wurden, zusätzlich zu den beiden Zwischenberichten und dem Abschlussbericht, Untersuchungsberichte zu den Versuchstagen erstellt, die die erzielten Ergebnisse dokumentieren.

### 3. Wesentliche Ergebnisse

Im Arbeitspaket 3 wurden der Trocknungsprozess des Holzschaums untersucht und verschiedene Trocknungsmethoden evaluiert. Dabei ergab sich, dass die Mikrowellentrocknung am besten für die Holzschaumtrocknung geeignet ist, weil

- bei gleicher Probengröße, die Mikrowellentrocknung im Vergleich mit den anderen Trocknungsmethoden nur einen Bruchteil der Trocknungszeit benötigte.
- bei der Mikrowellentrocknung keine Hautbildung und Oberflächenverkrustung auftraten, welche als Ursachen für die Rissbildung im Probeninneren identifiziert wurden.
- bei der Mikrowellentrocknung, im Vergleich zur HF-Trocknung, ein Verbrennen des Holzschaums durch eine entsprechende Reduktion der Mikrowellenleistung im letzten Trocknungsschritt verhindert werden konnte.
- der Holzschaum mit Mikrowellen vollständig, also auf 0% Restfeuchte, getrocknet werden konnte.
- der lineare Trocknungsverlauf keinen Sättigungspunkt oder ein Plateau zeigte und sich der Holzschaum mit einer Mikrowellenfrequenz von 915 MHz am besten trocknen ließ.

Für eine industrielle Anwendung muss darüber hinaus berücksichtigt werden, dass die Mikrowellen nur endlich tief in den nassen Holzschaum eindringen können. Das haben dielektrische Messungen an den Holzschaumproben ergeben, die auf dem dielektrischen Messplatz von FM durchgeführt wurden.

### 4. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Das WKI brachte bei der Bearbeitung des Arbeitspaketes 3 seine Erfahrung und Ergebnisse mit der Herstellung der Holzschäume und deren konventioneller Trocknung im Labormaßstab ein. Die Ergebnisse wurden von FM genutzt, um den Mikrowellentrocknungsprozess des Holzschaums auf dem hauseigenen Mikrowellen-Durchlauftrockner zu entwickeln.

Mit den anderen Projektpartnern stand FM während der gesamten Projektlaufzeit in beratendem Austausch und brachte seine Erfahrung im Bereich der industriellen Mikrowellentechnik in das Projekt ein.

## II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

### 1. Ausführliche Darstellung der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

#### 1.1 Aufgabenstellung

Das Gesamtziel des Förderprojektes GreenFront bestand darin, für ein vom Institut für Füge- und Schweißtechnik der TU Braunschweig (ifs) und dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung (WKI) in einem früheren Förderprojekt entwickelten nachhaltigen Sandwichelement aus Holzschaum und Textilbeton, sowohl eine effizientere und produktionssichere Herstellung des Holzschaums und des Textilbetons als auch eine sinnvolle kombinierte Herstellung beider Materialien für eine großtechnische Anwendung zu entwickeln.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3 bestand die Aufgabe der Firma Fricke und Malalah Microwave Technology GmbH (FM) darin, ihr Technikum mit einem Mikrowellen-Durchlauftrockner für Holzschaumtrocknungsversuche auszustatten und die

Versuche zu begleiten, sodass aussagekräftige Mikrowellentrocknungsversuche mit dem Holzschaum durchgeführt werden konnten.

Zusammen mit den Ergebnissen aus Versuchen mit weiteren im Projekt untersuchten Trocknungsmethoden flossen die Versuchsergebnisse aus der Mikrowellentrocknung in die Erarbeitung eines Konzeptes zur Holzschaumtrocknung ein.

Die Kombination von Holzschaum und Textilbeton bedingte auch eine Rezepturnentwicklung des Textilbetons, damit der Holzschaum in einem abgestimmten Verfahren mit diesem verbunden werden konnte.

## **1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde**

Wärmedämmungen für Gebäude können aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Neben den flexiblen Dämmmatte aus Mineralwolle, zum Beispiel Glas- oder Steinwolle, zählen die druckfesten Polymerschäume aus expandiertem Polystyrol (EPS), Polystyrol-Extrudierschaum (XPS) oder Polyurethan (PUR) zu den am meisten eingesetzten Dämmmaterialien. Die Herstellung von Polymerschäumen erfolgt großtechnisch aus petrochemischen Grundstoffen.

Naturdämmstoffe hatten zu Projektbeginn einen Marktanteil von ca. 7%, bei steigender Nachfrage. Im Vergleich mit synthetischen Dämmstoffen wiesen sie eine höhere Wärmleitfähigkeit auf, waren nicht auf eine lange Zeit formstabil und waren teurer in der Herstellung.

Ein Großteil der in Deutschland verwendeten Wärmedämmungen an Gebäuden besteht aus Polystyrol, das zumeist das toxische Brandschutzmittel Hexabromocyclododecan (HBCD) enthält, wodurch ein Recycling der Polymerschäume wesentlich erschwert wird.

Im Bereich der Wärmedämmung gibt es alternative Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen wie Stroh, Holzfaser, Holzwolle, Hanf und Cellulose. Aus den stabilen Naturfasern werden in verschiedenen industriellen Verfahren poröse Matten, Vliese und Gelege hergestellt, welche als Wärmedämmung eingesetzt werden. Diese Produkte haben jedoch den Nachteil, weniger druckfest und formstabil als Dämmmaterialien aus Polymeren zu sein und sich dadurch im Laufe der Zeit zu verformen und einzusinken. Dadurch geht die Wärmedämmwirkung verloren. Diese Dämmstoffe können nicht in Sandwichelementen eingesetzt werden.

Beton ist ein vielseitiger Baustoff, der aus Wasser, Sand, Kies und Zement besteht. Im Stahlbetonbau stößt die Wandstärkenreduktion durch die Forderung nach Mindestüberdeckungen für den Korrosionsschutz der Betonarmierung an ihre Grenzen. Der Einsatz von nicht korrosionsanfälligen Fasern ermöglicht nahezu beliebig dünne armierte Betonschichten. Hierbei können zum Beispiel Edelstahlfasern, Carbonfasern, alkaliresistenten Glasfasern sowie verschiedenen Polymerfasern bei geringeren Festigkeitsanforderungen als textiltechnisch vorgefertigte Armierungsmatten oder als Kurzfaserzugabe zur Betonmischung genutzt werden. Mit Textilbeton können Bauelemente mit sehr geringer Deckschicht-Wandstärke realisiert werden.

Faserelemente aus Textilbeton und einem Wärmedämmstoff auf petrochemischer Basis waren schon zu Projektbeginn auf dem Markt erhältlich. Die Herstellung dieser Elemente erfolgt durch separate Herstellung des Textilbetons und des Wärmedämmstoffes und das Kleben der Bauteile zu einem Sandwichelement. Die Elemente müssen noch konstruktiv miteinander verbunden werden, um die auftretenden Kräfte aufnehmen zu können.

Das WKI und das ifs haben im Förderprojekt „Entwicklung von nachhaltigen Sandwichelementen aus Holzschaum und Textilbeton – HoTeSa“ ein Sandwichelement aus dem Holzschaum und Textilbetondecklagen entwickelt, das auch als Vorhangfassadenelement fungieren kann, ein hohes Nachhaltigkeitspotenzial besitzt und flexibel gestaltet werden kann.

Im Projekt GreenFront wurde dieses Fassadenelement weiterentwickelt, wobei auch untersucht wurde, ob der Holzschaum und der Textilbeton, die beide in einem Nassverfahren hergestellt werden, in einem Herstellungsprozess vereint werden können.

### **1.3 Ablauf des Vorhabens**

Um ein marktreifes Sandwichelement aus Holzschaum und Textilbeton herstellen zu können, wurde zunächst die Holzschaumherstellung bei den Industriepartnern entwickelt. Dabei wurden die Prozessschritte Zerfaserung, Schaumherstellung, Formgebung und Holzschaumtrocknung betrachtet.

Im nächsten Schritt wurde der Vereinigungsprozess von Holzschaum und Textilbeton entwickelt, sodass ein stabiles Sandwichelement entstand. Im letzten Schritt wurden sowohl das Recycling als auch eine Life-Cycle-Analyse für das entstandene Sandwichelement durchgeführt.

Um die Projektziele zu erreichen, war das Förderprojekt in insgesamt acht Arbeitspakete unterteilt:

Arbeitspaket 1: Optimierung der Faserherstellung,

Arbeitspaket 2: Kontinuierliche Aufschäumung und Formgebung,

Arbeitspaket 3: Trocknung

(Ziel dieses Arbeitspaketes war die Untersuchung des Trocknungsprozesses und die Evaluierung verschiedener Trocknungsmethoden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit. Dazu wurde die statische Trocknung im Trocknungsschrank mit der kontinuierlichen Mikrowellen-Durchlauftrocknung verglichen. Außerdem wurden Versuche zur statischen Hochfrequenztechniktrocknung am WKI durchgeführt. Dieses Verfahren wurde jedoch verworfen, da es lediglich zur Entzündung des Schaums führte.),

Arbeitspaket 4: Fertigung Sandwichelement,

Arbeitspaket 5: Eigenschaften Sandwichelement,

Arbeitspaket 6: Recycling,

Arbeitspaket 7: Life-Cycle-Assessment,

Arbeitspaket 8: Berichterstattung.

Für die Trocknung des Holzschaums sind eine hohe Energiemenge und eine lange Trocknungszeit erforderlich, weil der Wasseranteil des frischen Holzschaums mit 85% sehr hoch ist.

Im Zuge der Bearbeitung des Arbeitspakets 3 wurden mehrere Versuchstage im Technikum von FM in Peine, Arbeitstreffen beim WKI und Online-Meetings mit den Projektpartnern durchgeführt. An den Versuchstagen kam neben dem Mikrowellen-Durchlauftrockner und der Messtechnik von FM, auch der Eirich-Mischer des WKI in Peine zum Einsatz, mit dem die modifizierten und optimierten Holzschaummixschungen hergestellt wurden.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 8 wurden zusätzlich zu den beiden Zwischenberichten und dem Abschlussbericht Untersuchungsberichte zu den Versuchstagen erstellt, welche die erzielten Ergebnisse dokumentieren.

#### 1.4 Wesentliche Ergebnisse

Im Arbeitspaket 3 wurde der Trocknungsprozess des Holzschaums untersucht und verschiedene Trocknungsmethoden evaluiert.

Ausgegangen wurde vom Labortrocknungsverfahren am WKI. Dort wurden die Holzschäume bei 80 °C getrocknet. Je nach Stärke und Abmaßen des Schaums variierte die Trocknungsduer zwischen 12 und 72 Stunden. Diese langen Trocknungszeiten erschwerten eine industrielle Umsetzung dieses Trocknungsverfahrens. Weiterhin trocknete bei diesem Verfahren der Schaum erst an der Außenhaut ab. Das führte im weiteren Trocknungsverlauf zur Rissbildung im Inneren der Holzschaumproben, weil durch die Hautbildung die Diffusion des Wassers nach Außen inhibiert wurde.

Für die Mikrowellenversuche wurden als zu untersuchende Einflussfaktoren die Dichte, die Schaumhöhe, die Mikrowellenleistung, die Rahmenstruktur und der TMP-Faser-Einfluss festgelegt. Es wurde mit zwei verschiedenen Betriebsfrequenzen getrocknet, nämlich 2450 MHz und 915 MHz. Für die Versuche mit den 915 MHz wurde der 2450 MHz-Mikrowellendurchlaufrockner um einen zusätzlichen Mikrowellengenerator erweitert.

Tabelle 1: Übersicht über die Versuchspараметer

Parameter	Variation
Leistung	6 und 12 KW (2,45 GHz) 12 und 30 KW (915 MHz)
Rahmen	Geschlossen/perforiert
Dichte	50 und 150 kg/m <sup>3</sup>
Faserzusatz	Mit TMP-Faser/ohne TMP-Faser

Die Parameteränderungen während der Trocknungsversuche sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Mikrowellentrocknung wurde bei 2450 MHz mit Mikrowellengeneratorleistungen von 6 kW und 12 kW und bei 915 MHz mit 12 kW und 30 kW durchgeführt. Der Rahmen sorgte für die Formstabilität der frischen Holzschaumprobe. Die Versuche wurden sowohl mit einem geschlossenen als auch mit einem offenen Rahmen durchgeführt. Es wurden Holzschäume mit einer geplanten Rohdichte von 50 kg/m<sup>3</sup> und 150 kg/m<sup>3</sup> in der Mikrowellen-Durchlaufanlage getrocknet. Dabei steht die geringere Dichte für einen Werkstoff mit ausgezeichneter Wärmeisolationseigenschaft. Der Werkstoff mit der höheren Dichte ist ein sehr gut bearbeitbares Halbzeug. Als letzter Parameter wurde in den Versuchen noch der Faserzusatz variiert, und es wurden Holzschaumproben mit und ohne TMP-Fasern getrocknet. Der Erfolg der Trocknungsmethode wurde anhand der gravimetrischen Bestimmung des Wassergehalts und der Temperatur via

Wärmebildkamera und faseroptischer Temperaturmessung zeitabhängig gemessen.

Die Abbildung 1 zeigt den Mikrowellen-Durchlauftrockner mit dem 915 MHz-Mikrowellengenerator, der oben rechts auf der Anlage montiert wurde. Damit verfügte die Anlage über eine Mikrowellenleistung von maximal 12 kW bei 2450 MHz und 30 kW bei 915 MHz. Sie verfügt zusätzlich zu gewöhnlichen Industrieanlagen über einen Pendelbetrieb, mit dem die Anlagenlänge simuliert werden kann.

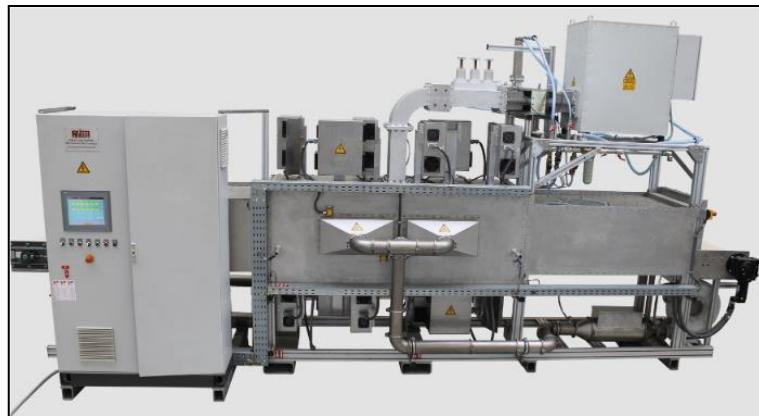


Abbildung 1: Mikrowellen-Durchlauftrockner

Um die Anlage herum wurden an den Versuchstagen der Holzschaum angemischt und die Proben für die Mikrowellentrocknung präpariert. Die Abbildung 2 zeigt eine frische Holzschaumprobe mit Rahmen, die in einer roten Kunststoffbox auf dem Transportband des Mikrowellen-Durchlauftrockners steht und an der ein faseroptischer Temperatursensor für die Online-Temperaturmessung angebracht wurde.

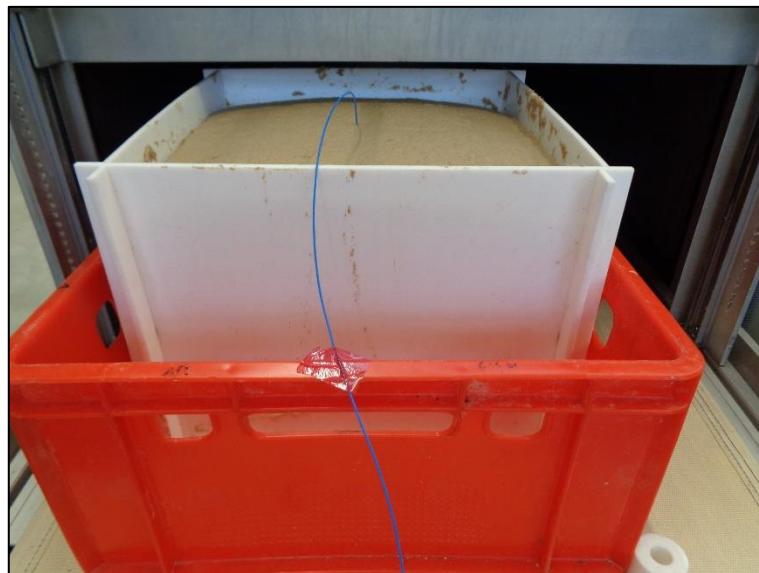


Abbildung 2: Frische Holzschaumprobe im Rahmen mit faseroptischem Temperatursensor

Die Abbildung 3 zeigt den Temperaturverlauf, der während des Versuchs aufgezeichnet wurde, und Abbildung 4 zeigt das Wärmebild der Probe, das nach dem Versuch aufgenommen wurde. Die Trocknungsrisse an der Oberfläche des Holzschaums sind deutlich erkennbar. Bei diesem Versuch haben die Schaummischnung und der eingestellte Mikrowellentrocknungsprozess noch nicht funktioniert. Von diesem Versuch bis zum rissfreien, besäumten Holzschaumelement, welches Abbildung 5 zeigt, wurde noch viel Arbeit in Arbeitspaket 3 geleistet.

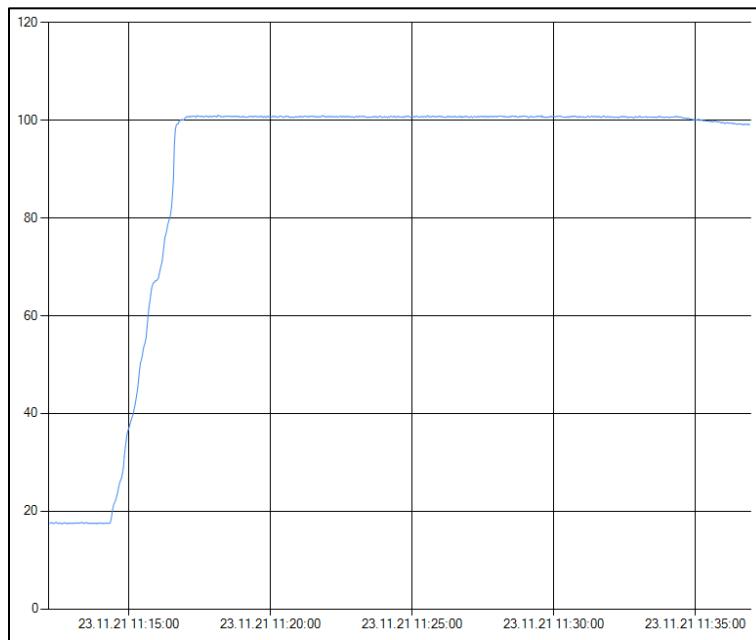


Abbildung 3: Temperaturverlauf bei der Mikrowellentrocknung

Die Ergebnisse zu den Mikrowellenversuchen zeigten, dass die Trocknungs geschwindigkeit von der eingestellten Mikrowellenleistung abhing. Sie wies einen annähernd linearen Abfall des Wassergehalts in Abhängigkeit von der Trocknungszeit auf. Der Vergleich der beiden Mikrowellenfrequenzen ergab, dass die Trocknung bei 915 MHz wesentlich schneller als bei 2,45 GHz erfolgte, was auf die größere Eindringtiefe zurückgeführt werden konnte. Im Vergleich zur konventionellen Trocknung, die im Labormaßstab mit vergleichbarer Temperatur durchgeführt worden war, ergab sich für die Mikrowellentrocknung eine ca. 6-fach geringere Trocknungszeit. Bei 2,45 GHz war bis etwa 70% kein Einfluss der Mikrowellen generatorleistung auf die Trocknungsgeschwindigkeit feststellbar, anschließend war die Abnahme des Wassergehalts bei 12 kW stärker als bei 6 kW. Hingegen fand bei 915 MHz von Beginn an eine schnellere Trocknung bzw. Separierung statt (siehe Abbildung 6). Es ist ein linearer Verlauf der Trocknungskurve bzw. des Wasserverlustes zu erkennen, und es sind kein „Sättigungspunkt“ oder ein Plateau feststellbar, die eine Abnahme der Trocknungsgeschwindigkeit anzeigen.

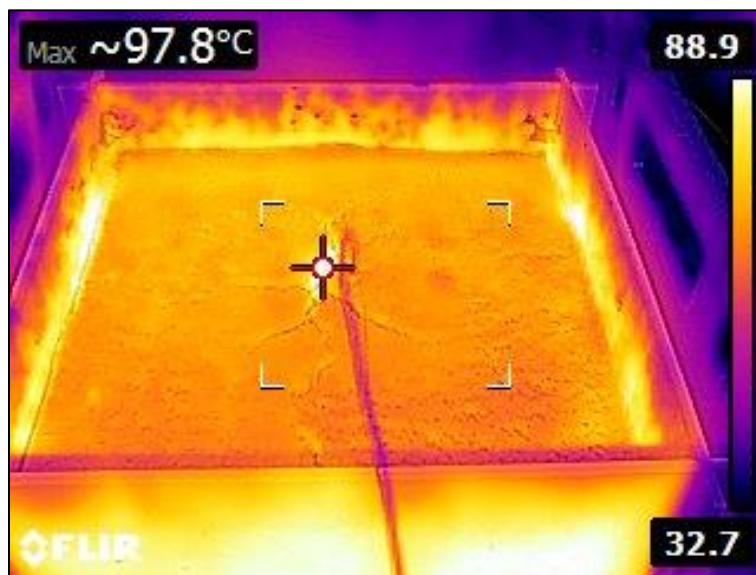


Abbildung 4: Wärmebild der Holzschaumprobe aus Abb. 3 nach der Mikrowellentrocknung



Abbildung 5: Besäumtes Holzschaumelement

Alle weiteren veränderten Versuchspараметer zeigten geringere Einflüsse auf den Mikrowellentrocknungsprozess. So bewirkte ein geschlossener Rahmen ein geringfügig schnelleres Trocknen des Schaums im Vergleich zum perforierten Rahmen. Die Trocknungstemperaturen waren im geschlossenen Rahmen geringfügig höher. Auch die Dichte zeigte bei 2,45 GHz nur einen geringen Einfluss. So bewirkte eine geringere Dichte ein leicht schnelleres Trocknen des Schaums durch die größere Offenporigkeit im System. Bei 915 MHz war der Unterschied deutlich ausgeprägter. Der Zusatz von TMP bewirkte ein leicht schnelleres Abtrocknen zu Beginn der Mikrowellentrocknung. Mit abnehmendem Wassergehalt wurde der Einfluss geringer und glich sich dem Holzschaum ohne TMP an. Hier wurde ein Einfluss der TMP-Faser auf die Porengröße vermutet, welche in größerer Porosität mündete (siehe die Abbildungen 7 und 8).

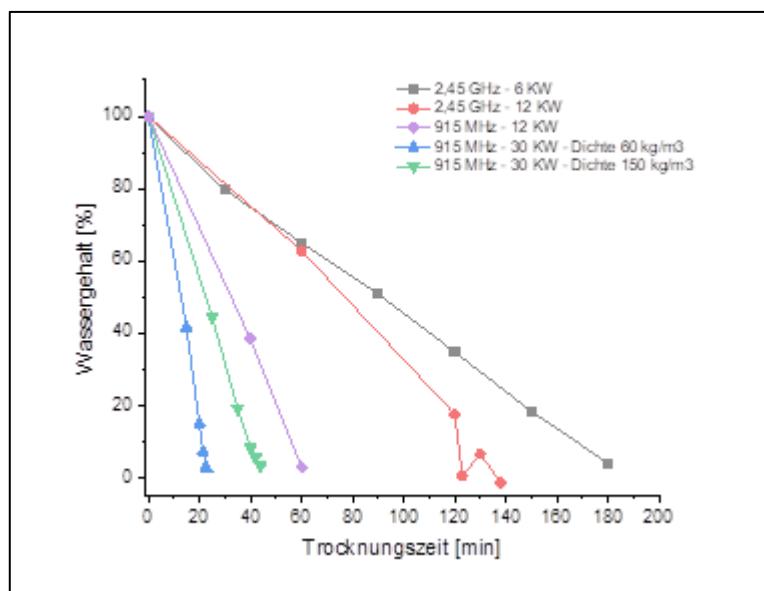


Abbildung 6: Einfluss der Frequenz und Leistung auf die Trocknungsgeschwindigkeit. Aufgetragen ist der Wassergehalt in Abhängigkeit der Zeit.

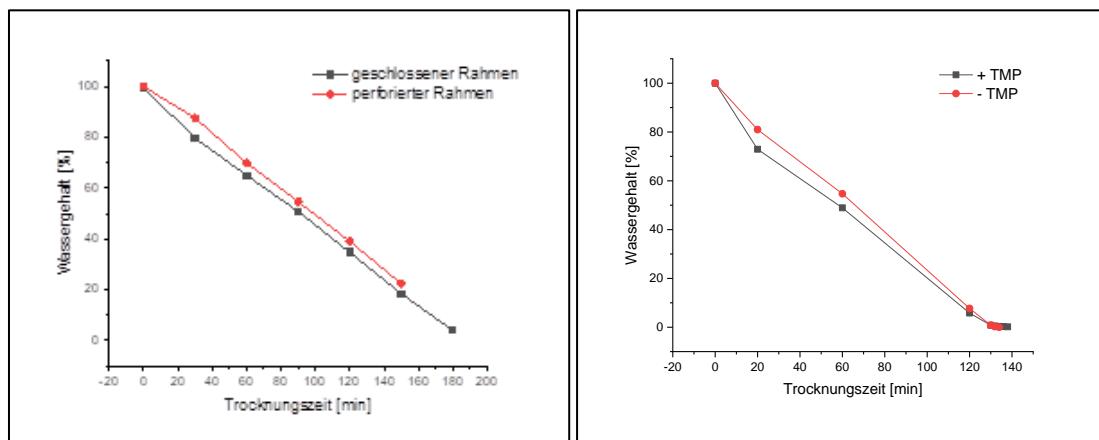


Abbildung 7 & 8: Einflussfaktoren Rahmen (links) und Zusatz TMP-Faser (rechts) auf die Trocknungszeit bei 2,45 GHz.

Die im Arbeitspaket 3 durchgeföhrten Trocknungsversuche haben gezeigt, dass die Mikrowelle für die Holzschaumtrocknung geeignet ist. Die Mikrowellentrocknungszeiten waren ca. 6-mal kürzer und die Schäume aus der Mikrowellentrocknung zeigten weniger Schrumpf im Vergleich zur konventionellen Trocknung. Auf Grund der volumetrischen Erwärmung durch die Mikrowellen kam es beim Trocknen zu keiner „Oberflächenverkrustung“ und damit auch zu weniger SpannungsrisSEN. Die Trocknung bis zur vollständigen Trockenheit „darrtrocken“ war mit der Mikrowelle möglich. Für die spätere industrielle Umsetzung muss jedoch berücksichtigt werden, dass der trockene Holzschaum mittels Mikrowelle entzündet werden kann. In den letzten Minuten vor der Darrtrockenheit kommt es zu einer starken Temperaturerhöhung und Entzündung des Holzschaums ( $T > 120^{\circ}\text{C}$ ). Hier wurde für die industrielle Umsetzung der richtige Zeitpunkt zur Verringerung der Mikrowellenleistung gefunden. Da Holzwerkstoffe eine natürliche Ausgleichsfeuchte von etwa 7-10% aufweisen ist eine vollständige Trocknung aber auch nicht notwendig.

Um das Mikrowellenverfahren mit dem konventionellen Verfahren weiterführend zu vergleichen und zu eruiieren, ob eine Kombination beider Verfahren zielführend sein kann, wurden kombinierte Trocknungsversuche durchgeföhr. Ziel war es ein optimales Verhältnis zwischen Mikrowellentrocknung und konventioneller Trocknung zu finden. Dazu wurden Schäume mittels Mikrowelle auf einen definierten Restwassergehalt getrocknet (70/50/30%). Anschließend wurden diese Schäume aus den Formen entnommen, luft- und wasserdicht eingepackt und konventionell mit Hilfe eines luftbeheizten Fließbandtrockners zu Ende getrocknet (siehe Abbildung 9). Bei 70% Restwassergehalt betrug die nachgeschaltete Trocknungszeit noch etwa 15 Stunden bis die Kerntemperatur des Holzschaums stieg. Selbst bei 30% Restwassergehalt waren noch etwa 13 Stunden Trocknungszeit erforderlich. Bei einer errechneten Transportgeschwindigkeit von 6 m/min würde sich daraus eine Trocknungszonelänge von ca. 5040 m ergeben. Die Kombination aus Mikrowellentrocknung und konventioneller Trocknung wurde auf Grund dieser Versuchsergebnisse nicht für die Holzschaumtrocknung favorisiert.

Um das Verhalten des Holzschaums im letzten Trocknungsschritt besser zu verstehen, wurden von FM dielektrische Messungen an Holzschaumproben durchgeföhr, wofür der hauseigene dielektrische Messplatz genutzt wurde. Abbildung 10 zeigt exemplarisch das Ergebnis einer dielektrischen Messung.

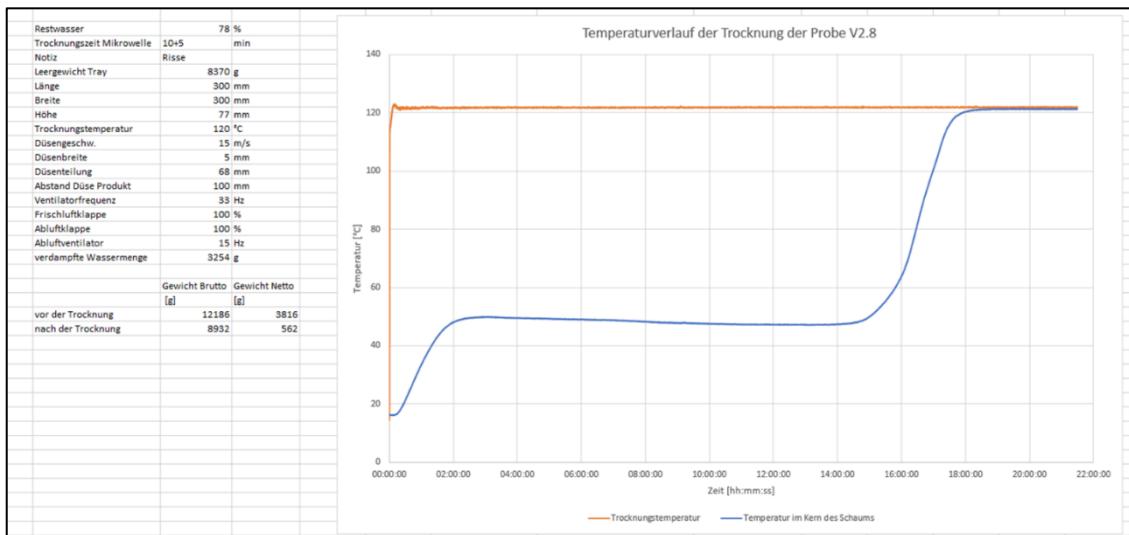


Abbildung 9: Prozessparameter und Ergebnisse der konventionellen Fließbandtrocknung am Beispiel von 70% Restwasser.

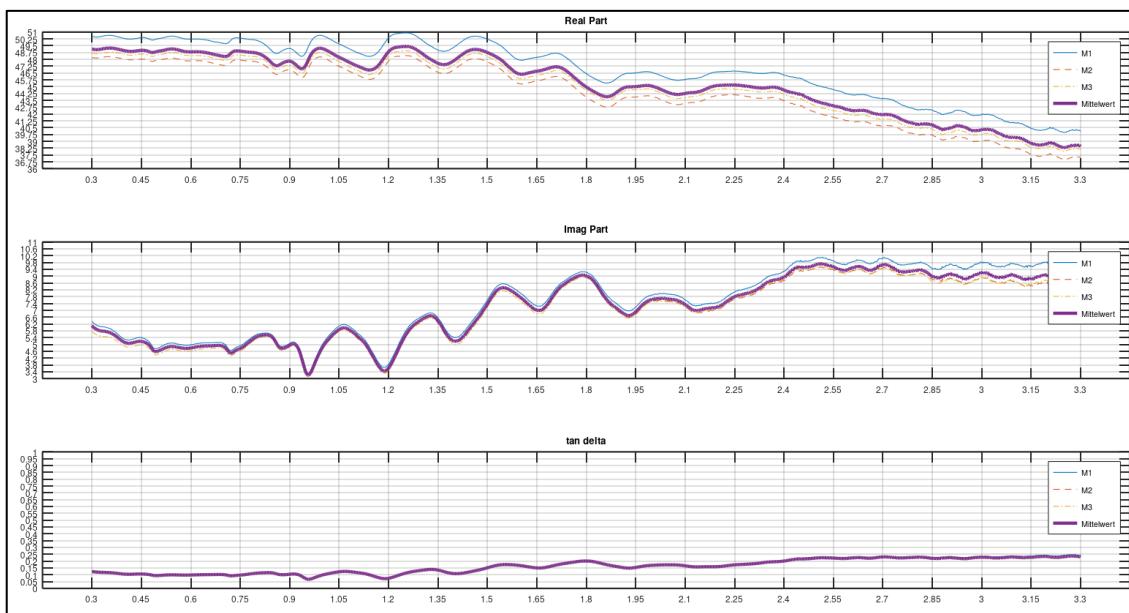


Abbildung 10: Dielektrische Messung an Holzschaum

Zusammenfassend folgt aus den Versuchsergebnissen, die in Arbeitspaket 3 gewonnen wurden, dass die Mikrowellentrocknung am besten für die Holzschaumtrocknung geeignet ist, weil

- bei gleicher Probengröße, die Mikrowellentrocknung im Vergleich mit den anderen Trocknungsmethoden nur einen Bruchteil der Trocknungszeit benötigte.
- bei der Mikrowellentrocknung keine Hautbildung und Oberflächenverkrustung auftraten, die als Ursachen für die Rissbildung im Probeninneren identifiziert wurden.
- bei der Mikrowellentrocknung, im Vergleich zur HF-Trocknung, ein Verbrennen des Holzschaums durch eine entsprechende Reduktion der Mikrowellenleistung im letzten Trocknungsschritt verhindert werden konnte.
- der Holzschaum mit Mikrowellen vollständig, also auf 0% Restfeuchte, getrocknet werden konnte.

- der lineare Trocknungsverlauf keinen Sättigungspunkt oder ein Plateau zeigte und sich der Holzschaum mit einer Mikrowellenfrequenz von 915 MHz am besten trocknen ließ.

Für eine industrielle Anwendung muss darüber hinaus berücksichtigt werden, dass die Mikrowellen nur endlich tief in den nassen Holzschaum eindringen können. Das haben dielektrische Messungen an den Holzschaumproben ergeben, die auf dem dielektrischen Messplatz von FM durchgeführt wurden.

Im Projekt GreenFront wurde durch die Optimierung der einzelnen Verfahrensschritte ein Prozess entwickelt, durch den die Holzschaumplatten als Einzelprodukt sowohl ökologisch als auch ökonomisch marktfähig geworden sind.

## **1.5 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen**

Das WKI brachte bei der Bearbeitung des Arbeitspaketes 3 seine Erfahrung und Ergebnisse mit der Herstellung der Holzschäume und deren konventioneller Trocknung im Labormaßstab ein. Die Ergebnisse wurden von FM genutzt, um den Mikrowellentrocknungsprozess des Holzschaums auf dem hauseigenen Mikrowellen-Durchlauftrockner zu entwickeln.

Mit den anderen Projektpartnern stand FM während der gesamten Projektlaufzeit in beratendem Austausch und brachte seine Erfahrung im Bereich der industriellen Mikrowellentechnik in das Projekt ein.

## **2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Von den im Rahmen des Förderprojektes von FM durchgeführten Arbeiten und eingesetzten Mittel, ist für den zahlenmäßigen Nachweis, die Personalkosten für u. a. das Projektmanagement, die wichtigste Position.

## **3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten**

Aufgrund der Komplexität des Holzschaums, die sowohl bei der Herstellung, als auch bei der Mikrowellentrocknung, immer wieder zu überraschenden Ergebnissen führte, waren die geleisteten Projektarbeiten notwendig und angemessen. Ohne diese und die enge Zusammenarbeit mit dem WKI hätte das Teilprojektziel, nämlich die Entwicklung einer effizienten und produktionssicheren Herstellung des Holzschaums, nicht erreicht werden können.

## **4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Es konnte bereits ein Kunde für die Mikrowellen-Holzschaumtrocknung, ein Engineering-Auftrag für eine Produktionsanlage zur Holzschaumtrocknung und ein Auftrag für eine Technikumsanlage gewonnen werden.

## **5. Während der Durchführung des Vorhabens der Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf deren Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Keine.

## **6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF**

Die Veröffentlichung der Ergebnisse des Teilprojektes erfolgt über die TIB. Außerdem werden sie vom Marketing genutzt werden, weil die Mikrowellenholzschaumtrocknung sehr erfolgreich war.