

FORSCHUNGSBERICHT

- Kurzfassung -

Forschungsvorhaben: Optimierung der energetischen Eigenschaften und der Wirtschaftlichkeit von VIP-Paneelen durch die optimale Kombination von Kieselsäure-, Mineralfaser- und EPS-Dämmstoff

Kurztitel: Energetische und wirtschaftliche Optimierung von VIP-Paneelen

Forschende Stelle: Forschungsinstitut für Wärmeschutz München e.V.
FIW München
Lochhamer Schlag 4
82166 Gräfelfing

Projektleiter: Dr.-Ing. Martin H. Spitzner
Projektmitarbeiter: Dipl.-Ing. Christoph Sprengard

Das Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

Aktenzeichen: Z6–10.08.18.7–08.11 / II 2 – F20-08-1-075

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Bericht Nr.: FO-06k/08
Ausstellungsdatum: 18. Februar 2011
Seiten: 12

1 Ziel der Forschungsaufgabe

Ein VIP ist ein Wärmedämmelement, das aus einem druckstabilen Stützkern, derzeit meistens pyrogene Kieselsäure, und einer Hülle besteht. Neben pyrogener Kieselsäure kommen verschiedene offenporige Faser-, Pulver- oder Schaumprodukte als Stützkern infrage, die sich in der Wärmeleitfähigkeit unterscheiden (Abbildung 1). Als Umhüllung werden Aluminium-Verbundfolien (Ultrabarrierfolien) und metallisierte Kunststofffolien (Hochbarrierfolien) eingesetzt.

Im Rahmen dieses Projektes wurde erforscht, wie der kombinierte Einsatz von herkömmlichen Dämmstoffen und pyrogener Kieselsäure das Produkt Vakuum-Isolations-Paneel (VIP) in energetischer Hinsicht verbessern und dessen Wirtschaftlichkeit erhöhen kann. Untersuchungen zu Deckschichten und Randausbildungen schlagen eine Brücke von den reinen Paneeleigenschaften zur Anwendung am Bau.

Die entstehenden Zwängungen und Konfliktfelder wurden analysiert und Vorschläge zur Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in der Produktion der Paneele gemacht. Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit der Paneeelherstellung und zum Einsatz im Gebäude untermauern das große Potenzial der Vakuum-Isolations-Paneele hinsichtlich hochwertiger energetischer Sanierung und nachhaltiger, wesentlicher Verminderung des Ausstoßes von Treibhausgasen.

2 Durchführung der Forschungsaufgabe

Der Wärmetransport in porösen Dämmungen wird u.a. ausführlich von J. Fricke et.al. im Lehrbuch Vakuum-Isolations-Paneele für Gebäude beschrieben [1]. Er setzt sich aus den folgenden Beiträgen zusammen.

- Wärmetransport über das Festkörpergerippe λ_F in $W/(m \cdot K)$
- Infrarotstrahlungstransport λ_S in $W/(m \cdot K)$, und
- Wärmeleitung des darin enthaltenen, ruhenden Gases λ_G in $W/(m \cdot K)$

Ein weiterer Term λ_K enthält die Kopplungseffekte der verschiedenen Transportpfade, und beschreibt z.B. die Kurzschlussmechanismen für die Wärme in den Zwickeln der Partikel des Gerüstmaterials, u.a. durch angelagerte Feuchte.

$$\lambda = \lambda_G + \lambda_F + \lambda_S + \lambda_K \quad \text{W/(m}\cdot\text{K)}$$

Um den Wärmestrom durch einen Stoff zu reduzieren, müssen die einzelnen Beiträge verringert werden. Der Strahlungswärmetransport kann durch die Verwendung von Trübungsmitteln im Stützkern verringert werden, wie das z.B. bei dem in den letzten Jahren weit verbreiteten Dämmstoff Neopor® der Fall ist, ein expandiertes Polystyrol mit Trübungsmitteln. Die Wärmeleitung durch das Feststoffgerüst muss durch die Verwendung von sehr kleinteiligen, oft unterbrochenen und verzweigten Strukturen möglichst gering gehalten werden. Bei der Gaswärmeleitung in den Poren führen die hinreichend bekannten Zusammenhänge von Porengröße, Druck und der effektiven Wärmeleitfähigkeit zu den folgenden Überlegungen:

- a) Bei einer Vergrößerung der Poren muss der Druck verringert werden, wenn man die Wärmeleitfähigkeit beibehalten will
- b) Verkleinert man die Poren und hält den Druck konstant, dann stellt sich eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit ein

Durch die theoretische Annäherung an die notwendigen Eigenschaften neuer Stützkernmaterialien, werden die erforderlichen Parameter für die Produktion abgegrenzt. Die Gasdichtheit der Hülle ist die maßgebende Größe für die Lebensdauer der VIPs, welche für Bauanwendungen 30 bis 50 Jahre halten sollen. In dieser Zeit darf bei der Verwendung von mikroporöser Kieselsäure der Innendruck keinesfalls über 100 mbar ansteigen.

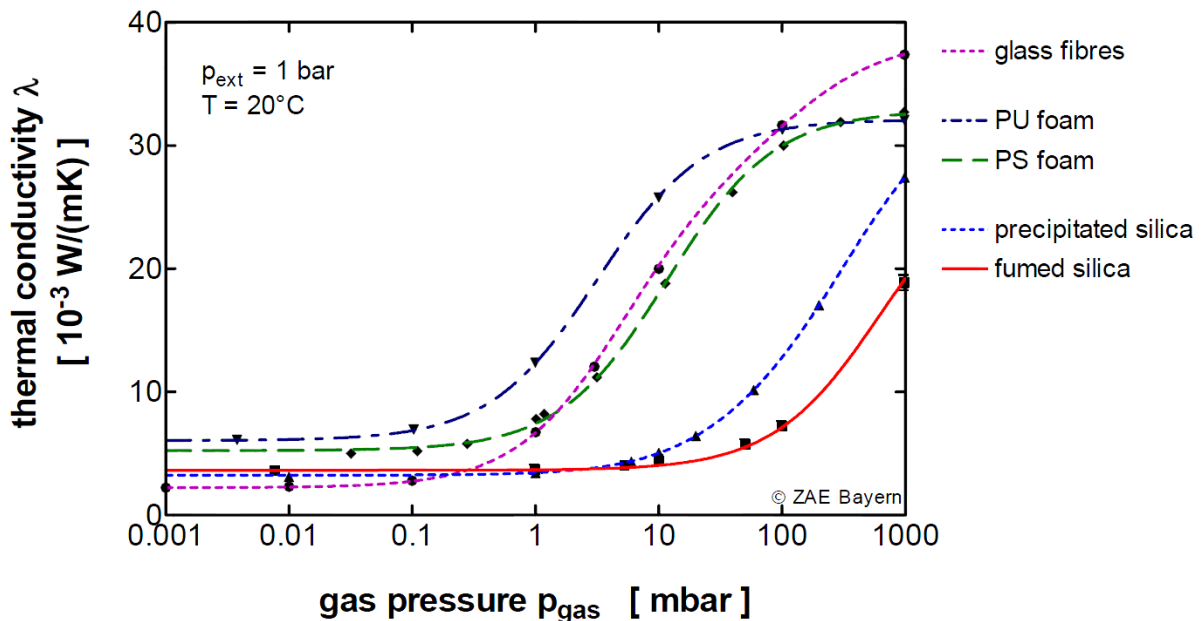


Abbildung 1: Wärmeleitfähigkeit (thermal conductivity λ in $W/(m \cdot K)$) verschiedener Kernmaterialien in Abhängigkeit des Gasdrucks (gas pressure p_{gas} in mbar) aus [2]

Simmler et.al. [2] geben bei Kieselsäure-VIP als Anhaltswert für maximale Permeationsraten $10^{-2} \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ für trockene Gase und $10^{-4} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ für Wasserdampf an. Permeationsraten für Wasserdampf (WVTR) durch Hochbarriere-lamine können derzeit zuverlässig nur bis ca. $5 \times 10^{-4} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ gemessen werden; Permeationsraten für Sauerstoff O_2TR nur bis ca. $1 \text{ bis } 10 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ [3].

Für den Einsatz alternativer Stützkerne sind wesentlich geringere Permeationsraten notwendig. Daten zu Permeation und Alterungsverhalten der Folien und Paneele lassen sich aus diesem Grund fast nur indirekt, d.h. über die Messung der Wärmeleitfähigkeit, bekommen. Direkte Messung des Innendrucks mit dem Folienabhebeverfahren ist bei fasergefüllten VIP aufgrund der unebenen Struktur der VIP-Oberfläche schwierig.

Die detaillierte Auswertung der beim FIW München durchgeführten Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus den letzten 8 Jahren im Rahmen der Zulassungsuntersuchungen mehrerer Hersteller, führt zu den Randbedingungen für die Folien hinsichtlich Permeation und Alterungsverhalten. Aus Vergleichen des Alterungsverhaltens (De-

gradation) von Vakuum-Paneelen aus Forschungsprojekten (z.B. Forschung „VIP-Bau“ [4]) und eigenen Untersuchungen, können „Alterungsfaktoren“ abgeleitet werden, die Aussagen über die Dauerhaftigkeit von VIP in der Bauanwendung ermöglichen.

Ein wichtiger Punkt für die Optimierung des Systems VIP ist die Wärmebrücke der Folie am Rand. Die Wärmeverluste werden beeinflusst von der Art der Randausbildung (einlagig oder mehrlagig), dem Barrierematerial der Hüllfolie, der Dicke der Barrierschichten, einem womöglich in der Fuge zwischen zwei Paneelen vorhandenem Füllmaterial, und Deckschichten auf den Paneelen. Durch numerische Berechnungen für VIP verschiedener Dicke können die Wärmebrückenwirkungen am Rand unter den o.g. Einflussfaktoren bestimmt werden.

Unter Berücksichtigung der theoretisch ermittelten Einflussfaktoren aus den Voruntersuchungen, den Berechnungen zur Wärmebrückenwirkung am Rand und der Analyse der vorhandenen Messungen aus den Zulassungsverfahren, werden Prototypen und Versuchspaneele hergestellt und untersucht. Gemessen wird die Wärmeleitfähigkeit vor und nach diversen Lagerzeiten und Lagerbedingungen.

Noch sind Vakuum-Paneele im Vergleich mit anderen Dämmstoffen deutlich teurer. Pyrogene Kieselsäure ist bei der Herstellung sehr energieintensiv und erfordert eine aufwändige Anlagentechnik. Zudem sind die verwendeten Folien sehr aufwändig herzustellen und damit ebenfalls teuer. Der Herstellprozess erfordert viele einzelne Schritte – vor allem bei Anfertigung der Paneele auf Maß – bei denen zur Zeit noch überwiegend Handarbeit notwendig ist. Im Rahmen der Forschungsarbeit werden je zwei Konstruktionen für Neubau und Altbausanierung mit und ohne VIP hinsichtlich der Kosten und der erzielbaren Erlöse untersucht.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

3.1 Bestandteile der Paneele und wärmetechnische Eigenschaften

3.1.1 Folien

Die zurzeit am Markt erhältlichen metallisierten Folien sind nicht geeignet für die Umhüllung von VIPs mit Faserfüllung oder anderen Stützkernmaterialien, die in ihrer Porenstruktur nicht so kleinteilig sind wie pyrogene Kieselsäure. Unbedingt notwendig ist bei den metallisierten Folien eine Reduzierung der Permeation und eine Verbesserung der Folieneigenschaften bei der Alterung.

Mit Aluminium-Verbundfolien sind sehr niedrige Permeationsraten realisierbar, sie weisen jedoch an den Rändern so große Wärmebrückeneffekte auf, dass ihr Einsatz für kleinteilige Paneele nicht zu empfehlen ist. Der Vergleich der Wärmebrückeneffekte einer Alu-Verbundfolie mit einer metallisierten Folie zeigt die immensen Unterschiede für ein- und mehrlagige Randausbildungen bei VIP der Dicke 20 bis 40 mm (Abbildung 2). Kann die Dicke der Alu-Schichten dieser Verbundfolien zukünftig reduziert werden, ohne dass die Permeation deutlich erhöht wird, können diese Folien in Zukunft für fasergefüllte VIP eingesetzt werden.

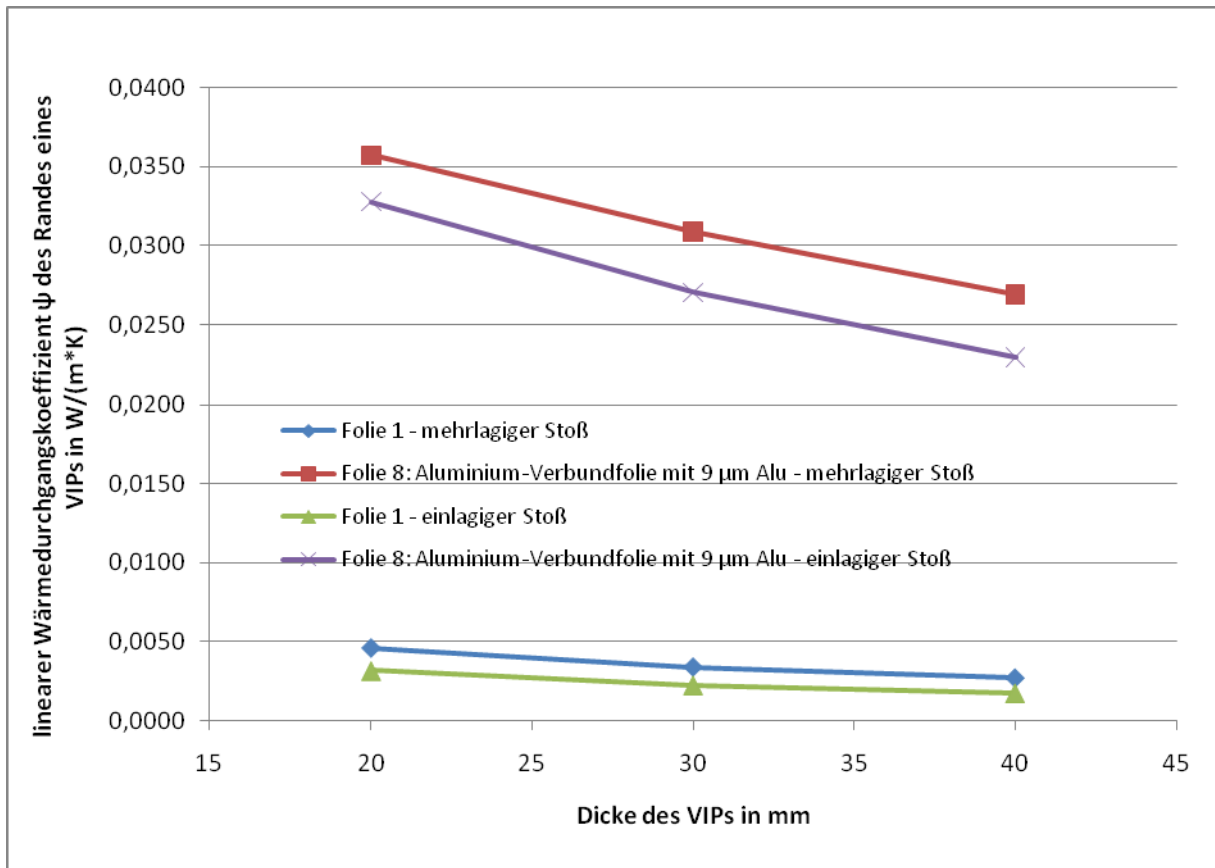


Abbildung 2: Vergleich der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für die einlagige und mehrlagige Randausbildung für Folie 1 (metallisiert) und Folie 8 (Aluminium-Verbundfolie) bei VIP der Dicke 20 mm bis 40 mm

Durch die Verwendung von Edelstahl oder anorganischen Stoffen mit Kristallstruktur (z.B. SiO_2) als Barrierematerial, wird eine deutliche Reduzierung der Rand-Wärmebrücken erreicht, was den Einsatz der sehr dichten Verbundfolien auch bei kleinformatischen Paneelen möglich machen würde. Wenn die Verringerung der Schichtdicke der Barriere und der Ersatz von Aluminium durch ein anderes Barrierematerial kombiniert wird, sollte die Verwendung von Fasern als Stützkern erneut untersucht werden.

3.1.2 Stützkern

Als Stützkernmaterial kann derzeit auf pyrogene Kieselsäure nicht verzichtet werden. Allenfalls ein Teil der Kieselsäure könne beim Einsatz sehr dichter Folien in absehba-

rer Zeit durch z.B. Fasern ersetzt werden. Die Anforderung an das Vakuum (Innen-
druck kleiner als 0,1 mbar) erfordert große Sorgfalt bei der Herstellung der Kerne aus
Fasermaterialien. Diese müssen absolut fettfrei sein, und dürfen keinerlei Bindemittel
enthalten. Im Gegensatz zu pyrogener Kieselsäure ist auch eine Trocknung bei min-
destens 140°C über mehrere Stunden unerlässlich, um auch kleinste Reste anhaf-
tenden Wassers von den Fasern zu entfernen.

Untersucht wurden Schichtungen aus Kieselsäure und Fasermaterial als Stützkern,
es sind aber auch Mischungen von losen Fasern und Kieselsäure denkbar. Dabei
kann ein kleiner Teil der teuren Kieselsäure durch günstigere Fasern ersetzt werden.
Der Ansatz „VIP im VIP“ führt zu den niedrigsten Anstiegen der Wärmeleitfähigkeit im
ersten Alterungsschritt. Es tritt jedoch ein verstärkter Randeffect an der teilweise
zweimal nebeneinander liegenden Folie auf, der vermutlich dafür verantwortlich ist,
dass die Anfangswerte der Wärmeleitfähigkeit etwas höher liegen als bei den einfach
eingehüllten Paneelen.

3.1.3 Wärmebrückenwirkung am Rand

Die rechnerische Untersuchung an den Wärmebrücken am Rand der Elemente bes-
tätigt erstmals quantitativ die theoretischen Überlegungen zu den Produktionspara-
metern von VIP-Umhüllungen. Besonders wichtig ist hier, dass möglichst große Pa-
neele hergestellt werden, bei denen nur die kürzeren Kanten mit der ungünstigeren
Randausbildung verschweißt werden (mehrlagiger Stoß). Alleine durch diese einfa-
che Maßnahme, der Anordnung der Verschweißungsbereiche auf den Flächen statt
an den Rändern der längeren Kanten, lassen sich die Randeffecte deutlich vermin-
dern.

Entscheidenden Einfluss auf die Wärmebrücke am Folienrand haben auch die Dicke
der verwendeten Schichten der Materialien, vor allem die der Aluminiumschichten.
Eine gute Maßhaltigkeit und Rechtwinkligkeit der VIPs ist Voraussetzung für die
passgenaue Montage nebeneinanderliegender Platten. Dann können die Spalte zwi-
schen den Platten klein bleiben, was die Wärmebrücke am Rand sehr entschärft.
Lassen sich die Spalte zwischen den Platten nicht ganz vermeiden, sollten sie mit

einem Dämmstoff möglichst geringer Wärmeleitfähigkeit gefüllt werden, um die Wärmebrückeneffekte so klein wie möglich zu halten.

Nur durch Deckschichten aus Dämmstoffen auf den Flächen der VIP werden die Wärmebrückeneffekte reduziert. Bereits dünne Platten aus Holzwerkstoffen führen dazu, dass die Wärmebrücke am Rand aufgrund der Querleitung in den Deckschichten größer ist als bei einem VIP ohne Deckschicht. Das gilt ganz besonders für Deckschichten aus Metall, z.B. aus Stahl- oder Aluminiumblech wie bei einigen Sandwichkonstruktionen üblich (Abbildung 3).

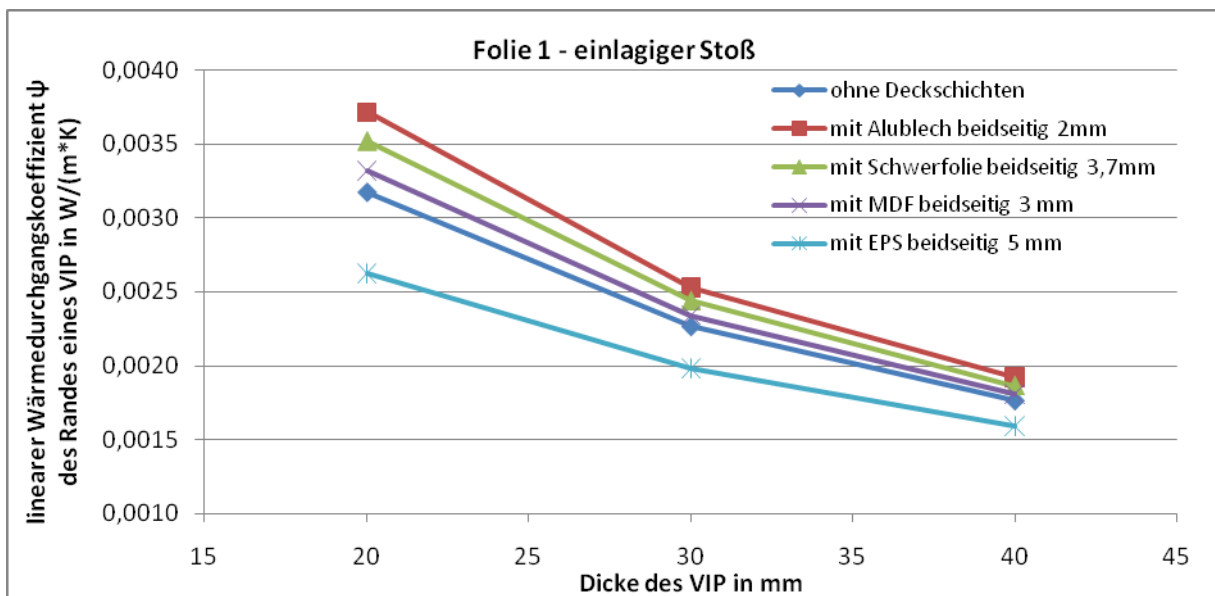


Abbildung 3: Einfluss des Deckschichtmaterials auf die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für den einlagigen Stoß und VIP der Dicke 20 mm bis 40 mm

3.1.4 Schutzschichten

Aus wärmetechnischer Sicht sind Schutzschichten auf den Paneelen somit eher ungünstig. Sie sind aber sehr sinnvoll für das Handling der Paneele und für Transport und Verarbeitung. Als Schutzschichten finden viele Stoffe Verwendung; z.B. Dämmstoffe, Holz- und Holzwerkstoffe, massive Kunststoffe und auch Metalle. Auch wenn massive Stoffe einen besseren Schutz gegen Beschädigung beim Transport und gegen Witterungseinflüsse bieten, sollte auf die Verwendung von Schutzschichten aus

Dämmstoffen geachtet werden, da diese die Wärmebrückenwirkung am Folienrand reduzieren. Die Schutzwirkung robuster Dämmstoffe (z.B. XPS- und PUR-Platten) sollte bei sorgfältiger und schonender Behandlung der Paneele ausreichend sein.

3.2 Herstellung, Anwendung und Wirtschaftlichkeit

3.2.1 Paneelherstellung

Um ein wärmetechnisch gutes VIP herzustellen, ist große Sorgfalt und Genauigkeit bei allen Schritten der Produktion notwendig. Besonders wichtig ist die Qualitätskontrolle der Ausgangsstoffe – vor allem der Folie. Eine Foliencharge minderer Qualität kann durch keine andere Maßnahme der Produktion wieder wett gemacht werden. Eine regelmäßige Kontrolle der Permeationseigenschaften ist unerlässlich. Ist die Permeation zu hoch, lassen sich Paneele mit Faserfüllung gar nicht erst herstellen. Die Gefahr bei Kieselsäurestützkernen ist eine zu schnelle Degradation, die möglicherweise erst einmal nicht bemerkt wird, da Kieselsäure hinsichtlich des Druckanstiegs im Paneel wesentlich anspruchsloser ist als Faser.

Die Trocknung der Kieselsäurekerne ist gängige Praxis bei der Herstellung der auf dem Markt befindlichen Paneele. Bei der Verwendung anderer Stützkernmaterialien reicht die Standardtrocknung keinesfalls aus. Hier gibt es höhere Anforderungen an das Vakuum und es muss sichergestellt sein, dass anhaftendes Wasser vollständig ausgeheizt wird. Für fasergefüllte Paneele herstellen zu können, ist eine Trocknung der Stützkernkerne für mehrere Stunden bei ca. 140°C erforderlich.

Aus der Größe der Porenräume ergibt sich die Anforderung an den Innendruck bei der Evakuierung. Da die Porenräume bei Faserschüttungen deutlich größer sind als bei pyrogener Kieselsäure, ist auch die Anforderung an die Güte und Dauerhaftigkeit des Vakuums deutlich höher. Für die untersuchten Stützkernkerne ergibt sich aus der Geometrie der Fasern und aus der Dichte des Stützkerns ein Zielwert für den Innendruck von unter 0,1 mbar, um dauerhaft die Luft-Wärmeleitung zu unterdrücken.

3.2.2 Anwendung und Gebrauchsdauer

Das derzeit angewendete Alterungsverfahren für Vakuum-Paneele in Anträgen für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen führt für fasergefüllte Paneele zu einem Versagen der Paneele. Schon die einfache Temperaturlagerung ohne Klimawechselprüfung führt zu einem solch großen Druckanstieg im Paneel, dass die Luft-Wärmeleitung nicht mehr unterdrückt wird und die Wärmeleitfähigkeit des fasergefüllten Paneels deutlich ansteigt. Die Permeation der Folien ist sogar schon bei Raumtemperatur zu groß, um Innendrucke kleiner 0,1 mbar über einen längeren Zeitraum aufrecht zu erhalten.

3.2.3 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Bereits für die am Markt befindlichen, teuren Kieselsäurepaneele lässt sich die Anwendung bei einer guten Erlössituation wirtschaftlich darstellen. Durch den Ersatz, oder teilweisen Ersatz der Kieselsäure durch Mineralfasern, könnte sich der Einsatz von VIP zukünftig schon bei niedrigeren Erlösen pro verkauften Quadratmeter Nutzfläche wirtschaftlich darstellen lassen.

Aus den schlankeren Aufbauten ergeben sich über die größeren Nutzflächen hinaus noch weitere Vorteile, die bisher noch nicht vollständig untersucht wurden, z.B. geringere Kosten für Befestigungen, Dachüberstände, Fensterleibungen, Anschlussbauteile. In seinem Beitrag für die 2. VIP-Bau Konferenz 2005 beschreibt Carsten Grobe beispielsweise solche Anschlussbauteile, und stellt in einem Fall die Kosten einer konventionellen Lösung am Traufanschluss der Lösung mit VIP gegenüber [5]. Aufgrund der noch neuen Bauweise mit VIP werden hier noch viele Anschlusslösungen am Gebäude improvisiert und handwerklich gefertigt. Bei einer weiteren Verbreitung der VIP-Bauweise werden sich hier zukünftig günstigere serienreife Lösungen realisieren lassen.

Damit sich die VIP-Bauweise durchsetzen kann, muss die Qualität der Produkte und die Bauausführung stimmen und dauerhaft sein. Für Kieselsäure-VIPs gibt es mittlerweile einige allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen mit Fremdüberwachung. Zusätzlich wurde ein RAL Gütezeichen für Vakuum-Isolations-Paneele von einigen

Herstellern beantragt. Solche qualitätssichernde Maßnahmen helfen, das Vertrauen in die VIP-Technologie zu vertiefen und die Verbreitung der VIP-Bauweise zu unterstützen.

4 Literatur

- [1]. **Fricke, Jochen, Beck, Andreas und Binder, Markus.** *Vakuum-Isolations-Paneele für Gebäude - ein Lehrbuch.* Würzburg : ZAE Bayern, 2007. ISBN 978-3-00-022618-2.
- [2]. **Simmler, Hans, et al.** Vacuum Insulation Panels - Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications (Subtask A). *Forschungsbericht HiPTI - High Performance Thermal Insulation IEA/ECBCS Annex 39.* diverse : s.n., 2005.
- [3]. **Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).** *Informationsbroschüre Vakuumisoliationspaneelle (VIP) in der Baupraxis.* Berlin : s.n., 2010.
- [4]. **Heinemann, Ulrich, et al.** *VIP-Bau - Vakuumisoliationspaneelle für die Anwendung im Bauwesen - Koordinations- und Informationsstelle und Qualitätskontrolle von Vakuumisoliationspaneelen.* Würzburg : Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung ZAE Bayern, 2007. Report ZAE 2 - 0707 - 16 (2007).
- [5]. *Einsatz von VIPs zur kostengünstigen Problemlösung.* **Grobe, Carsten.** Wismar : Konferenzunterlagen, 2005. VIP-Bau: 2. Fachtagung "Erfahrungen aus der Praxis" am 16./17.06.2005.