

Glasfaserentwicklung für die Verbesserung der Lebensdauer von Vakuumisulationspanelen (VIPs)

Martin Groß¹, Alexander Yudin¹, Franziska Mai²

Kurzfassung: In diesem Projekt wurden Glasfasern entwickelt, welche Wasserdampf absorbieren und binden können. Dies wurde zum einen durch eine spezielle Oberflächenbehandlung konventioneller Glasfasern, zum anderen durch die Verwendung spezieller Glassysteme bei der Faserherstellung erreicht. Diese Glasfasern kommen als Stützkernmaterial in Vakuumisulationspanelen (VIPs) zum Einsatz. Durch die Absorption eindringenden Wasserdampfs kann die Lebensdauer der Glasfaser-VIPs erhöht und somit neue Märkte erschlossen werden.

Abstract: In this study glass fibres were developed which can absorb and bind water vapour. This was achieved on the one hand by a special surface treatment of conventional glass fibres and on the other hand by the use of special glass systems in fibre production. These glass fibres are used as supporting core material in vacuum insulation panels (VIPs). By absorbing penetrating water vapour, the service life of the glass fibre VIPs can be increased, thus opening up new markets.

Keywords: Vakuumisulationspanel, Glasfaser, Wasserabsorption, Stützkern, Gettermaterial

1. Einleitung

Zum Erreichen der Zielvorgaben zur Energieeinsparung wird die Entwicklung hochdämmender Werkstoffe immer dringlicher. Dabei leisten sogenannte Vakuumisulationspaneel (VIPs) einen wichtigen Beitrag. Diese Dämmstoffe zeichnen sich durch die aktuell geringsten Wärmeleitfähigkeitswerte aller am Markt befindlichen Materialien aus [1].

Ein VIP besteht aus einem Stützkern mit hoher Porosität bei geringer Porengröße. Der Stützkern ist umgeben von einer möglichst gasdichten Hüllfolie. Durch Evakuierung der Porosität des Stützkerns wird die Gaswärmeleitung unterbunden und somit eine sehr geringe Gesamtwärmeleitfähigkeit eingestellt. Die Hüllfolie wird an den Siegelnähten unter Vakuum verschweißt. Je geringer die Porengröße des Stützkerns, desto höher darf der verbleibende Restdruck im System sein, um eine geringe Wärmeleitfähigkeit zu erreichen. Deshalb wird nach Stand der Technik häufig pyrogene Kieselsäure als Stützkernmaterial

gewählt, welche eine sehr geringe Porengröße erlaubt. Auch Glasfaservliese sind ein geeignetes Stützkernmaterial. Sie weisen im Vergleich zu pyrogener Kieselsäure eine verringerte Festkörper-Wärmeleitfähigkeit und geringere Materialkosten auf. Allerdings ist die Porengröße deutlich erhöht, weshalb für vergleichbare Wärmeleitfähigkeitswerte ein besseres Vakuum erzielt werden muss. [2]

Hinzu kommt, dass der Innendruck im Stützkern mit der Zeit zunimmt. Dies erfolgt zum einen durch Ausgasung aus den Stützkernmaterialien selbst. Dabei spielen bei Glasfasern vor allem absorbiertes Wasser sowie die eingesetzte Schlichte eine Rolle. Weiterhin kommt es zur Gaspermeation durch die Hüllfolie. Es werden Hochbarrierefolien oder Verbundfolien mit metallischen Zwischenschichten eingesetzt, um diesen Effekt weitgehend zu unterbinden. Insbesondere im Bereich der Siegelnähte kommt es aber weiterhin zur Gaspermeation. Dabei spielt insbesondere Wasser-

dampf, aber auch Sauerstoff und untergeordnet andere Gase eine Rolle. [3,4,5]

Der dadurch ausgelöste Anstieg des Innendrucks führt zu einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit. Dieser Effekt ist bei Glasfaserstützkernen aufgrund des geringen benötigten Innendrucks besonders deutlich ausgeprägt [2]. Deshalb ist die Lebensdauer von Glasfaser-VIPs als gering einzustufen, was zu einer deutlichen Einschränkung in den Anwendungsmöglichkeiten führt [6].

Nach dem Stand der Technik werden deshalb sogenannte Gettermaterialien eingesetzt. Dabei handelt es sich um Stoffe, welche Gase durch Absorption binden. Die meisten dieser Getter werden für die Bindung von Wasserdampf verwendet, wobei das am häufigsten verwendete Material Calciumoxid ist [7]. Weitere Getter gegen Sauerstoff und andere Gase sind aber auch bekannt [8,9]. Die Getter werden als zusätzliches Material im Stützkern eingesetzt, was zur Ausbildung von Wärmebrücken führt.

Autor



DR.-ING. MARTIN GROSS (martin.gross@ikgb.tu-freiberg.de) ist seit 2011 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Glas- und Emailtechnik an der TU Bergakademie Freiberg. Dabei koordinierte er eine Vielzahl an industriellen Forschungsprojekten. Schwerpunkte seiner Forschungstätigkeit sind unter anderem die Glaskorrosion sowie das Erschmelzen von Sondergläsern. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung und Herstellung von Glasfasern mit speziellen Eigenschaften aus einer weiten Bandbreite von Glas-systemen.

Ziel der Entwicklungen ist ein Glasfaserstützkern, der ohne den Zusatz von Gettermaterialien eine lange Lebensdauer des VIPs garantiert. Dies soll dadurch erreicht werden, dass Glasfasern entwickelt werden, welche selbst eine Getterwirkung aufweisen.

Neben der Glasfaserentwicklung für den Stützkern werden auch weitere Aspekte von glasfaserbasierten VIPs im Rahmen des Verbundprojektes betrachtet. So wird eine neue Verbundfolie entwickelt, welche eine höhere Barrierewirkung erzielt und gleichzeitig verbesserte mechanische Eigenschaften, insbesondere gegen Durchdringung, aufweist. Außerdem werden weitergehende praktische Anwendungsfelder von glasfaserbasierten VIPs untersucht, für die diese Art der Dämmung aufgrund der geringen Lebensdauer nicht in Frage kam. Als Ziel dieser Entwicklungen steht ein langlebiges, dünnes VIP für weite Anwendungsbereiche. Die benötigte Dämmstoffdicke kann durch die geringe Wärmeleitfähigkeit reduziert werden. Außerdem soll der Glasfaserstützkern Flexibilität gewährleisten, so dass das VIP vor Ort an nicht plane Oberflächen angepasst werden kann.

2. Experimentelles

Das Ziel soll auf zwei verschiedenen Wegen erreicht werden:

1. Die Entwicklung einer Oberflächenbehandlung von schlichtefreien Glasfasern mit Getterfunktion

2. Glasfasern aus Glassystemen, welche selbst eine Getterfunktion aufweisen
Die Oberflächenbehandlung der Glasfasern dient zum einen der Verbesserung der Eigenschaften der Vliesstruktur. Zum anderen soll die Behandlung derart erfolgen, dass die Glasfasern anschließend eine Getterwirkung für Wasserdampf aufweisen.

Dazu werden Glasfasern aus handelsüblichen Faserglassystemen schlichtefrei auf der vorhandenen Multifilament-Zieh-anlage hergestellt. Auf diese Fasern wird zunächst eine poröse Oxidschicht aufgebracht. Anschließend wird in die Porosität dieser Schicht ein Salz mit wasserabsorbierender Wirkung eingebracht.

Zur Bestimmung der Gettereigenschaften wurde ein spezieller Wasserabsorptionstest entwickelt. Dabei werden die Glasfasern bei einer bestimmten Temperatur für eine bestimmte Zeit einer wasserdampfgesättigten Atmosphäre ausgesetzt. Dabei tritt durch die Absorption des Wassers eine Massezunahme auf, welche bestimmt wird. Es kann aber nicht unterschieden werden, ob das

Wasser nur an der Oberfläche adsorbiert und somit bei einer Verringerung der Feuchte wieder abgegeben wird oder ob eine feste Bindung an den Gettermaterialien erfolgt. Deshalb werden die Fasern anschließend bei verschiedenen Temperaturen getrocknet und die verbleibende Masseänderung bestimmt. Eine Glasfaser mit guten Gettereigenschaften weist bei erhöhten Trocknungstemperaturen immer noch eine deutliche Massezunahme durch absorbiertes Wasser auf.

Für den zweiten Weg zum Erreichen der Zielstellung wurden zunächst Gläser erschmolzen, welche aufgrund ihrer geringen hydrolytischen Beständigkeit deutlich mit Wasser reagieren. Diese Gläser sind besonders in der Lage, Wasser zu absorbieren. Glasfasern aus diesen Gläsern sind bei konventionellen Anwendungen unbrauchbar, da sie sofort mit dem Wasserdampf der Atmosphäre reagieren und ihre Eigenschaften verlieren. Unter Vakuum im Stützkern eines VIPs ist diese Eigenschaft sogar von Vorteil. Die Gläser wurden auf der Multifilamentanlage zu Glasfasern gezogen. Dabei wurden die Ziehfähigkeit und die Eigenschaften der resultierenden Glasfasern bewertet, wobei in einer Vielzahl von Glassystemen erfolgreich Fasern gezogen werden konnten. Besonderes Augenmerk lag dabei

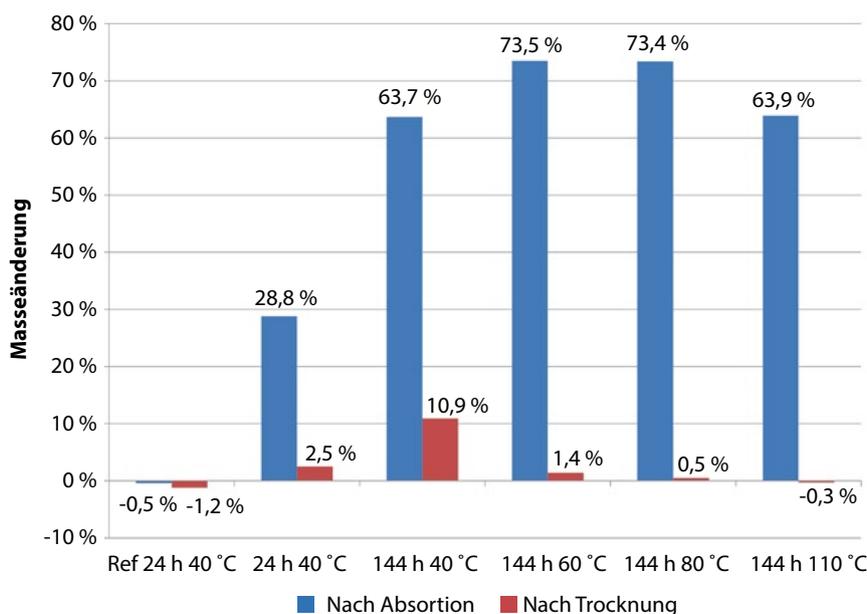


Bild 1 Wasserabsorptionstest von oberflächenbehandelten, konventionellen Glasfasern (© Groß)

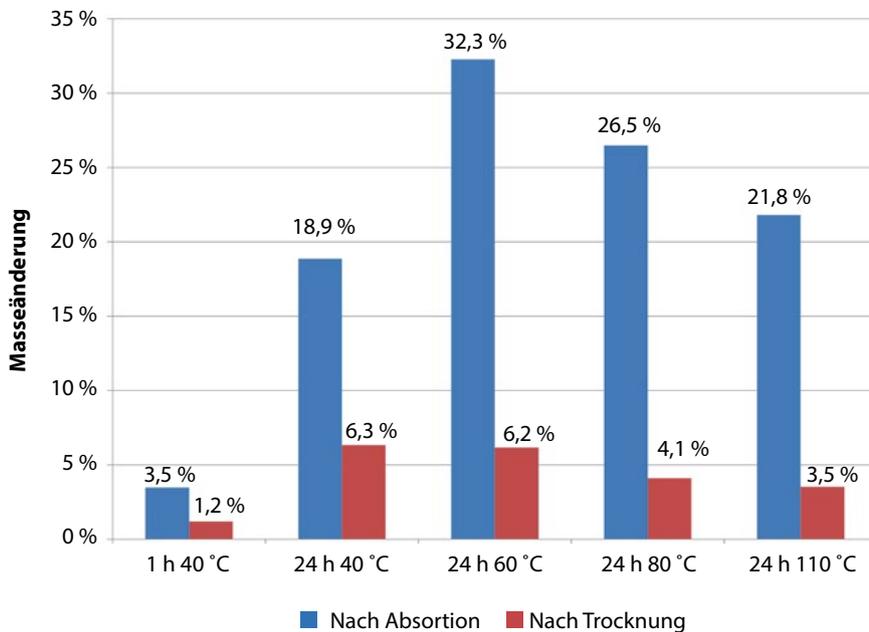


Bild 2 Wasserabsorptionstest an Glasfasern aus einem Alkalisilikatglas (© Groß)

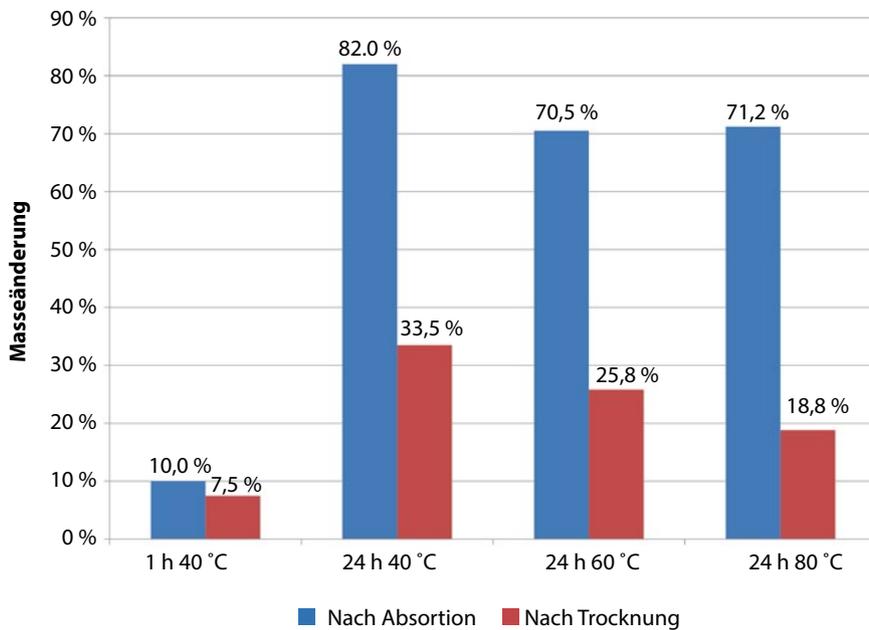


Bild 3 Wasserabsorption von Borosilikatglasfasern (© Groß)

auf Alkalisilikatgläsern, Borosilikatgläsern und Boratgläsern. Die hergestellten Glasfasern wurden dem bereits beschriebenen Wasserabsorptionstest unterzogen.

Anschließend wurden die so hergestellten Glasfasern in eine Stützkernstruktur aus Glasfaservliesen eingebracht und die Eigenschaften des VIPs ermittelt.

3. Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der Untersuchungen der Oberflächenbehandlung betrachtet. In **Bild 1** dargestellt sind die Ergebnisse der besten Oberflächenbehandlung. Es wurde ein Salz mit Gettereigenschaften in eine poröse SiO₂-Schicht eingebracht. Die Behandlung erfolgte am fertigen Vlies. Ein

positiver Nebeneffekt ist die stabilisierende Wirkung der Behandlung auf das Vlies.

Dargestellt ist die Masseänderung der verwendeten Glasfaserprobe beim Wasserabsorptionstest. Dabei bezeichnet der Zahlenwert „Nach Absorption“ die Masseänderung direkt nach der Entnahme aus der gesättigten Wasserdampf-atmosphäre, wobei die Dauer der Wasserabsorption in der Probenbezeichnung angegeben ist. Der Wert „Nach Trocknung“ ergibt die Masseänderung, welche sich durch Trocknung bei angegebener Temperatur für eine Stunde einstellt. Die Probe „24 h 40 °C“ konnte 24 h Wasserdampf absorbieren und wurde anschließend 1 h bei 40 °C getrocknet.

Zunächst wird die Referenzprobe betrachtet. Hier zeigt sich keine Massezunahme, wie es bei einer Wasserdampfabsorption zu erwarten wäre, sondern ein geringer Masseverlust. Dieser ist dadurch bedingt, dass es immer zu einem gewissen Faserverlust durch Bruch kommt. Nach der Trocknung nimmt dieser Masseverlust noch etwas zu, bedingt durch die zusätzlichen Handlungsschritte. Bei der behandelten Probe nach 24 h Wasserdampfabsorption ergibt sich eine deutliche Massezunahme von 28 %. Diese Probe kann, im Vergleich zur unbehandelten Glasfaser, Wasserdampf absorbieren. Nach der Trocknung bei 40 °C sind noch 2,5 % Massezunahme vorhanden, es ergibt sich ein gewisses Wasserhaltevermögen.

Bei einer längeren Absorptionszeit von 144 h ergibt sich eine deutlich gesteigerte Wasserdampfabsorption im Bereich von 70 % der verwendeten Masse der Fasern, wobei es zu Schwankungen zwischen den Proben kommt. Diese Fasern wurden bei verschiedenen Temperaturen getrocknet. Bei 40 °C sind noch 10,9 % des absorbierten Wassers vorhanden. Dieser Wert nimmt mit steigender Temperatur erwartungsgemäß ab, aber selbst bei 110 °C liegt er noch geringfügig über dem Referenzwert. Demnach besitzen die oberflächenbehandelten Glasfasern eine Gettereigenschaft gegenüber Wasserdampf.

Bei den Glasfasern aus einem Glassystem mit Getterwirkung wurden verschiedene Glaszusammensetzungen getestet. Zunächst wird ein Alkalisilikatglas betrachtet, wie aus **Bild 2** hervorgeht. Es konnten aus diesem Glassystem Fasern mit einem mittleren

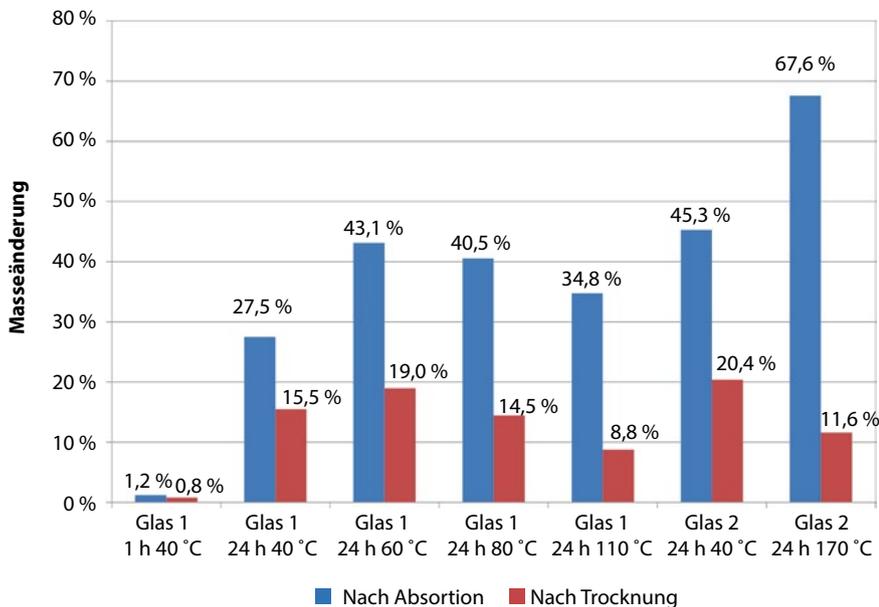


Bild 4 Ergebnisse bei Alkali-Alumoboratglasfasern (© Groß)

Durchmesser von 12 μm gezogen werden. Zunächst zeigt sich, dass die Zeit für die Wasserdampfabsorption gegenüber behandelten Fasern deutlich reduziert werden kann. Bereits nach einer Stunde haben die Glasfasern 3,5 % ihrer Masse Wasserdampf absorbiert. Nach 24 h sind es zwischen 18 % und über 32 %. Es ergibt sich somit eine deutliche Schwankung der Ergebnisse. Die Trocknung hat einen viel geringeren Einfluss, als es bei den behandelten Glasfasern der Fall ist. Selbst bei 110 °C werden noch 3,5 % Wasser absorbiert.

Es wurden auch verschiedene Borosilikatgläser gezogen. Diese sind deutlich empfindlicher gegenüber Kristallisation. Deshalb gelang es lediglich, einen Faserdurchmesser von 15 μm zu erzielen. Die Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt. Das Absorptionsvermögen ist gegenüber dem Alkalisilikatglas deutlich erhöht. Nach einer Stunde werden bereits 10 % der Fasermasse an Wasser absorbiert. Bei den 24h-Versuchen liegen die Werte bei über 70 %. Nach der Trocknung bleiben große Mengen des absorbierten Wassers in den Fasern gebunden. Selbst bei 80 °C sind noch 18,8 % vorhanden. Der 110 °C-Versuch konnte aufgrund zu geringer Fasermengen durch die schlechte Ziehbarkeit nicht durchgeführt werden.

Weiterhin wurden auch Boratgläser getestet. Dabei wurde zunächst ein Alkali-Alumoboratglas (Glas 1) in Bild 4 untersucht. Dieses

Glas zeichnete sich durch eine erhöhte Kristallisationsneigung aus, weshalb nur Fasern mit einem Durchmesser von 16 μm gezogen werden konnten. Es besitzt ein geringeres Wasserabsorptionsvermögen als das Borosilikatglas, insbesondere bei kurzen Absorptionszeiten. Dies ist aber vor allem dem größeren Faserdurchmesser geschuldet, wobei weniger Absorptionsfläche zur Verfügung steht. Das Wasserhaltevermögen ist auch bei hohen Temperaturen von 110 °C gut, es bleiben 8,8 % der Fasermasse an Wasser gebunden. Um das Ziehverhalten des Glases zu optimieren, wurde die Glaszusammensetzung angepasst (Glas 2). Bei diesem Glas konnten Fasern mit 10-12 μm Durchmesser gezogen werden. Dieses Glas besitzt ein höheres Absorptionsvermögen. Es wurde ein Trocknungstest bei 170 °C durchgeführt, nach welchem noch 11,6 % Masseänderung zu verzeichnen waren. Dieses geänderte Boratglas weist sehr gute Gettierigenschaften für die Anwendung in Vakuumsolationspaneelen auf.

Sowohl mit den behandelten Glasfasern als auch mit denen aus einem Glassystem mit Getterwirkung wurden Versuche durchgeführt, wobei diese in eine Stützkernstruktur aus handelsüblichen Vliesen eingebracht wurden. Diese Einbringung ist möglich. Beide modifizierten Glasfasern sind als Stützkernmaterial anwendbar. Dabei kann

die Einbringung sowohl ausschließlich als auch in Anteilen erfolgen. Bei anteilmäßiger Anwendung besteht die Möglichkeit, einen Teil der für die Stützkernherstellung verwendeten Standardvliese durch neuartige Vliese zu ersetzen. Gleichzeitig kann aber auch bei der Herstellung der Vliese ein Teil der konventionellen Glasfasern durch neuartige Glasfasern ersetzt werden. Die Betrachtung, welche dieser Varianten das höchste wirtschaftliche Potenzial besitzt, steht noch aus.

Ebenso konnte am fertigen VIP der Einfluss der neuartigen Glasfasern auf die Wärmeleitfähigkeit und die Langzeitbeständigkeit noch nicht nachgewiesen werden. Die Einbringung der Glasfasern unter Laborbe-

Projektförderung



Das Verbundprojekt „FiberVIP“ wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung durch den Projektträger Sächsische Aufbaubank - Förderbank gefördert.

dingungen führt zu einer Störung der Stützkernstruktur. Die dabei auftretende Messwertschwankung bei Auswertung der Proben ist zu groß für einen Nachweis. Abhilfe schafft die Verarbeitung dieser Fasern zu Vliesen in einem halbindustriellen Maßstab. Dazu sind weitere Untersuchungen nötig.

4. Schlussfolgerung

Es konnte eine Oberflächenbehandlung entwickelt werden, welche es ermöglicht, dass konventionelle Glasfasern Gettereigenschaften zeigen. Dabei ergibt sich als vorteilhafter Nebeneffekt eine Stabilisierung der Struktur der Glasfaservliese.

Eine deutlich stärkere Getterwirkung kann durch die Herstellung von Glasfasern aus speziellen Glassystemen erzielt werden. Dabei wird das Wasser fest in die Glasmatrix eingebunden. Besonderer Vorteil ist, dass diese Fasern direkt zu Vliesen für die Herstellung eines Stützkerns verarbeitet werden können. Jegliche Art von Fremdmaterial, welches eine Wärmebrücke bilden könnte, entfällt.

Mit den hier vorgestellten Glasfasern kann ein Glasfaserstützkern hergestellt werden, der die Vorteile dieses Materials mit einer verlängerten Lebensdauer durch die Gettereffekte kombiniert. Dieses hohe Potenzial macht weitergehende Untersuchungen zum Upscaling dringend nötig.

In Verbindung mit den anderen Entwicklungen im Verbundprojekt besteht so das Potenzial, den Markt für glasfaserbasierte VIPs erheblich zu erweitern. So wurde eine neuartige Hüllfolie mit hervorragenden Barriereigenschaften entwickelt, die die Lebensdauer durch verringerte Gaspermeation weiter erhöht. Auch ist diese durch eine Glasfaserverstärkung mechanisch sehr beständig, was das Risiko minimiert, dass die Hüllfolie beschädigt wird. Die Flexibilität und Biegebarkeit der VIPs konnte belegt werden. Es konnte der Nachweis für die Anwendbarkeit der neuartigen Vakuumisulationspanele in verschiedenen Anwendungsbereichen, so im Bauwesen, in der Behälterdämmung sowie im Containerbau erbracht werden. Dabei wurde die benötigte Dämmstoffdicke aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit erheblich reduziert. ◀

Literaturhinweise

[1] Plagge, R. EE14 Fachkongress Energie-Effizientes Bauen 2014. Mikroporöse Hochleistungsdämmstoffe. Augsburg 2014.

[2] Bouquerel, M., Duforestel, T., Baillis, D., Rusaouen, G. Heat transfer modeling in vacuum insulation panels containing nanoporous silicas - A review. Energy and Buildings. 54, 2012.

[3] C D Li, Z F Chen und J M Zhou. „Optimization of the contents of hollow glass microsphere and sodium hexametaphosphate for glass fiber vacuum insula-

tion panel“. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 137 (Juli 2016), S. 012-041. doi: 10.1088/1757-899x/137/1/012041

[4] Kim, J. und Song, T.-H. Vacuum insulation properties of glass wool and opacified fumed silica under variable pressing load and vacuum level. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2013, Bd. 64.

[5] Gantenbein, P., Petrasch, S. und Frank, E. Ausgasung von Kernmaterialien. Rapperswil: Institut für Solartechnik SPF, 2010.

[6] Va-Q-tec AG. Technisches Datenblatt va-Q-mic. Würzburg : Va-Q-Tec AG, 2020. Url: <https://va-q-tec.com/download.php?taxonomy=products&file=eyJmaWxlljoiaW1hZ2VzXC9jb250ZW50XC8xNDxMjBfdmF1UV9taWNrRGV1dHNjaC5wZGZyY2Nlc3MiOilwin0%3D>, Besucht am 26.03.2020

[7] LG Hausys Ltd. Korea. „Vacuum insulation panel and method for manufacturing same“. EP 2 522 505 B1. 2012.

[8] Nippon Sansu Kabushiki Kaisha. „Evacuated heat insulation unit and method of manufacturing same“. US 4668551. 1985.

[9] SAES Getters spa Italien. „Method for manufacturing a vacuum insulating structure and an insulating structure so produced“. US 4938667. 1989.

1 TU Bergakademie Freiberg, Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik, Lehrstuhl für Glas- und Emailtechnik, Leipziger Straße 28, 09599 Freiberg

2 ISE Institut für Strukturleichtbau und Energieeffizienz gGmbH, Limbacher Str. 56, 09113 Chemnitz

Aufstiegsstoff

Wirkt schon in kleiner Dosis.

Wer nach oben will braucht **adhäsion**, die einzige deutsche Fachzeitschrift für industrielle Kleb- und Dichttechnik: Wertvolles Insiderwissen, praxisrelevante Informationen und neueste Trends und Technologien.



Ihre Abovorteile:

- ✓ 10 Ausgaben im Jahr
- ✓ Jede Ausgabe inkl. E-Magazin – NEU!
- ✓ „Handbuch Klebtechnik“ kostenlos für Abonnenten
- ✓ Freier Zugriff auf das Online-Archiv mit Fachbeiträgen seit 2003
- ✓ Keinerlei Risiko, jederzeit kündbar

Jetzt 2 Ausgaben kostenlos testen:
www.meinfachwissen.de/adhaesion

adhäsion KLEBEN+DICHTEN



Keramik der Zukunft.

Das ganze **Fachwissen** der Keramiktechnologie, in allen anwendungsrelevanten Bereichen auf technisch-wissenschaftlichem Niveau mit den neuesten signifikanten Trends und Entwicklungen. Informieren Sie sich fünf Mal im Jahr mit der exklusiven Kombination aus **Printausgabe** und **interaktivem E-Magazin** sowie der **einzigartigen Wissensdatenbank des Online-Archivs mit pdf-Download**.

www.meinfachwissen.de/keramischezeitschrift

**JETZT
KOSTENLOS
TESTEN!**