

VIP-BAU

Vakuum Isolations Paneele Evakuierte Dämmungen im Bauwesen

3. Fachtagung
20. September 2007
Universität Würzburg



EnOB

Forschung für
Energieoptimiertes Bauen



ViBau

Forschungsschwerpunkt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie
mit dem Forschungsakzent ViBau - Vakuumisolation im Bauwesen

3. Fachtagung VIP-BAU
Vakuum Isolations Paneele
Evakuierte Dämmungen im Bauwesen

ZAE Bayern, Würzburg

20. September 2007

Dieses Heft beinhaltet die Tagungsbeiträge der am 20. September 2007 in Würzburg stattfindenden „3. Fachtagung VIP-BAU, Vakuum Isolations Paneele - Evakuierte Dämmungen im Bauwesen“. Die Organisation dieser Veranstaltung erfolgt im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen: 0327321N geförderten Vorhabens „Energieoptimiertes Bauen; ViBau: VIP-PROVE, Vakuumisolationspaneele - Bewährung in der Baupraxis - wissenschaftliche Begleitforschung“.

Die Verantwortung für die Inhalte der einzelnen Beiträge liegt bei den jeweiligen Autoren. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, wie auch das ZAE Bayern übernehmen keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben.

Organisation:

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern
Abteilung Funktionsmaterialien für Energietechnik
Am Hubland
97074 Würzburg
www.zae-bayern.de

in Kooperation mit

Physikalisches Institut der Universität Würzburg
Lehrstuhl für Experimentelle Physik VI
Am Hubland
97074 Würzburg
www.physik.uni-wuerzburg.de

Editor:

Dr. Ulrich Heinemann

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern
Abteilung Funktionsmaterialien für Energietechnik
Am Hubland
97074 Würzburg
ulrich.heinemann@zae.uni-wuerzburg.de
www.vip-bau.de

Copyright:

Weder die Texte, noch die Bilder, noch die Logos dürfen ohne Erlaubnis des verantwortlichen Autors bzw. der verantwortlichen Organisation anderweitig benutzt oder vervielfältigt werden.

September 2007, © ZAE Bayern, Bestellungen: vip-bau@zae.uni-wuerzburg.de

Die 3. Fachtagung VIP-BAU wurde gefördert durch :



und finanziell unterstützt durch:

Bifire S.r.l, Nova Milanese



E.ON Energie AG, München



Porextherm Dämmstoffe GmbH, Kempten



Vaku-Isotherm GmbH, Rossau



Va-Q-tec AG, Würzburg



Variotec Sandwichelemente GmbH & Co.KG, Neumarkt



Wipak Walsrode GmbH & Co.KG, Walsrode



Inhaltsverzeichnis

Ulrich Heinemann, ZAE Bayern, Würzburg „Vakuumisolationspaneele - Potentiale und Besonderheiten“	9
Martin Forstner, Forstner Architekturbüro, Neumarkt i.d.Opf. „VIP-basierte Problemlösungen in der Sanierung“	21
Michael Krauter, energie-tib GmbH, Korb „Praxiserfahrungen eines geschulten Fachbetriebes - Einsatz bauaufsichtlich zugelassener Vakuumdämmplatten“	33
Rolf Wieleba, effidur GmbH „Fußbodensanierung mit VIP und dem dünnsten, selbsttragenden Fußbodenheizungssystem“	43
Jürgen Eberlein, GEB Holzbau- und Energietechnik GmbH, Neumarkt i.d.Opf. „Wärmebrückenkompendium: VIP und „In Isothermen Veritas“ “	51
Andreas Beck, Hochschule für Technik, Stuttgart „Wärmebrücken – die planerische Herausforderung beim Einsatz von Vakuum-Wärmedämmelementen“	61
Bruno Arnold, ZZ Wancor, Regensdorf, Schweiz „Anwendungen von VIP im Bauwesen – Umfangreiche Erfahrungen aus Anwendungen in der Schweiz“	75
Christof Stölzel, Variotec-Sandwichelemente GmbH&Co.KG, Neumarkt i.d.Opf. „Vom VIP zum handlingsicheren Bauteil“	91
Otto Fechner, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin „Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung am Beispiel des VIP-Elementes“	101
Dieter Bindel, Gebäudeenergieberater, Ingenieure, Handwerker e.V. GIH Baden-Württemberg „VIP in der Sanierung, Chance auf Fördermittel - VIP im CO2-Gebäudesanierungsprogramm der KfW“	117
Rolf Disch, Architekturbüro Rolf Disch / Geschäftsführer Solarsiedlung GmbH, Freiburg i. Brsg. „VIP als Element der Plusenergie-Bauweise Das Beispiel des Sonnenschiffs in Freiburg“	127

Grußwort

Selbstbewusst mit dem Kürzel „VIP“ bezeichnet, stellen die Vakuum-Isolations-Paneele die effizienteste Technologie der Wärmedämmung für Gebäude dar. Mit dieser raumsparenden Lösung eröffnen sich Chancen für energieeffiziente schlanke Konstruktionen im Neubau, wie auch Lösungsmöglichkeiten für die Sanierung im Bestand. In den vergangenen Jahren haben zahlreiche Hersteller und Anwender die Idee der hocheffizienten Wärmedämmung aufgegriffen, so dass inzwischen an die 100 000 m² eingesetzt sein dürften. Wir denken, man kann sagen: die Technik steht heute an der Schwelle zum Durchbruch. Einer der Schlüssel für den Durchbruch dieser zukunftsorientierten Technologie ist sicherlich der Erfahrungsaustausch zwischen Entwicklern, Herstellern und Anwendern. Eine hervorragende Gelegenheit hierfür bietet die 3. Fachtagung VIP-BAU am 20. September 2007 in Würzburg.

Bei der ersten Fachtagung VIP-BAU „Vakuum Isolations Paneele – Evakuierte Dämmungen im Bauwesen“ am 10.-11. Juli 2003 in Rostock-Warnemünde standen vor allem technische Grundlagen und erste Anwendungen im Mittelpunkt, auf der zweiten Fachtagung VIP-BAU am 16.-17. Juni 2005 in Wismar die zwischenzeitlich gesammelten Erfahrungen aus der Praxis. Auf der dritten Tagung in dieser Reihe stehen in komprimierter Form wiederum die Erfahrungen und Beispiele aus der Praxis im Vordergrund. Die Tagung richtet sich insbesondere an Architekten, Bauingenieure, Entscheidungsträger in öffentlichen Einrichtungen und Wohnungsbaugesellschaften, sowie an Hochschulen, die sich mit dieser besonderen Thematik auseinandersetzen.

Die 3. Fachtagung VIP-BAU findet in direktem Anschluss an das „8th International Vacuum Insulation Symposium“ am 18. und 19. September 2007 statt. Auf dieser englischsprachigen Veranstaltung von Experten aus Forschung und Entwicklung sind auf wissenschaftlicher Ebene die Grundlagen Thema, wie auch unterschiedliche Anwendungen. Die Anwendungen im Bauwesen werden am 19. September behandelt, so dass für Interessierte mit wenig zusätzlichem Aufwand ein Besuch auch dieser Veranstaltung möglich wird.

Wir freuen uns, dass die 3. Fachtagung VIP-BAU in diesem Kontext stattfinden wird und hoffen, dass diese innovative Technologie entscheidend dazu beitragen wird, Energieeinsparpotentiale im Bauwesen zu realisieren. Wir würden uns freuen, Sie in der fränkischen Weinmetropole Würzburg begrüßen zu können.

Würzburg, im August 2007

Prof. Dr. Vladimir Dyakonov, Dr. Ulrich Heinemann

Vakuumisolationspaneele - Potentiale und Besonderheiten

Ulrich Heinemann, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern)

1 Einleitung

Während herkömmliche Dämmmaterialien, wie Glas-, Mineralwolle oder Polystyrolschäume bei Umgebungstemperatur Wärmeleitfähigkeiten von etwa 0.035 bis 0.045 W/(m·K) aufweisen, lassen sich mit evakuierten Isolationsmaterialien Wärmeleitfähigkeiten im Bereich von etwa 0.002 bis 0.008 W/(m·K) erreichen. Schwergas-gefüllte Polyurethanschäume haben Wärmeleitfähigkeiten von etwa 0.022 bis 0.030 W/(m·K); bei speziellen, besonders feingegliederten Materialien kann die Wärmeleitfähigkeit von trockener, ruhender d.h. nicht-konvektierender Luft von etwa 0.025 W/(m·K) noch unterschritten werden. Im Vergleich zu den nicht-evakuierten Dämmmaterialien weisen Vakuumisolationen somit ein Verbesserungspotential von einem Faktor 5 bis 10 auf (siehe Bild 1). Der erhebliche Raumgewinn wird anhand der in Bild 2 dargestellten thermisch äquivalenten Systeme offensichtlich.

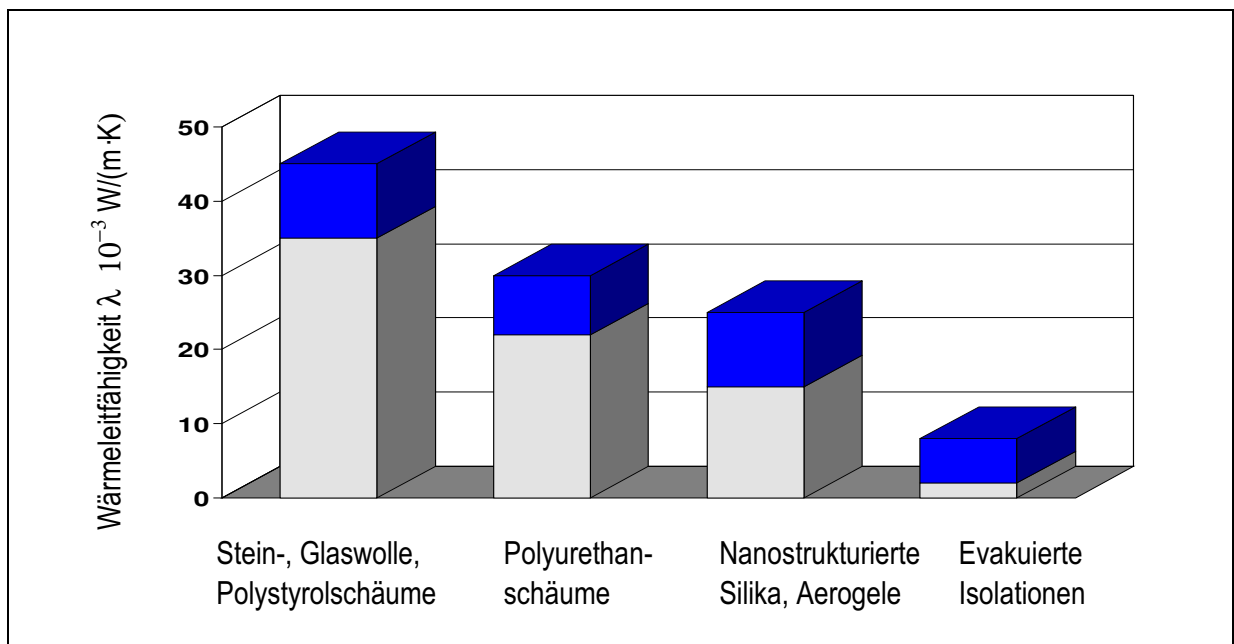


Bild 1: Dämmmaterialien (-systeme) im Vergleich. Die blau unterlegten Bereiche geben etwa die Bandbreite wieder. Während herkömmliche Dämmmaterialien, wie Glas-, Mineralwolle oder Polystyrolschäume bei Umgebungstemperatur Wärmeleitfähigkeiten von etwa 0.035 bis 0.045 W/(m·K) aufweisen, lassen sich mit evakuierten Isolationsmaterialien Wärmeleitfähigkeiten im Bereich von etwa 0.002 bis 0.008 W/(m·K) erreichen; ein Verbesserungspotential von einem Faktor 5 bis 10!

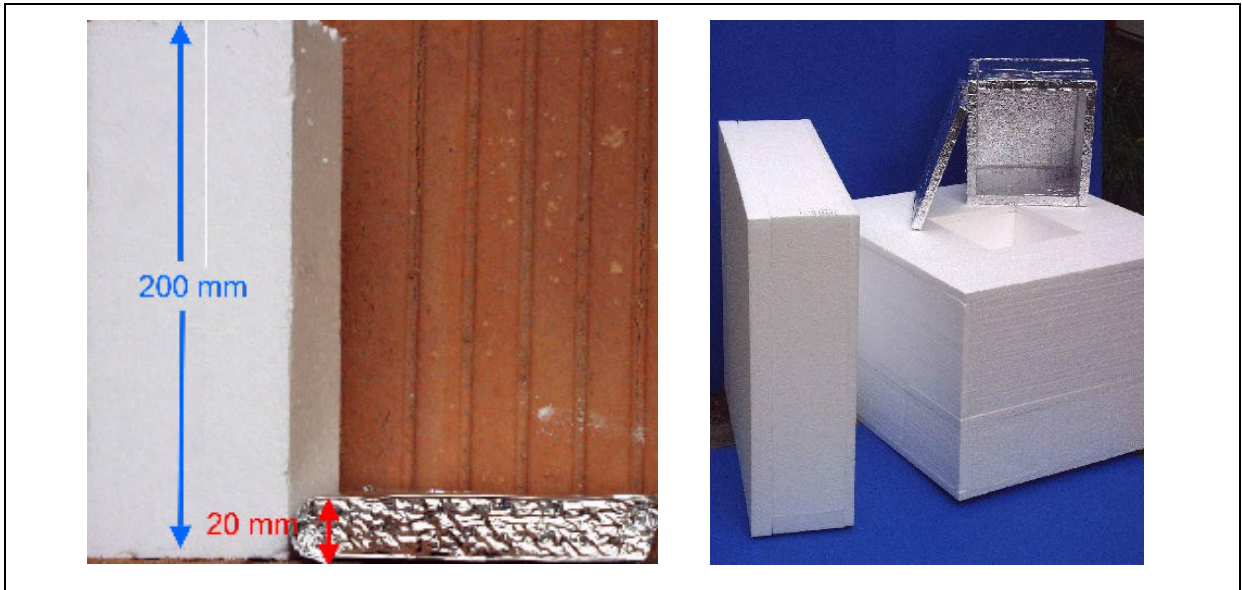


Bild 2: Thermisch äquivalente Dämmsysteme. Insbesondere bei klein-volumigen Elementen ist der Raumgewinn erheblich. Das Bruttovolumen der Box aus Vakuumisulationspaneelen beträgt bei gleichem Nutzvolumen und gleicher Dämmwirkung nur etwa 1/15-tel der entsprechenden Box aus EPS-Schaum (Bild rechts).

Hocheffiziente evakuierte Isolationen finden Anwendung zum Beispiel bei Latentwärmespeichern für Fahrzeuge, Hochtemperatur-Batterien, Kühlfahrzeugen, Kühlzellen oder Kühlhäusern, oder auch Heißwasserbehältern. Bei diesen Anwendungen sind aus Gründen der Temperaturbeständigkeit oder hygienischen Gründen metallische Hüllen erforderlich oder von Vorteil. Für weitere Anwendungen, Kühl- und Gefrierschränke, Transportboxen und aber auch für Anwendungen im Bauwesen, kommen spezielle Kunststoffhochbarrierelamine oder mit Kunststofffilmen laminierte Metallfolien in Frage.

2 Aufbau und Wesen von Vakuumisulationspaneelen (VIP)

Während bei den bekannten Vakuum-basierten hocheffizienten Wärmedämmungen wie Thermoskannen oder Kryogefäßen zylindrische Gefäße in der Lage sind, den äußeren atmosphärischen Druck zu tragen - dieser entspricht einer Gewichtslast von 10 t/m^2 -, müssen bei flachen Vakuumisulationspaneelen druckstabile Füllmaterialien oder Strukturen die entsprechenden Druckkräfte aufnehmen. Hierfür kommen verschiedene Faser-, Pulver- oder Schaumprodukte in Frage. Um evakuierbar zu sein, müssen diese eine offene Struktur besitzen. Zudem sollten sie möglichst wenig ausgasen. Ein VIP besteht somit prinzipiell aus einer ausreichend gasdichten Vakuummhülle und einem Druck tragenden Füllmaterial (siehe z.B. das Ausführungsbeispiel in Bild 3). Vom Wesen her sind Vakuumisulationspaneele nicht mehr ein Material, das nach Bedarf bearbeitet und zurechtgeschnitten werden kann, sondern es sind in Standardabmessungen oder individuellen Größen vorgefertigte Dämmelemente. Zusätzlicher Planungsaufwand, erhöhte Wärmeströme im Randbereich und Sensitivität auf mechanische Verletzung sind Merkmale, die man wohl von der Planung und dem Einsatz von Fensterelementen gewohnt ist, im Anwendungsbereich Wärmedämmung bedeuten Sie jedoch gegenüber den konventionellen Lösungen zusätzlicher Aufwand, erforderliche Erfahrung im Umgang und Aufklärung der Nutzer über das Wesen dieser Elemente.

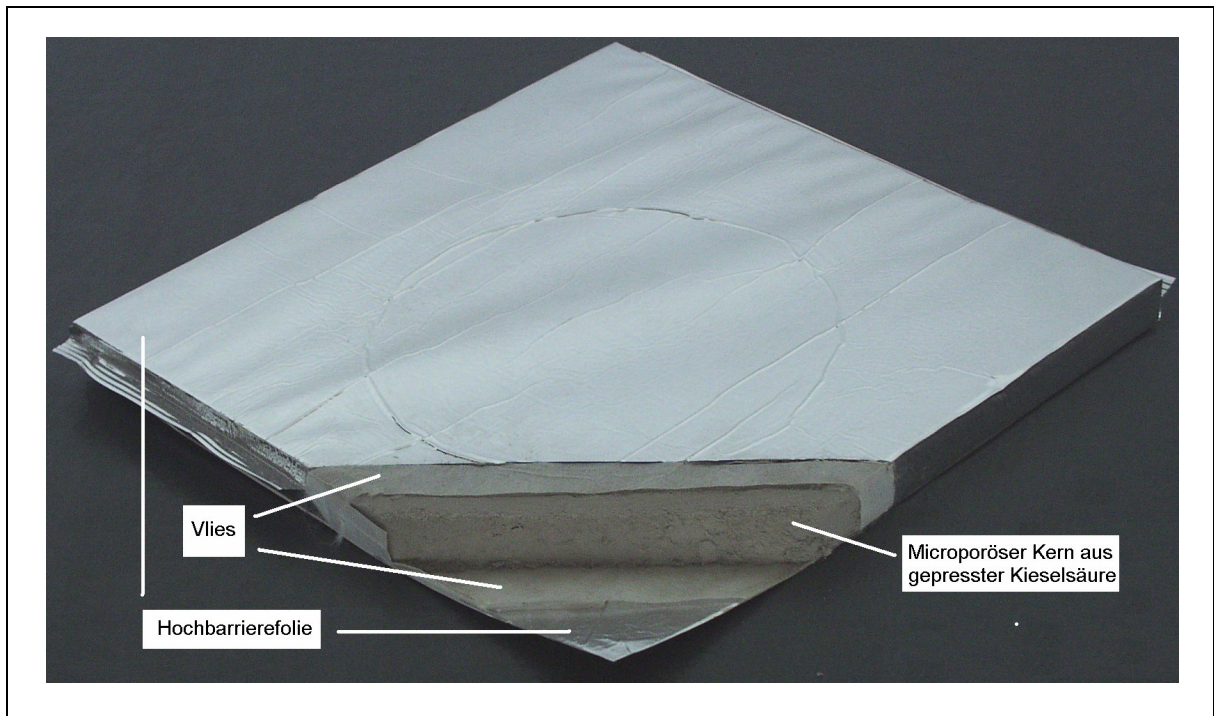


Bild 3: Aufbau eines Vakuumisulationspaneels, in diesem Beispiel mit einem Kern aus zu einem Board gepresstem nanostrukturierten SiO_2 -Pulver und einer Hülle aus einem mehrfach metallisierten Kunststoffhochbarrierefoliat.

Diese hocheffiziente Wärmedämmung wird insbesondere dort eingesetzt, wo ein vorgegebenes Dämmmaß mit möglichst schlankem Aufbau realisiert werden soll, oder dort, wo der für die Dämmung verfügbare Raum begrenzt oder sehr wertvoll ist. Die Vorzüge der Vakuumdämmung ergeben sich aus dem Raumgewinn, einem verbesserten Dämmwert oder einer Kombination von beiden.

3 Wärmetransport in porösen Dämmmaterialien

In guter Näherung lässt sich der Wärmetransport in porösen Dämmungen durch die Summe der verschiedenen Beiträge, Wärmetransport über das Festkörpergerippe λ_s , Infrarotstrahlungstransport λ_r und Wärmeleitung des darin enthaltenen, ruhenden Gases λ_g beschreiben. Kopplungseffekte der verschiedenen Transportpfade werden in einem weiteren Term λ_c erfasst:

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_r + \lambda_g + \lambda_c . \quad (3-1)$$

In Bild 4 ist die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Gasdruck für verschiedene, mehr oder weniger für den Einsatz in evakuierten Dämmungen optimierte Materialien dargestellt. Die Kurvenverläufe basieren auf am ZAE Bayern durchgeführten Messungen. Der Übergang von einem evakuierten Material, bei dem Beiträge des Gases zur Gesamtwärmeleitfähigkeit zu vernachlässigen sind, zu einem nicht-evakuierten Material bei dem die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Gasdruck konstant wird, erfolgt über zwei bis drei Größenordnungen im Gasdruck. In welchem Druckbereich dieser Übergang erfolgt, wird wesentlich von der Größe der (größten) Poren bestimmt. Je feiner das Material, je kleiner die Poren, umso geringer sind die Anforderungen an die Qualität des Vakuums, das erreicht und aufrechterhalten werden muss.

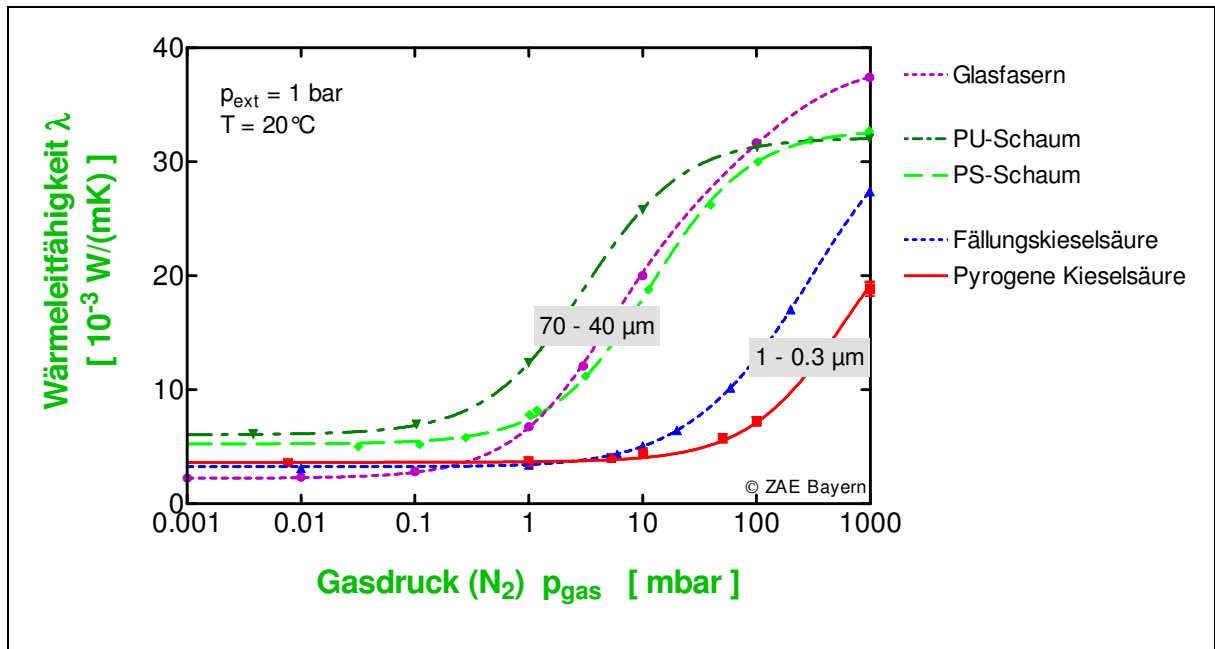


Bild 4: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Gasdruck (N₂).

So ist bei den pyrogenen Kieselsäuren bereits ein Gasdruck („Vakuum“) von einigen zig Millibar zur Unterdrückung der Luftwärmeleitfähigkeit ausreichend, während bei den Schäumen und Faserboards ein Gasdruck von etwa 1 mbar unterschritten werden muss. Beachtenswert ist die Tatsache, dass bei den nanostrukturierten pyrogenen Kieselsäuren die Wärmeleitfähigkeit auch im belüfteten Zustand nur etwa halb so groß ist, wie die bei konventionellen Dämmstoffen, ein Umstand, der das technische Risiko bei Beschädigung oder Versagen der Vakuumhülle mindert.

4 Hüllmaterialien für Vakuumisulationspaneele

Ausgehend von den bekannten evakuierten Isolationen wie Thermoskannen oder Kryogefäßen lässt sich ableiten, dass die dort verwendeten Hüllmaterialien Edelstahl, Aluminium oder Glas prinzipiell auch für flache Vakuumisulationspaneele geeignet sind. Jedoch weisen laminierte Folien und Filme in Bezug auf die Flexibilität im Herstellungsprozess und den Produktionskosten erhebliche Vorteile auf. Besonders attraktiv für Anwendungen im Bauwesen ist die Kombination solcher Hochbarrierelamine mit nanostrukturierten Füllmaterialien. In dieser Kombination ergeben sich VIP-Produkte mit voraussichtlichen Funktionsdauern von mehreren Jahrzehnten. VIP mit Schaum- oder Faserfüllungen sind weitaus sensibler gegenüber dem internen Gasdruck. Bei gleicher angenommener Permeationsrate der Vakuumhülle wäre die zu erwartende Funktionsdauer dort etwa um einen Faktor 100 kürzer.

Weitgehend Pinhole-freie Aluminiumverbundfolien mit Al-Schichtdicken von 7 oder 8 μm sind den mehrlagigen Kunststoffhochbarrieredichten mit mehreren nur wenige zig Nanometer „dünnen“ aufgedampften Al-Sperrschichten in Bezug auf die Dichtigkeit überlegen. Jedoch ist Aluminium ein hervorragender Wärmeleiter. In Bild 5 ist der zum Teil gravierende Einfluss der Wärmeleitung der Hüllen, aber auch der Spalte im Stoßbereich zwischen den Paneelen, auf einen über mehrere Paneele gemittelten Wärmedurchgangskoeffizienten U abzulesen. Selbst bei Paneelen mit 1 m Kantenlänge ist dieser Effekt beachtlich. Lamine mit insgesamt nur etwa 80 nm Aluminiumschichtdicke sind aus wärmetechnischen Gründen daher vorzuziehen.

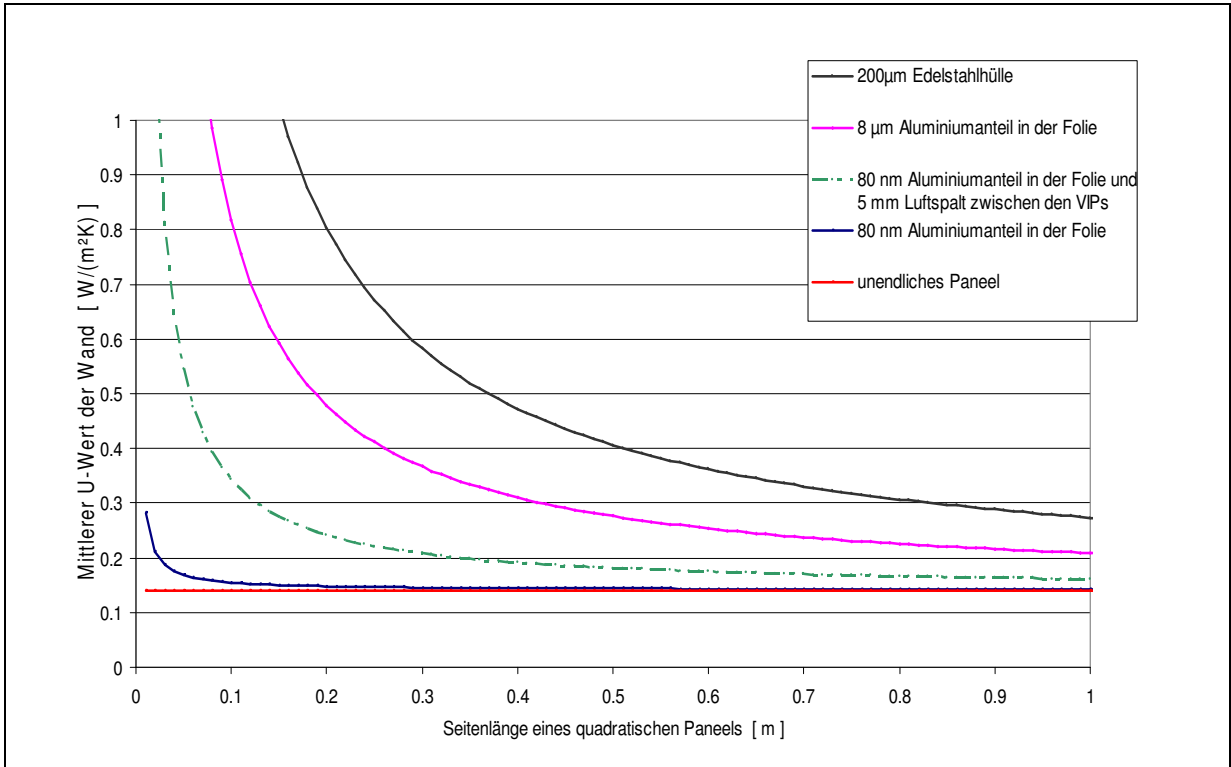


Bild 5: Einfluss von verschiedenen Hüllen und einem Spalt auf den gemittelten Wärmedurchgang für einen Wandaufbau aus 3 cm VIP und 3 cm Polystyrolämmung.

5 Permeation durch Hüllen aus Kunststoffhochbarriere laminaten

Lösungsdiffusion ist ein wesentlicher Transportmechanismus. Er ist unterschiedlich für die verschiedenen Gase der Luft. Insbesondere Wasserdampf wird aufgrund seiner hohen Löslichkeit in Kunststoffen in weitaus größerem Umfang transportiert als die „trockenen“ Bestandteile der Luft. Generell ist eine starke Temperaturabhängigkeit der Permeationsraten festzustellen. Zudem bestimmen relative Feuchte und treibende Partialdruckdifferenzen den Gastransport (Bild 6).

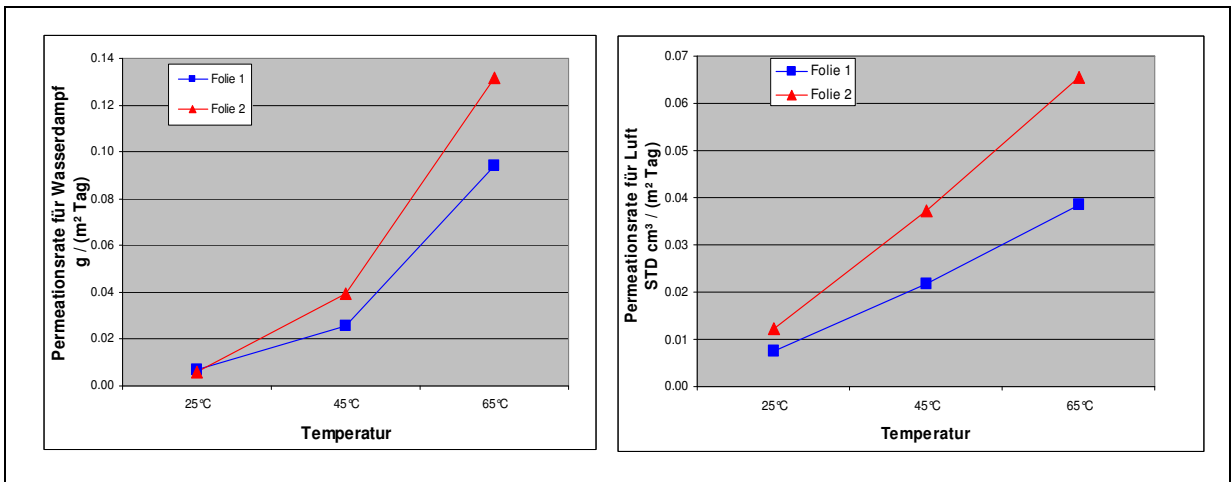


Bild 6: Temperaturabhängigkeit der Permeationsraten in Hochbarrierefilmen (Beispiele).

6 Anforderungen an die Dichtigkeit der Hülle

Bei den nanostrukturierten pyrogenen Kieselsäuren kann man diskutieren, ob der mit der Feuchte im VIP einhergehende Anstieg der Wärmeleitfähigkeit soweit wie möglich unterdrückt werden sollte, oder ob der im Extremfall im Ausgleich mit der Umgebungfeuchte sich ergebende Einfluss von zusätzlich 1 bis $2 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ toleriert werden kann (siehe Bild 7). Das tolerable Maß für die effektive Wärmeleitfähigkeit zusammen mit der gewünschten Funktionsdauer bestimmen die zulässige Permeationsrate für Wasserdampf.

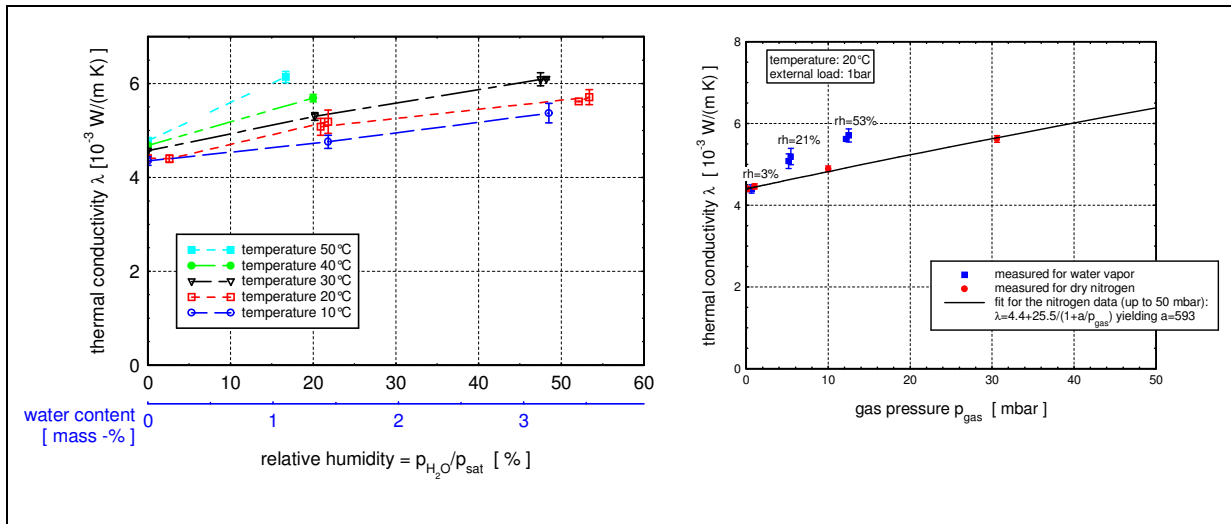


Bild 7: Einfluss von Feuchte und von Luft auf die Wärmeleitfähigkeit in pyrogene-Kieselsäureboards.

Legt man die extremen Anforderungen bzgl. der Funktionsdauer von bis zu 50 Jahren bei Anwendungen im Bauwesen zugrunde und akzeptiert den in Bild 7 rechts dargestellten Anstieg der Wärmeleitfähigkeit, so darf der Druckanstieg in einem Paneel maximal 1 mbar pro Jahr betragen, entsprechend einer Permeabilität von max. $0.03 \text{ STDcm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ ohne Berücksichtigung von Einträgen über die Siegelnähte o.ä.. Da die Permeationsraten der Lamine stark von Temperatur und Feuchte beeinflusst werden, müssen auch die klimatischen Bedingungen in der Anwendung beachtet werden.

7 Wesentliche Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen

Vakuumhülle

Die Permeation für Luft (ohne Wasserdampf) ist stark temperaturabhängig (Arrheniusfunktion mit Aktivierungsenergien von etwa 30 bis 40 kJ/mol). Für verschiedene Lamine sind die Permeationsraten teilweise sehr unterschiedlich. Der Gaseintrag erfolgt nicht nur über die „Fläche“, sondern in signifikanter und unerwartet großer Menge auch proportional zur Länge der Siegelnähte und Kanten. Aufgrund des günstigeren Oberfläche-(und damit auch Volumen)-zu-Kantenlänge-Verhältnis fällt der Gasdruckanstieg in größeren Paneelen geringer aus als in kleineren.

Die Permeation von Wasserdampf erfolgt im Wesentlichen über die Hüllfläche, Beiträge von den Siegelnähten und Kanten sind häufig nicht oder nur ungenau zu separieren. Die Permeationsraten entsprechen weitgehend den Erwartungswerten. Für die Alu-Folie sind sie etwa um eine Größenordnung

niedriger als für die metallisierten Filme.

Die Lamine sind herstellungsbedingt mit einer großen Anzahl von Fehlstellen wie Gasblasen im PU-Kleber, Demetallisierungen, Delaminierungen und Verunreinigungen durchsetzt. Möglicherweise ergeben sich hier Ansätze zur Verbesserungen der Dichtigkeit der Lamine.

Visuelle Untersuchungen zeigen darüber hinaus, dass der Laminataufbau im Bereich der Kanten so stark verletzt ist, dass dort an zahlreichen Punkten Licht durchscheint. Unerwartet hohe Permeationsraten proportional zur Länge der Kanten sind daher vermutlich wesentlich auf Verletzungen im Aufbau der Lamine in den Bereichen hoher mechanischer Beanspruchung zurückzuführen. Auch hier könnten mechanisch robustere Aufbauten weitere Ansätze für noch dichtere Vakuumschichten bieten.

Paneele

Für nicht zu kleine Paneele (größer als etwa $50 \times 50 \times 2 \text{ cm}^3$), unter mäßigen klimatische Bedingungen (25°C , 75% r.F.) werden mit aktuellen Hochbarrierelaminaten verschiedener Hersteller die Anforderungen an die Dichtigkeit, Druckanstiegsraten kleiner als 1 mbar/a, erfüllt (ohne Berücksichtigung des Einflusses von Wasserdampf, der durch geeignete Trockenmittel oder die Sorptionseigenschaften des Füllmaterials kompensiert werden kann).

VIPs mit derartigen Kunststoffhochbarrierelaminaten in Kombination mit einem Füllkern aus nanostrukturiertem Kern erfüllen damit auch die hohen Anforderungen bezüglich der Dauerhaftigkeit im Bauwesen (etwa 50 Jahre), zumindest rechnerisch.

Tests an VIPs in der baupraktischen Anwendung unter real variierenden klimatischen Bedingungen ergaben gegenüber numerischen Kalkulationen, bei denen zeitlich hoch aufgelöste aufgezeichnete Temperatur- und Feuchteverläufe berücksichtigt wurden, geringere Druckanstiege und Massezunahmen. Für eine einfache theoretische obere Abschätzung von Druckanstieg und Massezunahme lässt sich daher mit den Jahresmittelwerten für Temperatur und Feuchte arbeiten.

8 Fazit zu Vakuumisolationspaneelen

- In Vakuum-Isolations-Panelen können extrem niedrige Wärmeleitfähigkeiten erreicht werden: 0.002 bis 0.008 W/(m·K).
- Hüllen aus Edelstahl sind ausreichend dicht für alle Füllmaterialien und bieten einen guten Schutz gegen mechanische Verletzung.
- Nanostrukturierte Materialien in Kombination mit speziellen Kunststoffhochbarrierelaminaten ermöglichen VIP-Produkte auch für Anwendungen im Bauwesen mit einer geforderten Funktionsdauer von mehr als 50 Jahren.
- Noch dichtere Lamine würden den Einsatz weiterer Füllmaterialien mit größeren Poren ermöglichen.
- In der praktischen Anwendung ist die besondere Gefahr, die Hülle der Vakuumisolationspaneele zu verletzen, zu beachten. Paneele mit Kunststofflaminat oder Aluminiumverbundfolie müssen mechanisch geschützt werden. Transport, Handling und Verarbeitung sollten nur von eingewiesenem Personal erfolgen.
- Der Wärmebrückenproblematik ist in Verbindung mit Vakuumisolationspaneelen besonderes

Augenmerk zu widmen. In dem gleichen Maße, wie durch den Einsatz von VIPs die Stärke einer Wärmedämmschicht verringert werden kann, verschärft sich das Problem von Wärmebrücken.

Im Vergleich zu einer konventionellen Wärmedämmung ist bei gleicher Dämmwirkung und ohne Einschränkung des hierfür benötigten Raums die Vakuumdämmung heute noch deutlich teurer. Vakuumdämmsysteme werden daher insbesondere dort eingesetzt, wo ihre spezifischen Vorteile zum Tragen kommen, hocheffiziente Dämmung bei geringer Aufbaustärke:

- als „Problemlöser“, wenn für eine konventionelle Dämmung kein ausreichender Raum zur Verfügung steht;
- als finanziell günstigere Lösung, wenn durch den Einsatz von VIPs weitere Maßnahmen eingespart werden können, wie bei der wärmetechnischen Sanierung z.B. der Versatz von Tür- und Fensteröffnungen oder die Verlängerung eines Dachüberstandes;
- wenn es darum geht, aus einer vorgegebenen Grundfläche möglichst viel Nutzfläche zu erzielen (Innenstädte mit hohen Grundstückspreisen) und
- aus architektonischen Gesichtspunkten:
 - bei Dachterrassen zur Vermeidung von Stufen;
 - bei kleinen Anbauten mit besonders ungünstigem Oberfläche-Volumen-Verhältnis wie z.B. Dachgauben;
 - bei Fassaden in Element- und Pfosten-Riegel-Konstruktionen.

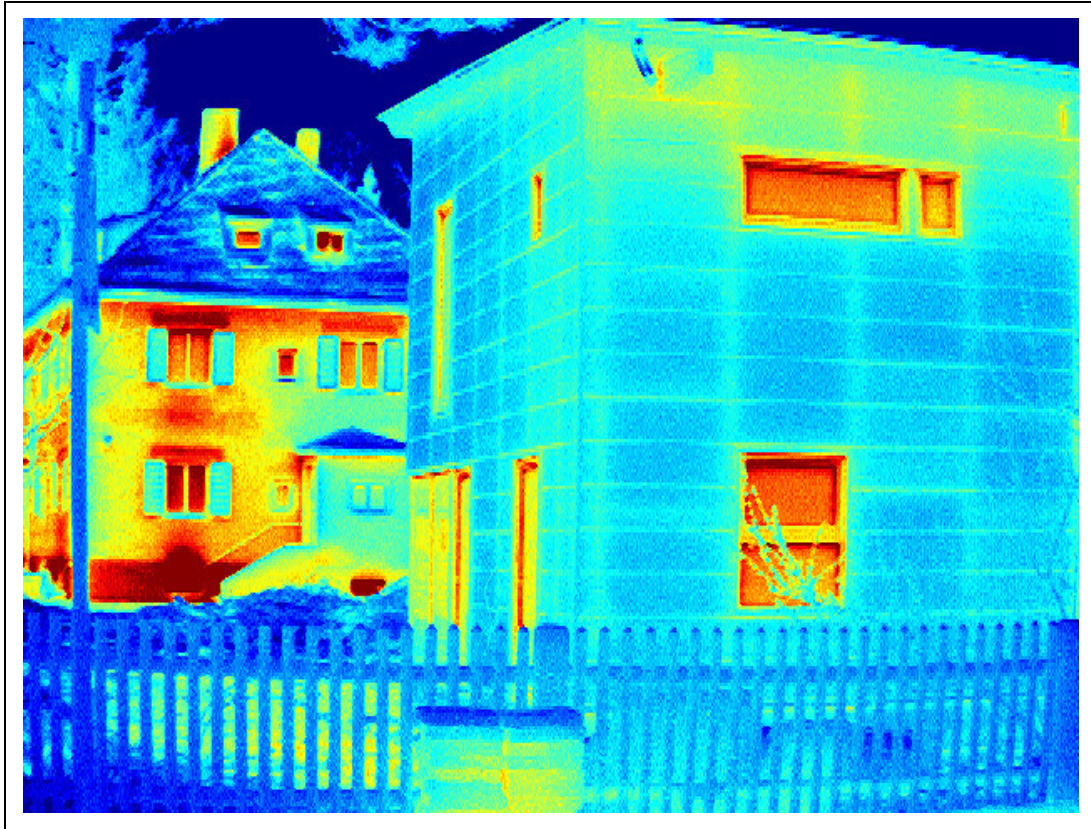


Bild 8: Infrarotaufnahme eines mit Vakuumschutzpaneelen gedämmten Neubaus (rechts) und einem nicht wärmegeprägten Altbau (links).

9 Ausblick - Vakuumisoliertgläser VIG

Die thermischen Schwachstellen auch bei gut wärmegeämmten Gebäuden liegen im Bereich der Fenster (siehe z.B. Bild 8). Der Wärmedurchgang selbst von exzellenten Fenstern mit einem U_W -Wert von $0.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ist um einen Faktor 5 schlechter als der von angrenzenden gut gedämmten Wänden mit einem U-Wert von z.B. $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Ähnlich wie bei den opaken Dämmelementen VIP bietet auch hier die Evakuierung (des Scheibenzwischenraumes) ein enormes Verbesserungspotenzial bzgl. der Dämmwirkung (Faktor 2).

Am ZAE Bayern werden zusammen mit Partnern solche Vakuumisoliertgläser mit einem U-Wert von weniger als $0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ entwickelt. Die technischen Herausforderungen bestanden zunächst darin, Stützen zu entwickeln, die, wie das Füllmaterial bei den Vakuumpaneelen, die externe Last von $10 \text{ t}/\text{m}^2$ aufnehmen, sowie in einem ausreichend dichten und doch thermisch stabilen Randverbund. Beide sollten nicht nennenswert zum Gesamtwärmetransport beitragen. Die Stützen sollten zudem optisch möglichst wenig in Erscheinung treten. Die Anforderungen an die Qualität des Vakuums und damit die Dichtigkeit der Hülle, insbesondere der des Randverbundes, sind bei einem VIG weitaus höher als bei einem VIP. Kann bei den VIPs mit nanostrukturiertem Füllmaterial der Gasdruck einige oder einige zig Millibar betragen, so muss bei den Vakuumisoliertglasfenstern über die gesamte Funktionsdauer der Gasdruck um einen Faktor 10 000 geringer sein ($< 10^{-3} \text{ mbar}$).

Aktuell stehen Labormuster zur Verfügung, die bei einer Gesamtstärke von nur 9 mm und einem Gewicht entsprechend dem der Zweifachverglasung, Dämmwerte erreichen, die besser sind als die einer Dreifachverglasung. Im Weiteren werden zurzeit Maßnahmen und Verfahren für eine großtechnische Fertigung erarbeitet.

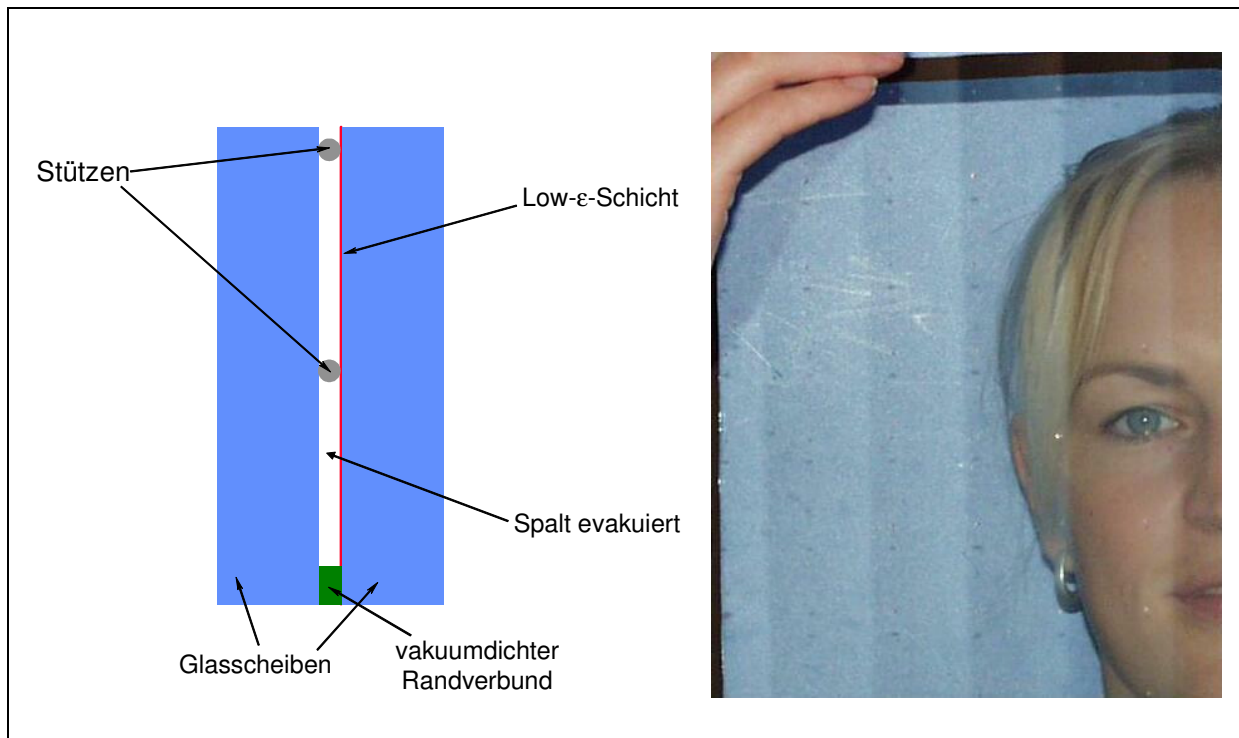


Bild 9: Schematischer Aufbau und Durchsicht durch Ansichtsmuster eines Vakuum-Isolierglases. Der U-Wert der Verglasung liegt bei weniger als $0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Literatur

U. Heinemann, R. Caps, J. Fricke: *Characterization and optimization of filler materials for vacuum super insulations*. Vuoto scienza e tecnologia, Vol. 18, N. 1-2 1999, p. 43-46.

R. Caps, U. Heinemann, J. Fricke, P. Randel: *Application of Vacuum Insulation in Buildings*. VIA Symposium: Progress in vacuum insulation, June 2000, Vancouver.

H. Schwab, U. Heinemann, A. Beck, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Permeation of different gases through foils used as envelopes for vacuum insulation panels*, Thermal Env. & Bldg. Sci. **28**, No.4 (2005) 293-317.

H. Schwab, U. Heinemann, A. Beck, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Dependence of thermal conductivity on water content in vacuum insulation panels with fumed silica kernels*, Thermal Env. & Bldg. Sci. **28**, No.4 (2005) 319-326.

H. Schwab, U. Heinemann, J. Wachtel, H.-P. Ebert, J. Fricke, *Predictions for the increase in pressure and water content of vacuum insulation panels (VIPs) integrated into building constructions using model calculations*, Thermal Env. & Bldg. Sci. **28**, No.4 (2005) 327-344.

H. Schwab, C. Stark, J. Wachtel, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Thermal bridges in vacuum-insulated building façades*. Thermal Env. & Bldg. Sci. **28**, No.4 (2005) 345-355.

H. Schwab, U. Heinemann, A. Beck, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Prediction of service life for vacuum insulation panels filled with fumed silica kernel and foil cover*, Thermal Env. & Bldg. Sci. **28**, No.4 (2005) 357-376.

H. Simmler, S. Brunner, U. Heinemann, H. Schwab, K. Kumaran, P. Mukhopadhyaya, D. Quénard, H. Sallée, C. Stramm, M. Tenpierik, H. Cauberg, M. Erb: *Vacuum Insulation Panels - Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications*, Annex 39 "HiPTI – High Performance Thermal Insulation" of IEA/ECBCS-Implementing Agreement, Report on Subtask A. 2005, published on www.vip-bau.de.

A. Binz, A. Moosmann, G. Steinke, U. Schonhardt, F. Fregnan, H. Simmler, S. Brunner, K. Ghazi, R. Bundi, U. Heinemann, H. Schwab, H. Cauberg, M. Tenpierik, G. Johannesson, T. Thorsell, M. Erb, B. Nussbaumer: *Vacuum Insulation in the Building Sector, Systems and Applications*, Annex 39 "HiPTI – High Performance Thermal Insulation" of IEA/ECBCS-Implementing Agreement, Report on Subtask B, 2005, published www.vip-bau.de.

A. Binz, A. Moosmann, G. Steinke, U. Schonhardt, F. Fregnan, H. Simmler, S. Brunner, K. Ghazi, R. Bundi, U. Heinemann, H. Schwab, H. Cauberg, M. Tenpierik, M. Erb, B. Nussbaumer: *Vakuum-Isolations-Paneele im Gebäudesektor – Systeme und Anwendungen*, Bundesamt für Energie BFE, Ittingen, Schweiz, 12 / 2005, Vertrieb EMPA Dübendorf (www.empa-ren.ch/), veröffentlicht auch unter www.vip-bau.de.

U. Heinemann, *Influence of water on the total heat transfer in 'evacuated' insulations*, Proceedings of the 7th International Vacuum Insulation Symposium, EMPA, 28-29.09.2005, Zürich-Dübendorf, Schweiz, Vortrag, (published on <http://www.empa-ren.ch/ren/VIP05.htm>).

H.-P. Ebert, H. Weinläder, J. Manara, S. Weissmann, *Wärmedämmung von Fensterflächen*, Spektrum Gebäude-technik, 6 (2006).

Links:

Informationsplattform zum Thema Vakuumdämmungen im Bauwesen <http://www.vip-bau.de> .

Informationen zu Entwicklungen im Bereich Vakuumisolierglas: <http://www.vig-info.de> .

Die zugrund liegenden Arbeiten wurden bzw. werden unterstützt:

- gefördert vom Bayer. Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie:
 - Projekt „Vakuumdämmungen für Gebäude“
Az.: 9400/6.1 – IBS/b – 43145/00,
- gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt:
 - Projekt „Schlankes Fassadenverbundsystem...“
Az.: 15613,
- gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit / Technologie:
 - Projekt „Entwicklung von vakuumgedämmten Betonfertigteilen“
Fkz.: 0327321C,
 - Projekt „...energ. Sanierung Gemeindezentrum „guter Hirte“...“
Fkz.: 03229750R,
 - Projekte „Koordinationsstelle für die nationalen Tätigkeiten zum Annex 39 `High Performance Thermal Insulations for Buildings´ der Internationalen Energieagentur (IEA)“ und „VIP-Testmethoden“
Fkz.: 0327321E,
 - Projekt „VIP-PROVE, Vakuumisulationspaneele - Bewährung in der Baupraxis - wissenschaftliche Begleitforschung“
Fkz.: 032732N,
 - Projekt „VIG - Vakuumisoliervglas“
Fkz.: 0327366,
 - Verbundprojekt „Produktionstechniken für Vakuumisoliervglas (ProVIG)“
Fkz.: 0327419.

Dr. Ulrich Heinemann

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern)
Abteilung Funktionsmaterialien der Energietechnik

Am Hubland, 97074 Würzburg

Telefon: +49 (0)931 / 70564 - 35

www.zae-bayern.de / www.vip-bau.de

E-mail: ulrich.heinemann@zae.uni-wuerzburg.de

Gefördert durch:

